



***Dayanıqlı enerji sistemləri və global enerji  
təhlükəsizliyi: çağırışlar və imkanlar  
BEYNƏLXALQ ELMİ KONFRANS***

***Sustainable Energy Systems and Global Energy  
Security: Challenges and Opportunities  
INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE***

*23-24 dekabr 2025*

***Sumqayıt Dövlət Universiteti***



**Sumqayıt - 2025**

## TƏŞKİLAT KOMİTƏSİ

### *Həmsədrələr*

<b>Əminağa Sadiqov</b>	Sumqayıt Dövlət Universitetinin Rektoru v.i.e., AMEA-nın müxbir üzvü, professor
<b>Araz Məmmədzadə</b>	“Azərişiq” ASC-nin Tədris və İnnovasiyalar mərkəzinin direktoru
<b>Rüstəm Qasimov</b>	"Azərenerji" ASC-nin İdarə Heyəti sədrinin müavini
<b>Recep Bentli</b>	Malatya Turqut Özal Universitetinin rektoru
<b>Edvard Abdullaziyev</b>	Kazan Dövlət Energetika Universitetinin rektoru

### *Sədr müavinləri*

<b>Elşad Abdullayev</b>	SDU, Elm və innovasiyalar üzrə prorektor, dosent
<b>Çingiz İbadov</b>	“Azərişiq” ASC-nin Tədris və İnnovasiyalar mərkəzinin direktor müavini
<b>Aytək Babayeva</b>	Azərenerji ASC Elmi-Tədqiqat və Layihə Axtarış Energetika
<b>Orxan Gündüz</b>	Malatya Turqut Özal Universitetinin rektor köməkçisi, professor
<b>İrina Axmedova</b>	Kazan Dövlət Energetika Universitetinin İnkişaf və innovasiyalar üzrə prorektoru

### *Üzvlər*

<b>Elmar Xəlilov</b>	SDU, Sosial məsələlər və ictimaiyyətlə əlaqələr üzrə prorektor, dosent
<b>Emil Qasimov</b>	SDU, Ümumi işlər üzrə prorektor
<b>Tamella Əhmədova</b>	SDU, Rektorun müşaviri, professor
<b>Samir Orucov</b>	SDU, Magistratura, doktorantura və elm şöbəsinin müdiri, dosent
<b>Ulduz Ağayev</b>	SDU, Mühəndislik fakültəsinin dekanı
<b>Asim Balbay</b>	Malatya Turqut Özal Universitetinin Mühəndislik və Təbiət elmləri fakültəsinin dekanı
<b>Rəşad Səlimov</b>	SDU, Təbiət Elmləri fakültəsinin dekanı
<b>Xəyalə Əliquliyeva</b>	SDU, Energetika kafedrasının müdiri
<b>Cavanşir Məmmədov</b>	SDU, Avtomatika və Mexanika kafedrasının müdiri
<b>Natiq Talıbov</b>	SDU, İnformasiya texnologiyaları kafedrasının müdiri
<b>Tünzalə Babayeva</b>	SDU, Kimya mühəndisliyi və ekologiya kafedrasının müdiri
<b>Vefalı Enser</b>	Malatya Turqut Özal Universitetinin Radio, Televiziya və Film şöbəsinin müdiri
<b>Zahiyev Fərid</b>	Azərişiq ASC-nin Tədris və İnnovasiyalar Mərkəzi, Texnoloji innovasiyalar kafedrasının müdiri
<b>Rəvan Rzayev</b>	SDU, Baş mühasib
<b>Anar Dünyamalıyev</b>	SDU, Karyera və Məzunlarla İş Mərkəzi müdiri

### **KATİBLİK**

<b>Asim Harunov</b>	Energetika kafedrasının baş müəllimi
<b>Aysel Talıflı</b>	Energetika kafedrasının baş müəllimi
<b>Sevda Şahverdiyeva</b>	Magistratura, doktorantura və elm şöbəsinin aparıcı mütəxəssisi
<b>Elnarə Həsəratova</b>	Redaksiya və nəşr işləri şöbəsinin müdiri
<b>Fidan Vəliyeva</b>	İctimaiyyətlə əlaqələr və kommunikasiya şöbəsinin mütəxəssisi

## I BÖLMƏ

### ENERJETİKADA ENERJİ SİYASƏTİ VƏ İDARƏETMƏ

#### ÇOXMƏNZİLLİ YAŞAYIŞ KOMPLEKSLƏRİNDƏ ENERJİSƏMƏRƏLİLİYİN ARTIRILMASI MƏQSƏDİLƏ YAŞAYIŞ BİNALARINDA LİFTLƏRDƏ REKUPERSİYA TEKNOLOGİYALARINDAN İSTİFADƏ OLUNMASI

**Harunov A.T, Camalova A.V, Xalqova L.E.**

*Sumqayıq Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

<https://orcid.org/0009-0003-1066-4919>

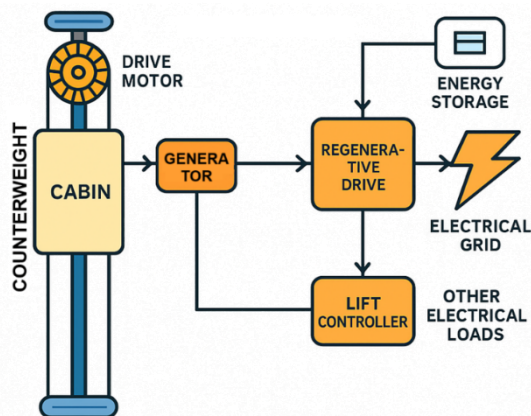
[asim.harunov@sdu.edu.az](mailto:asim.harunov@sdu.edu.az)

**Xülasə.** Bu məqalə yaşayış komplekslərinin sərnişin liftlərində enerji bərpa texnologiyalarının tətbiqini enerji sərfiyyatını azaltmaq üçün effektiv üsul kimi araşdırır. Kinetik və potensial enerjini elektrik enerjisinə çevirən sistemin işləmə prinsipi təsvir olunur. Üstünlükləri vurğulanır: elektrik xərclərində **40%-ə qədər azalma**, ekoloji davamlılıq və istixana qazı emissiyalarının azalması – bunların hamısı müasir enerji səmərəli yaşayış kompleksləri üçün xüsusilə aktualdır.

**Açar sözlər:** enerji səmərəliliyi, enerjinin rekuperasiyası, yaşayış binaları, sərnişin liftləri, asinxron elektrik intiqalı, enerji istehlakı

Sərnişin liftlərinin konstruksiyasında səmərəli texnologiyaların tətbiqi onların ümumi enerji sərfiyyatının azaldılmasında əsas amillərdən biridir. Bu sahədə ən perspektivli istiqamətlərdən biri rekuperasiya enerjisindən istifadədir. Bu texnologiya liftin hərəkəti zamanı açığa çıxan kinetik və potensial enerjini yenidən istifadəyə və ya şəbəkəyə qaytarmaq üçün elektrik enerjisinə çevirməyə imkan verir [1].

Enerji rekuperasiya sistemlərinin işləmə prinsipi, liftin idarəedici elektrik mühərrikinin tormozlanması zamanı və ya kabinənin yuxarı boş, aşağı isə dolu hərəkət etdiyi hallarda generator kimi işləməsinə əsaslanır. Tormozlama prosesi zamanı yaranan enerji istilik şəklində itirilmək əvəzinə çevrilərək binadakı digər elektrik cihazlarının qidalanması üçün istifadə olunur və ya sonrakı istifadə üçün enerji toplayıcılarda saxlanılır [2].



**Elektrik intiqalın kinematik sxemi**

Sərnişin liftlərində enerji rekuperasiya sistemlərinin tətbiqi elektrik enerjisi istehlakının əhəmiyyətli dərəcədə azalmasına imkan verir. Müxtəlif hesablamalara görə, qənaət liftin istifadə intensivliyindən, binanın hündürlüyündən və quraşdırılmış sistemin parametrlərindən asılı olaraq 20%-dən 40%-ə qədər ola bilər [3].

Rekuperasiya enerjisini, yəni tormozlama, boş kabinənin yuxarı hərəkəti və ya dolu kabinənin aşağı hərəkəti kimi müəyyən mərhələlərdə yaranan enerjini aşağıdakı düsturla hesablamaq mümkündür:

$$E_{rek} = E_{port} \cdot (1 - F\dot{\theta}) \cdot k_p$$

burada  $E_{rek}$  – rekupersiya prosesində istifadə oluna bilən enerji miqdarı,  $E_{port}$  – xarici enerji mənbəyindən daxil olan enerji,  $k_p$  – rekupersiya olunmuş enerjiden istifadə edə bilən sistemlərin payını əks etdirən əmsaldır [4].

Rekupersiya sistemlərinin tətbiqi liftin elektrik intiqal sistemində dəyişikliklər aparılmasını və rekupersiyaedici tezlik çeviriciləri və enerji toplayıcıları kimi xüsusi avadanlıqların istifadəsini tələb edir [6] [5]. Lakin ilkin xərclərə baxmayaraq, enerji sərfiyyatının azalması nəticəsində əldə olunan iqtisadi səmərə investisiyaların bir neçə il ərzində geri qaytarılmasına şərait yaradır [7].

Rekupersiya enerjisindən istifadə yalnız elektrik enerjisinə dair əməliyyat xərclərini azaltmır, həm də istixana qazlarının emissiyasını azaldaraq sərnişin liftlərini daha ekoloji və enerji baxımından davamlı edir.

Beləliklə, yaşayış komplekslərində sərnişin liftləri üçün enerji rekupersiyası sistemlərinin tətbiqi binaların enerji səmərəliliyinin artırılması üçün effektiv bir həll hesab olunur. Bu texnologiyanın istifadəsi elektrik enerjisi sərfiyyatının əhəmiyyətli dərəcədə azalmasına, istismar xərclərinin aşağı düşməsinə və atmosfərə zərərli tullantıların azalmasına səbəb olur. İlk investisiya tələblərinə baxmayaraq, rekupersiya sistemi qısa müddətdə özünü doğruldur və liftlərin fəaliyyətini həm ekoloji, həm də iqtisadi baxımdan daha dayanıqlı edir.

## Ədəbiyyat

1. Коваль А.С., Артеменко А.И. К вопросу энергосбережения в электроприводе пассажирских лифтов при регулируемой номинальной скорости движения кабины лифта // Вестник Белорусско-Российского университета. 2018. № 4 (61). С. 49–55.
2. Степанов В.М., Кузьмина С.В. Система рекуперации многодвигательных подъемно-транспортных механизмов и машин // Известия ТулГУ. Технические науки. 2010. № 3-4. С. 175–177.
3. Усовершенствованный электропривод шахтных установок с возможностью рекуперации электроэнергии / Э.Е. Пугачёва [и др.] // Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. № 6. С. 412–418.
4. Гарунов, А.Т., Азизов, К.Р., Петров, Т.И., Холикова, А.Р. (2020). Использование энергии рекуперации для снижения энергопотребления электроприводов для пассажирских лифтов. статья в сборнике. Международная молодежная научная конференция. Казань – С. 159 – 162
5. Шестаков, Р. А. Лифтовые установки: современные технологии. – Челябинск: ЧГТУ, 2020. – 210 с.
6. Степанов В.М., Котеленко С.В. Анализ технических решений по рекуперации электрической энергии // Известия ТулГУ. Технические науки. 2011. № 6-1. С. 169–172.
7. Петрова, Л. Н. Системы управления движением лифтов. – Санкт-Петербург: Политехника, 2021. – 220 с.

## Summary

### USE OF REGENERATIVE TECHNOLOGIES IN ELEVATORS OF RESIDENTIAL BUILDINGS TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF MULTI-APARTMENT RESIDENTIAL COMPLEXES

*Harunov A.T., Camalova A.V., Xaligova L.E.*

This paper explores the application of energy recuperation technologies in passenger elevators of residential complexes as an effective method to reduce energy consumption. It describes the operating principle of a system that converts kinetic and potential energy into electrical energy. The advantages are highlighted: up to 40% reduction in electricity costs, environmental sustainability, and decreased greenhouse gas emissions — all of which are especially relevant for modern energy-efficient residential complexes.

**Keywords:** energy efficiency, energy regeneration, residential buildings, passenger elevators, asynchronous electric drive, energy consumption

## Резюме

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ РЕКУПЕРАЦИИ В ЛИФТАХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ КОМПЛЕКСОВ

*Гарунов А.Т., Джамалова А.В., Халигова Л.Е.*

В работе рассматривается применение технологий рекуперации энергии в пассажирских лифтах жилых комплексов как эффективного способа снижения энергопотребления. Описан принцип действия системы, преобразующей кинетическую и потенциальную энергию в электрическую. Отмечены преимущества: снижение затрат на электроэнергию до 40%, экологическая устойчивость и сокращение выбросов парниковых газов, что особенно актуально для современных энергоэффективных жилых комплексов.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, рекуперация энергии, жилые здания, пассажирские лифты, асинхронный электропривод, энергопотребление

# İSTİLİK TƏCHİZATI SİSTEMLƏRİNDƏ SU HAZIRLIĞININ SƏMƏRƏLİLİYİNİN YÜKSƏLDİLMƏSİ

**Ələsgərov Gülağa Ağami oğlu**

*Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Bakı, Azərbaycan*

<https://orcid.org/0000-0000-3668-5633>

[gulaqa@rambler.ru](mailto:gulaqa@rambler.ru), [gulagha.alasgarov@azmiu.edu.az](mailto:gulagha.alasgarov@azmiu.edu.az)

**Məmmədov Şikar Hacı oğlu**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[sm3439011@gmail.com](mailto:sm3439011@gmail.com)

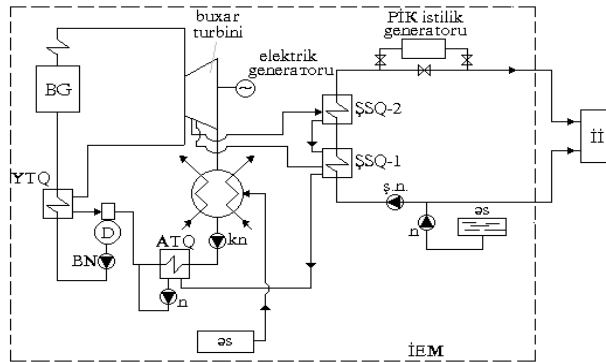
**Xülasə.** İstilik təchizatı sistemi istilik şəbəkəsindən, tələbatçılardan, istilik mənbəyindən, tənzimləyici-avtomatika avadanlıqlarından ibarət mürəkkəb mühəndisi sistemdir.

Məqalədə istilik şəbəkələri üçün bəsləyici suyun ənənəvi üsula hazırlaması, su emalının həcmi artırmağa imkan verən və iki selli süzgeçlərdən axıntısız və progressiv su hazırlama sxemlərində istifadə edilməsi nəzərdən keçirilir.

**Açar sözlər:** istilik enerjisi, istilik mənbəyi, istilik şəbəkəsi, işlənmiş məhlul, axıntı suları, iki selli süzgeç, əks axıntılı süzgeç, bəsləyici su, reagent.

**Giriş:** İstilik tələbatçılara enerji daşıyıcısı vasitəsi ilə nəql edilir. Bu enerji daşıyıcıları su və ya su buxarı, müxtəlif yağ növləri, hava və s. ola bilər. İstilik şəbəkələrində enerji daşıyıcısı kimi su və ya buxardan geniş şəkildə istifadə edilir. İstilik daşıyıcıların nəqli zamanı enejini tələbatçılara maksimum itkisiz çatırmaqla enerji effektiv sistemlərin istisamarı zamanı tələb edilən əsas şərtlərdən biridir. Bildiyimiz kimi enerji daşıyıcısı kimi istilik mənbəyindən istiliyi tələbatçılara nəql zamanı müəyyən səbəblərdən yol boyu itkilərə məruz qalır. Bu səbəbdən enerji effektivliyinin göstəricisi də aşağı düşür və sistemin rentabelliği pozulur. Sistemin normal işləməsi və itkiləri əvəz etmək üçün istilik mənbəyində əlavə yanacaq istifadə etməklə artıq istilik daşıyıcısı emal edilərək sistemə əlavə su verilməlidir.

**İşin məqsədi və yerinə yetirilməsi:** Aşağıda göstərilən sxemlərdə müasir istilik təchizatı sistemlərində tətbiq edilən fərqli sxemlər göstərilmişdir. Bu sxemlərdə istilik təchizatı sistemlərində enerji daşıyıcısının itkilərini əvəz edə biləcək əlavə su hazırlayıcı qurğu nəzərdə tutulmuşdur. Bu qurğularda suyun keyfiyyəti sistemin istifadə sahəsindən asılı olaraq tələb edilən norma və tələblərlə cavab verməlidir.



**Şəkil 1.** İstilik təchizatı sxemlərinin növləri

*BSQ - buxar su qızdırıcısı, BN - bəsləyici nasos, ŞN - şəbəkə nasosu, ATQ - və YTQ - alçaq və yüksək təzyiqli su qızdırıcıları, KN - kondensat nasosu, ŞSQ-1 və ŞSQ-2 1-ci və 2-ci pillə şəbəkə su qızdırıcıları*

İstilik təchizatı sistemlərində sistemin uzun ömürlülüyünü təmin etmək üçün ən başlıca şərtlərdən biri su itkilərini minimuma endirmək və əlavə suyun keyfiyyətini artırmaqdır. Məlumdur ki, şəbəkə avadanlıqlarının (boru xətləri və üzərində quraşdırılmış bağlayıcı armatur və elementlərin qızma səthlərində çöküntülərin əmələ gəlməsi, şlamın yaranması və boru xətlərinin daxili və xarici səthlərində korroziyanın əmələ gəlməsi səbəblərini aradan qaldırılması vacibdir. Bunun üçün şəbəkə suyunun tərkibindəki aqresiv yəni  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  ionları ilə yanaşı  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$  və silisium birləşmələri xaric edilərək müəyyən həddə qədər azaldılmalıdır.

Suda codluq və qələvilik ionların olması şlamın və ərpin əmələ gəlməsinin ilkin şərtlərlə müəyyənləşdirildiyindən sudakı ionların qatılıqlarının müəyyən buraxıla bilən həddə qədər azaldılmasının

müxtəlif emal üsulları məlumdur. Bu üsullara kimyəvi iondəyişmə üsulu kimi kation mübadilə üsulu kimi reagentlərlə emal, iondəyişmə üsulları ilə yumşaltma, turşulaşdırma, əks osmos, maqnit aparatlarından keçirməklə emal və s. aid etmək olar. Çöküntü əmələ gətirən ionları ləğv etmək üçün sistemi yuxarıda göstərilən emal prosesinin hər hansı birinə uğradılır. Öldə edilmiş su keyfiyyətcə istilik təchizatı sistemləri üçün qəbul edilmiş normativ sənədlərdə nəzərdə tutulmuş şərtləri ödəməlidir[1-3]

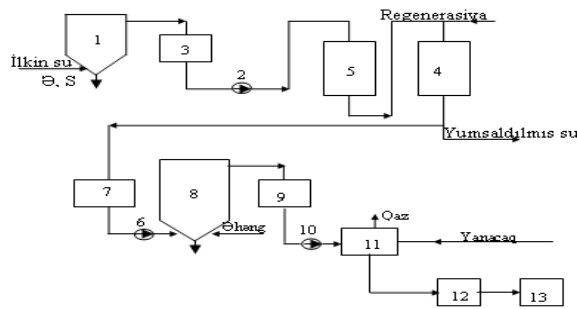
İstilik təchizatı sistemlərində istifadə edilən su üç növdə olur. Bunlar: duzsuzlaşdırılmış, dərin yumşaldılmış və istilik şəbəkəsi üçün hazırlanan az codluqlu su kimi növlərilə xarakterizə edilir.

Məqalədə dərin yumşaldılmış və istilik şəbəkələri üçün hazırlanan xüsusi tərkibli suların istehsalının ənənəvi və ekoloji cəhətdən təmiz, müasir texnoloji sxemlərinin ekoloji aspektlərinin təhlili verilmişdir.

Reagent sərfinin stexiometrik miqdarında azaldılması nəticəsində axıntı sularının istifadəsini təmin edən texnologiyaların tətbiq edilməsilə bağlıdır. Bu zaman emal edilmiş sularda çökmə ehtimalı daha çox olan cod ionlarının qalması karbonat və qeyri – karbonatlı çöküntülərin əmələ gəlmə prosesini artırır. Bu isə ekoloji yanaşmada bir sıra tədbirlərin görülməsi və normalara tam müvafiq olmaması aspektində əlavə tamamlayıcı tədbirlərin görülməsini tələb edir.

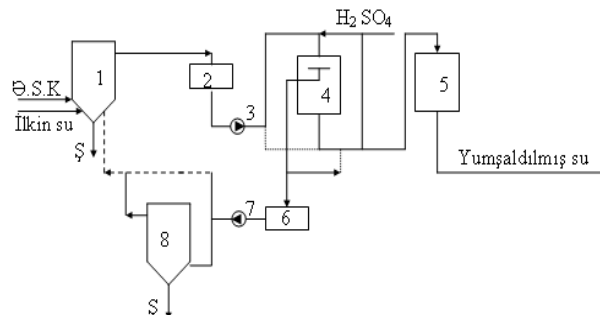
Su emalında istifadə edilən texnologiyada tullantı sularındakı codluq ionları əlavə reagentdən istifadə etmədən və ya reagentsiz olaraq su hazırlama prosesinin özündə çökdürülür, işlənmiş məhlullar emal və regenerasiya prosesində ləğv edilərək su hazırlama qurğusunun axıntısızlığını təmin edir. İstilik şəbəkələrinə verilən əlavə suyun emalı tətbiq dairəsi geniş olan üsullardandır[1-3].

Şəkil 2-də ənənəvi axıntısız su hazırlama texnologiyasının prinsipial sxemi təsviri verilmişdir.



**Şəkil 2.** Ənənəvi axıntısız su yumşaltma qurğusunun prinsipial sxemi

Bu cür ənənəvi texnoloji sxemdə ilkin su 1- şəffaflaşdırıcısında emala uğradılaraq 3- şəffaflaşmış çəninindən 2- su nasosu vasitəsi ilə 5- mexaniki və 4- kationit süzgəclərindən keçirilərək yumşaldılır və istilik şəbəkəsinə verilir. Regenerasiya edilmiş axıntı suları 7- çəninə yığılır, ordan isə 6- nasosu vasitəsi 8 çəninə verilir. Bu zaman işlənmiş məhlul əlavə olar əhəng – soda üsulu ilə təkrar emal edilir. Sonra isə 9- çəninə yığılmış axıntı suyu 10- nasosu vasitəsi ilə 11- buxarlandırıcıya verilir. Buxarlandırıcıda qalan axıntıların 100 -250 q/l qatılığındakı məhlulu 12-buxarlandırıcıda quru duz halına gətirilir. Bu zaman qatı duz halına olan məhlullar dəmir – betondan hazırlanan və izolə edilmiş yeraltı anbarda 13- gizlədilir.



Şəkil 3 Axıntıları bilavasitə emal prosesində istifadə olunan axıntısız texnologiyaların prinsipial sxemləri

Göründüyü kimi baxılan sxem, mürəkkəb və artıq enerji sərfiyatına malik olan iri həcmli avadanlıqlardan və utilizə edilmədən yerin dərinliklərində basdırılan duz məhlullarının anbarlarından, iqtisadi cəhətdən tikintisi baha başa gələn və istisimalarını mümkünsüz edən ekoloji baxımdan sərfəli olmayan bir

sxemdir. Sxemə görə ətraf mühiti çirkləndirən axıntı sularının ləğvi mümkün olsada, bu cür sxemlə suyun emal xərcləri üç dəfədən çox artır[4].

Beləliklə, istilik şəbəkələri üçün qidalandırıcı suyun hazırlanmasında və eləcə də digər su hazırlama prosesində istifadə edilən reagentlərin sərfini və regenerasiya zamanı əmələ gələn axıntı sularının miqdarının azaldılması üçün təklif edilən və yuxarıda nəzərdən keçirilən texnologiyalar üçün özünəməxsus çatışmamazlıqların mövcudluğu onların geniş tətbiqinə imkan vermir. Nəhayət, qoyulan məqsədə nail olmaq üçün yeganə perspektiv istiqamət mövcud qurğularda texnoloji proseslərin təkmilləşdirilməsidir ki, bu məqsədlə də müxtəlif texnoloji üsul və sxemlər işləməkdədir[5].

İon mübadilə üsulu ilə əlavə suyun hazırlanmasının bu cür ənənəvi texnologiyaları ionitin işçi mübadilə tutumunun az olması, tullantı sularının yaranması və onların ləğvinə əlavə vəsaitin qoyulması kimi çatışmamazlıqları səciyyələyir. Digər bir istiqamət isə su hazırlığının ənənəvi ion mübadilə texnologiyasına müdaxilə etmədən axıntı sularının xüsusi qurğularda emal və utilizasiyasını nəzərdə tutan texnologiyaların tətbiqidir.

Şəkil 3–də təklif edilmiş texnologiyalara uyğun olaraq emal ediləcək su 1- şəffaflaşdırıcıya daxil olaraq 2- çəninə, oradan isə 3- nasosu vasitəsi ilə 4 və 5- süzgəclərindən düz axım istiqamətilə yumşaldılaraq istisimara verilir. İşlənmiş məhlul 6- çəninə ordan isə 7- nasosu ilə 8- saturatorundan şəffaflaşdırıcıya verilir. Şəkil birincinin regenerasiya, ikincinin isə emal prosesinin ikiaxımlı olması ilə fərqlənir.

Suyun kationit süzgəcində yumşaldılması onun süzgəcdən yuxarıdan - aşağıya istiqamətdə süzülməsi ilə də təmin edilə bilər. Bu zaman regenerasiya prosesində regenerasiyaedici məhlulun süzgəcə ikiselli yuxarıdan və aşağıdan verilməsi və işlənmiş məhlulların ionit təbəqəsinin aralıq fazasında yerləşdirilmiş orta drenaj sistemindən götürülməsi ilə yerinə yetirilir. Digər sxemdə isə ikiaxımlı süzgəcə emal ediləcək su ikiselli – yuxarıdan və aşağıdan – daxil edilir, yumşaldılmış su isə ionit təbəqəsinin aralıq hissəsində quraşdırılmış orta drenaj sistemindən xaric edilir. Süzgəcin regenerasiyası, regenerasiya məhlulunun yuxarıdan - aşağıya doğru hərəkətlənmiş istiqamətində aparılır. Göstərilən birinci texnoloji sxemdən yüksək keyfiyyətli yumşaldılmış su tələb olunduqda tətbiq etmək məqsədə uyğundur. Yumşaldılmış suyun keyfiyyətinə yüksək tələbat qoyulmadıqda isə ikinci sxemdən istifadə etmək daha münasibdir.

Ekoloji baxımında regenerasiyaedici məhlulu kimi  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  –dən istifadə kationit süzgəclərinin işlənmiş məhsullarının miqdarını azaltmağa imkan verir. Bu zaman işlənmiş məhlulların tərkibindən kifayət qədər gips ayrılmış olur.

Qeyd etmək lazımdır ki, əhənglə emal zamanı suyun qalıq codluğu əhəng – soda emalına nəzərən xeyli yüksək olur, ona görə də yumşalmış suyun duzluluğu onun ilkin duzluluğunu aşmaması üçün suda olan qələviliyin tələb olunan hədd qiymətlər əsasən regenerasiyaya verilən duzun xüsusi sərfindən asılı olur. Odur ki, şəkil 3–də təsvir edilən sxemlə yanaşı sərgilənən digər sxemlər istifadə edildikdə duzun xüsusi sərfi miqdarca  $m = 1,3 \div 1,65 \text{ q-ekv/q-ekv}$  təşkil edir.

Buna görə də təklif edilən texnoloji sxemlər deyilən çatışmamazlıqları nəinki aradan qaldırmağa imkan verir, o həmçinin köhnə və işlək vəziyyətdə olan süzgəclərdə konstruktiv dəyişiklik etmədən onların iş rejimlərinə müəyyən əlavələr etməklə, texnoloji göstəricilərini yüksəldilməyə və tullantı suların ləğv edilməsinə imkan yaradır. Ona görə də emal və regenerasiya rejimlərini təkmilləşdirərək, stexiometrik miqdarda regenerasiya edilmiş ionit süzgəcinin texnoloji göstəricilərini yüksəltməyə yönəlmiş bu cür axıntısız ekoloji təmiz və iqtisadi səmərəli su hazırlama texnologiyasının işlənilməsi və tədqiq edilməsi aktual məsələdir[1].

Məqalədə aşağıda nəzərdə tutulan məsələlərin ekoloji aspektdən həll edilməsi məqsədəuyğun hesab edilir:

- -ənənəvi regenerasiya üsulu ilə işləyən ionit süzgəclərin iş rejimlərini tədqiq edərək, su hazırlanma üsulunun səmərəliliyini yüksəltmək üçün daxili imkanların müəyyənləşdirilməsi;
- -stexiometrik miqdarda məhlul ilə regenerasiya olunmuş süzgəclərin iş rejiminin tədqiqi etməklə onların emal prosesinin tətbiq sahəsinin araşdırılması;
- -ikiselli düz və əksaxımlı süzgəclərdən istifadə edərək ionit mübadilə prosesinin tədqiqi və onların işçi mübadilə tutumunun müxtəlif hidrodinamik faktorlarından asılılığının araşdırılması;
- -aldə edilmiş nəticələr əsasında səmərəli və ekoloji təmiz su hazırlama texnoloji sxemlərin işləməsilə iqtisadi səmərənin təyini.

Hal hazırda tətbiq edilən su hazırlanma üsulunun bir sıra üstünlüklərə malik olmasına baxmayaraq onu yenidən işləyib təkmilləşdirmək, az tullantılı və az reagent sərfli texnoloji sxemin işlənilməsi və hazırlanması məqsədəuyğun hesab edilir.

## Nəticə

1. İstilik şəbəkələri üçün əlavə su hazırlanmasının ənənəvi sxemlərinin müqaisəli təhlili aparılmışdır;
2. İstilik şəbəkələri üçün əlavə su hazırlanması zamanı işlənmiş -iki selli süzgəclərdən həm regenerasiy, həm də su emalı zamanı istifadə edilmişdir;
3. Ekoloji təmiz, axıntısız və iqtisadi cəhətdən səmərəli olan yeni su hazırlayıcı sxeminin işlənməsi istiqamədə tədqiqat işləri aparılmışdır.

## Ədəbiyyat

1. Фейзиев Г.К. Высоко-эффективные методы умягчения, опреснения и обессоливания воды. Баку.: 2009, 441 с.
2. Техничко-экономическое обоснование областей применения различных методов приготовления добавочной питательной воды и очистки конденсатов промышленных и отопительных ТЭЦ. М., ГЛАВНИИПРОЕКТ,
3. Ələsgərov G.A. İstilik şəbəkələri üçün kimyəvi üsulla qidalandırıcı suyun axıntısız hazırlanması. Bakı, Elm, Bakı-2001, 96 s.
4. Живилова Л. М. Научно-технический семинар "Водно-химические режимы и водоподготовка на ТЭС" - Энергетик, 2006, № 2

## Summary

### WAYS OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF WATER PREPARATION IN HEAT SUPPLY SYSTEMS

*Alesgerov G.A., Mammadov Şh.H.*

For the heating networks, in addition during the water in preparation the calcium gruffness and general alkalinity should be degraded, that the shown to water quality of main requirement carbonate index should not be above a normative price. For this purpose, it is used widely by softening of water complete or partly, degrade of alkalinity by using the different methods.

**Keywords:** thermal energy, heat source, heating network, spent solution, effluent, two-cell filter, counterflow filter, feed water, reagent

## Резюме

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ ВОДЫ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

*Алескеров Г.А., Мамедов Ш.Г.*

Система теплоснабжения является сложной инженерной системой, включающей тепловую сеть, потребителей, источник тепла и регуляторно-автоматическое оборудование. В статье рассматривается традиционный способ подготовки подпиточной воды для тепловых сетей, а также использование схем безсточных и прогрессивных систем подготовки воды с применением двухсекционных фильтров, что позволяет увеличить объем обработки воды.

**Ключевые слова:** тепловая энергия, источник тепла, тепловая сеть, отработанный раствор, сточные воды, двухсекционный фильтр, противоточный фильтр, подпиточная вода, реагент

## МЕТОДЫ АДРЕСНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ И ПОТЕРЬ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧ ОПТОВОГО РЫНКА

<sup>1</sup>Баламетов А.Б., <sup>2</sup>Агаханова К.А., <sup>3</sup>Исгендеров Ф.Г., <sup>4</sup>Баламетов Э.А.

*1-Азербайджанский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт энергетики, Баку, Азербайджан*

*3-ОАО Азерэнерго, Баку, Азербайджан*

*4-Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку, Азербайджан*

*2-Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан*

[balametov.azniie@gmail.com](mailto:balametov.azniie@gmail.com)

**Резюме.** Рынок ЭЭ характеризуется следующими особенностями: невозможно определить производителя ЭЭ для данного потребителя, какие генераторы снабжают потребителя, объем мощности, который передается по различным линиям электропередачи от генераторов, потери мощности из-за передачи ЭЭ (ЭЭ) от конкретного генератора к нагрузке. Отслеживание потока ЭЭ позволяет нам устанавливать маршруты, соединяющие генераторы с отдельными потребителями.

**Ключевые слова:** энергосистема, рынок ЭЭ, потокораспределение, потери мощности, методы адресного распределения, матричный, декомпозиции, маргинальный, Z-матрицы.

**Введение.** Конкуренция на рынке ЭЭ (ЭЭ) привела к проведению исследований: как используются направления потоков мощности для целевого распределения этих потоков, принцип их пропорциональности [1-4]. Для решения проблемы адресуемости мощности были применены два

подхода: матричный подход, разработанный Биалеком [1] и подход, основанный на применении теории графов (Кирсен, Ву, Гамм) [4-5].

Матричный метод прост в программировании, но может быть громоздким при применении к большим системам, поскольку требует обращения матрицы. Подход теории графов более интуитивен и прост для понимания, подходит для больших энергосистем (ЭЭС), не требует обращения матрицы, но не может быть применен в случае циркулирующих потоков. Адресность важна для определения: показателей электропотребления; абонентская плата за пользование сетью; ответственность источников и потребителей, энергоэффективности за соблюдение режима; локальные балансы реактивной мощности. Адресность потоков мощностей между участниками рынка является актуальной проблемой. Решение проблемы адресности реактивной мощности позволяет проследить пути передачи реактивной мощности от генераторов: проанализировать эффективность использования имеющихся в системе и установки дополнительных компенсирующих устройств.

Матричный метод адресного распределения потоков в энергосистеме. Алгоритм определения адресности потоков мощности должен обладать следующими качествами: простота расчета; объективность определения значений адресуемости на основе законов электротехники; возможность и простота программирования алгоритма; учет конструктивных особенностей распределительных устройств и соединительных линий к ним и участников энергообмена, определение всех интересующих показателей адресуемости.

Методы прямого отслеживания. Узловую мощность можно представить, как [1]:

$$P_Y = \sum_{\lambda \in \alpha_i} |P_{i-\lambda}| + P_{Li} = \sum_{\lambda \in \alpha_i} c_{Li} \cdot P_{\lambda} + P_{Li} \quad (1)$$

Где  $\alpha_i^{(d)}$  представляет собой набор узлов, поставляемых из узла  $i$ ;  $c_{\lambda i} = \frac{|P_{i-\lambda}|}{P_i}$

Пусть  $A$  – матрица, у которой  $(i, l)$  элемент равен

$$[A_{str}]_{i\lambda} = \begin{cases} 1 & \text{for } i = \lambda \\ -\frac{|P_{i-\lambda}|}{P_{\lambda}} & \text{for } \lambda \in \alpha_i^{(d)} \\ 0 & \end{cases} \quad (2)$$

В этом случае уравнение (3.1.1) можно преобразовать к виду

$$P_Y - \sum_{(d)} c_{\lambda i} \cdot P_{\lambda} = P_L \quad \lambda \in \alpha_i^{(d)} \quad (3)$$

или  $A_{стр} \cdot P = P_L$

где  $A_{стр}$  – матрица распределения узловых выходных мощностей между нагрузками размерности  $(n, n)$ , а  $P_L$  – вектор узловых нагрузок.

Если существует обратная матрица  $A_{стр}^{-1}$ , то из (3) можно определить матрицу  $P = A_{стр}^{-1} \cdot P_L$ . Тогда  $i$ -й элемент последней матрицы равен,

$$P_Y = \sum_{k=1}^n [A_{стр}^{-1}]_{ik} P_{Lk} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Уравнение (4) показывает, как распределяется узловая мощность  $P_Y$  между всеми нагрузками системы. С другой стороны,  $P_Y$  также равна сумме генерации в узле  $i$  всех потоков, текущих в этот узел. Следовательно, поток мощности в узел  $i$  по линии  $ij$  по принципу пропорционального распределения равен:  $P_{i-j} = \frac{|P_{i-j}|}{P_i} P_Y$

Подставляя в последнее выражение (4), получаем:

$$P_{i-j} = \frac{|P_{i-j}|}{P_i} \sum_{k=1}^n [A_{стр}^{-1}]_{ik} P_{Lk} \quad (5)$$

или

$$P_{i-j} = \sum_{k=1}^n D_{i-j,k}^L P_{Lk} \quad \text{где } \frac{|P_{i-j}|}{P_i} \cdot [A_{стр}^{-1}]_{ik} = D_{i-j,k}^L$$

В последнем выражении -  $D_{i-j,k}^L$  доля  $k$ -й нагрузки потока мощности, протекающего по линии  $i$ -  $j$ . Мощность генерации в узле  $l$  по принципу пропорционального распределения можно представить в виде:

$$P_{Gi} = \frac{P_{Gi}}{P_Y} P_Y = \frac{P_{Gi}}{P_Y} \sum_{k=1}^n [A_{стр}^{-1}]_{ik} \quad (6)$$

который показывает долю выходной мощности  $i$ -го генератора, идущую на питание  $k$ -й нагрузки.

Для расчета адресности передачи составляется схема замещения электрической сети с направленными потоками в линиях.

На основе пропорционального разделения с использованием формальных матричных преобразований можно получить матрицы распределения путей передачи потоков мощности по

(прямому) и против (обратному) их потоков  $A_{sr}$  и  $A_o$ . Работу алгоритма (15) проверена на тестовых схемах. Институт инженеров электротехники и электроники (ИЕЭЕ) [1-3].

Теория графов и метод декомпозиция. Декомпозиция потока в электроэнергетические системы (ЭЭС) для определения адресной передачи мощностей. Алгоритм декомпозиции потоков для определения адресной передачи мощности заключается в поиске путей на ориентированном графе. В результате такого поиска строится дерево, корнем которого является узел-генератор. Этот узел принимается за узел первого яруса узлов дерева. Ко второму ярусу относятся узлы соединяющие ветви первый и второй ярусы. Аналогичным образом определяются узлы, относящиеся к третьему и т.д.

Значения относительных потоков на  $k$ -м шаге  $\bar{P}_{jibeg}^k \bar{P}_{jiend}^k$  начала и конца ветви  $i$ , соединяющей узлы  $k$ -го и  $(k+1)$ -го ярусов, при  $k \geq 1$  определяются как

$$\bar{P}_{jibeg}^k = \bar{P}_{ibeg}, \bar{P}_{jiend}^k = \bar{P}_{iend}.$$

здесь  $\bar{P}_{ibeg} \bar{P}_{iend}$ - начальные значения потоков начала и конца ветви  $i$ .

На  $k$ -м шаге значение относительного потока конца ветви  $i$ , определяется как

$$\bar{P}_{jiend}^k = \bar{P}_{jend}^{k-1} \cdot \bar{P}_{iend} = \prod_{m=1}^{k-1} \bar{P}_{jend}^m \cdot \bar{P}_{iend} \quad (7)$$

Величина относительного потока начала ветви  $i$  на  $k$ -м шаге будет равна

$$\bar{P}_{jibeg}^k = \bar{P}_{jend}^{k-1} \cdot \bar{P}_{ibeg} = \prod_{m=1}^{k-1} \bar{P}_{jend}^m \cdot \bar{P}_{ibeg} \quad (8)$$

Результирующие значения относительных потоков конца и начала ветви  $i$ , можно определить, как

$$\bar{P}_{iend} = \sum_{j=1}^L \prod_{m=1}^{k_j-1} \bar{P}_{jend}^m \cdot \bar{P}_{iend} \quad (9)$$

$$\bar{P}_{ibeg} = \sum_{j=1}^L \prod_{m=1}^{k_j-1} \bar{P}_{jend}^m \cdot \bar{P}_{ibeg} \quad (10)$$

где индекс  $k_j$  соответствует порядковому номеру ветви  $i$  на  $j$ -м пути в дереве.

Потери активной мощности. Потери в  $l$ -й ветви, можно определить, как

$$\Delta P_1 = \left( \sum_{i=1}^n S_{li} \right)^2 \frac{r_1}{U^2} = \sum_{i=1}^n \frac{S_{li}^2}{U^2} r_1 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n S_{li} S_{lj} \frac{r_1}{U^2} = \Delta P_{l1} + \Delta P_{l2} \quad (11)$$

где  $\Delta P_{l1}$  - собственные потери  $i$ -го генератора, а  $\Delta P_{l2}$  - взаимные потери,  $U$  - среднее напряжение.

Метод  $Z$ -матрицы. Алгоритм распределение потерь методом  $Z$ -матрицы имеет вид

$$Z_y = Y^{-1} = R_Z + jR_X_Z \quad (12)$$

где  $R_Z$  и  $X_Z$  - квадратные матрицы, соответствующие активным и реактивным сопротивлениям. Решение уравнений узловых напряжений с использованием обратной матрицы при напряжении балансирующего узла  $U_6 \neq 0$  определяется следующим выражением

$$\begin{bmatrix} U'' \\ U' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U''_{bal} \\ U''_{bal} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_Z & R_Z \\ R_Z & -X_Z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I' \\ I'' \end{bmatrix} \quad (13)$$

Потери активной мощности, по матрице узловых сопротивлений  $Z$  [10-12], имеет вид

$$\Delta P = Re \{ diag(I^*) \cdot Z \cdot I \} \quad (14)$$

где  $I^*$  - сопряженный комплекс узлового тока;

Для сети переменного тока общие потери активной мощности следующие:

$$\pi_\Sigma = Re \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Z_{ij} J_i^* J_j = \bar{J}^t R \bar{J}' + \bar{J}'^t R \bar{J}'' \quad (15)$$

где  $R$  - действительная часть матрицы узловых сопротивлений  $Z=Y^{-1}$ ,  $J'_i, J''_i$  - действительная и мнимая составляющие тока  $J_i = J'_i + jJ''_i$ .

Алгоритм моделирования потерь  $Z$  узловым методом, состоит из нижеследующих этапов [10]: ввод информации; обращение  $Z_y=(Y_y)^{-1}$  матрицы; решения системы линейных уравнений; вычисления потерь мощности, относимых в узлы. Решение уравнений сети использовании  $Z$  матрицы имеет быструю и надежную сходимость. Результаты расчета установившегося режима эквивалентной 8-узловой схемы ЭЭС Азербайджана (рис.5) приведены на рисунке 1. Проведены расчеты для эквивалентной 8-узловой схемы ЭЭС Азербайджана. Результаты этих расчетов по разработанной программе. Суммарные потери составили 84.47 МВт. В нагрузочных узлах 3, 5, 6 и 8 имеют место наибольшие доли потерь. Суммарные потери, полученные методом пропорционального разделения, составил 119,34 МВт.

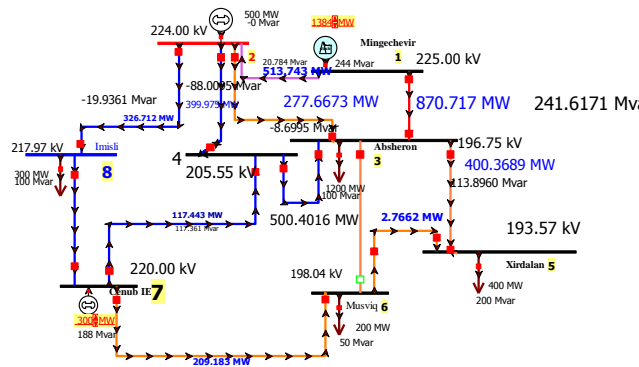


Рис. 1. Результаты расчета установившегося режима 8-узловая схема ЭЭС.

Маргинальный метод распределения потерь мощности и энергии между участниками рынка ЭЭ. Маргинальный метод заключается в использовании для разделения потерь коэффициентов чувствительности суммарных потерь к изменению генераций и нагрузок в узлах. Маргинальный метод разделения потерь [6] заключается в использовании коэффициентов чувствительности полных потерь к изменению генерации и нагрузок в узлах для разделения потерь. Этот метод заключается в использовании коэффициентов чувствительности полных потерь к изменению генерации и нагрузок в узлах для разделения потерь. Метод разделения потерь заключается в расчете коэффициентов потерь с использованием результатов расчета установившегося режима. Частные производные полных потерь  $\Delta P$  по узловым активным  $P$  и реактивным  $Q$  мощностям определяются выражением

$$\left[ \frac{\partial \Delta P}{\partial P} \frac{\partial \Delta P}{\partial Q} \right] = \left[ \frac{\partial \Delta P}{\partial \delta} \frac{\partial \Delta P}{\partial U} \right] (J^T)^{-1} \quad (18)$$

где  $J$  - матрица Якоби.

Моделирование задачи оптимизации оптового рынка. Получена коммерческая стоимость ЭЭ в виде

$$S = 2 \cdot 10^{-7} \cdot P_{\Sigma}^2 - 5 \cdot 10^{-4} \cdot P_{\Sigma} + 6.11$$

На рисунке 2 представлены результаты коммерческой модели ЭЭС Азербайджана от уровня выработки ЭЭ. Здесь тариф на закупку ЭЭ оптовым рынком; тариф на продажу ЭЭ на оптовом рынке. Если в результате оптимизации текущего режима -  $S$  цена то энергосистема продает энергию на оптовый рынок и получает прибыль. Если торговая цена ЭЭ в энергосистеме находится зоне между минимальными и максимальными значениями покупать и продавать электроэнергию для ЭЭС невыгодно.

В процессе эксплуатации ЭЭС имеется возможность оценивать и постоянно сравнивать стоимость 1 МВт·ч ЭЭ в энергосистеме. Полученная информация позволяет выработать общую стратегию поведения на оптовом рынке в различных ситуациях. На основании информации о тарифе на электроэнергию на оптовом рынке и коммерческой цене ЭЭ в энергосистеме персонал имеет возможность объективно оценить ситуацию и принять обоснованное решение.

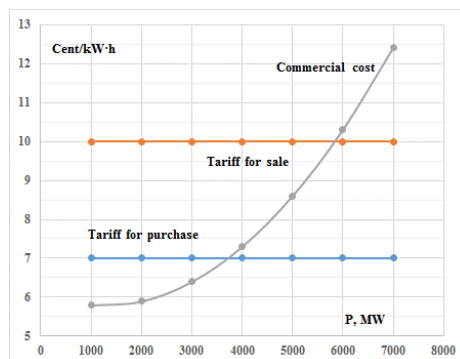


Рис. 2. Коммерческая ценность ЭЭ в ЭЭС

**Выводы.** Адресность потокораспределения в электрической сети актуальна в электроэнергетике и связана с торговлей электрической энергией.

Решение задачи адресности реактивной мощности позволяет проследить пути передачи ЭЭ от генераторов: проанализировать эффективность использования существующих в системе и установки дополнительных компенсирующих устройств.

Разработаны алгоритмы и программное обеспечение для решения задачи адресного распределения потоков и потерь активной мощности.

Проведен сравнительный анализ адресного распределения потоков активной мощности: с использованием матричных методов и метода декомпозиции, на основе Z-матрицы и с использованием маргинального метода. Сравнение показывает, что только метод адресации с учетом потерь обеспечивает справедливое распределение потерь в электрической сети между генераторами.

Получена финансово-технологическая модель Азербайджанской энергосистемы, позволяющая оценить себестоимость ЭЭ в зависимости от уровня производства, что может быть использовано для определения эффективных значений экспорта ЭЭ.

## Литература

1. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д.. Адресное распределение потоков мощности в электроэнергетических системах Нацеливание потоков мощности в энергосистемах «ELM», Баку – 2020. -324 стр.
2. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Исаева Т.М., Искендеров Ф.Г. Об адресном распределении мощности в электрических сетях//Программные продукты и системы № 1 (113), (Москва, Россия) 2016 г. С. 126-133.
3. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д. Об отслеживании путей передачи электроэнергии в энергосистемах // Проблемы энергетики. 2011. № 4. С. 10-17.
4. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Исаева Т.М. Повышение эффективности электроэнергетической системы путем применения быстродействующего статического компенсатора реактивной мощности. 10-я Международная конференция «Технические и физические проблемы электротехники» (ИСТРЕ-2014), Баку, Азербайджан, 7-8 сентября 2014 г., стр. 121-125.
5. Balametov A.B., Halilov E.D., Salimova A.K., Iskenderov F.G. Algorithms and matlab based program for modeling the nodal electricity prices. Issue42-Vol12-No1-Mar 2020-pp 20-24.pdf International Journal "Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE). IJTPE - Issue 42, Volume 12, Number 1, March 2020 (Serial Number: 0042-1201-0320).
6. Гамм А.З., Голуб И.И., Русина А.Г., Филиппова Т.А. Целевое распределение потоков для предприятий электроэнергетики. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016.-284 с.
7. Ramazanov K.N., Aliyeva K.I., Salimova A.K. Impact of consumption management to consumers electricity indicator. Electrical and Electronics Engineering, "International conference on electrical and electronics engineering" 2009. ELECO 2009, p 452-456.
8. Baalke J. "Topological Generation and Load Factors for Surcharge Allocation in Open Access Transmission", I NEM Transaction on Power Systems. - 1997. - Vol. 12, issue. 3. – pp. 1185-1193.
9. Wu F. F., Ni Y. X., Wei P. "Open Access Transmission Power Allocation Using Graph Theory - Fundamentals and Applications in Loop-Free Systems," IEEE Trans. Power Syst., -2000. v. 15, no. 3, - pp. 923–929.
10. Kirschen D. "Contribution of Individual Generators to Loads and Flows", D. Kirschen, R. Allan, G. Strabak I IEEE Transactions on Power Systems. - 1997. - Vol. 12, issue. L, p.p. 52-60.

## Xülasə.

### TOPTAN ELEKTRİK BAZARI VƏZİFƏLƏRİNİN MODELƏŞDİRİLMƏSİ ÜÇÜN AXINLARIN VƏ İTKİLƏRİN ÜNVANLI PAYLANMASI METODLARI

*Balamətov A.B., Ağaxanova K.A., İsgəndərov F.Ğ., Balamətov E.A.*

EE bazarı aşağıdakı xüsusiyyətlərlə xarakterizə olunur: müəyyən bir istehlakçı üçün EE istehsalçısını, istehlakçını hansı generatorlarla təmin etdiyini, generatorlardan müxtəlif elektrik xətləri ilə ötürülən güc miqdarını, müəyyən bir generatorun yükü EE (EE) ötürülməsi səbəbindən güc itkisini təyin etmək mümkün deyil. EE axınının izlənməsi, generatorları fərdi istehlakçılarla birləşdirən marşrutlar qurmağa imkan verir.

**Açar sözlər:** enerji sistemi, EE bazarı, axın paylanması, güc itkisi, ünvan paylama metodları, matris, parçalanma, marjinal, Z-matrislər.

## Summary

### METHODS OF TARGETED DISTRIBUTION OF FLOWS AND LOSSES FOR WHOLESAL MARKET MODELING

*Balametov A.B., Agakhanova K.A., Isgenderov F.G., Balametov E.A.*

The EEmarket is characterized by the following features: it is impossible to determine the EE manufacturer for a given consumer, which generators supply the consumer, the amount of power that is transmitted via various power transmission lines from generators, and power losses due to the transmission of EE (EE) from a particular generator to the load. EE flow tracking allows us to establish routes connecting generators to individual consumers.

**Keywords:** energy system, EE market, flow distribution, power losses, addressable distribution methods, matrix, decomposition, marginal, Z-matrices.

## ELEKTRİK ENERJİSİ İTKİLƏRİ VƏ ONLARIN HESABLANMASI ÜSULLARI

**Məmmədov Rza Elxan oğlu**

*Azərbaycan Dövlət Aqrar Universiteti, Gəncə, Azərbaycan*

[rzamemmedov3777@gmail.com](mailto:rzamemmedov3777@gmail.com)

**Xülasə.** Enerji təchizatı sistemlərinin səmərəliliyinin artırılması müasir enerjetikanın mühüm vəzifəsidir. Bu, elektrik enerjisi təchizatının etibarlılığı, elektrik enerjisindən səmərəli istifadə və keyfiyyətinin yüksəldilməsi problemləri ilə sıx bağlıdır. Elektrik şəbəkələrində elektrik enerjisi itkilərini azaltmaq üçün tədbirlər kompleksi də böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Məlumdur ki, elektrik enerjisi itkiləri naqilin gücü, en kəsiyi və uzunluğu, xətt üzrə 10/0,4 kV transformator yarımstansiyalarının sayı və s. kimi dəyərlərdən asılıdır. Paylayıcı şəbəkənin yüklənməsinin simulyasiya modelləşdirilməsi prosesində yerinə yetirilən hesablama nəticələrinin statistik emalı və çoxsaylı korrelyasiya-reqressiya təhlili aparılmışdır. Nəticədə 10 kV-luq şəbəkələrdə verilən elektrik enerjisinin miqdarından, VA-10 kV-lik uzunluğundan, TP 10/0,4 kV-lik sayından və ya TP 10/0,4 kV-luq transformatorların quraşdırılmış gücündən asılı olaraq təyin edilməsi üçün reqressiya tənlikləri alınmışdır.

**Açar sözlər:** enerji təchizatı, transformator yarımstansiyaları, hava xətləri, transformatorlar, elektrik itkiləri.

Elektrik təchizatının etibarlılığının yüksəldilməsi elektrik enerjisi itkilərinin azalmasına müsbət təsir edir, çünki naqillərin en kəsiyinin artırılması etibarlılığın yüksəlməsinə səbəb olur, nəticədə elektrik enerjisi itkiləri azalır.

10 kV-luq elektrik şəbəkələri cərəyan ayırıcı nöqtələri malik olduğundan ATV-sı məntəqələrini cərəyan ayırıcının hesabat nöqtəsində yerləşdirirlər, bunun nəticəsində elektrik enerjisinin minimal itkiləri təmin olunur. Qəza rejimlərində xətlərin bir hissəsini işdən çıxartdıqda və qalan iş rejimində olan hissəsinə başqa tərəfdən qida verdikdə yük itkilərinin artması müşahidə edilir, buna səbəb yük cərəyanının və elektrik xəttinin uzunluğunun artmasıdır [1].

Kənd rayonlarının elektrik təchizatı sistemlərinin inkişafı konsepsiyası əsasında təklif edilmişdir ki, 10 kV-luq şəbəkələrin etibarlılığının yüksəldilməsi üçün kompleks təşkilatı-texniki tədbirlərin içərisində 10 kV-luq xətlərin 35 kV-luq asma izolyatorlu xətlərlə əvəz edilməsi təklif olunur. Baxmayaraq ki, bu tədbirlərin həyata keçirilməsinə çox xərc tələb olunur, lakin uzun müddətdən sonra bu tədbirlər özünü doğruldacaqdır.

Ən rəşional məsələlərdən biri açıq izolyasiyalı 10...20 kV-luq xətlərin politlen izolyasiyalı naqillərlə CИП-lərlə əvəz edilməsidir, bu halda müasir birləşdirici elementlərdən istifadə edildiyindən həm sızma cərəyanları, həm də birləşmə yerlərində keçid müqavimətləri xeyli dərəcədə azalır.

Eyni zamanda 10 kV-luq paylayıcı şəbəkələrin magistral prinsipi ilə quraşdırılmasına keçmək təklif olunmuşdur. Bu halda naqillərin en kəsiyi magistral xətt üzrə 70 mm<sup>2</sup> -dən (alüminium) az olmamalı və xəttin bütün uzunluğu boyunca eyni olmalıdır.

Bu da elektrik təchizatının etibarlılığının yüksəlməsinə, istismarın rahatlığına və eyni zamanda elektrik itkilərinin azalmasına səbəb olacaqdır.

Dəyişən itkilərin real qiyməti şəbəkə hissəsinin müqavimətinin və cərəyanın dəqiq təyin edilməsindən asılıdır, bundan əvvəl qeyd olunduğu kimi cərəyan elektrik şəbəkəsinin elementlərindən keçərkən onların qızmasına səbəb olur. Bu zaman naqilin müqaviməti dəyişir, bu da öz növbəsində ətraf mühitin temperaturundan və başqa faktorlardan asılı olaraq əlavə itkilərin yaranmasına səbəb olur. Eyni zamanda naqilin müqaviməti təbii köhnəlməsindən də asılıdır, bu da kənd təsərrüfatı təyinatlı 10 kV-luq paylayıcı şəbəkələrə çox aiddir, çünki bu şəbəkələr çoxdan inşa olunmuş və bəzən də aşağı keyfiyyətli elektrotexniki materiallardan istifadə edilmişdir [2].

Aşağı gərginlikli şəbəkədə yüklərin qeyri-simmetriyası yüksək gərginlikli şəbəkəyə də keçə bilər, nəticədə fazalar da yüklər qeyri-bərabər paylanmış olur və elektrik enerji itkiləri artır.

Qeyri-simmetrikliliyi aradan qaldırmaq üçün yüklərin ən böyük olma periodunda (saat 17-dən 23 qədər ) baş sahədə cərəyanların hər fazada ölçüsünü aparılmalı və bunun əsasında fazaların bərabər yüklənməsini həyata keçirmək lazımdır [2].

Simmetrikləşmənin o halda yerinə yetirmək olar ki, baş sahədə sıfır xəttində cərəyanın orta qiyməti 15 A-dən çox olur.

Şəbəkənin hissələrində cərəyanları təyin etmək müəyyən çətinliklərlə əlaqədardır, çünki paylayıcı şəbəkələr çox böyük uzunluqluğa və çox sayda qollara ayrılması ilə fərqlənir. Belə şəbəkələrdə təkcə başlanğıc sahədəki elektrik enerjisi məlum olur, buna görə cərəyanların təyində TY 10/0,4 kV-nın qoyuluş gücünə görə yükün proporsional paylanması metodu tətbiq edilir.

Dəyişən itkiləri təyin etmək üçün bir neçə üsullar vardır [3]. Bunların içərisindən ən optimalının seçimi 10 kV gərginlikli paylayıcı şəbəkə haqqında ilkin məlumatın həcmindən və dəqiqliyindən asılıdır. Bütün məlumatları şərti olaraq iki yerə bölürlər: determinləşmiş və stoxastik.

Determinləşmiş məlumat dedikdə bir mənalı verilmiş məlumatlar başa düşülür (uzunluq, elektrik ötürücü xətlərin sayı, transformatorların sayı və s.).

Stoxastik məlumatlar şəbəkənin qeyri-xətti iş rejimi zamanı əmələ gəlir. Bu halda müxtəlif formalardan asılı olaraq, şəbəkənin elementlərində gərginlik və yük dəyişir.

Elektrik enerjisinin texniki itkiləri üç əsas qrupa bölünür: yük (dəyişən), yüksüz işləmə (sabit), klimatik. Yük itkiləri şəbəkədə cərəyanın dəyişməsilə xarakterizə olunur, yüksüz işləmə itkiləri transformatorların dolaqlarında yük olmadıqda transformatorun maqnit keçiricisində yaranır. Hava xətlərinin izolyatorlarında elektrik enerjisinin tac boşalmasına sərfindən və sızma cərəyanlarından əmələ gəlir.

Kənd paylayıcı elektrik şəbəkələrində yaranan texniki itkilərin səviyyəsi əsasən yüklü (dəyişən) və yüksüz işləmə (sabit) itkilərindən asılıdır. Buna görə bu itkilərin dəqiq hesabı texniki itkilərin aşağı salınmasında böyük əhəmiyyətə malikdir.

Elektrik stansiyalarında istehsal olunan elektrik enerjisi ötürülmə prosesində bir neçə dəfə transformatorlarda transformasiya olunur, hava və ya kabel xətləri vasitəsilə tələbedicilərə paylanır.

Elektrik xətləri, transformatorlar və digər elektrik qurğuları aktiv müqavimətə malik olduğundan bunlardan cərəyan keçərkən cərəyan daşıyıcı hissələr qızır, əlavə elektrik enerjisi sərfi yaranır.

Elektrik enerjisinin hesabatının təkmilləşdirilməsi tədbirləri əlavə xərclərsiz və əlavə xərclərin köməyi ilə həyata keçirilə bilər. Hal-hazırda bu tədbirlərin aparılması çox aktual olub mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Çünki, elektrik enerjisinin hesabatını aparan ölçü kompleks vasitələrin dəqiqlik sinfinin artırılması (cərəyan və gərginlik transformatorları, elektrik enerji sayğacları və s.) vasitəsilə hesablanmayan elektrik enerjisini azaltmaq olar, nəticədə elektrik enerjisi itkilərinin komersiya mürəkkəbəsini azaltmaq mümkün olur [4].

Nəzərə almaq lazımdır ki, Respublikamızda elektroenergetika sahəsində yeni islahatlar aparılır, elektrik enerjisi satanlarla alıcılar arasında bazar əlaqələri yaranır, buna görə buraxılan və qəbul olunan elektrik enerjisinin dəqiq hesablanması mühüm məsələlərdən biri sayılır. Bununla əlaqədar komersiya və texniki itkilərin hesabatını dəqiq aparmaq üçün yeni avtomatlaşdırılmış sistemlər tətbiq olunmağa başlanmışdır.

Nəticədə bu enerjini ödəmək üçün əlavə elektrik enerjisi istehsal olunur və yanacaq sərfi artır. Elektrik təchizatı mənbəyindən tələbedicilərə qədər elektrik enerjisi ötürülərkən elektrik enerjisinin texnoloji sərfi elektrik enerjisinin texniki itkiləri adlanır. Elektrik şəbəkələrində texniki itkilərdən əlavə elektrik enerjisinin oğurlanmasından, onun hesablama sisteminin qeyri-mükəmməliyində və s. yaranan kommersiya itkiləri də mövcuddur.

## **Ədəbiyyat**

1. Orucov Y.B. Elektrik maşınları, I hissə. Dərslük Y.B.Orucov, S.M.Gözəlov, Q.İ.Abbasov, N.C.Ələkbərova-Gəncə 2014-269 s.
2. Orucov Y.B. Elektrik maşınları (Asinxron maşınlar), Dərs vəsaiti/ Y.B. Orucov, S.M.Gözəlov, Q.İ.Abbasov, N.C.Ələkbərova - Gəncə, ADAU 2010-143 s.
3. Orucov Y.B. Elektrik maşınları (Transformatorlar), Dərs vəsaiti/ Y.B. Orucov, S.M.Gözəlov, Q.İ.Abbasov, N.C.Ələkbərova - Gəncə, ADAU 2014-106 s.
4. Transformator yarımstansiyalarında işləyən transformatorlardan birinin işdən açılmasının elektrik enerjisi itkilərinə təsiri. ADAU-nun Elmi Əsərləri. (Əlavə 5-Gənc tədqiqatların tribunası) Gəncə-2015.

## **Summary** **ELECTRICITY LOSSES AND METHODS OF THEIR CALCULATION** *Mammadov R.E.*

Increasing the efficiency of power supply systems is an important task of modern power engineering. It is closely related to the problems of power supply reliability, rational use of electric energy and improving its quality. A set of measures to reduce electrical energy losses in electrical networks is also of great importance. It is known that electrical energy losses depend on such

quantities as power, cross-section and length of the wire, the number of 10/0.4 kV transformer substations on the line, etc. Statistical processing and multiple correlation-regression analysis of the calculation results performed in the process of simulation modeling of distribution network loading were carried out. As a result, regression equations were obtained for determining in 10 kV networks, depending on the amount of supplied electricity, the length of VA-10 kV, the number of 10/0.4 kV transformer substations or the installed capacity of 10/0.4 kV transformers.

**Key words:** *power supply, transformer substations, overhead lines, transformers, electrical losses.*

## Резюме ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МЕТОДЫ ИХ РАСЧЕТА

*Мамедов Р.Э.*

Повышение экономичности систем электроснабжения - важная задача современной энергетики. С ней тесно связаны проблемы надежности электроснабжения, рационального использования электрической энергии и повышения её качества. Большое значение также имеет комплекс мероприятий по снижению потерь электрической энергии в электрических сетях.

Известно что потери электрической энергии зависят от таких величин, как мощность, сечение и длина провода, количество ТП 10/0,4 кВ на линии и т.д. Проведены статистическая обработка и множественной корреляционно-регрессионный анализ результатов расчётов, выполненных в процессе имитационного моделирования загрузки распределительных сетей.. В итоге получены уравнений регрессий для определения в сетях напряжением 10 кВ, зависящих от количества отпущенной электроэнергии, протяжённости ВА-10 кВ, количество ТП 10/0,4 кВ или установленной мощности трансформаторов ТП 10/0,4кВ.

**Ключевые слова:** *электроснабжение, трансформаторные подстанции, воздушные линии, трансформаторы, электрические потери.*

## ENERGETIKANIN İQTİSADİYYATI VƏ İNKİŞAF TENDENSİYALRI

**Şöyübov Məhəmməd**

*Mingəçevir Dövlət Universiteti, Mingəçevir, Azərbaycan*

[mahammad.shoyubov@mdu.edu.az](mailto:mahammad.shoyubov@mdu.edu.az)

**Xülasə.** Energetikanın iqtisadiyyatı enerji ehtiyatlarının həyat dövrünün bütün mərhələlərini - istehsal və emaldan paylama və istehlaka qədər əhatə edən qlobal iqtisadiyyatın ən vacib komponentidir. Enerji sektoru davamlı iqtisadi artımın, sosial sabitliyin və ölkələrin inkişafının təmin edilməsində əsas rol oynayır. Son onilliklərdə qlobal enerji tələbatının artması müşahidə olunur ki, bu da əhəlinin artması, urbanizasiyanın sürətlənməsi və inkişaf etməkdə olan ölkələrin enerji ehtiyatlarına ehtiyacının artması ilə əlaqədardır.

Enerji inkişafının vacib sahələri günəş və külək enerjisi kimi bərpa olunan enerji mənbələrinə keçid və rəqəmsallaşma və avtomatlaşdırma kimi yeni texnologiyaların tətbiqidir. Avropa Birliyi və Çin də daxil olmaqla bir çox ölkə, karbon emissiyalarını azaltmaq və karbon neytrallığına nail olmaq üçün "yaşıl" enerjiyə fəal şəkildə investisiya qoyur. Bununla yanaşı, kömür, neft və qaz kimi ənənəvi enerji mənbələri qlobal enerji istehlakında üstünlük təşkil edir və daha ekoloji cəhətdən təmiz enerji formalarına keçmək üçün çətinliklər yaradır.

**Açar sözlər:** Energetikanın iqtisadiyyatı, bərpa olunan enerji, karbon emissiyaları, rəqəmsallaşma, enerji keçidi.

Enerji, demək olar ki, bütün sahələrin fəaliyyət göstərməsi üçün əsas olan hər hansı bir ölkənin iqtisadiyyatında əsas yer tutur. Neft, qaz, kömür və bərpa olunan enerji mənbələri də daxil olmaqla enerji mənbələrinə tələbat daim artır və enerji sektorunu yalnız strateji cəhətdən vacib deyil, həm də iqtisadi inkişafa təsir edən əsas amillərdən biri halına gətirir. Qloballaşma və texnoloji dəyişikliklərlə enerji iqtisadiyyatı karbon emissiyalarının azaldılması, daha davamlı və ekoloji cəhətdən təmiz enerji mənbələrinə keçid və enerji təhlükəsizliyinin təmin edilməsi kimi yeni problemlərlə üzləşir.

Ətraf mühitə təsiri azaltmaq üçün artan tələblərlə yanaşı, enerji sektoru təbii ehtiyatların hasilatı və ixracından asılı olan ölkələr üçün mühüm gəlir mənbəyi olmağa davam edir. Enerji infrastrukturunun əhəmiyyəti, enerji texnologiyasındakı yeniliklər və bərpa olunan enerjinin inkişafına qoyulan investisiyalar enerji sistemlərinin iqtisadi sabitliyini və davamlılığını müəyyənləşdirir [2, s. 50]. Bu məqalədə enerji iqtisadiyyatının hazırkı vəziyyəti, onun əsas tendensiyaları və inkişaf perspektivləri, habelə qlobal iqtisadi amillərin enerji bazarlarına təsiri müzakirə olunur.

Enerji iqtisadiyyatının inkişafını təyin edən əsas tendensiyalardan biri, ənənəvi karbohidrogen enerji mənbələrindən bərpa olunan enerji mənbələrinə keçiddir. Dünya ölkələri enerji balansında yaşıl enerjinin payını artırmağa çalışırlar ki, bu da əsasən iqlim dəyişikliyi ilə mübarizə və beynəlxalq ekoloji öhdəliklərin yerinə yetirilməsi zərurəti ilə əlaqədardır. Son onilliklərdə günəş, külək, hidro və biokütlə elektrik stansiyalarına davamlı investisiya artımı olmuşdur. 2022-ci ildə günəş və külək qurğularına qlobal investisiyalar 300 milyard dollardan çox olub ki, bu da əvvəlki ilə nisbətən 10% çoxdur. Bərpa olunan mənbələrə keçid təkəcə ekoloji vəziyyətin yaxşılaşdırılmasına kömək etmir, həm də enerjiyə qənaət və enerji səmərəliliyi kimi sahələrdə iş yerlərinin yaradılması və texnologiyanın inkişafı üçün yeni imkanlar açır [4, s. 82].

Bundan əlavə, müasir enerji iqtisadiyyatının vacib bir tərəfi enerji istehsalı, paylanması və istehlakı ilə əlaqəli bütün proseslərin rəqəmsallaşdırılması və avtomatlaşdırılmasıdır. "Ağıllı" şəbəkələr, süni intellekt, böyük məlumatlar və blokçeyn kimi müasir texnologiyalar enerji sənayesində fəal şəkildə tətbiq olunur və səmərəliliyini xeyli artırır. Bu yeniliklər enerji sistemlərinin işini optimallaşdırmağa, itkiləri azaltmağa və təhlükəsizlik səviyyəsini artırmağa kömək edir. Məsələn, bir sıra ölkələr enerji istehlakını və real vaxt paylanmasını proqnozlaşdırmaq üçün süni intellektə əsaslanan monitoring və idarəetmə sistemlərindən fəal şəkildə istifadə edirlər. Bu, yalnız əməliyyat xərclərini minimuma endirməyə deyil, həm də tədarükün kəsilmə ehtimalını azaldaraq daha etibarlı enerji təchizatı təmin etməyə imkan verir.

Enerji iqtisadiyyatı qlobal iqtisadi sistemin mərkəzi yerlərindən birini tutur, enerji ehtiyatlarının hasilatı və emalından tutmuş paylanmasına və son istehlakına qədər geniş fəaliyyət sahələrini əhatə edir. Bu sektor təkcə ölkələr üçün mühüm gəlir mənbəyi deyil, həm də sosial və iqtisadi sabitliyin təmin edilməsində əsas amildir. Enerji cəmiyyətin bütün sahələrinə təsir göstərir: malların istehsalı və daşınmasından tutmuş evlərin və ofislərin enerji ilə təmin edilməsinə qədər. Son onilliklərdə qlobal iqtisadiyyatda enerji sənayesinin əhəmiyyəti yalnız artdı, bu da əhalinin artması və şəhərləşmənin sürətlənməsi ilə əlaqədardır.

Qlobal enerji tələbatı artmaqda davam edir və bir neçə amil buna kömək edir. Bunlardan biri əhalinin artmasıdır. 2040-cı ilə qədər Yer kürəsinin əhalisinin təxminən 2 milyard nəfər artacağı və əlavə enerji ehtiyacları yaradacağı proqnozlaşdırılır. İkinci amil şəhərləşmə prosesinin sürətlənməsidir ki, bu da yaşayış və ticarət obyektləri, eləcə də nəqliyyat infrastrukturunu üçün enerji tələbatının artmasına səbəb olur. Şəhərləşmənin artması ilə elektrik enerjisinə tələbat da artır, çünki şəhər infrastrukturunu əhalinin həyatını təmin etmək üçün daha mürəkkəb və enerji tələb edən sistemlər tələb edir.

Beynəlxalq Enerji Agentliyinin (IEA) məlumatları göstərir ki, 2020-ci ildə qlobal enerji istehlakı təxminən 580 exacoul (1 exacoul = 1 milyard gigacoul) təşkil edib və bu istehlakın 2030-cu ilə qədər 40% artacağı proqnozlaşdırılır. Bu artım Hindistan və Çin kimi inkişaf etməkdə olan ölkələrin ehtiyaclarının artması ilə əlaqədardır ki, bu da son illərdə iqtisadi inkişafı səbəbindən enerji istehlakını xeyli artırmışdır. Məsələn, Çin və Hindistan sənaye güclərini modernləşdirməyə və əhəmiyyətli miqdarda enerji tələb edən yeni yaşayış kompleksləri qurmağa davam edirlər.

Azərbaycan həmçinin karbohidrogen ehtiyatlarının ən böyük istehsalçılarından və ixracatçılarından biri olmaqla dünya energetikasında mühüm rol oynayır. Ölkənin böyük neft və təbii qaz ehtiyatları var ki, bu da onu enerji bazarında, xüsusən də Xəzər dənizi bölgəsində mühüm oyunçu edir. Neft və Qaz Azərbaycan iqtisadiyyatı üçün əsas gəlir mənbəyidir və onun xarici ticarətinin mühüm hissəsidir. Azərbaycan neft sektoru əhəmiyyətli investisiyalar cəlb edir, həmçinin Avropanın və digər regionların enerji təhlükəsizliyi üçün strateji əhəmiyyətə malikdir.

2020-ci ildə enerji sektoru Azərbaycanın ümumi ixracının 30%-dən çoxunu və ölkənin ümumi daxili məhsulunun (ÜDM) təxminən 20%-ni təşkil etmişdir. Azərbaycan beynəlxalq bazarlara mühüm neft və qaz tədarükçüsüdür və strateji mövqeyi ona enerji resurslarının Mərkəzi Asiya və Xəzər regionundan Avropaya çatdırılması üçün əsas tranzit halqası olmağa imkan verir. Ən mühüm layihələrdən biri Azərbaycanı dünya bazarları ilə birləşdirən və Rusiya marşrutlarından asılılığı azaldan Bakı–Tbilisi–Ceyhan (BTC) neft-qaz kəməridir [7, s. 129].

Lakin digər ölkələr kimi, Azərbaycan da öz enerji portfelinin şaxələndirilməsinin zəruriliyini dərk edir və bərpa olunan enerji mənbələrini inkişaf etdirməyə çalışır. Son illərdə Azərbaycanda alternativ enerjiyə marağın artması müşahidə olunur. Ölkə günəş və külək elektrik stansiyalarının potensialını, xüsusən iqlim şəraitinin bu enerji mənbələrindən səmərəli istifadəni təşviq etdiyi Cənub və Xəzər bölgələrində fəal şəkildə araşdırır. 2021-ci ildə Azərbaycan ərazisində günəş və külək elektrik stansiyalarının tikintisi üçün beynəlxalq şirkətlərlə bir neçə iri saziş imzalanıb [3, s. 49].

Bundan başqa, Azərbaycan enerji səmərəliliyinin yaxşılaşdırılmasına və daha ekoloji təmiz texnologiyalara keçməyə çalışır. Yaşıl enerjinin inkişafı strategiyası çərçivəsində ölkə 2030-cu ilə qədər enerji balansında bərpa olunan mənbələrin payını əhəmiyyətli dərəcədə artırmaq niyyətindədir ki, bu da karbon emissiyalarını azaldacaq və iqtisadiyyatın karbohidrogen qiymətlərinin dəyişməsi ilə əlaqəli xarici şoklara qarşı müqavimətini artıracaqdır.

Azərbaycan karbohidrogen sektorundan əhəmiyyətli dərəcədə asılı olmasına baxmayaraq, bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişafı üzərində fəal işləyir ki, bu da dayanıqlı və ekoloji cəhətdən təmiz enerji gələcəyinin təmin olunması istiqamətində mühüm addımdır.

Əsas qlobal tendensiyalardan biri karbon emissiyalarının azaldılması və iqlim dəyişikliyi ilə mübarizə üçün artan tələblər səbəbindən "yaşıl" enerjiyə keçiddir. Bu tendensiyanın bir hissəsi olaraq, dünya ölkələri və şirkətləri günəş və külək elektrik stansiyaları kimi bərpa olunan enerji mənbələrini inkişaf etdirməyə və enerji səmərəliliyi texnologiyalarını tətbiq etməyə çalışırlar. Avropa Birliyi, 2050-ci ilə qədər

karbon neytrallığına nail olmaq üçün iddialı bir hədəf qoyaraq, karbon dioksid emissiyalarının minimum dəyərlərə endirilməsini nəzərdə tutan bu prosədə liderlərdən biri oldu [1, s. 118].

Bu məqsədə çatmaq çərçivəsində AI bərpa olunan enerji mənbələrini fəal şəkildə inkişaf etdirir. 2020-ci ildə AB-də bərpa olunan enerji payı 20%-dən çox idi və proqnozlar bu payın 2030-cu ilə qədər 40%-ə çata biləcəyini göstərir. AB ölkələri günəş panelləri və külək turbinlərinin quraşdırılması üçün subsidiyalar və enerjiyə qənaət edən texnologiyalara investisiyalar kimi müvafiq qanunvericilik təşəbbüslərini və maliyyə mexanizmlərini dəstəkləyərək bərpa olunan enerji mənbələrinin tətbiqinə təkan verir.

Texnologiyanın inkişafı ilə rəqəmsallaşma və avtomatlaşdırma enerjiddə vacib bir cəhətə çevrilir. Son illərdə "ağıllı" elektrik şəbəkələri, süni intellekt və böyük məlumatlar kimi texnologiyalar səmərəliliyi artırmaq üçün enerji sektorunda fəal şəkildə istifadə olunmağa başladı. "Ağıllı" şəbəkələr enerji istehlakını daha dəqiq idarə etməyə, pik yükləri proqnozlaşdırmağa və elektrik stansiyalarının işini optimallaşdırmağa imkan verir. Bu texnologiyalar, səmərəliliyi artırmaq və karbon emissiyalarını azaltmaq üçün vacib olan ötürmə və paylama zamanı enerji itkisini azaltmağa kömək edir [6, s. 103].

Texnologiyanın uğurlu tətbiqinə bir nümunə, "ağıllı" elektrik şəbəkələri və sayğacların fəal şəkildə tətbiq olunduğu ABŞ-dir. 2021-ci ilə görə, ABŞ-da 100 milyondan çox "ağıllı" saygac quraşdırılıb ki, bu da enerji istehlakını daha dəqiq izləməyə və tələbdəki dəyişikliklərə tez cavab verməyə imkan verir [5, s. 63]. Bu cür sistemlər enerji təchizatının etibarlılığını və sabitliyini yaxşılaşdırmağa, həmçinin elektrik stansiyalarının işini optimallaşdırmağa kömək edir.

Yenilənə bilən mənbələrin populyarlığının artmasına baxmayaraq, kömür, qaz və neft kimi ənənəvi enerji növləri qlobal enerji istehlakının əsas hissəsini təşkil etməyə davam edir. IEA-ya görə, kömür 2020-ci ildə qlobal enerji istehlakının təxminən 36%-ni, neft və qaz isə təxminən 55%-ni təşkil edirdi. Bu enerji mənbələri, xüsusən də elektrik enerjisi və istilik istehsalı üçün kömürdən çox istifadə edən ABŞ, Çin və Hindistan kimi ölkələr üçün enerji təhlükəsizliyinin təmin edilməsində əsas rol oynayır.

Karbon emissiyalarını azaltmaq üçün artan beynəlxalq tələblərə baxmayaraq, kömür və neft ucuzluğu və mövcudluğu səbəbindən bir çox ölkə üçün vacib olaraq qalır. Kömür istehsalının və istifadəsinin əhəmiyyətli olduğu Çin və Hindistan kimi ölkələrdə bərpa olunan enerjiyə keçid yavaşdır, bu da enerji təhlükəsizliyi və iqtisadi böyümənin sabitliyini təmin etmək ehtiyacı ilə əlaqədardır.

Sonda deyə bilərik ki, enerji iqtisadiyyatı dünya iqtisadiyyatının ən vacib komponentlərindən biri olaraq qalır. Enerji sektorunun gələcəyi ənənəvi enerji növlərinin istifadəsini bərpa olunan mənbələrin inkişafı və yeni texnologiyaların tətbiqi ilə birləşdirməyin nə qədər uğurlu olacağından asılı olacaq. Bunun üçün ölkələr həm daxili enerji ehtiyaclarını, həm də beynəlxalq ekoloji sazişlərin tələblərini nəzərə almalıdırlar. Enerji inkişafını təyin edəcək ən vacib amillər yeniliklərə investisiya qoymaq, infrastrukturunu yaxşılaşdırmaq və gələcək nəsillərin ehtiyaclarını ödəyə biləcək davamlı enerji sistemlərinə keçməkdir.

## **Ədəbiyyat**

1. Гулиев И.А. "Государственное антикризисное управление в нефтяной отрасли: проблемы и решения". Экономический журнал, 2021, т. 30, № 2, с. 112-125.
2. Григорьев Л.М. "Энергетический переход и его влияние на глобальную экономику". Вестник экономики, 2022, т. 58, № 4, с. 45-60.
3. Мамедов Т. Р. "Развитие возобновляемых источников энергии в Азербайджане: достижения и перспективы". Азербайджанский журнал энергетики, 2024, т. 12, № 3, с. 45-58.
4. Михайлов А.Ю. "Возобновляемые источники энергии: экономический потенциал и перспективы развития". Энергетическая экономика, 2023, т. 15, № 1, с. 78-89.
5. Brown T., et al. "The Impact of Energy Transition on National Economies". Journal of Sustainable Energy, 2023, vol. 8, no. 1, pp. 56-70.
6. Johnson M., & Wang L. "Global Energy Markets and Sustainability". International Journal of Energy Studies, 2021, vol. 10, no. 2, pp. 98-110.
7. Smith J. "Renewable Energy Economics: Trends and Challenges". Energy Economics Review, 2022, vol. 45, no. 3, pp. 123-135.

## **Summary ENERGY ECONOMICS AND DEVELOPMENT TRENDS Shoyubov M.**

The energy economy is the most important component of the global economy, covering all stages of the life cycle of energy resources - from production and processing to distribution and consumption. The energy sector plays a key role in ensuring sustainable economic growth, social stability and the development of countries. In recent decades, there has been an increase in

global energy demand, which is associated with an increase in population, acceleration of urbanization and an increase in the need for energy resources of developing countries.

Important areas of energy development are the transition to renewable energy sources such as solar and wind energy and the introduction of new technologies such as digitalization and automation. Many countries, including the European Union and China, are actively investing in "green" energy to reduce carbon emissions and achieve carbon neutrality. However, traditional energy sources such as coal, oil and gas dominate global energy consumption, creating challenges for the transition to more environmentally friendly forms of energy.

**Keywords:** Energy economics, renewable energy sources, carbon emissions, digitalization, energy transition.

**Резюме**  
**ЭКОНОМИКА ЭНЕРГЕТИКИ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ**  
*Шюбов М.*

Экономика энергетики представляет собой важнейшую составляющую глобальной экономики, охватывающую все этапы жизненного цикла энергоресурсов - от добычи и переработки до распределения и потребления. Энергетический сектор играет ключевую роль в обеспечении устойчивого экономического роста, социальной стабильности и развития стран. В последние десятилетия наблюдается рост мирового спроса на энергию, что связано с увеличением численности населения, ускорением урбанизации и ростом потребности развивающихся стран в энергоресурсах.

Важными направлениями развития энергетики являются переход на возобновляемые источники энергии, такие как солнечная и ветровая энергия, и внедрение новых технологий, таких как цифровизация и автоматизация. Множество стран, в том числе Европейский Союз и Китай, активно инвестируют в «зеленую» энергетику, стремясь сократить углеродные выбросы и достичь углеродной нейтральности. Вместе с этим традиционные источники энергии, такие как уголь, нефть и газ, остаются доминирующими в мировом энергопотреблении, что создаёт вызовы для перехода на более экологически чистые формы энергии.

**Ключевые слова:** Экономика энергетики, возобновляемые источники энергии, углеродные выбросы, цифровизация, энергетический переход.

**CONTROL OF ACTIVE POWER FLOWS IN HETEROGENEOUS NETWORKS USING  
PHASE-SHIFT TRANSFORMERS**

**Balametov Eldar Elchin**  
*“AZERCONNECT” LLC, Baku, Azerbaijan*  
[balametov\\_eldar@mail.ru](mailto:balametov_eldar@mail.ru)

**Summary.** This article examines the use of phase-shifting devices—a specialized transformer modification used to control the power of three-phase electrical networks. Phase-shifting devices consist of two transformers at the beginning of the line: an adjustable transformer, connected parallel to the line, and a series transformer, the secondary winding of which is connected in series with the line. Due to the winding connection scheme, the voltage vector on the series winding is directed at an angle of 90 electrical degrees sliding to the phase voltage of the network. By varying the voltage on the series winding using an adjustable transformer, it is possible to rotate the total voltage vector at the beginning of the network and control the angle between the voltages at the beginning and end of the line, altering the power flow transmitted through it. An example is given illustrating the regulation of the distribution of active power flow between parallel lines using a phase-shifting transformer.

**Keywords:** closed electrical networks, heterogeneity, f Nitrogen-reversible transformers, increased throughput, reduced power losses.

In AC networks, the active power flows in the lines are proportional to the sine of the phase shift angle between the voltage vectors of the electrical energy source located at the beginning of the line and the electrical energy receiver located at the end of the line. A phase-shifting transformer is a specially designed transformer and is designed to directly control the flows of both active and [reactive power](#). In three-phase AC networks, it is designed to control the phase angle of voltage in three-phase electrical networks. The advantage of a phase-shifting transformer is that it can relieve the most loaded line by redistributing power flows in an optimal manner [1-3].

A phase-shifting transformer consists of two separate transformers: a series transformer and a parallel transformer. The parallel transformer has a primary winding configured as a delta, which is necessary for organizing a three-phase voltage system with a 90-degree shift in relation to the phase voltages, and a secondary winding, which can be implemented as isolated phases with a grounded center tap block. The phase-shifting transformer circuit The design of a step-up transformer is shown in Fig. 1.

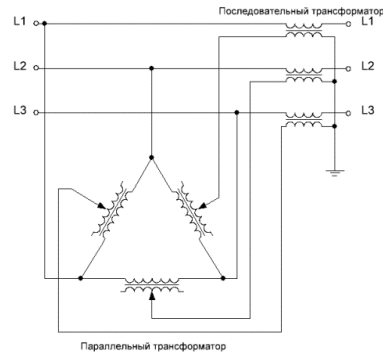
The phases of the secondary winding of the parallel transformer are connected through the output of the tap switch to the primary winding of the series transformer, which is usually implemented in a star configuration with a grounded neutral.

The secondary winding of a series transformer, in turn, is made in the form of three isolated phases, each connected in series to the cross-section of the corresponding line wire, related in phase so that a component shifted in phase by 90 degrees is added to the source voltage vector.

Thus, at the output of the line, the voltage obtained is equal to the sum of the vectors of the power source voltages and the additional vector of the quadrature component introduced by the phase-shifting transformer, that is, as a result, the phase changes.

In the UK, phase-shifting transformers began to be used as early as 1969, in France they have been installed since 1998, in the Netherlands and Germany they began to be implemented in 2002, and in Belgium and Kazakhstan in 2009.

The experience of these countries shows that the use of phase-shifting transformers allows for the efficient management of energy flows between different regions and networks, ensuring a balance between supply and demand, and increasing the resilience of the power system to external and internal disturbances.



*Fig. 1. Phase-shifting step-up transformer*

Global experience with phase-shifting transformers in the aforementioned countries clearly demonstrates the increased efficiency of electrical grids thanks to energy flow management using phase-shifting transformers for optimal distribution. This opens up opportunities for energy companies to improve power supply quality and reduce operating costs.

This article examines the use of phase-shifting devices—a specialized transformer modification used to monitor the power of three-phase electrical networks. Phase-shifting devices consist of two transformers at the beginning of the line (at the power source): an adjustable transformer, connected parallel to the line, and a series transformer, the secondary winding of which is connected in series with the line. Due to the winding connection scheme, the voltage vector on the series winding is directed at an angle of 90 electrical degrees sliding to the phase voltage of the network. By varying the voltage on the series winding using the adjustable transformer, it is possible to rotate the total voltage vector at the beginning of the network and control the angle between the voltages at the beginning and end of the line, altering the power flow transmitted through it.

The phase shifter affects the  $\delta$  angle and, consequently, the change in power delivered to the line. The simplest phase shifter circuit consists of two transformers: parallel T1 and series T2, which create an additional voltage vector on the line directed perpendicular to vector  $U_1$ , which will lead to a change in the  $\delta_1, \delta_2$  angles and the line current from  $I_{L1}$  to  $I_{L2}$ .

The application of phase-shifting transformers in global practice is discussed. These functions include: targeted redistribution of power flows in complex closed electrical networks; increasing the capacity of individual power system sections; limiting overloads on transmission lines shunted by higher-voltage transmission lines; reducing active power transport losses; and improving the static and dynamic stability of the power system.

Voltage regulation in high-voltage networks (HVL) is an effective means of improving the efficiency of the electric power system. Typically, 500-1150 kV transmission lines operate in parallel with 220-330 kV overhead lines in closed-loop circuits. In this case, the overhead lines have different active and reactive resistances ( $X_i/R_i$  ratios). This leads to network heterogeneity, suboptimal power flow in these circuits, and increased losses. The impact of heterogeneity can be so significant that measures must be taken to improve the operating conditions of such networks.

A non-uniform closed network consisting of two parallel lines with resistances  $Z_1=R_1+jX_1$  and  $Z_2=R_2+jX_2$ ;  $\xi_1=X_1/R_1 > \xi_2=X_2/R_2$ , can be considered as an indicator of non-uniformity in closed electrical networks.

The power transmitted by a high-voltage AC transmission line depends on the voltages at the nodes, the angle of the voltage vector shift, and the total reactive impedance of the line [1]:

$$P_{ij} = \frac{U_i \cdot U_{ji}}{X_{ij}} \sin \delta \quad (1)$$

$$Q_{ij} = \frac{U_j \cdot (U_j - U_i \cdot \cos \delta)}{X_{ij}} \quad (2)$$

Here  $P_{ij}$  and  $Q_{ij}$  are the active and reactive powers transmitted through the power transmission line;  $U_i$ ;  $U_j$  are the voltages at the ends of the line;  $\delta$  is the shift angle between the voltage vectors;  $X_{ij}$  is the inductive reactance of the line.

It should be noted that for lines rated at 110 kV and below, the throughput capacity is determined based on permissible heating conditions. For lines rated at 500–1150 kV, the throughput capacity is determined primarily based on stability conditions. For lines rated at 220–330 kV, the throughput capacity depends on both sensitivity and heating conditions.

The throughput under heating conditions is determined by the following formula:

$$P = \sqrt{3} I_{per} U \sin \delta_{max} \quad (3)$$

where  $U$  is the line voltage;  $I$  is the current that can be released as a result of heating

$$I_{per} = \frac{S_{per}}{\sqrt{3}U} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3}U} \quad (4)$$

where  $U$  is the line voltage;  $I_{b.b.}$  is the power factor that can be released due to heating;  $\cos \phi$  is the power factor.

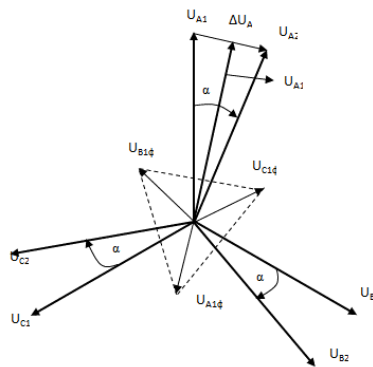
It should be noted that existing means of increasing transmitted power only allow for the regulation of voltage moduli, for example,  $U_i$  at the power plant, and  $U_j$  using a reactive power compensator. In addition to an alternative approach implemented at the design stage to solve the problem, namely, constructing a new transmission line, implementing compensation devices, and increasing the line conductor cross-section, another possible approach is the use of frequency-controlled alternating current transmission line technologies (FACTS) [2–4].

One way to increase the active power transmitted through power lines is to stabilize the voltage between them. A phase-shifting transformer (PST) is a device that changes the angle between the voltage phases at the beginning and end of the line.

The FPT function can be implemented using one of the most modern FACTS devices. Thus, by adding a voltage  $\Delta U_k$ , whose angle varies from 0 to 360° relative to voltage  $U_1$ , we obtain a universal regulator.

In the literature, such a regulator is called a universal power regulator (UPR). If the  $\Delta U_k$  vector forms a 90° angle with the  $U_1$  vector, then the UPR implements the UPR operation.

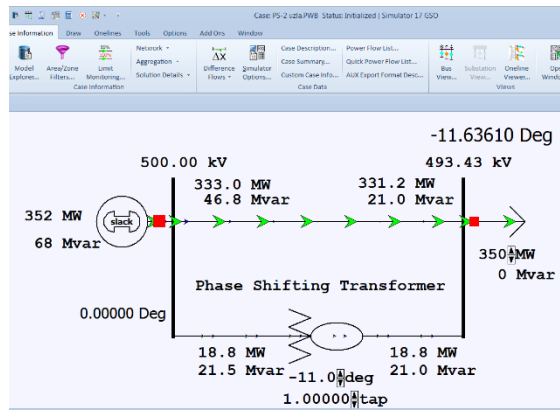
The vector diagram of stresses is presented device phase-shifting transformer Fig. 2.



**Fig. 2.** Vector diagram of phase-shifting transformer voltages.

The use of thyristor or triac switches as power elements allows setting the required rate of change of the applied voltage in the load circuit and creating initial conditions when the load is turned on.

Let us consider an example illustrating the possibilities of regulating the distribution of active power flow between parallel lines using a phase shifter.[1-3](Fig. 3).



**Fig. 3.** Distribution of active power flows between parallel lines

Let  $U_1 = U_2 = 500 \text{ kV}$ ;  $X_1 = X_2 = 150 \text{ Ohm}$ ,  $P = P_1 + P_2 = 350 \text{ MW}$ .

We determine the angle of the URM in such a way that the following condition is met:

The capacity in the 1st line should be  $P_1 = 0.75 \cdot P = 0.75 \cdot 350 = 262.5 \text{ MW}$ ;

The capacity in the 2nd line should be  $P_2 = 0.25 \cdot P = 0.25 \cdot 350 = 87.5 \text{ MW}$ .

The POWER WORD program was used for modeling (Figure 1).

The solutions obtained by the analytical modeling method in the POWER WORD program for the transmission of 350 MW of power are shown in the table below and in Figure 2.

**Table 1.**

Distribution of active power flow between parallel lines

Dependence of active power transfer on the FPT angle $\delta$ , deg	Total power at the end of the transmission line $R_{total}$ , MW	Power in 500 kV overhead power line P2, MW	Power in the lower voltage transmission line P2, MW
4.62	350	262.5	87.5
5.54	350	280	70
6.47	350	297.5	52.5
7.39	350	315	35
8.32	350	332.5	15.5

Thus, by placing the FPT on a high-voltage overhead line or by changing the angle between the voltage phases in the FACTS, it is possible to redistribute the active power flows along this line and reduce active power losses.

### Conclusion

1. The POWER WORD program simulates flexible control of an overhead line.
2. It has been established that by placing a high-voltage overhead power line (HVPL) it is possible to increase the active power flows along the line, redistribute the flows and reduce active power losses.
3. While the FPT changes the sliding angle discretely, FACTS devices allow it to be changed regularly and more accurately, which ensures a high economic effect.

### References

1. Burman A.P., Rozanov Yu.K., Shakaryan Yu.G.. Electric Power Flow Management and Improving the Efficiency of Electric Power Systems. Textbook for Universities. Moscow. MPEI Publishing House, 2012, 336 p.
2. Hingorani N. G., "Power Electronics and Flexible AC Transmission Systems," IEEE Power Engineering Review, vol. 8, no. 7, pp. 3–4, July 1988.
3. Balametov A.B., Khalilov E.D., Iskenderov F.G. On the use of FACTS devices to reduce heterogeneity, increase throughput and operating efficiency of the power system. Power Engineering Issues, 2013, No. 3, pp. 9-18.
4. Khalilov E.D., Guliyeva X.F., Balametov E.E. Flexible control of active power flow in power transmission lines using phase-shifting transformers. Materials of the II International Conference of SDU. 2020.p. 95-97.

**Xülasə**  
**HETEROGEN ŞƏBƏKƏLƏRDƏ FAZA DƏYİŞİMƏ TRANSFORMATORLARI VASITƏSİLƏ AKTIV ENERJİ**  
**AXINLARININ İDARƏ OLUNMASI**  
*Balametov E.E.*

Bu məqalədə üç fazalı elektrik şəbəkələrinin gücünü tənzimləmək üçün istifadə olunan transformatorun ixtisaslaşdırılmış modifikasiyası olan faza dəyişdirmə cihazlarının istifadəsi müzakirə olunur. Faza dəyişdirmə cihazları xəttin əvvəlindəki iki transformatorun ibarətidir: xəttə paralel olaraq bağlanmış tənzimlənən bir transformator və ikinci dolağı xəttə ardıcıl olaraq bağlanmış bir sıra transformator. Dolaqların əlaqə diaqramı sayəsində serial sarımdakı gərginlik vektoru şəbəkənin faz gərginliyinə 90 elektrik dərəcəsi ilə yönəldilir. Tənzimlənən bir transformator istifadə edərək serial dolağındakı gərginliyi dəyişdirərək, şəbəkənin əvvəlindəki ümumi gərginlik vektorunu dəyişdirmək, xəttin əvvəlində və sonundakı gərginliklər arasındakı bucağı tənzimləmək, onun üzərindən ötürülən güc axını dəyişdirmək mümkündür. Faza dəyişdirmə transformatorundan istifadə edərək paralel xətlər arasında aktiv güc axınının paylanmasının tənzimlənməsini göstərən bir nümunə verilmişdir.

**Açar sözlər:** qapalı elektrik şəbəkələri, heterojenlik, azot-geri çevrilə bilən transformatorlar, ötürmə qabiliyyətinin artması, elektrik itkisinin azalması.

**Резюме**  
**УПРАВЛЕНИЕ АКТИВНЫМИ ПОТОКАМИ МОЩНОСТИ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СЕТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ**  
**ТРАНСФОРМАТОРОВ С ФАЗОВЫМ СДВИГОМ**  
*Баламетов Э.Э.*

В статье рассматривается применение фазосдвигающих устройств - специализированной модификации трансформатора, используемой для регулирования мощности трехфазных электрических сетей. Фазосдвигающие устройства состоят из двух трансформаторов в начале линии: регулируемого трансформатора, подключенного параллельно линии, и последовательного трансформатора, вторичная обмотка которого подключена последовательно к линии. Благодаря схеме подключения обмоток вектор напряжения на последовательной обмотке направлен под углом 90 электрических градусов к фазному напряжению сети. Изменяя напряжение на последовательной обмотке с помощью регулируемого трансформатора, можно изменять общий вектор напряжения в начале сети и регулировать угол между напряжениями в начале и конце линии, изменяя поток мощности, передаваемый по ней. Приведен пример, иллюстрирующий регулирование распределения потока активной мощности между параллельными линиями с помощью фазосдвигающего трансформатора.

**Ключевые слова:** замкнутые электрические сети, неоднородность, Азотно-реверсивные трансформаторы, увеличенная пропускная способность, сниженные потери электроэнергии.

## **MÜASİR TEXNOLOGİYALARIN İQTİSADİYYAT VƏ BİZNES SAHƏSİNDƏ ROLU**

**Mahmudova Nuranə**  
*H. Əliyev adına Hərbi İnstitut, Bakı, Azərbaycan*  
[quliyevanurane@gmail.com](mailto:quliyevanurane@gmail.com)

**Xülasə.** Müasir texnologiyalar iqtisadiyyatın və biznesin inkişafında əsas hərəkətverici qüvvəyə çevrilmişdir. Rəqəmsallaşma, süni intellekt, “Big Data” analitikası, bulud texnologiyaları və avtomatlaşdırma kimi yeniliklər müəssisələrin idarəetmə proseslərini optimallaşdırır, məhsuldarlığı artırır və xərcləri azaldır. Bu texnologiyalar bazarların global inteqrasiyasını sürətləndirir, rəqabət mühitini genişləndirir və yeni biznes modellərinin yaranmasına şərait yaradır. Eyni zamanda, elektron ticarət və rəqəmsal ödəniş sistemləri istehlakçı davranışlarını dəyişdirərək iqtisadi dövriyyəni artırır. Müasir texnologiyaların tətbiqi dövlət idarəçiliyində şəffaflığın təmin olunmasına, məlumat axınının sürətlənməsinə və qərarvermə mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsinə də töhfə verir. Beləliklə, texnoloji innovasiyalar iqtisadi sabitliyin, dayanıqlı inkişafın və rəqabətqabiliyyətli biznes mühitinin formalaşmasında mühüm rol oynayır.

**Açar sözlər:** iqtisadiyyat, informasiya texnologiyaları, süni intellekt

İqtisadiyyatın sürətli inkişafının müasir dövrdə baş verən yenilikləri nəinki kompüter texnologiyaları, hətta süni intellekt olmadan təsəvvür etmək mümkün deyil. Süni intellekt və müasir texnologiyalar müasir biznesin transformasiyasında əsas alətlərdən biri kimi çıxış edir. Bu gün süni intellekt və informasiya texnologiyalarının biznes sahəsində geniş tətbiq istiqamətləri mövcuddur. Bu istiqamətləri nəzərdən keçirək.

İnformasiya texnologiyalarının marketing sahəsində rolu növbəti şəkildə əks olunur. Müasir dövrdə marketing fəaliyyətini informasiya texnologiyaları və onların tətbiqi olmadan həyata keçirmək mümkün deyil. Bu texnologiyalar bazarın təhlili, müştəri davranışlarının öyrənilməsi, rəqəmsal reklamın təşkili və satış strategiyalarının formalaşdırılmasında mühüm rol oynayır.

Süni intellekt marketing və satış proseslərinin avtomatlaşdırılması, fərdiləşdirilməsi və effektivliyinin artırılmasında mühüm rol oynayır. Onun tətbiqlərinin növbəti əsas istiqamətləri vardır:

-Fərdiləşdirilmiş marketinq kampaniyaları.Süni intellekt alqoritmləri müştərilərin davranışlarını, alış tarixçələrini və maraqlarını təhlil edərək fərdi təkliflər formalaşdırır. Bu, müştəri məmnuniyyətini və satış səviyyəsini artırır.

-Chatbotlar və virtual köməkçilər.Müştəri xidmətlərində süni intellekt əsaslı chatbotlar 24/7 fəaliyyət göstərərək sorğulara cavab verir, məhsul haqqında məlumat təqdim edir və alış prosesini asanlaşdırır.

-Rəqəmsal reklamın optimallaşdırılması.Avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemləri reklam kampaniyalarının nəticələrini real vaxtda izləyərək, hansı platformalarda və auditoriya segmentlərində daha səmərəli olduğunu müəyyənləşdirir. Bu, marketinq büdcəsinin səmərəli istifadəsinə şərait yaradır.

-Müştəri davranışlarının proqnozlaşdırılması.Süni intellekt böyük həcmli məlumatları (Big Data) analiz edərək, gələcəkdə hansı məhsulların və xidmətlərin daha çox tələbat görəcəyini proqnozlaşdırır. Bu isə şirkətlərə bazar tələbinə uyğun strategiyalar hazırlamağa imkan verir.

-Satış analitikası və qərar dəstəyi.Avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemləri alətləri satış məlumatlarını təhlil edərək, ən çox gəlir gətirən məhsulları, müştəri segmentlərini və satış kanallarını müəyyənləşdirir. Beləliklə, menecerlər daha dəqiq və əsaslandırılmış qərarlar qəbul edə bilirlər.

-Sosial media analitikası.Süni intellekt sosial şəbəkələrdə istifadəçi davranışlarını və əhval-ruhiyyəsini (sentiment analysis) təhlil edərək, şirkətlərə brend imicini izləməyə və düzgün kommunikasiya strategiyaları qurmağa kömək edir.

Süni intellektin istehsalatda rolu əvəzsizdir.Müasir dövrdə sənaye və istehsal sahələrinin rəqəmsallaşması süni intellekt texnologiyalarının geniş tətbiqini zəruri etmişdir. Süni intellekt istehsalat proseslərinin avtomatlaşdırılması, məhsuldarlığın artırılması və resurslardan daha səmərəli istifadə olunmasına imkan yaradır.Süni intellektin istehsalatda əsas tətbiq istiqamətləri aşağıdakılardır:

-Ağıllı avtomatlaşdırma və robot texnologiyaları.Süni intellektlə təchiz edilmiş sənaye robotları insan əməyini əvəz etməklə yanaşı, daha dəqiq və fasiləsiz işləmə imkanı yaradır. Bu, istehsal prosesində səhvlərin minimuma endirilməsinə və məhsuldarlığın artmasına səbəb olur.

-Proqnozlaşdırıcı texniki xidmət (Predictive Maintenance).Avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemləri avadanlıqlardan toplanan məlumatları analiz edərək, onların nasazlıq ehtimalını əvvəlcədən müəyyənləşdirir. Bu yanaşma qəfil dayanma hallarının qarşısını alır və avadanlıqların istismar müddətini uzadır.

-Keyfiyyət nəzarət və məhsul yoxlanışı.Süni intellekt əsaslı görüntü tanıma sistemləri məhsulların keyfiyyətini avtomatik şəkildə yoxlayır, qüsurları aşkarlayır və insan faktorundan asılılığı azaldır. Bu, istehsal keyfiyyətinin sabit saxlanılmasına şərait yaradır.

-İstehsal proseslərinin optimallaşdırılması.Avtomatlaşdırılmış idarəetmə alqoritmləri istehsal proseslərindəki məlumat axınlarını təhlil edərək, resursların (xammal, enerji, vaxt və s.) optimal paylanmasını təmin edir. Nəticədə həm xərclər azalır, həm də istehsalın effektivliyi yüksəlir.

Süni intellekt təchizat zəncirindəki riskləri, tələb və təklif dəyişikliklərini təhlil edərək, ehtiyat idarəçiliyini optimallaşdırır. Bu, məhsul çatdırılmasında gecikmələrin və itkilərin qarşısını alır. Avtomatlaşdırılmış idarəetmə texnologiyalarından istifadə potensial təhlükəli şəraitləri (məsələn, yüksək temperatur, qaz sızması, texniki nasazlıq) vaxtında aşkar edərək, işçi təhlükəsizliyini təmin edir.<sup>[1]</sup>

Kadr idarəetməsi istənilən müəssisənin və təşkilatın səmərəli fəaliyyətinin əsas şərtlərindən biridir. Bu sahə yalnız əməkdaşların işə qəbul edilməsi və işdən azad olunması ilə məhdudlaşmır. Kadr idarəetməsinə həmçinin əməkdaşların fəaliyyətinin izlənilməsi, motivasiya sistemlərinin qurulması, işin keyfiyyətinin qiymətləndirilməsi və onların müəssisəyə verdiyi töhfənin müəyyənləşdirilməsi daxildir.Süni intellekt texnologiyaları kadr idarəetməsi proseslərini xeyli dərəcədə avtomatlaşdırmağa və təkmilləşdirməyə imkan yaradır. Onun bu sahədə əsas tətbiq istiqamətləri işə qəbul prosesinin avtomatlaşdırılması, əməkdaşların fəaliyyətinin monitorinqi, işdən çıxma risklərinin proqnozlaşdırılması, adaptasiya və təlim proseslərinin təkmilləşdirilməsidir.

Təhlükəsizlik hər bir sahədə olduğu kimi iqtisadiyyatda da mühüm rol oynayır.İqtisadiyyat sahəsində təhlükəsizlik müəssisənin davamlı və etibarlı fəaliyyətini təmin edən əsas amillərdən biridir. Müasir dövrdə müəssisələr həm maddi, həm də informasiya resursları baxımından kiberhücumlara qarşı ciddi risklərlə üz-üzə qalırlar. Kiberhücum nəticəsində məlumat bazalarının və maddi təminatların zədələnməsi şirkətə ciddi ziyan vura bilər.Bu səbəbdən müəssisələrdə informasiya texnologiyaları və süni intellekt əsaslı təhlükəsizlik sistemləri geniş şəkildə tətbiq edilir. Süni intellekt bu sahədə kiberhücumların vaxtında aşkarlanması, məlumat sızmalarının qarşısının alınması,risklərin qiymətləndirilməsi və idarə olunması,avtomatlaşdırılmış təhlükəsizlik monitorinqində tətbiq edilir. Süni intellekt 24/7 rejimində sistemləri izləyir və mümkün təhdidlər barədə xəbərdarlıqlar göndərir.<sup>[2]</sup>

İqtisadiyyatı logistikasız təsəvvür etmək mümkün olmadığı kimi, logistika sahəsində müasir texnologiyasız təsəvvür etmək mümkün deyil. Bu sahədə bütün proseslər — marşrutların planlaşdırılması,

anbar işinin təşkili, əks logistikanın (reverse logistics) idarə olunması və marşrutların optimallaşdırılması — xüsusi proqram təminatları və informasiya texnologiyaları vasitəsilə həyata keçirilir.<sup>[3]</sup>

Süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi logistika sistemlərinin səmərəliliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Onun bu sahədə əsas rolu növbəti istiqamətlərdə özünü göstərir. Marşrutların optimallaşdırılması, anbar idarəçiliyi, əks logistikanın idarə olunması, təchizat zəncirinin şəffaflığının artırılması, xərclərin optimallaşdırılması və proqnozlaşdırılması.

Blokçeyn texnologiyaları müasir iqtisadiyyatda köklü dəyişikliklərə səbəb olmuşdur.<sup>[4]</sup> Bu texnologiya iqtisadi münasibətləri inqilabi şəkildə yenidən formalaşdıraraq, tranzaksiyaların şəffaflığını, təhlükəsizliyini və etibarlılığını təmin edir. Ekspertlərin proqnozlarına əsasən, 2026-cı ilin sonuna qədər blokçeyn texnologiyalarının tətbiqi nəticəsində dünya iqtisadiyyatında 3,1 trilyon ABŞ dolları həcmində əlavə dəyər yaradılacağı gözlənilir. Bu potensialın əldə edilməsində blokçeyn texnologiyasının bir sıra özünəməxsus üstünlükləri mühüm rol oynayır. Bu üstünlüklərə vasitəçilərin aradan qaldırılması, əməliyyatların şəffaflığının təmin edilməsi, məlumatların dəyişməzliyi və ağıllı müqavilələr (Smart Contracts) aiddir. Blokçeyn texnologiyası vasitəsilə yaradılan ağıllı müqavilələr əməliyyatların avtomatlaşdırılmasına imkan verir. Bu müqavilələr müəyyən şərtlər yerinə yetirildikdə avtomatik icra olunur və insan müdaxiləsini minimuma endirir.

Bu günün şuarına çevrilmiş yaşıl iqtisadiyyatında fəaliyyətinin əsasında demək olar ki, süni intellekt durur. Qeyd etmək istərdim ki, yaşıl iqtisadiyyat özündə növbəti üstünlükləri birləşdirir:

- əmək məhsuldarlığının artırılması;
- şirkət gəlirlərinin yüksəldilməsi;
- ətraf mühitə mənfi təsirin azaldılması;
- biznesin uzunmüddətli dayanıqlılığının təmin edilməsi.

Bu model həm iqtisadi, həm sosial, həm də ekoloji baxımdan davamlı inkişafın əsas dayağı kimi çıxış edir.

Məqalədə qeyd etdiklərimdən belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, istənilən elm sahəsi iqtisadiyyatda daxil olmaqla hər yeniliyi özündə əks etdirir və daha da inkişaf edir. Bu yeliliklərdən biri də süni intellektir. Qısa qeyd etdiyimiz məlumatlardan göründüyü kimi süni intellekt iqtisadiyyatın hər bir sahəsində ehtiyac var. Biz qisməndə olsa bu ehtiyacları ödəyə bildiyimiz üçün və bu sahədə süni intellektlə birgə fəaliyyət göstərdiyimiz üçün inkişafaş edirik və edəcəyik.

## Ədəbiyyat

- 1.Əliyev, V. Süni intellekt və onun müasir informasiya texnologiyalarında tətbiqi. Bakı: Elm və Təhsil nəşriyyatı. 2022
- 2.Məmmədov, E. Rəqəmsal iqtisadiyyat və süni intellekt texnologiyaları. Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti Nəşriyyatı. 2021
- 3.Qasimov, N. İnformasiya-kommunikasiya texnologiyalarının inkişaf tendensiyaları. Bakı: Təhsil Nəşriyyatı. 2020
- 4.Глухов, В. В., & Васильев, В. Н. Искусственный интеллект в цифровой экономике. Санкт-Петербург: Питер. 2021

## Summary

### THE ROLE OF MODERN TECHNOLOGIES IN THE ECONOMY AND BUSINESS

*Makhmudova N.*

Modern technologies have become the main driving force behind the development of the economy and business. Digitalization, artificial intelligence, Big Data analytics, cloud technologies, and automation optimize management processes, increase productivity, and reduce operational costs for enterprises. These technologies accelerate the global integration of markets, expand the competitive environment, and create conditions for the emergence of new business models. At the same time, the development of e-commerce and digital payment systems changes consumer behavior and contributes to the growth of economic turnover. The application of modern technologies also plays a significant role in ensuring transparency in public administration, accelerating information flow, and improving decision-making mechanisms. Thus, technological innovations play a crucial role in strengthening economic stability, ensuring sustainable development, and shaping a competitive business environment.

**Keywords:** economy, information technologies, artificial intelligence

## Резюме

### РОЛЬ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭКОНОМИКЕ И БИЗНЕСЕ

*Махмудова Н.*

Современные технологии стали основным двигателем развития экономики и бизнеса. Цифровизация, искусственный интеллект, аналитика больших данных (Big Data), облачные технологии и автоматизация способствуют оптимизации управленческих процессов, повышению производительности и снижению издержек предприятий. Эти

технологии ускоряют глобальную интеграцию рынков, расширяют конкурентную среду и создают условия для формирования новых бизнес-моделей. Одновременно развитие электронной коммерции и цифровых платежных систем изменяет поведение потребителей и способствует росту экономического оборота. Применение современных технологий также вносит значительный вклад в обеспечение прозрачности государственного управления, ускорение потоков информации и совершенствование механизмов принятия решений. Таким образом, технологические инновации играют важную роль в укреплении экономической стабильности, обеспечении устойчивого развития и формировании конкурентоспособной бизнес-среды.

**Ключевые слова:** экономика, информационные технологии, искусственный интеллект

## RƏQƏMSAL DÖVLƏT İDARƏÇİLİYİ VƏ ELEKTRON XİDMƏTLƏRİN İNKİŞAF MEYİLLƏRİ

**Hümbətova Aynur Sahib qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[aynurhumbtova95@gmail.com](mailto:aynurhumbtova95@gmail.com)

**Xülasə.** Rəqəmsal transformasiya tendensiyaları dövlət idarəçiliyində köklü dəyişikliklərə səbəb olur. Elektron xidmətlərin tətbiqi dövlət orqanlarının fəaliyyətinin effektivliyini artırır, vətəndaşlarla münasibətləri sadələşdirir və xidmətlərin əlçatanlığını genişləndirir. Bu araşdırmada rəqəmsal dövlət idarəçiliyinin əsas xüsusiyyətləri, elektron xidmətlərin inkişaf istiqamətləri, onların ictimai idarəetməyə təsiri və rəqəmsal mədəniyyətin formalaşması prosesində rolu təhlil edilir.

**Açar sözlər:** elektron xidmətlər, rəqəmsal idarəetmə, informasiya cəmiyyəti, dövlət modernizasiyası, innovativ yanaşma

İnformasiya texnologiyalarının sürətli inkişafı və onların dövlət sektoruna tətbiqi müasir idarəetmə modelinin yenidən formalaşmasına səbəb olmuşdur. Rəqəmsal dövlət idarəçiliyi yalnız elektron xidmətlərin işləməsi demək deyil; bu, dövlətin strateji fəaliyyətinin tam şəkildə rəqəmsal mədəniyyətə uyğunlaşdırılması, idarəetmənin operativ, şəffaf və vətəndaş yönümlü şəkildə aparılması deməkdir. Elektron xidmətlərin əsas məqsədi idarəetmə proseslərini avtomatlaşdırmaq, insan-resurs asılılığını azaltmaq və xidmətlərin vahid platforma üzərindən fasiləsiz göstərilməsini təmin etməkdir.

Ənənəvi dövlət idarəçiliyində vətəndaşın dövlət qurumuna fiziki müraciəti zəruri hesab olunurdu. Müraciət prosesləri həm vaxt baxımından uzun çəkir, həm də əlavə resurs tələb edirdi. Rəqəmsal idarəetmə modeli isə bu çətinlikləri aradan qaldıraraq xidmətlərin 24 saat fasiləsiz şəkildə təqdim olunmasına imkan verir. Elektron imza, elektron identifikasiya və elektron sənəd dövriyyəsi bu prosesin əsas elementlərindəndir. Vətəndaş eyni xidməti qısa zaman ərzində və fiziki iştiraka ehtiyac olmadan əldə edir.

Elektron xidmətlər dövlət orqanları arasında məlumat inteqrasiyasını gücləndirir. İnformasiya sistemləri arasında əlaqə yaradılması nəticəsində təkrarlanan sənəd tələbləri aradan qalxır və məlumat axını daha dəqiq formada həyata keçirilir. Bu da dövlət resurslarına qənaət olunmasına, xidmətlərin daha ardıcıl və standartlaşdırılmış şəkildə təqdim edilməsinə səbəb olur. Elektron xidmətlərin genişləndirilməsi həmçinin dövlətin daxili idarəetmə mexanizmlərini optimallaşdıraraq əməliyyat xərclərini azaldır.

Rəqəmsal idarəetmənin mühüm xüsusiyyətlərindən biri də şəffaflığın təmin edilməsidir. Elektron sistemlərdə bütün fəaliyyətlərin izləniləbilir olması korrupsiya risklərini minimuma endirir. Hər bir elektron əməliyyat sistemdə qeydə alındığı üçün xidmətlərin icrası daha aydın və nəzarət olunan şəkildə təşkil olunur. Bu, vətəndaşların dövlət orqanlarına olan etimadını gücləndirir.

Müasir dövrdə innovativ texnologiyalar rəqəmsal dövlət modelinin mühüm tərkib hissəsinə çevrilmişdir. Süni intellekt, böyük məlumat analitikası və bulud texnologiyaları dövlət idarəetməsində tətbiq edilməyə başlamışdır. Süni intellekt müraciətlərin avtomatik təsnifatını, məlumat analitikası xidmətlərin optimallaşdırılmasını, bulud sistemləri isə məlumat təhlükəsizliyinin təmin olunmasını dəstəkləyir. Bu texnologiyalar e-xidmətlərin daha səmərəli şəkildə idarə olunmasına imkan yaradır və dövlətin rəqəmsal çevikliyi artırır.

Rəqəmsal xidmətlərin inkişafı vətəndaşların idarəetmə prosesinə daha aktiv qoşulmasını da təmin edir. Elektron sorğular, ictimai rəy platformaları və interaktiv xidmət panelləri vasitəsilə vətəndaşların fikirləri nəzərə alınır və dövlət siyasətinə təsir imkanları artır. Bu isə daha demokratik və iştirakçı idarəetmə modelinin formalaşmasına səbəb olur.

Elektron xidmətlərin geniş tətbiqi üçün dövlətin həm texniki, həm də institusional resurslarının gücləndirilməsi vacibdir. İnfrastrukturun genişləndirilməsi, təhlükəsizlik sistemlərinin qurulması, rəqəmsal kadr potensialının artırılması və normativ-hüquqi bazanın yenilənməsi rəqəmsal dövlət strategiyasının mühüm tərkib hissəsidir. Eyni zamanda cəmiyyətin rəqəmsal savadlılıq səviyyəsinin artırılması bu modelin effektiv həyata keçirilməsi üçün əsas şərtlərdəndir.

Nəticə etibarilə, rəqəmsal dövlət idarəçiliyi və elektron xidmətlər müasir idarəetmə sisteminin ayrılmaz hissəsinə çevrilmişdir. Elektron xidmətlərin tətbiqi dövlət qurumlarının fəaliyyətini optimallaşdırır, idarəetmənin səmərəliliyini artırır və vətəndaş məmnuniyyətini yüksəldir. Bu modelin inkişafı gələcəkdə dövlət-vətəndaş münasibətlərinin daha çevik və effektiv şəkildə formalaşmasına şərait yaradacaq.

## Ədəbiyyat

1. United Nations E-Government Survey, 2022
2. OECD Digital Government Review, 2023
3. Heeks R. Digital Governance and Public Innovation, 2020
4. Janssen M. "E-Government Integration and Transformation", 2021

### Summary

#### DEVELOPMENT TRENDS OF DIGITAL GOVERNANCE AND PUBLIC E-SERVICES

*Humbatova A.S.*

Digital transformation trends are causing profound changes in public administration. The implementation of electronic services increases the efficiency of government agencies, simplifies interactions with citizens, and expands the accessibility of services. This study analyzes the main features of digital public administration, the directions of development of electronic services, their impact on public governance, and their role in the process of forming a digital culture.

**Keywords:** digital governance, public services, modernization, information society, administrative reforms

### Резюме

#### ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ И ЭЛЕКТРОННЫХ УСЛУГ

*Гумбатова А.С.*

Тенденции цифровой трансформации приводят к коренным изменениям в государственном управлении. Внедрение электронных услуг повышает эффективность работы государственных органов, упрощает взаимодействие с гражданами и расширяет доступность услуг. В этом исследовании анализируются основные особенности цифрового государственного управления, направления развития электронных услуг, их влияние на общественное управление и роль в процессе формирования цифровой культуры.

**Ключевые слова:** цифровое управление, электронные услуги, государственный сектор, модернизация, информационное общество

## SAHİBKARLIQ FƏALİYYƏTİNİN İNKİŞAFINDA DÖVLƏTİN TƏNZİMLƏYİCİ ROLUNUN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

**Qasimova Zülfiyyə Mirzə qızı**

**Tağıyeva Aidə Valeh qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[zulfiyya.qasimova@sdu.edu.az](mailto:zulfiyya.qasimova@sdu.edu.az)

[aida.tagiyeva@sdu.edu.az](mailto:aida.tagiyeva@sdu.edu.az)

**Xülasə.** Məqalədə sahibkarlığın mahiyyəti açıqlanmış və ölkə iqtisadiyyatının inkişafında rolu tədqiq edilmişdir. Sahibkarlığın əsas fəqləndirici xüsusiyyətləri və funksiyaları haqqında məlumat verilmişdir. Sahibkarlıq ideyasının reallaşdırılmasının zəruriliyi əsaslandırılmış və bu prosesdə sahibkarların hərəkətlərinin məntiqi ardıcılığı blok-sxem şəklində verilmişdir. Azərbaycanda sahibkarlığın inkişaf səviyyəsini öyrənmək üçün bu sahədə fəaliyyət göstərən subyektlərin sayı və yaradılan əlavə dəyər son illərin statistik məlumatları əsasında təhlil edilmişdir. Sahibkarlıq fəaliyyətinin dövlət tənzimlənməsinin zəruriliyi əsaslandırılmış, əsas funksiyaları, vəzifələri və təkmilləşdirilməsi istiqamətləri tədqiq edilmişdir.

**Açar sözlər:** sahibkarlıq, sahibkarlıq fəaliyyəti, sahibkarlıq ideyası, dövlət tənzimlənməsi, istehsal, mikrosahibkarlıq, infrastruktur

Sahibkarlığın inkişafı ölkə qarşısında qoyulan ən vacib vəzifələrdən biridir. Bazar münasibətləri şəraitində torpaq, kapital, əmək kimi klassik iqtisadi resurslarla yanaşı, sahibkarlıq qabiliyyəti də mühüm resursdur. Sahibkarlığı mənfəət əldə etməyə yönəlmiş və cəmiyyətin sosial-iqtisadi həyatının bütün sahələrində reallaşdırıla bilən əməli fəaliyyət kimi xarakterizə etmək olar. Sahibkarlıq yeni perspektivli sahələrin inkişafını təmin edir, köhnəlmiş sahələrin "yuyulmasına" kömək edir. Sahibkarlıq yeni növ mal və xidmətlərin yaradılması məqsədilə bütün digər istehsal amillərinin əlaqələndirilməsi və birləşdirilməsi fəaliyyəti ilə təşkil olunan insan kapitalının xüsusi növüdür.

Sahibkarlıq aşağıdakı kimi formalaşdırıla bilər: sahibkarlıq öz təhlükəsi və riski ilə müstəqil şəkildə reallaşdırılan, məhsul istehsalı və satışından, əmlakdan istifadədən, məhsuldarlıqdan sistematik mənfəət əldə etməyə yönəlmiş fəaliyyətdir [5, s.14]. Sahibkarlıq fəaliyyəti hər biri nisbətən qısa, dəqiq

müəyyənləşdirilmiş vaxt intervalı ilə məhdudlaşan ardıcıl və ya paralel əməliyyatların məcmusudur. Sahibkarlıq müasir cəmiyyətdə siyasi sabitliyin təminatçısı kimi çıxış edən ölkənin orta sinfini daha dinamik şəkildə formalaşdırmağa imkan verir. Beləliklə, sahibkarlıq təsərrüfat subyekti və iqtisadi davranışın xüsusi yaradıcı növü kimi iqtisadi uğur əldə etmək üçün bütün amillərin ayrılmaz xüsusiyyətidir.

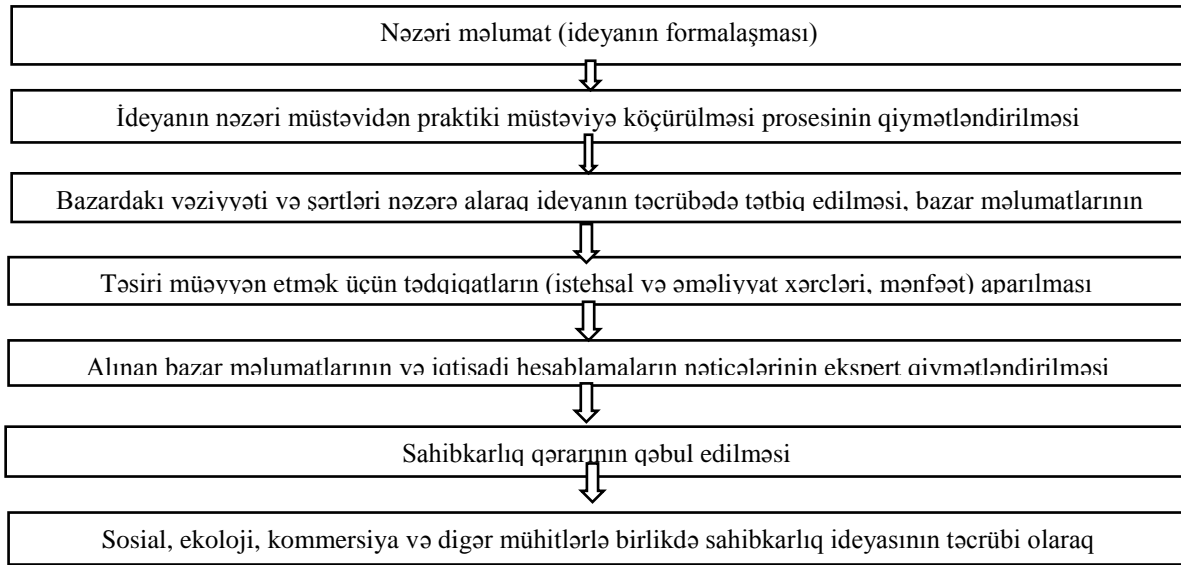
Sahibkarlıq fəaliyyətinin aşağıdakı fərqləndirici xüsusiyyətlərini qeyd etmək lazımdır:

- sahibkarlıq fəaliyyəti diskretdir;
- sahibkarın mütləq kapitalı olması şərt deyil;
- sahibkar ixtiraçı deyil, elmi kəşflərin nəticələrinin imkanlarını dərk edir.

Sahibkarlıq funksiyalarına aiddir:

- əmtəə və ya xidmətlərin istehsalı üçün əməyin, kapitalın və torpağın birləşməsi;
- mühüm qərarlar qəbulu;
- istehsalatda innovasiyaların tətbiqi;
- riski öz üzərinə götürməsi.

Sahibkarlıqda əsas məqam istehsala yeni məhsul növlərini, qabaqcıl texnologiyaları, biznesin təşkilinin müasir formalarını tətbiq etmək bacarığı və istəyidir. Sahibkarlıq subyektləri öz fəaliyyətlərində müəyyən ideyaya əsaslanır ki, bu da sahibkarlıq ideyası adlanır. Sahibkarlıq ideyasının reallaşdırılması bir sıra mərhələlərin ardıcılığından ibarətdir. Sahibkarlıq ideyasının reallaşdırılmasında sahibkarın hərəkətlərinin məntiqi ardıcılığı aşağıdakı şəkildə vasitəsilə əks etdirə bilərik.



**Şəkil 1. Sahibkarlıq ideyasının reallaşdırılması**

Hazırda Azərbaycanda sahibkarlıq inkişaf edir. Onun gələcək inkişaf perspektivləri var. Sahibkarlığın inkişafı üçün sahibkar kadrların hazırlanması və ixtisasartırma sahəsində işlərin aparılması zəruridir. Sahibkarlar daim dəyişən informasiya mühitində fəaliyyət göstərir və sahibkarlıq strukturlarının rəhbərləri öz fəaliyyət sahəsindəki dəyişiklikləri daim izləməli, müəyyən sahədə peşəkar olmalıdırlar. Bunun üçün sahibkarlar özlərinin və mütəxəssislərinin ixtisasını artırmalıdır. Seminarların, təlim proqramlarının, dəyirmi masaların, treninqlərin və məsləhətləşmələrin sayını artırmaqla bu vəzifələri həll etmək olar.

Sahibkarlığa öz mal və xidmətlərini bazarda tanımaqda köməklik göstərməlidir. Bəzi sahibkarlıq subyektlərinin öz məhsul və xidmətlərini reklam etmək imkanları olmadığından, sərgi və yarmarkalar çox vaxt onların məhsullarını tanımaq və satışlarını genişləndirmək üçün yeganə mövcud platformaya çevrilir. Bu baxımdan yarmarkaların, işgüzar missiyaların, mətbuat konfranslarının və təqdimatların sayını artırmaq lazımdır.

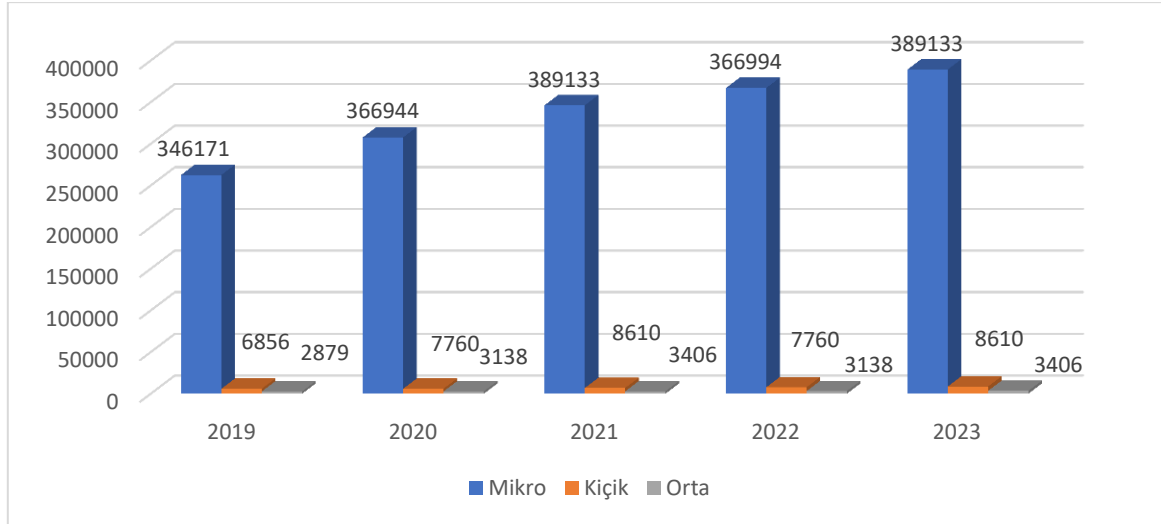
Ölkədə sahibkarlığın inkişafı üçün onlara qarşı inzibati təzyiqləri azaltmaq istiqamətində tədbirlər görmək lazımdır. İnzibati təzyiqlərin azaldılması ilə sahibkarlığın genişləndirilməsi, yeni iş yerlərinin yaradılması üçün əhəmiyyətli potensial mövcuddur.

Azərbaycan iqtisadiyyatında və sosial sahədə ciddi dəyişikliklər, qloballaşma prosesləri ilə əlaqədar olaraq, sahibkarlığın təkamülünü nəzərə alan normativ hüquqi bazanın, sahibkarlığın dəstəklənməsi üsul və mexanizmlərinin ciddi şəkildə yenidən qurulmasına ehtiyac var. Sahibkarlığın sosial mahiyyətinin qanunvericiliklə konsolidasiyası qaçılmaz olur ki, bu da təkcə onunla məşğul olan agentlərin fəaliyyətini

deyil, habelə iqtisadiyyatda özünəməxsus funksional xüsusiyyətlərin reallaşdırılmasına imkan verən müəyyən şərtlərin olmasını nəzərdə tutur.

Sahibkarlıq fəaliyyətinin gələcək uğurları həmin fəaliyyət sahəsinin hərtərəfli təhlilinin düzgün aparılmasından asılıdır. Sahibkarlıq fəaliyyətinin hərtərəfli və düzgün təhlil onun bütün aspektlərinin mərhələli şəkildə öyrənilməsi prosesidir [2, s.48].

Hazırda Azərbaycanda sahibkarlığın inkişaf səviyyəsini öyrənmək üçün bu sahədə fəaliyyət göstərən subyektlərin sayını təhlil edək.



*Şəkil 2. Azərbaycanda sahibkarlıq subyektlərinin sayı*

Şəkil 2-dən görünür ki, Azərbaycanda sahibkarlıq fəaliyyəti ilə məşğul olanların əsas hissəsini mikrosahibkarlıq təşkil edir. Məsələn 2023-cü ildə, sahibkarlıq subyektlərinin sayı 401149 olub ki, bunların 97%-i mikro, 2,1%-i kiçik, 0,8%-i isə orta sahibkarlıq subyektlərinin payına düşür. Həmin ildə yaradılan əlavə dəyərin 7653,2 milyon AZN-i və ya 46%-mikro, 3200,8 milyon AZN-i və ya 16%-i kiçik, 9233,1 milyon AZN-i və ya 38%-i isə orta sahibkarlıq subyektlərinin payına düşür.

Azərbaycanda sahibkarlığın inkişaf tempi xeyli dərəcədə dövlət tənzimlənməsi səviyyəsindən asılıdır.

Sahibkarlığın dövlət tənzimlənməsi dedikdə, həmin fəaliyyət sahəsində dövlət siyasətinin reallaşdırılmasına yönəldilmiş fəaliyyət başa düşülməlidir. Bu, dövlət tərəfindən sahibkarlığın inkişafına münbit şəraitin yaradılması məqsədilə müxtəlif sahə və istiqamətlər üzrə göstərilən dəstək sistemidir. Sahibkarlığın dövlət tərəfindən dəstəklənməsi sahibkarlığın yaradılması, inkişafı və sabitləşdirilməsi üçün bir sıra tədbirləri əhatə edir [3, s.411].

Sahibkarlığın dövlət tənzimlənməsi cəmiyyətin və dövlətin ictimai maraqlarının reallaşdırılmasını təmin etmək, habelə sahibkarlığın inkişafı məqsədilə ən yaxşı şərait yaratmaq üçün zəruridir. Sahibkarlığın dövlət tənzimlənməsinin vəzifələrinə aid edilə bilər:

- ətraf mühitin mühafizəsi;
- normal məşğulluğun təmin edilməsi;
- vətəndaşların həyat və sağlamlığının qorunması;
- bazarda rəqabətə dəstək göstərilməsi
- sahibkarlığın dəstəklənməsi və inkişafı;
- sahibkarların hüquqlarının müdafiəsi üçün xüsusi tədbirlər və s.

Sahibkarlığın dövlət tənzimlənməsi vəzifələrinin təqdim olunan siyahısı göstərir ki, bu, təkcə dövlət üçün deyil, habelə sahibkarların özləri üçün zəruridir.

Sahibkarlıq mühitinin dövlət tənzimlənməsinin bir sıra əsas funksiyaları vardır:

1. Bazar mühitinin təbii fəaliyyət göstərməsi üçün rahat şəraitin yaradılması.
2. Milli iqtisadiyyatda problemlər yaradan məsələlərin tənzimlənməsi. Bu, son nəticədə sosial müdafiənin formalaşmasına, istehsal həcmnin artmasına, iqtisadi artımın sürətlənməsinə, bütövlükdə dövlətin tarazlı inkişafına gətirib çıxaracaq.
3. ETT-nin müasirləşdirilməsi və təkmilləşdirilməsi. Müvafiq olaraq, mümkün qədər onların fəaliyyətini sadələşdirmək və şəffaflaşdırmaq, istehsal olunan məhsullara optimal tələbi müəyyənləşdirmək, təklifi tənzimləmək, yeniliklər yaratmaq və tətbiq etmək və s.

#### 4. Vergi sisteminin təkmilləşdirilməsi.

Sahibkarlığın dövlət tənzimlənməsi zamanı müəyyən çatışmazlıqlar meydana çıxır ki, onları aradan qaldırmaq üçün aşağıdakı əsas təkmilləşdirmə istiqamətlərini ayırmaq olar.

İlk növbədə, hökumət tərəfindən sahibkarlığın bazar şəraitində fəaliyyət göstərməsi qaydalarının şəffaflığı və sabitliyi üçün şəraitin yaradılmasına diqqət yetirilməlidir ki, bu da özəl strukturlara öz fəaliyyətini gələcək illər üçün planlaşdırmaq və proqnozlaşdırmaq imkanı verə bilər. Yaxın gələcəkdə uzun və ya ortamüddətli perspektivdə dövlət kreditləşməsi üçün resurs bazası genişləndirilməlidir.

Sahibkarlığın dəstəklənməsi üçün infrastruktur proqramını hazırlamaq lazımdır. Güclü innovativ strukturun və uzunmüddətli inkişaf strategiyasının yaradılması üçün elmi ictimaiyyətlə biznesin qarşılıqlı əlaqəsini də təmin etmək lazımdır [4, s.17]. Həmçinin, biznes mühitinin dövlət tənzimlənməsinin hüquqi təminatı problemlərini də nəzərdən qaçırmaq olmaz.

Müəssisələrin istehsal dövriyyəsinin yenilənməsi və modernləşdirilməsi üçün zəruri olan subvensiyaların və subsidiyaların verilməsi yolu ilə sahibkarlıq mühitinin maliyyə tənzimlənməsi kimi alətlərə üstünlük verilməlidir. Kreditlərə zəmanət, dövlət sığortası, aşağı tariflər, dempinq və müdafiə siyasəti, ədalətli və azad rəqabətin qorunması, eləcə də bazarın sabitləşdirilməsinin digər vasitələri də önəmli rol oynayır [6, s.101]. Mənfəəti artırmaq üçün sahibkarlıq subyektləri məhsulların istehsalına və satışına çəkilən xərcləri azaltmalı, onların çeşidini və keyfiyyətini yüksəltməli, münasib qiymətlər müəyyən etməlidirlər.

Beləliklə, sahibkarlıq sahəsində məqsədlərə nail olunması aşağıdakı vəzifələrin həllini tələb edir:

1. Kredit-maliyyə mexanizmlərinin, mikromaliyyənin inkişafı.
2. Bələdiyyə proqramlarının dəstəklənməsi.
3. Ölkədə və onun regionlarında çoxfunksiyalı mərkəzlər əsasında bələdiyyə və dövlət xidmətlərinin göstərilməsi məqsədilə informasiya sisteminin yaradılması və inkişafı.
4. Dövlət və bələdiyyə nəzarətinin təşkilində hüquqi şəxslərin, fərdi sahibkarların hüquqlarının müdafiəsi mexanizmlərinin tətbiqi.
5. Ölkədə və onun regionlarında dövlət və bələdiyyə xidmətləri reyestrinin və portalının informasiya sisteminin yaradılması və inkişafı.

Sahibkarlığın inkişafını nəzərdə tutan yuxarıdakı istiqamətlərin reallaşdırılması xeyli dərəcədə bu sahədə dövlət tənzimlənməsi səviyyəsindən asılıdır.

#### Ədəbiyyat

1. Azərbaycanın statistik göstəriciləri. Statistik məcmuə. Bakı, 2024, 225 s.
2. Qasımova Z.M. Sahibkarlıq subyektlərinin xarici iqtisadi fəaliyyətinə təsir edən amillər. "Dövlətlərarası iqtisadi əlaqələr: müasir çağırışlar və perspektivlər" mövzusunda Beynəlxalq elmi konfransın materialları. Sumqayıt Dövlət Universiteti, 25-26 may 2023, s.46-50
3. Гладких, Д. А. Особенности правового обеспечения развития предпринимательства в России и направления их совершенствования / Д. А. Гладких // Научный электронный журнал Меридиан. – 2019. – № 12(30). – С. 411-413
4. Лапуста Г.М. Малое предпринимательство / Г.М. Лапуста, Ю.Л. Старостин – М.: ИНФРА-М, 2015. – С. 17-21.
5. Рудых, С. Н. Предпринимательская деятельность: понятие, режимы, субъекты / С. Н. Рудых, Е. М. Сенотрусова. – Иркутск: Иркутский юридический институт (филиал) федерального государственного казенного образовательного учреждения высшего образования "Университет прокуратуры Российской Федерации", 2023. – 103 с.
6. Яковлев В.М. Малое предпринимательство в России: проблемы переходного периода / В.М.Яковлев // РАУ, Центр проблем рыночной экономики. – М., 2014. – С. 133.

#### Summary

#### ASSESSMENT OF THE REGULATORY ROLE OF THE STATE IN THE DEVELOPMENT OF ENTREPRENEURIAL ACTIVITY

*Gasimova Z.M., Taghiyeva A.V.*

The article reveals the essence of entrepreneurship and examines its role in the development of the country's economy. Information is provided on the main distinctive features and functions of entrepreneurship. The need to implement an entrepreneurial idea is substantiated, and the logical sequence of actions of entrepreneurs in this process is presented in the form of a structural diagram. In order to determine the level of development of entrepreneurship in Azerbaijan, based on statistical data from recent years, the number of entities operating in this area and the added value created were analyzed. The need for state regulation of business activity is substantiated, the main functions, tasks and areas of improvement are studied.

**Key words:** entrepreneurship, entrepreneurial activity, entrepreneurial idea, government regulation, production, micro entrepreneurship, infrastructure

### Резюме

## ОЦЕНКА РЕГУЛИРУЮЩЕЙ РОЛИ ГОСУДАРСТВА В РАЗВИТИИ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Гасымова З.М., Тагиева А.В.

В статье раскрывается сущность предпринимательства и рассматривается его роль в развитии экономики страны. Приводится информация об основных отличительных чертах и функциях предпринимательства. Обоснована необходимость реализации предпринимательской идеи и представлена в виде структурной схемы логическая последовательность действий предпринимателей в этом процессе. Для определения уровня развития предпринимательства в Азербайджане на основе статистических данных последних лет был проведен анализ количества субъектов, действующих в этой сфере, и создаваемой ими добавленной стоимости. Обоснована необходимость государственного регулирования предпринимательской деятельности, исследованы основные функции, задачи и направления совершенствования.

**Ключевые слова:** предпринимательство, предпринимательская деятельность, предпринимательская идея, государственное регулирование, производство, микропредпринимательство, инфраструктура

## TARİXİ MÜNAQİŞƏLƏRDƏ ENERJİ AMİLİ VƏ BU GÜNÜN ENERJİ TƏHLÜKƏSİZLİYİ ÇAĞIRIŞLARI

Məhərrəmov Samir Qasım

Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan

[Maharramov.samir@sdu.edu.az](mailto:Maharramov.samir@sdu.edu.az)

**Xülasə** Tezisdə Azərbaycan tarixində enerji amilinin oynadığı rol və müasir enerji təhlükəsizliyi məsələlərinin formalaşmasında tarixi proseslərin təsiri araşdırılır. XIX əsrdə Bakının qlobal neft sənayesinin mərkəzlərindən birinə çevrilməsi, Birinci və İkinci Dünya müharibələrində neftin strateji əhəmiyyəti, Sovet dövründə enerji sektorunun inkişafı və müstəqillikdən sonra həyata keçirilən böyük enerji layihələri ölkənin siyasi və iqtisadi xəttinin müəyyənlişməsi prosesində əsas faktor olmuşdur. XXI əsrdə Azərbaycanın enerji marşrutlarının beynəlxalq əhəmiyyəti, enerji infrastrukturunun təhlükəsizliyi və bəzə olunan enerji imkanları ölkənin dayanıqlı inkişaf strategiyasının əsas istiqamətlərindən biri kimi qiymətləndirilir. Tarixi təcrübə enerji təhlükəsizliyinin təkcə iqtisadi deyil, həm də milli təhlükəsizlik və geosiyasi sabitlik baxımından həlledici əhəmiyyətə malik olduğunu göstərir.

**Açar sözlər:** Azərbaycan, enerji, təhlükəsizlik, geosiyasət, neft, infrastruktur

Azərbaycan tarixində enerji qaynaqları daim ölkənin siyasi taleyini və beynəlxalq mövqeyini müəyyən edən ən vacib amillərdən biri olmuşdur. Xəzər hövzəsinin qədimdən bəri neftlə zənginliyi bu əraziləri həm regional dövlətlərin, həm də böyük imperiyaların diqqət mərkəzinə gətirmişdir. Xüsusilə XIX əsrin sonlarından başlayaraq Azərbaycanın enerji potensialı ətrafında yaranan rəqabət həm ölkənin daxili inkişafına, həm də beynəlxalq münasibətlərinə öz təsirini göstərmişdir. Bu tarixi prosesləri araşdırmaq bugünkü enerji təhlükəsizliyi məsələlərinin mahiyyətini daha aydın anlamağa imkan verir. XIX əsrdə Bakıda neft sənayesinin sürətli inkişafı şəhərin simasını tamamilə dəyişdi. Dünyanın müxtəlif ölkələrindən sərmayədarlar Bakıya axışır, şəhər isə qısa müddətdə qlobal neft sənayesinin aparıcı mərkəzlərindən birinə çevrilirdi. Nobel və Rotşild kimi iri maliyyə qruplarının bölgədə fəaliyyət göstərməsi Bakı neftinə beynəlxalq rəqabət xarakteri verirdi. Həmin illərdə Bakı dünyanın böyük hissəsinə neft ixrac edən yeganə sənaye məkanlarından biri idi və bu, Rusiyanın iqtisadi və siyasi xəttində Bakının rolunu daha da artırmışdı [1].

Birinci Dünya Müharibəsi illəri enerji faktorunun nə qədər mühüm olduğunu bir daha göstərdi. 1918-ci ildə Bakının müxtəlif qüvvələr tərəfindən ələ keçirilməyə çalışılması sırf neftlə bağlı idi. Həmin dövrdə Azərbaycan Xalq Cümhuriyyəti neftin iqtisadi əhəmiyyətini dərk edir, lakin bölgədəki mürəkkəb hərbi-siyasi vəziyyət enerji resurslarını xarici müdaxilə üçün həssas hala gətirirdi. Buna baxmayaraq, Cümhuriyyət dövründə neft ölkənin müstəqillik cəhdinə mühüm iqtisadi dayaq rolunu oynadı. İkinci Dünya Müharibəsi zamanı Azərbaycan neftinin əhəmiyyəti daha da artdı. SSRİ ordusunun yanacaq təminatının böyük hissəsi Bakı neftindən qarşılandığından, Almaniyanın Qafqaza doğru irəliləməsinin əsas səbəblərindən biri məhz Bakı yataqlarına nəzarət idi. 1942-ci ildə Hitlerin Bakını ələ keçirməyi hədəfləyən planları bu şəhərin strateji dəyərini açıq şəkildə nümayiş etdirirdi. Müharibənin gedişində Azərbaycan nefti SSRİ-nin müqavimət gücünü artıran əsas faktor olmuşdur.

Sovet hakimiyyəti illərində Azərbaycan enerji sənayesi mühüm inkişaf mərhələsindən keçdi. Xəzərdə ilk böyük dəniz platformalarının qurulması, “Neft Daşları” kimi unikal sənaye məkanının yaradılması ölkənin enerji sahəsində yenilikçi mövqeyini gücləndirdi. Bununla belə, bütün hasilat və gəlirlər mərkəzləşdirilmiş sistem tərəfindən idarə edildiyi üçün, Azərbaycanın öz enerji resurslarından tam

faýdalanması mümkin deyildi. Onu da qeyd edə bilərik ki, Azərbaycan nefti II Dünya müharibəsi prosesində SSRİ-nin qalib gəlməsində əsas rol oynayan sahələrdən olmuşdur [3].

Müstəqilliyin bərpasından sonra enerji siyasəti Azərbaycan üçün həm çətinliklər, həm də yeni imkanlar açdı. Qarabağ münaqişəsinin ilk mərhələsində iqtisadi sistem zərər gördüyündən enerji sahəsinin yenidən qurulması vacib idi. Ulu öndər Heydər Əliyev hakimiyyətə gəldikdən sonra Azərbaycanın sosial-iqtisadi və siyasi cəhətdən inkişafı üçün tədbirlər planı həyata keçirdi. Bunlardan biri də 1994-cü ildə imzalanan “Əsrin müqaviləsi” idi. “Əsrin müqaviləsi” Azərbaycan üçün dönüş nöqtəsi oldu. Xəzərin Azərbaycan sektorundakı yataqlara böyük xarici sərmayələrin yönəldilməsi ölkənin dünya enerji xəritəsində mövqeyini gücləndirdi və iqtisadiyyatın dirçəlməsinə mühüm töhfə verdi [2]. Bununla yanaşı, enerji diplomatiyası Azərbaycanın beynəlxalq əlaqələrində yeni bir mərhələnin əsasını qoydu.

XXI əsrdə Azərbaycanın reallaşdırdığı enerji layihələri regionun geosiyasi strukturuna ciddi təsir göstərdi. Bakı–Tbilisi–Ceyhan neft kəməri, Bakı–Tbilisi–Ərzurum qaz kəməri, Cənub Qaz Dəhlizi və digər layihələr Azərbaycanın Avropa üçün vacib enerji tədarükçülərindən birinə çevrilməsinə şərait yaratdı [5]. Bu marşrutların işə düşməsi həm ölkənin enerji təhlükəsizliyini, həm də onun siyasi çəkisini artırmışdır. Müasir dövrdə enerji təhlükəsizliyi Azərbaycanın prioritet istiqamətlərindən biridir. Qlobal iqtisadi və siyasi dəyişikliklər, yeni enerji bazarlarının formalaşması, həmçinin regionda baş verən proseslər enerji məsələlərinə daha kompleks yanaşma tələb edir. Azərbaycan üçün əsas vəzifələr arasında enerji infrastrukturunun qorunması, ixrac yollarının təhlükəsizliyinin təmin edilməsi və iqtisadiyyatın neftdən asılılığının tədricən azaldılması dayanır. Eyni zamanda, bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişaf etdirilməsi ölkənin enerji təhlükəsizliyinə yeni imkanlar açır. Qarabağ və Şərqi Zəngəzurda planlaşdırılan “yaşıl enerji zonası” bu istiqamətdə strateji addımlardandır. Sadladığımız bütün işlərin həyata keçirilməsində cənab prezident İlham Əliyevin əvəzolunmaz xidmətləri olmuşdur. Azərbaycan dünyanın güclü ölkələri sırasına daxil olmuş və söz sahibi olmuşdur.

Bütün bu tarixi təcrübələr göstərir ki, Azərbaycan enerji resurslarına malik olmaqla həm güclü iqtisadi potensial əldə etmiş, həm də müxtəlif dövrlərdə böyük geosiyasi təzyiqlərlə üzləşmişdir. Buna görə enerji siyasətinin ağıllı şəkildə idarə olunması, resursların səmərəli istifadəsi və alternativ enerji mənbələrinin inkişafı ölkənin gələcək təhlükəsizliyi və dayanıqlı inkişafı üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Enerji faktoru Azərbaycan üçün yalnız iqtisadi üstünlük deyil, həm də siyasi sabitlik və milli müstəqilliyin mühüm dayağı kimi tarixi əhəmiyyətini qorumaqdadır.

Prezident İlham Əliyevin şəxsi nüfuzu, siyasi liderlik qabiliyyəti sayəsində Avropanın enerji təhlükəsizliyinin təmin edilməsi sahəsində atdığı addımlar dövlətin beynəlxalq nüfuzunun möhkəmləndirilməsinə töhfə verib, etibarlı tərəfdaş imicini formalaşdırıb və Azərbaycanı global problemlərin həll olunduğu platformaya çevirib. Azərbaycanda hazırda nəhəng enerji infrastrukturunu yaradılıb və bununla da, Avrasiyanın enerji xəritəsi dəyişdirilib [4].

## Ədəbiyyat

1. Quliyev S. Azərbaycan neft sənayesinin tarixi. Bakı, 2010.
2. [file:///C:/Users/HP/Downloads/Heyder\\_Eliyevin\\_neft\\_strategiyasi\\_davam\\_edir\\_Esrin\\_muqavilesi-10.pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/Heyder_Eliyevin_neft_strategiyasi_davam_edir_Esrin_muqavilesi-10.pdf)
3. [file:///C:/Users/HP/Downloads/Baki\\_nefti\\_qləbenin\\_achari.pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/Baki_nefti_qləbenin_achari.pdf)
4. [https://www.anl.az/down/meqale/jurnalistika/2017/7/27\(meqale\).pdf](https://www.anl.az/down/meqale/jurnalistika/2017/7/27(meqale).pdf)
5. [file:///C:/Users/HP/Downloads/Efsaneden\\_gerchekliye-Heyder\\_Eliyev\\_adina\\_Baki-Tbilisi-Ceyhan\\_neft\\_kemeri.pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/Efsaneden_gerchekliye-Heyder_Eliyev_adina_Baki-Tbilisi-Ceyhan_neft_kemeri.pdf)

## Summary

### THE ENERGY FACTOR IN HISTORICAL CONFLICTS AND TODAY'S ENERGY SECURITY CHALLENGES

*Maharramov S.G.*

The thesis examines the role of the energy factor in the history of Azerbaijan and the impact of historical processes on the formation of modern energy security issues. The transformation of Baku into one of the global centers of the oil industry in the 19th century, the strategic importance of oil during the First and Second World Wars, the development of the energy sector in the Soviet period, and the major energy projects implemented after independence have been key factors in shaping the country's political and economic course. In the 21st century, the international importance of Azerbaijan's energy routes, the security of energy infrastructure, and the potential of renewable energy are regarded as main directions of the country's sustainable development strategy. Historical experience demonstrates that energy security is crucial not only from an economic standpoint but also in terms of national security and geopolitical stability.

**Keywords:** Azerbaijan, energy, security, geopolitics, oil, infrastructure

Резюме  
**ИСТОРИЧЕСКИЕ КОНФЛИКТЫ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКТОР,  
А ТАКЖЕ СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**  
*Махаррамов С.К.*

В тезисе исследуется роль энергетического фактора в истории Азербайджана и влияние исторических процессов на формирование современных вопросов энергетической безопасности. Превращение Баку в один из центров мировой нефтяной промышленности в XIX веке, стратегическое значение нефти в период Первой и Второй мировых войн, развитие энергетического сектора в советское время и реализация крупных энергетических проектов после обретения независимости стали ключевыми факторами в определении политического и экономического курса страны. В XXI веке международное значение энергетических маршрутов Азербайджана, безопасность энергетической инфраструктуры и возможности возобновляемой энергетики рассматриваются как одно из основных направлений стратегии устойчивого развития страны. Исторический опыт показывает, что энергетическая безопасность имеет решающее значение не только с экономической точки зрения, но и в контексте национальной безопасности и геополитической стабильности.

**Ключевые слова:** Азербайджан, энергия, безопасность, геополитика, нефть, инфраструктура

## AZƏRBAYCANIN DAVAMLI ENERJİ MƏNBƏLƏRİ

**Musayeva Fidan**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*  
[fidan.musayeva2003@gmail.com](mailto:fidan.musayeva2003@gmail.com)

**Xülasə.** Tezis materialında ilkin olaraq ümumilikdə bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə haqqında məlumat verilmişdir. Bərpa olunan enerji mənbələrinə misal olaraq külək enerjisini, günəş enerjisini, geotermal enerjini misal göstərmək olar. Seçdiyimiz mövzu başlığına uyğun olaraq məruzədə Azərbaycanın davamlı enerji mənbələri haqqında məlumatlarda öz əksini tapır.

**Açar sözlər:** geotermal, bərpa olunan enerji, bioenerji potensialı

**Bərpa olunan enerji** — günəş, külək, dalğa, geotermal enerji, su və digər bərpa olunan mənbələrdən alınan enerjiyə deyilir. Bu zaman təbiətdə daim baş verən proseslərdən istifadə olunur və bu mənbələr insan istifadəsi nəticəsində tükənə bilməz. Alternativ energetika təkcə ətraf mühitin mühafizəsi üçün vacib deyil. Qeyri-ənənəvi enerji mənbələrindən istifadə iki vacib şərtə əsaslanır: yanacaq mənbəyinin bərpa olunan olması və verilmiş ərazidə mövcudluğu. O, ölkələrin, ərazilərin, təsərrüfat sistemlərinin neftdən və onun qiymətindən asılılığını yumşaldır. Regionun xüsusiyyətindən asılı olaraq alternativ enerjidən istifadənin strukturunda bu və ya digər mənbə üstünlük təşkil edir. Məsələn, İspaniya, Danimarka və ABŞ-nin bəzi ştatlarında alternativ enerji istehsalında üstünlük geotermal mənbələrə verilir. Norveçdə, əsasən, kiçik gücə malik hidroenergetik qurğulardan istifadə edilir. Düzən ərazilərdə külək elektrostansiyalarından, cənub regionlarda günəş batareyalarından istifadə edilir. Zəngin meşə ehtiyatlarına malik ölkələrdə biokütlənin (yonqar, talaşa) yanma texnologiyasından geniş istifadə edilir. Azərbaycanda alternativ və bərpaolunan enerji potensialı olduqca yüksəkdir. Belə ki, son tədqiqatlar ölkəmizdə 27,5 min meqavat həcmində bərpaolunan enerji potensialının mövcudluğunu təsdiqləyib. Bunun isə 3 min meqavatı külək enerjisinin, 23 min meqavatı günəş enerjisinin, 380 meqavatı bioenerjinin, 520 meqavatı isə dağ çaylarının payına düşür. Bütövlükdə isə, hazırda Azərbaycanın ümumi enerji istehsalında bərpaolunan enerjinin payı 17,3 faiz təşkil edir. Azərbaycan 3 əsas enerji şirkəti ilə anlaşma memorandumu və müvafiq müqavilələr imzalayıb. Onlara uyğun olaraq həm quruda, həm də dənizdə 25 qiqavat bərpaolunan günəş və külək enerjisinin istehsal ediləcəyi, bu həcm 10 qiqavatının “Masdar” şirkəti, 12 qiqavatının “Fortescue” şirkəti üzərinə düşdüyü nəzərdə tutulub. “ACWA Power” şirkəti isə 2,5 qiqavat enerjinin istehsalı üzrə öhdəlik götürüb. Azərbaycanda ətraf mühitin sağlamlaşdırılmasını həyata keçirən və bərpaolunan enerji istehsal edən sahibkarlıq subyektlərinə vergi güzəşti tətbiq edilməsi nəzərdə tutulub. Ənənəvi enerji mənbələrinin tədricən tükənməsini və onlardan istifadə zamanı ətraf mühitə vurulan külli miqdarda ziyanı nəzərə alaraq, dünyanın inkişaf etmiş ölkələrində ekoloji cəhətdən təmiz *bərpa olunan* enerji mənbələrindən (günəş və külək enerjisi, kiçik SES-lər, termal sular, bio-kütlə enerjisi) geniş istifadə olunur. Bu sahədə ABŞ, Kanada, Almaniya, Finlandiya, Norveç, Danimarka, İspaniya, Yaponiya və Çin daha qabaqcıl mövqelərdə tuturlar. Statistika görə inkişaf etmiş ölkələrdə bərpa olunan enerji mənbələrinin payına (su elektrik stansiyaları daxil olmaqla) ümumi istehsal olunan enerjinin 13,5 faizi düşür. Bərpa olunan enerji mənbələri arasında külək enerjisi mühüm yer tutur. Külək enerjisindən istifadəyə görə Almaniya dünya ölkələri arasında liderlik edir. Həmin ölkədə "Bərpa olunan enerji mənbələri haqqında" Qanunun qəbul edilməsi bu işə güclü təkan vermişdir. İndi Almaniya külək enerji qurğularının istehsalı, quraşdırılması və istismarı sahəsində 35 mindən çox işçi çalışır. Elektrik enerjisinin istehsalında suyun potensial enerjisi ekoloji baxımdan təmizdir. Bu mənbədən alınan elektrik enerjisinin istehsalı 1990-cı ildən başlayaraq yüksələn tempolə artır. Böyük su ehtiyatlarına

malik olan Latin Amerikası, Asiya və Afrikanın bəzi ölkələri, həmçinin Avropanın şimal ölkələri digər *bərpa olunan* enerji mənbələrindən istifadə etməklə yanaşı, bu mənbədən də istifadə etməyi prioritet istiqamət kimi qəbul etmişlər.

Günəş enerjisinin birbaşa istilik enerjisinə çevrilməsi dünya praktikasında geniş yayılmışdır və bu, inkişaf etmiş ölkələrdə energetikanın əsas istiqamətlərindən biri hesab olunur. 1997-ci il Kioto razılaşmasının protokoluna əsasən Avropa Birliyi ölkələrində və ABŞ-da *bərpa olunan* enerji mənbələrindən istifadə etmək üçün iri miqyaslı stansiyaların tikintisinə başlanmışdır. Günəş enerjisindən istifadə etməklə alınan istilik enerjisinin həcmi elektrik enerjisi ekvivalentində kifayət dərəcədə yüksəkdir. Belə ki, bu göstərici ABŞ-da 600 MVt, Fransada 100 MVt, İsraildə 100 MVt, Türkiyədə 50 MVt və b. səviyyəsindədir.

Külək enerjisi digər *bərpa olunan* enerji mənbələri olan günəş, hidroenergetika, geotermal və biokütlə enerjisindən özünün maya dəyərində, ekoloji təmizliyinə və tükənməzliyinə görə ən sərfəlisidir.

Təcrübə göstərir ki, Azərbaycanın bir çox rayonlarında külək enerjisi qurğularının tətbiqinin böyük perspektivi vardır. Hesablamalara görə Azərbaycan Respublikası özünün coğrafi vəziyyətinə, təbii şəraitinə və iqtisadi infrastrukturuna görə 800 MVt-a yaxın illik külək enerji ehtiyatına malikdir. Bu ehtiyat ildə təxmini hesablamalara görə 2,4 milyard kVt/saat elektrik enerjisi deməkdir. Bu isə öz növbəsində, ildə 1 milyon tona yaxın şərti yanacağa qənaət, ən əsası isə ildə külli miqdarda tullantıların, o cümlədən azondağıdıcı olan karbon dioksidin atmosfərə atılmasının qarşısının alınması deməkdir.

Çoxillik müşahidələr nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, ən əlverişli külək şəraiti Abşeron yarımadasında, Xəzər dənizi sahili zolağında və akvatoriyanın şimal-qərb hissəsində olan adalardadır. Azərbaycanın qərbində Gəncə-Daşkəsən zonasında və Naxçıvan Muxtar Respublikasının Şərur-Culfa ərazisində küləyin orta illik sürəti 3-5 m/san. olduğu üçün bu regionlarda orta güclü külək elektrik qurğularından istifadə etmək olar.

Azərbaycanın təbii iqlim şəraiti günəş enerjisindən istifadə etməklə elektrik və istilik enerjisinin istehsalını artırmağa geniş imkanlar açır. Belə ki, günəşli saatların miqdarı il ərzində ABŞ-da və Orta Asiya ölkələrində 2500-3000 saat, Rusiyada 500-2000 saat, Azərbaycanda isə 2400-3200 saatdır.

Günəş enerjisindən istifadənin inkişafı Azərbaycanın bir çox rayonlarında enerji problemini qismən həll edə bilər. Son zamanlar dünyanın bir sıra qabaqcıl dövlətlərində Fotovodtaik Proqramının (FVP) geniş şəkildə tətbiq olunmasına başlanmışdır. Azərbaycanın bu Proqrama cəlb olunması regionda belə tip enerji sistemlərinin tətbiqində mühüm rol oynaya bilər.

Qeyd etmək lazımdır ki, günəş stansiyalarının effektivliyi ölkənin təbii iqlim şəraitindən və coğrafi mövqeyindən asılıdır. Belə ki, bir il ərzində  $1m^2$  yer səthinə düşən günəş enerjisinin miqdarı ABŞ-da 1500-2000 kVt.s, Rusiyada 800-1600 kVt.s, Fransada 1200-1400 kVt.s, Çində 1800-2000 kVt.s və Azərbaycanda 1500-2000 kVts təşkil edir. Göründüyü kimi, Azərbaycan ərazisinə düşən günəş şüalarının miqdarı digər ölkələrlə müqayisədə üstünlük təşkil edir ki, bu da günəş enerjisindən istifadənin tətbiqinə sərmayələrin cəlb edilməsinin səmərəlilik meyarlarından biri kimi qiymətləndirilə bilər. Azərbaycan Respublikasının ümumi enerji sistemində su elektrik stansiyalarının istehsal gücünün xüsusi çəkisi hazırda 17,8 faiz təşkil edir. 2003-cü ildə istehsal olunan elektrik enerjisinin 2,4 mlrd.kVt.s su elektrik stansiyalarının payına düşür ki, bu da istehsal olunmuş ümumi elektrik enerjisinin 11,4 faizini təşkil edir.

Ölkədə indiyə qədər istifadə edilməmiş hidroenergetika ehtiyatlarının mənimsənilməsi üçün geniş imkanlar vardır. Bu istiqamətdə aparılmış tədqiqat işləri nəticəsində Azərbaycan Respublikasındakı çayların tam hidroenerji potensialının 40 mlrd.kVt.s, texniki cəhətdən əlverişli potensialın isə 16 mlrd.kVts olduğu müəyyən edilmişdir ki, bunun da 5 mlrd.kVt.s kiçik su elektrik stansiyalarının payına düşür.

Su elektrik stansiyalarının tikintisi - sel sularının tənzimlənməsi, ekoloji cəhətdən təmiz elektrik enerjisi istehsalı və yeni suvarma sistemlərinin yaradılması kimi dövlət əhəmiyyətli məsələlərin həllində mühüm rol oynayır. Azərbaycan Respublikasında çaylar üzərində və su təsərrüfatı obyektlərində onlarla kiçik su elektrik stansiyaları yerləşdirmək olar ki, onların da istehsal etdiyi elektrik enerjisi ildə 3,2 mlrd.kVt.s təşkil edə bilər. Yaxın perspektivdə 61 kiçik SES-in tikintisi məqsədəuyğun hesab edilir. Bu SES-lər irriqasiya kanalları üzərində, axını tənzimlənməmiş çaylarda və tikiləcək su anbarlarının yanında yerləşdirilə bilər. Ölkədə həmçinin vahid enerji sisteminin elektrik xətlərindən və yarımstansiyalarından uzaqda yerləşən obyektlərin, yaşayış məntəqələrinin elektrik enerjisi ilə təchizində mikro SES-lərdən də istifadə olunması elektrik enerjisi problemləri ilə yanaşı, digər sosial məsələlərin də həllinə imkan yarada bilər.

Azərbaycan Respublikasında sənaye, kənd təsərrüfatı və sosial xidmət sahələrinin sürətli inkişafı biokütlədən istifadə etməklə enerji istehsalı üçün yeni imkanlar açır. Ölkədə biomaddələrin aşağıdakı mənbələri mövcuddur:

- yanma qabiliyyəti olan sənaye tullantıları;
- meşə təsərrüfatı və ağac emalı sahələrinin tullantıları;
- kənd təsərrüfatı məhsulları və üzvi birləşmə tullantıları;
- məişət və kommunal sahələrinin tullantıları;
- neft və neft məhsulları ilə çirklənmiş sahələrdən alınan tullantılar.

Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, iqtisadiyyatın bütün sahələrində istehsal tullantılarının tərkibinin çox hissəsini biokütlə maddələri təşkil edir. Həmin biokütlə maddələrindən elektrik enerjisinin istehsalında istifadə olunan bioqaz, biomaye və bərk biokütlənin alınması mümkündür. Belə ki, Azərbaycan Respublikasında hər il tullantıların zərərsizləşdirilməsi poliqlonlarına 2,0 milyon tondan çox bərk məişət və istehsalat tullantıları atılır. Bakı və ölkənin iri sənaye şəhərlərində ictimai binaların qızdırılmasındakı çətinlikləri aradan qaldırmaqda bərk məişət və istehsalat tullantılarının utilizasiya olunması (emal edilməsi) həmin problemlərin qismən aradan qaldırılmasını təmin etmiş olardı.

Artıq bir çox Avropa ölkələrində bu problemin həlli yolları tapılmışdır. Belə ki, əhalisi sıx olan ərazilərdə zibilyandırma zavodları tikilməklə, orada məişət tullantıları yandırılır. Zibillərin yandırılmasından alınan enerji hesabına ətrafdakı yaşayış məntəqələri istilik və elektrik enerjisi ilə təmin edilir. Yandırılmış tullantıların qalıqlarından isə gübrə kimi torpaqların münbitliyini artırmaq məqsədilə geniş istifadə olunur. Göründüyü kimi, kompleks əhəmiyyəti olan belə zavodların tikilməsi Azərbaycan üçün də çox zəruridir. Yer təkinin istiliyi bir çox ölkələrdə sənaye, kənd təsərrüfatı, məişət və kommunal sahələrdə və təbabətdə geniş istifadə olunur. Enerji istehsalında və istehlakında geotermal enerji mənbələrindən istifadənin üstünlüyü ondan ibarətdir ki, onların tətbiqi iri həcmli maliyyə vəsaiti tələb etmir.

Azərbaycan Respublikasının ərazisi termal sularla zəngindir. Bunlar Böyük və Kiçik Qafqaz dağları, Abşeron yarımadası, Talış dağ-yamac zonası, Kür çökəkliyi və Xəzəryanı-Quba ərazisi kimi geniş sahələri əhatə edir. Göstərilən ərazilərdə olan termal suları istifadəyə cəlb etməklə məişətdə və digər sahələrdə istilik enerjisinə olan ehtiyacın bir hissəsini ödəmək mümkündür.

Dövlət Proqramında nəzərdə tutulan tədbirlərin həyata keçirilməsi nəticəsində özəl investisiya mənbələrini cəlb etməklə *bərpa olunan* enerji mənbələrinin imkanlarından maksimum istifadə edərək ölkənin elektrik enerjisi sistemində əlavə güclər qoşula bilər. Azərbaycan bərpa olunan enerji mənbələri üzrə yüksək potensiala malik olan ölkələrdəndir. Belə ki, ölkəmizin bərpa olunan enerji mənbələrinin texniki potensialı quruda 135 QVt, dənizdə 157 QVt-dır. Bərpa olunan enerji mənbələrinin iqtisadi potensialı 27 QVt, o cümlədən, külək enerjisi üzrə 3 000 MVt, günəş enerjisi üzrə 23 000 MVt, bioenerji potensialı 380 MVt, dağ çaylarının potensialı 520 MVt həcmində qiymətləndirilir. Enerji resursları ilə zəngin olmasına və dünyada enerji resurslarının ixracatçısı kimi tanınmasına baxmayaraq Azərbaycan Respublikasında bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə hər zaman diqqət mərkəzində olub. Azərbaycan Respublikasının Prezidenti cənab İlham Əliyevin rəhbərliyi altında həyata keçirilən enerji təhlükəsizliyi siyasətinin təməl hədəflərindən biri də ölkəmizdə bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadənin gücləndirilməsindən ibarətdir.

## Ədəbiyyat

1. Elektroenergetikanın əsasları. N.İ. Orucov. Bakı-2020
2. Elektrotexnika. S.Z. Məmmədov. Bakı-2024
3. Elektrotexnikanın əsasları. Mehriban Eyvazova. Bakı-2019

### Summary SUSTAINABLE ENERGY SOURCES OF AZERBAIJAN Musayeva F.

In this thesis, preliminary information on the use of renewable energy sources is presented. Examples of renewable energy sources include wind energy, solar energy, and geothermal energy. In accordance with the selected topic, the research reflects information on the sustainable energy sources of Azerbaijan.

**Keywords:** geothermal, renewable energy, bioenergy potential

### Резюме УСТОЙЧИВЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ Мусаева Ф.

В данном тезисе первоначально представлена информация об использовании возобновляемых источников энергии в целом. В качестве примеров возобновляемых источников энергии можно привести ветровую энергию, солнечную энергию и геотермальную энергию. В соответствии с выбранной темой исследования, в работе отражена информация о устойчивых источниках энергии Азербайджана.

**Ключевые слова:** геотермальная энергия, возобновляемая энергия, потенциал биоэнергии

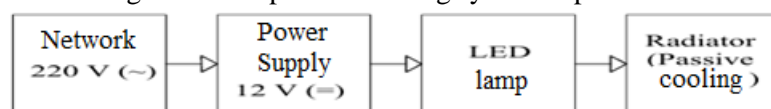
## THERMAL MANAGEMENT OF LIGHTING DEVICES

<sup>1</sup>Rakhmonov I.U., <sup>2</sup>Toirov M.T.

*Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan*  
[ilider1987@yandex.ru](mailto:ilider1987@yandex.ru)

Nowadays, the demand for LED-type lighting devices is increasing proportionally with the growth of the population. This is due to their long service life and compliance with environmental requirements. However, this does not mean that such lighting devices have no disadvantages. During operation, these devices generate heat, which results in a decrease in the overall efficiency and service life of the lighting device. Improper thermal management can lead to a reduction in LED brightness, rapid degradation of components, and even complete failure of the entire device. This, in turn, directly necessitates thermal management. The primary function of thermal management systems is to effectively dissipate excess heat and prevent overheating of device components. Properly designed thermal management approaches not only maintain the operational efficiency of the device but also significantly extend its service life. This thesis examines the main types of thermal management technologies, their advantages and disadvantages, as well as modern solutions.

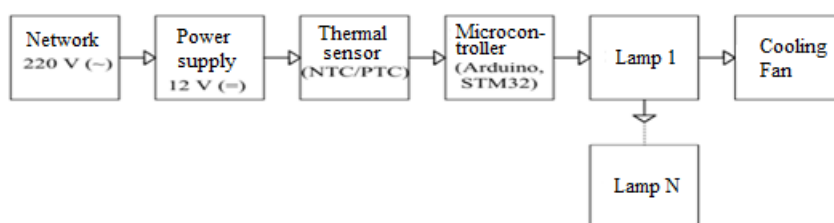
There are two types of thermal management systems: passive and active cooling systems. Passive cooling technologies include heat sinks, thermally conductive materials, and optimal design solutions for their placement. The schematic diagram of the passive cooling system is presented below.



*Fig. 1. Schematic diagram of the passive cooling system in the thermal management of a lighting device*

In Figure 1, a schematic diagram of the thermal management system of a lighting device operating from a 220 V network is presented. In this system, the 220 V alternating voltage of the network is converted into 12 V direct current by a converter device, which supplies the specified voltage to the LED lamp, and radiators are used in the lamp structure for cooling purposes. In particular, aluminum radiators are widely used because they have the ability to effectively dissipate heat through convection and radiation. This process is directly referred to as passive cooling. The passive cooling system is considered a simpler and more cost-effective system scheme. However, it provides lower reliability.

The active cooling system in the thermal management of a lighting device is also considered reliable. The reason for this is that the number of devices used in this system is greater and it is more expensive in terms of cost. In Figure 2, a schematic diagram of the active cooling system in the thermal management of a lighting device is presented. In this system, the alternating voltage obtained from the 220 V network goes to a device that serves as the power supply for lighting devices and converts 220 V into 12 V direct voltage, and from there it goes to a temperature sensor installed to obtain direct information about temperature, and from this device it goes to the microcontroller, which is one of the main control components of the process. In the next stage, the voltage value output from the microcontroller is directly connected in parallel with the lamps at the same time. After that, it goes to the final part of the cooling system through a fan. Active cooling systems include fans, airflow systems designed for heat circulation, as well as thermoelectric (Peltier) modules. These systems provide efficient cooling under high thermal loads. Modern lighting devices are often equipped with temperature sensors, which allows the operating mode to be automatically adjusted depending on the LED temperature using intelligent control systems.



*Figure 2. Schematic diagram of the active cooling system in the thermal management of a lighting device*

Such an approach not only manages heat but also increases energy efficiency. Currently, the field of modeling, which is considered one of the modern solutions to this problem, is becoming widespread. That is, the process of modeling heat distribution is one of the most important stages for ensuring more efficient operation of LED-based lamps. Fourier heat conduction equations are widely used to effectively manage the heat generated in the chips of LED lighting devices. Using these equations, it becomes possible to determine temperature distribution and heat flux. The most commonly used software environments in thermal modeling are ANSYS and COMSOL Multiphysics. The ANSYS software environment is based on the Finite Element Analysis (FEA) methodology and is used to determine heat distribution in LED packages and heat sinks, and through the results, it can enable optimization of convection, radiation, and heat conduction parameters. The next multiphysics modeling environment allows simultaneous analysis of thermal, electrical, and mechanical stresses. By modeling the real operating conditions of the LED module, it serves to optimize the design.

The Fourier equation in a three-dimensional, steady-state condition is defined as follows:

$$kT + q = 0$$

Here:  $k$  is the thermal conductivity coefficient,  $T$  is the temperature, and  $q$  is the internal heat source, that is, in the case of an LED, it is the power converted from electrical energy into heat.

In experiments conducted by certain researchers, LED modules equipped with various heat sinks were tested. The temperature was measured using thermocouples and an infrared camera. The obtained results showed that as the temperature increases, luminous efficiency decreases. This confirms the necessity of improving the efficiency of thermal management systems. Thermal performance can be enhanced by modifying heat sink geometry, using new materials with high thermal conductivity, and applying intelligent control algorithms. Control systems based on PID and fuzzy logic monitor temperature in real time and adjust lighting intensity accordingly.

Conclusion: The research results indicate that effective design and optimization of thermal management systems in LED-based lighting devices play an important role in increasing their overall energy efficiency and extending their service life. By modeling heat dissipation, identifying hot spots and managing them effectively creates a foundation for the further development of lighting technologies. In the future, the development of new heat sinks and thermal interface materials with high thermal conductivity based on nanomaterials will be of significance as an innovative direction. This will increase the thermal durability of lighting devices and provide opportunities for compact design, high performance, and environmental safety.

## References

1. Baniya, B., & Lee, J. (2020). Thermal management in solid-state lighting: A review of the state-of-the-art and future directions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110261.
2. COMSOL Inc. (2023). Modeling Thermal Management in LED Lighting Modules. Application Gallery.
3. ANSYS Inc. (2022). Thermal Simulation of LED Lighting Devices. White Paper.
4. O'zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi (2022). LED yoritgichlardan foydalanish samaradorligi bo'yicha texnik tavsiyalar. Texnik hisobot.
5. Hamidov, M. A. (2021). Yoritish tizimlarida energiya tejamkorlik va termal boshqaruv muammolari. *O'zMU Ilmiy axborotnomasi*, 2(3), 45–51.
6. Lasance, C. J. M. (2008). Thermal management of LED-based systems: Some recent developments. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 92(1), 1–8

## ŞƏHƏR SAHİLLƏRİNİN İNTEQRATİV PLANLAŞDIRILMASINDA MEMARLIQ VƏ TEXNOLOJİ YANAŞMALARIN SİNTEZİ

**Rəhmanov Əli Bəxdiyar**

*Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Univeristeti*

**Xülasə.** Şəhər sahil zonaları urban məkanda əhalinin sosial həyatında və ekoloji sistemin qorunmasında mühüm rol oynayır. Bu ərazilər çoxfunksiyalı istifadə məqsədləri – istirahət, turizm, nəqliyyat və mühafizə üçün vacibdir. Sahil məkanlarının səmərəli planlaşdırılması təkcə şəhərsalma və memarlıq baxımından deyil, həm də texniki təhlükəsizlik, ekoloji davamlılıq və texnologiyaların uyğun tətbiqi ilə sıx bağlıdır. Müasir dövrdə şəhər sahillərinin planlaşdırılması “inteqrativ yanaşma” anlayışı ilə həyata keçirilir. Bu yanaşma memarlıq dizaynı ilə texnoloji həlləri bir araya gətirməklə, sahil zonasının həm funksional, həm estetik, həm də müdafiə baxımından effektiv olmasına şərait yaradır. Bu məqalədə şəhər sahil zonalarının planlaşdırılmasında memarlıq və texnoloji yanaşmaların qarşılıqlı inteqrasiyası təhlil olunur. Müasir şəhərsalma prosesi təkcə funksional ərazilərin yerləşdirilməsini deyil, həmçinin ekoloji tarazlıq, estetik uyğunluq və texniki təhlükəsizliyin təmin olunmasını tələb edir.

**Açar sözlər:** Şəhərsalma, sahil zonası, memarlıq planlaşdırması, texnoloji yanaşmalar, mühafizə qurğuları

## Giriş

Şəhərsalma sistemləri – şəhərlərin və digər yaşayış məntəqələrinin planlaşdırılması, inkişaf etdirilməsi və idarə olunması üçün tətbiq edilən kompleks metodlar və təşkilati yanaşmalar toplusudur. Bu sistemlər şəhər mühitində sosial, iqtisadi, mədəni və ekoloji amilləri nəzərə alaraq əhalinin rahat və təhlükəsiz yaşayışını təmin etməyə xidmət edir. Şəhərsalma planlaşdırması çərçivəsində ərazi bölgüsü, enerji və nəqliyyat infrastrukturunu, ictimai xidmət obyektləri, yaşıllıq sahələri, sənaye və yaşayış zonalarının yerləşdirilməsi kimi əsas məsələlər müəyyənləşdirilir. Burada əsas məqsəd şəhər mühitində insan fəaliyyəti ilə ətraf mühit arasında harmoniyanın yaradılması, ekoloji tarazlığın qorunması və uzunmüddətli dayanıqlı inkişafın təmin edilməsidir. Eyni zamanda bu sistemlər əhali artımı, iqtisadi əlaqələrin genişlənməsi və texnoloji transformasiyalar kimi dəyişkən amillərə uyğunlaşa bilən çevik planlama mexanizmləri təqdim edir.

Müasir dövrdə şəhərsalma yanaşmaları rəqəmsal texnologiyalar və "ağıllı şəhər" konsepsiyası ilə sıx şəkildə bağlıdır və bu, urban mühitin daha funksional və idarəolunan olmasına imkan verir. Şəhər planlaşdırmasının səmərəli həyata keçirilməsi üçün dövlət qurumları, yerli özünüidarəetmə orqanları və digər maraqlı tərəflər arasında koordinasiya və təhlükəsiz əməkdaşlıq vacib şərtidir. Yalnız bu halda şəhər məkanında həm funksional, həm də estetik və ekoloji baxımdan balanslı inkişaf təmin oluna bilər. Şəhərlər, eyni zamanda, cəmiyyətin sosial-iqtisadi inkişafının mühüm daşıyıcısı olmaqla yanaşı, elmi-texniki tərəqqi və ekoloji sabitliyin də təminində aparıcı rola malikdir. Onların funksional yükünü və strateji əhəmiyyətini dərk etmək üçün şəhərlərin tarixi inkişaf mərhələlərinin və formalaşmış strukturunun dərin təhlili zəruridir. İctimai istehsalın təşkili, demoqrafik dinamikalar və şəhərsalma prosesləri bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqədə olaraq şəhərlərin təşəkkül tapmasına təsir göstərmişdir. Bu baxımdan, şəhər strukturlarının inkişafı yalnız iqtisadi fəaliyyətlə deyil, həm də əhalinin məskunlaşma xüsusiyyətləri və ətraf mühitlə qarşılıqlı əlaqə əsasında formalaşır.

Müxtəlif regionlarda şəhərlərin layihələndirilməsi zamanı təbii şərait, resurs potensialı və sənaye sektorunun tələbləri nəzərə alınır ki, bu da urban məkanın səmərəli təşkili baxımından əhəmiyyətlidir. Mühəndis-nəqliyyat infrastrukturunu şəhərsalma sisteminin təşəkkülündə və davamlı inkişafının təmin olunmasında əsas strateji amillərdən biri kimi çıxış edir. Avtomobil yolları, ictimai nəqliyyat xətləri, körpülər, tunellər və digər nəqliyyat qurğuları şəhərin funksional quruluşunu formalaşdırır, əhalinin hərəkətiliyini təmin edir və müxtəlif yaşayış zonaları arasında əlaqələndirici rola malik olur. Eyni zamanda, su təchizatı, kanalizasiya, elektrik enerjisi, qaz xətləri və telekommunikasiya şəbəkələri kimi mühəndis-kommunikasiya infrastrukturunu şəhərin texniki bazasını təşkil edərək onun fəaliyyətinin davamlılığını təmin edir. Davamlı şəhərlər konsepsiyası müasir urbanizasiya proseslərində rifahın təmin olunması, iqtisadi inkişafın dəstəklənməsi və ekoloji tarazlığın qorunmasını məqsədləndirən çoxşaxəli və integrativ yanaşmanı əhatə edir. Bu model şəhərlərin mövcud resurslardan səmərəli istifadəsini, ətraf mühitin mühafizəsini və sosial ədalət prinsipinə əsaslanan idarəetmə sistemlərinin qurulmasını nəzərdə tutur.

Davamlı şəhərlərin təşkili gələcək nəsillərin ehtiyaclarını da nəzərə alan uzunmüddətli planlaşdırma yanaşmalarını tələb edir. Nəticə etibarilə, davamlı şəhər modeli gələcəyin şəhərsalma strategiyalarında əsas istiqamət olaraq, daha sağlam, sosial cəhətdən inklüziv və ekoloji baxımdan təhlükəsiz urban mühitin yaradılmasına xidmət edir. Bu yanaşma yalnız şəhər sakinlərinin həyat keyfiyyətini yüksəltmir, eyni zamanda planetin uzunmüddətli ekoloji təhlükəsizliyini də təmin etmək məqsədi daşıyır [4].

## Nəticə

Sahil zonalarının planlaşdırılmasında memarlıq və texnoloji yanaşmaların sintezi, şəhər mühitinin dayanıqlı və funksional şəkildə inkişafına imkan yaradır. Məqalədəki təhlillər göstərir ki:

- Sahil zonasının planlaşdırılması yalnız estetik deyil, texniki təhlükəsizlik və ekoloji davamlılıq baxımından da kompleks yanaşma tələb edir.
- Yalnız memarlıq baxışı deyil, texnoloji və mühəndis həllərlə birləşdirilmiş düşünülən layihələr daha uzunömürlü və cəmiyyətə yararlıdır.

Şəhərsalma sisteminin formalaşdırılması və onun davamlı inkişafının təmin olunmasında peşəkar kadr potensialı əsas amillərdən biri kimi çıxış edir. Bu sahədə ixtisaslaşmış mütəxəssislər – memarlar, şəhər planlaşdırıcıları, inşaat mühəndisləri və ətraf mühit üzrə mütəxəssislər – şəhər məkanlarının səmərəli təşkili, funksional və estetik baxımdan balanslı inkişafı üçün mühüm rol oynayırlar.

## Ədəbiyyat

1. Ağzadə R. Şəhərsalma nəzəriyyəsinin əsasları. Bakı-2007
2. Cəfərov X. Məskunlaşma sisteminin planlaşdırma strukturunun formalaşması. Bakı- 2005. 81-84 s.
3. Həsənov T. İqtisadi-coğrafi rayonlaşdırma. Bakı-2012.
4. Həsənov T. Kərimli Y. Rayon və şəhərlərin planlaşdırılması. Bakı-2014. 330 s.

**Summary**  
**THE SYNTHESIS OF ARCHITECTURAL AND TECHNOLOGICAL APPROACHES IN INTEGRATIVE  
PLANNING OF URBAN WATERFRONTS**  
*Rakhmanov A.B.*

Urban coastal zones play an important role in the social life of the population in urban space and in the protection of the ecological system. These areas are important for multifunctional purposes - recreation, tourism, transportation and protection. Effective planning of coastal areas is closely related not only to urban planning and architecture, but also to technical safety, environmental sustainability and appropriate application of technologies. In modern times, urban coastal planning is carried out with the concept of an "integrative approach". This approach, by combining architectural design and technological solutions, creates conditions for the coastal zone to be effective in terms of both functionality, aesthetics and protection. This article analyzes the mutual integration of architectural and technological approaches in the planning of urban coastal zones. The modern urban planning process requires not only the placement of functional areas, but also ensuring ecological balance, aesthetic compatibility and technical safety.

**Keywords:** : Urban planning, coastal zone, architectural planning, technological approaches, protective devices

**Резюме**  
**СИНТЕЗ АРХИТЕКТУРНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ В ИНТЕГРАТИВНОМ ПЛАНИРОВАНИИ  
ГОРОДСКИХ НАБЕРЕЖНЫХ**  
*Рахманов А.Б.*

Городские прибрежные зоны играют важную роль в социальной жизни населения городских территорий и в защите экологической системы. Эти территории имеют важное многофункциональное значение — рекреация, туризм, транспорт и охрана природы. Эффективное планирование прибрежных пространств тесно связано не только с городским планированием и архитектурой, но и с технической безопасностью, экологической устойчивостью и правильным применением технологий. В настоящее время городское прибрежное планирование осуществляется на основе концепции «интегративного подхода». Такой подход, сочетающий архитектурное проектирование и технологические решения, позволяет сделать прибрежную зону функциональной, эстетичной и эффективной с точки зрения обороны. В статье анализируется взаимная интеграция архитектурных и технологических подходов при планировании прибрежных зон городов. Современный процесс городского планирования требует не только размещения функциональных зон, но и обеспечения экологического баланса, эстетической гармонии и технической безопасности.

**Ключевые слова:** Градостроительство, прибрежная зона, архитектурное планирование, технологические подходы, защитные устройства

**INTERACTION OF ENERGY & CLIMATE SECURITY RISK WITH FINANCIAL RISK IN EU  
MEMBER STATES**

**Ahmet ŞİT**  
*Malatya Turgut Ozal University, Malatya, TÜRKİYE*  
[ahmet.sit@ozal.edu.tr](mailto:ahmet.sit@ozal.edu.tr)

**Keywords:** Energy and Climate Security Risk, Financial Risk, European Union Countries, GMM

The aim of this study is to investigate the impact of energy and climate security risks on financial risks in European Union member states. The study covers the period 2010-2023. The independent variable is the energy and climate security risk of the countries; the dependent variable is the CDS premiums representing their financial risks. The GMM analysis shows that energy and climate security risks have a direct and inverse effect on the financial risks of the countries.

**References (alphabetical, English, in square brackets):**

1. Banna, H., Alam, A., Chen, X. H., & Alam, A. W. (2023). Energy security and economic stability: The role of inflation and war. *Energy Economics*, 126, 106949.
2. Blundell, R., Bond, S., & Windmeijer, F. (2001). Estimation in dynamic panel data models: improving on the performance of the standard GMM estimator. *Nonstationary panels, panel cointegration, and dynamic panels*, 53-91
3. Feng, C., Liu, Y. Q., & Yang, J. (2023). How Does Financial Development Affect Global Energy Security? A Functional Data Analysis. *Emerging Markets Finance and Trade*, 60(7), 1484–1497. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2023.2278650>
4. Gökğöz, F., & Güvercin, M. T. (2018). Energy security and renewable energy efficiency in EU. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96, 226-239.
5. Kartal, M. T., Pata, U. K., & Alola, A. A. (2024). Energy security risk and financial development nexus: Disaggregated level evidence from South Korea by cross-quantilogram approach. *Applied Energy*, 363, 123135.
6. Şit, A., & Hacıevliyagil, N. (2020). Türkiye Finansal Gelişiminde Enerji Tüketiminin Rolü. *Firat University Journal of Social Sciences*, 30(2), 305-315. <https://doi.org/10.18069/firatsbed.705197>.

7. Tutak, M., & Brodny, J. (2022). Analysis of the level of energy security in the three seas initiative countries. *Applied Energy*, 311, 118649.
8. World Energy Outlook (2023). About this report. Retrieved on 23.11.2025 from <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>.
9. Wu, F., Zhang, D., & Ji, Q. (2021). Systemic risk and financial contagion across top global energy companies. *Energy Economics*, 97, 105221.

#### Xülasə

### AVROPA B ÜZV DÖVLƏTLƏRİNDƏ ENERJİ VƏ İQLİM TƏHLÜKƏSİZLİYİ RİSKLƏRİNİN MALİYYƏ RİSKLƏRİ İLƏ ƏLAQƏSİ

*Ahmet Şit*

Bu tədqiqatın məqsədi Avropa Birliyinə üzv dövlətlərdə enerji və iqlim təhlükəsizliyi risklərinin maliyyə risklərinə təsirini araşdırmaqdır. Tədqiqat 2010-2023-cü illəri əhatə edir. Müstəqil dəyişən ölkələrin enerji və iqlim təhlükəsizliyi riskidir; asılı dəyişən isə onların maliyyə risklərini təmsil edən CDS mükafatlarıdır. GMM təhlili göstərir ki, enerji və iqlim təhlükəsizliyi riskləri ölkələrin maliyyə risklərinə birbaşa və tərs təsir göstərir.

**Açar sözlər:** Enerji və İqlim Təhlükəsizliyi Riski, Maliyyə Riski, Avropa Birliyi Ölkələri, GMM

#### Резюме

### ВЗАИМОСВЯЗЬ РИСКОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И КЛИМАТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С ФИНАНСОВЫМИ РИСКАМИ В ГОСУДАРСТВАХ-ЧЛЕНАХ ЕС

*Ahmet Şit*

Цель данного исследования — изучить влияние рисков энергетической и климатической безопасности на финансовые риски в государствах-членах Европейского союза. Исследование охватывает период 2010–2023 годов. Независимой переменной является риск энергетической и климатической безопасности стран; зависимой переменной — премии CDS, отражающие их финансовые риски. Анализ GMM показывает, что риски энергетической и климатической безопасности оказывают прямое и обратное влияние на финансовые риски стран.

**Ключевые слова:** Риски энергетической и климатической безопасности, финансовые риски, страны Европейского союза, GMM

### THE IMPACT OF COUNTRIES' ENERGY EXPENDITURES ON SUSTAINABLE FINANCIAL DEVELOPMENT: A STUDY ON HIGHLY REPRESENTATIVE COUNTRIES IN THE EUROPEAN UNION

**Haydar KARADAĞ**

*Rize Recep Tayyip Erdoğan University, Rize, TÜRKİYE*

[haydar.karadag@erdogan.edu.tr](mailto:haydar.karadag@erdogan.edu.tr)

**Mustafa ŞİT**

*Harran University, Şanlıurfa, TÜRKİYE*

[msit@harran.edu.tr](mailto:msit@harran.edu.tr)

**Ahmet ŞİT**

*Malatya Turgut Ozal University, Malatya, TÜRKİYE*

[ahmet.sit@ozal.edu.tr](mailto:ahmet.sit@ozal.edu.tr)

**Keywords:** Energy Expenditures, Budget, Sustainable Growth, OECD Countries, GMM

The aim of this study is to investigate the impact of energy expenditure budgets on the sustainable development of OECD countries. The study period is 2008-2023. The dependent variable of the model is the growth rate of the countries, and the independent variable is the ratio of energy expenditures to the budget, as obtained from the World Bank. The GMM analysis shows that the budget allocated to energy expenditures has a positive impact on sustainable growth. These results indicate that countries aiming for sustainable growth should allocate more budget to energy

#### Xülasə

### ÖLKƏLƏRİN ENERJİ XƏRCLƏRİNİN DAVAMLİ MALİYYƏ İNKİŞAFINA TƏSİRİ: AVROPA BİRLİYİNİN GENİŞ TƏMSİL OLUNAN ÖLKƏLƏRİNƏ YÖNƏLMİŞ BİR ARAŞDIRMA

*Karadağ H., Şit M., Şit A.*

Bu tədqiqatın məqsədi enerji xərcləri büdcələrinin OECD ölkələrinin davamlı inkişafına təsirini araşdırmaqdır. Tədqiqat dövrü 2008-2023-cü illərdir. Modelin asılı dəyişəni ölkələrin artım tempi, müstəqil dəyişəni isə Dünya Bankından əldə edilən enerji xərclərinin büdcəyə nisbətidir. GMM təhlili göstərir ki, enerji xərclərinə ayrılan büdcə davamlı artıma müsbət təsir göstərir. Bu nəticələr göstərir ki, davamlı artımı hədəfləyən ölkələr enerjiyə daha çox büdcə ayırmalıdır.

### Summary

## ВЛИЯНИЕ РАСХОДОВ СТРАН НА ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ НА УСТОЙЧИВОЕ ФИНАНСОВОЕ РАЗВИТИЕ: ИССЛЕДОВАНИЕ, ПОСВЯЩЕННОЕ ШИРОКО ПРЕДСТАВЛЕННЫМ СТРАНАМ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА Карадаг Г., Шит М., Шит А.

Цель данного исследования — изучить влияние бюджетов на энергозатраты на устойчивое развитие стран ОЭСР. Период исследования — 2008–2023 годы. Зависимой переменной модели является темп роста стран, а независимой переменной — отношение энергозатрат к бюджету, полученное из данных Всемирного банка. Анализ методом обобщенных моментов (GMM) показывает, что бюджет, выделяемый на энергозатраты, оказывает положительное влияние на устойчивый рост. Эти результаты указывают на то, что странам, стремящимся к устойчивому росту, следует выделять больше средств на энергетику.

**Ключевые слова:** Расходы на энергию, бюджет, устойчивый рост, страны ОЭСР, GMM

### References

1. Akter, S., Voumik, L. C., Rahman, M. H., Raihan, A., & Zimon, G. (2023). GDP, health expenditure, industrialization, education and environmental sustainability impact on child mortality: Evidence from G-7 countries. *Sustainable Environment*, 9(1), 2269746.
2. Blundell, R., Bond, S., & Windmeijer, F. (2001). Estimation in dynamic panel data models: improving on the performance of the standard GMM estimator. *Nonstationary panels, panel cointegration, and dynamic panels*, 53-91
3. Khan, I., Tan, D., Hassan, S. T., & Bilal. (2022). Role of alternative and nuclear energy in stimulating environmental sustainability: impact of government expenditures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(25), 37894-37905.
4. Taher, H. (2024). The impact of government expenditure, renewable energy consumption, and CO2 emissions on Lebanese economic sustainability: ARDL approach. *Environmental Economics*, 15(1), 217.
5. Yang, X., Li, N., Mu, H., Ahmad, M., & Meng, X. (2022). Population aging, renewable energy budgets and environmental sustainability: does health expenditures matter?. *Gondwana Research*, 106, 303-314

## REACTIVE POWER CONTROL USING FAST-SWITCHING THYRISTOR MODULES

**Atajiev Shokhrukh Mirazam, Toirov Muhammadkhon Toir**

*Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan*

[mr.shoh.mr@gmail.com](mailto:mr.shoh.mr@gmail.com)

**Harunov Asim Teyrun, Talifli Aysel Fizuli**

*Sumgait State University, Sumgait, Azerbaijan*

[asim.harunov@sdu.edu.az](mailto:asim.harunov@sdu.edu.az)

**Summary.** This paper examines the application of fast-switching thyristor modules for effective reactive power control in electrical networks. The study focuses on how rapid switching, zero-cross operation, and dynamic compensation improve power factor, reduce inrush currents, and stabilize voltage under rapidly changing load conditions. The paper highlights the advantages of using thyristor-based PFC systems in comparison to traditional electromechanical switching devices and discusses their impact on network reliability, operational efficiency, and overall power quality.

**Keywords.** Fast-switching thyristor modules, reactive power control, dynamic compensation, power factor improvement, rapid load changes, inrush current reduction, voltage stability, zero-cross switching, PFC system, electrical network reliability.

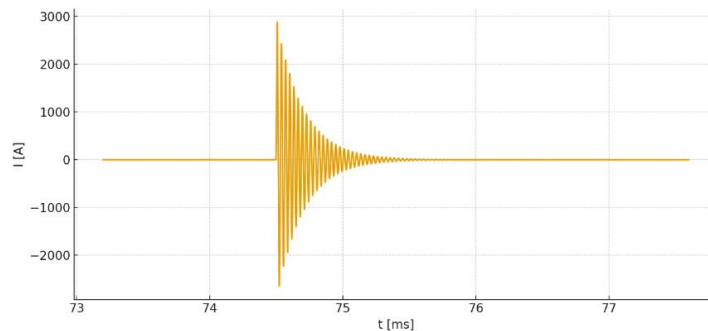
**Introduction.** In modern power distribution systems, rapid load variations, voltage instability, and excessive reactive power flow have become critical factors affecting overall power quality. Industrial environments with welding equipment, induction motors, presses, transformers, and automated production lines generate highly dynamic and fluctuating loads that significantly alter the reactive power balance in the network. Under such conditions, traditional power factor correction systems based on electromechanical contactors are unable to provide the required speed of response, as their switching operations involve noticeable delays and are subject to mechanical wear.

The use of fast-switching thyristor modules introduces new technical possibilities for efficient reactive power management. By enabling zero-cross switching, thyristors virtually eliminate inrush currents, reduce voltage transients, and minimize disturbances in the electrical network. Their ability to operate within milliseconds allows real-time compensation, ensuring stable power factor even under rapidly changing load conditions.

This approach not only improves the reliability of electrical systems but also reduces energy losses, prolongs equipment lifetime, and enhances the stability of industrial power supply infrastructures. Consequently, dynamic compensation systems based on thyristor technology have become an increasingly important solution in facilities where high responsiveness and precision in reactive power control are essential. This paper examines the operating principles of fast-switching thyristor modules, their advantages in reactive power control, and their performance compared to conventional PFC systems. Furthermore, the study explores effective methods for improving power quality through advanced thyristor-based compensation techniques.

Conventional power factor correction (PFC) units are typically built around a power factor controller paired with capacitor banks. These capacitors are usually connected to the electrical network through electromechanical contactors. However, because capacitors require a considerable amount of time to discharge after being switched off, the contactors cannot be reactivated immediately; their reset interval often exceeds 60 seconds, which significantly limits system responsiveness.

As modern electrical loads increasingly demand instantaneous compensation, systems based on electromechanical switches are no longer adequate. For this reason, fast-acting electronic devices — particularly thyristor modules — have begun to replace traditional contactors in dynamic PFC solutions. Unlike mechanical switches, thyristors do not experience physical wear, giving them a much longer operational lifetime. Their rapid switching capability is another key advantage: by engaging the capacitors precisely at the current's zero-crossing point, thyristor modules prevent the extremely high inrush currents that mechanical contactors often produce. In some cases, these current surges can reach up to 200 times the nominal operating value.



*Fig 1. Inrush Current Transient Waveform During Capacitor Switching.*

*Benefits of Dynamic PFC Systems:* Dynamic PFC technology provides several performance and operational advantages:

- It decreases reactive power flow and correspondingly reduces energy losses, even when load profiles change rapidly.
- It offers switching speeds of well under 20 milliseconds, enabling near real-time compensation.
- The mitigation of peak currents lowers the investment needed for electrical infrastructure such as distribution lines, transformers, and cable assemblies.
- It helps maintain voltage stability across the network — for example, preventing voltage dips during welding processes.
- Flicker effects caused by fluctuating loads are minimized.
- Capacitors can be switched smoothly without generating harmful transients.
- Both the compensation system and downstream equipment benefit from longer service life due to stress-free operation.

Dynamic PFC is implemented across a wide variety of industrial applications, including welding units, automotive manufacturing press lines, wind power installations, crane systems, elevator drives, and large-motor start-up systems. In many of these areas, thyristor-based compensation can even eliminate the need for soft starters.

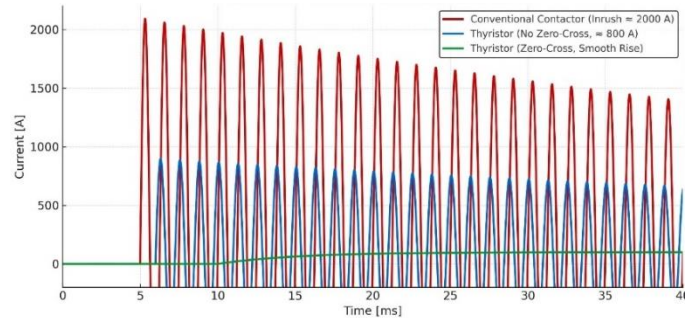
If a low-voltage capacitor is connected directly to the network without any damping, it behaves much like a short circuit at the instant of energization. This situation is especially problematic when multiple capacitors operate in parallel or when already charged capacitors are reconnected. Under such conditions, extremely high inrush currents occur, potentially damaging both the capacitor bank and other equipment. For this reason, effective damping mechanisms are essential to protect power quality and prolong capacitor life.

Figure 1 illustrates an example where the inrush current reaches 157 times the rated value — a result of connecting capacitors in parallel through a standard motor contactor.

Voltage transients generated by sudden current peaks represent a serious challenge in low-voltage power systems. Such disturbances may lead to insulation degradation, flashover events, or premature failure of electrical components. In addition, these transient phenomena often disrupt the operation of measurement devices, automation systems, and digital control units, which are highly sensitive to rapid variations in current and voltage.

A more effective solution is achieved by replacing mechanical contactors with thyristor modules. These semiconductor switches allow virtually unlimited switching cycles and exhibit extremely fast response times, making them suitable for environments where load conditions fluctuate rapidly. One of the major advantages of thyristor-based systems is their ability to energize capacitors at the exact moment the current crosses zero. Because the connection occurs at zero current, the system avoids the steep inrush peaks typically observed with mechanical switching devices.

Once the control signal reaches the thyristor, the capacitor is energized almost instantaneously. The current rises smoothly to its steady-state amplitude without producing the high transients normally associated with conventional capacitor switching. As a result, no harmful overvoltages or transient disturbances are introduced into the electrical network. Figure 2 demonstrates how the capacitor current remains free of inrush peaks when a thyristor is used.



**Fig 2.** *Current Waveform Analysis: Contactor Switching, Thyristor Zero-Cross and Non-Zero-Cross Modes.*

In networks affected by harmonic distortion, dynamic PFC stages must be designed with appropriate detuning inductors to prevent excessive capacitor loading. The combination of thyristor switching and harmonic protection results in a highly reliable and stable compensation system.

Dynamic PFC systems are widely used in industrial sectors where power demand fluctuates within milliseconds—for example, in steel production facilities, welding systems, robotic manufacturing lines, cranes, elevators, and large motor start-up applications. In such environments, real-time compensation is essential to maintain acceptable voltage stability and power quality. Properly designed dynamic PFC significantly decreases the system’s apparent power demand, reducing transformer loading and improving the efficiency of the power distribution network. This, in turn, lowers the capital investment required for components such as busbars, transformers, and low-voltage switchgear.

The schematic represents the operational principle of a thyristor-based dynamic power factor correction (PFC) system designed to regulate reactive power flow in a three-phase electrical network under real-time conditions. At the top of the diagram, the three phases—L1, L2, and L3—enter the compensation stage through protective devices that serve as the first barrier against short-circuit currents and abnormal overloads in the capacitor branches. Following these protection components, each phase passes through detuning reactors, which are connected in series with the capacitor banks. These inductive elements play a critical role in reducing the risk of harmonic-induced resonance and limiting the thermal and dielectric stress on the capacitors when the network contains significant harmonic distortion.

At the center of the schematic is the thyristor switching module, which constitutes the core functional block of the dynamic PFC system. The bidirectional thyristor pair enables the capacitor banks to be energized precisely at the moment when the line current crosses zero. When the power factor controller issues a firing signal to the gate terminal, the thyristor conducts only when the instantaneous current reaches zero amplitude. This switching strategy eliminates the high-magnitude inrush currents that are characteristic of mechanical contactor-based systems. As a result, the capacitor charges smoothly, without producing steep transient phenomena, voltage spikes, or electromagnetic disturbances within the network.

The lower section of the schematic contains the capacitor banks, which provide the reactive power compensation required to correct the displacement between voltage and current. The series combination of the reactor and capacitor not only shapes the impedance profile of the compensation branch but also protects

the capacitors from harmonic overload. By ensuring soft switching and minimizing electrical stress, the thyristor-based topology significantly extends capacitor lifetime and allows the system to respond to dynamic load variations within 10–20 ms—performance that is essential in industrial environments such as welding, rolling, lifting, and robotic applications.

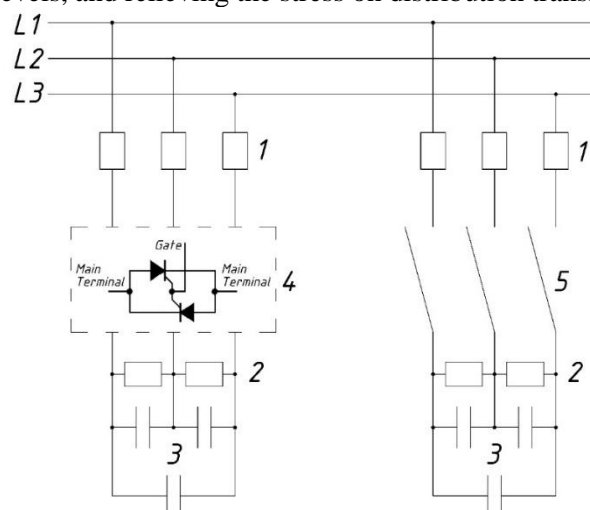
The right-hand portion of the schematic illustrates a traditional contactor-based capacitor switching stage. In such systems, the capacitor is energized regardless of the instantaneous value of the line current or voltage. Consequently, the switching operation frequently results in inrush currents ranging from 1000 A to over 3000 A, depending on the capacitor size and network impedance. These high transients accelerate contact wear, reduce the operating life of the capacitors, and introduce harmful overvoltage peaks into the power system. The contrast between this mechanical switching approach and the thyristor-based method underscores the superior dynamic performance, reliability, and grid-stability benefits of modern semiconductor-controlled PFC systems.

Taken together, the arrangement of components in the schematic clearly demonstrates how the integration of thyristor switching, detuned reactors, and controlled capacitor banks creates a highly responsive and efficient reactive power compensation architecture. Such systems maintain voltage stability under rapidly varying loads, reduce current flow through distribution infrastructure, and substantially extend the service life of electrical equipment across industrial installations.

The schematic provides a comprehensive representation of a thyristor-based dynamic power factor correction (PFC) system and illustrates the functional interaction of its major components in regulating reactive power flow within a three-phase electrical network under real-time operating conditions. The compensation process begins as the three incoming phases (L1, L2, L3) are routed through (1) protection devices, such as fuses or circuit breakers, which constitute the first defensive layer against abnormal operating conditions. These devices ensure the safe disconnection of the compensation branch in the presence of short-circuit currents, excessive inrush events, or capacitor failures, thereby preventing thermal and mechanical stress from propagating into downstream components Figure 3.

Immediately following the protection stage, each phase passes through (2) detuning reactors, which are connected in series with the corresponding capacitor stages. These inductive elements tune the branch impedance below critical harmonic frequencies, thus preventing resonance phenomena and mitigating harmonic overloading on the capacitors. By reducing dielectric and thermal stress, the reactors significantly enhance the long-term stability and reliability of the compensation system in industrial networks characterized by nonsinusoidal waveforms.

The lower portion of the schematic contains (3) capacitor banks, which serve as the primary energy-storage elements responsible for supplying the reactive power required to improve the displacement power factor. Depending on system requirements, these banks may be arranged in delta or star configuration. When activated, they inject capacitive current that offsets the inductive characteristics of the load, thereby reducing line current, stabilizing voltage levels, and relieving the stress on distribution transformers.



**Fig 3. Comparative Switching Scheme: Thyristor-Based Dynamic PFC and Conventional Contactor PFC**

At the core of the system lies (4) the thyristor switching module, comprising a bidirectional thyristor pair that enables precise zero-cross switching of the capacitor banks. When the power factor controller issues

a gate signal, the thyristors conduct exclusively at the instant the phase current reaches zero, ensuring that the capacitor is energized without inducing high-magnitude inrush currents. This semiconductor-based switching method contrasts sharply with the transient behavior of mechanical switching devices, as it prevents the steep voltage spikes, oscillations, and electromagnetic disturbances typically associated with capacitor energization. The soft-switching nature of the thyristor topology not only improves power quality but also significantly extends the operational life of the capacitor banks, enabling response times in the range of 10–20 ms – a crucial requirement in processes such as welding, rolling, lifting, and automated manufacturing.

For comparison, the right-hand side of the schematic depicts (5) a mechanical contactor-based switching stage, representative of traditional PFC configurations. In such systems, the capacitor is energized irrespective of the instantaneous current magnitude, frequently leading to severe inrush currents that may exceed 1000–3000 A depending on network impedance and capacitor rating. These uncontrolled transients accelerate contact wear, induce premature capacitor aging, and generate harmful overvoltage disturbances throughout the electrical system. The juxtaposition of the mechanical and thyristor-based switching branches within the schematic highlights the decisive performance advantages of semiconductor-controlled PFC in terms of grid stability, equipment longevity, and dynamic responsiveness.

Taken together, the coordinated interaction of elements (1) through (5) demonstrates how the integration of protective devices, detuned reactors, controlled capacitor banks, and zero-cross thyristor switching forms an advanced reactive power compensation architecture capable of maintaining voltage stability under rapidly changing load conditions. This configuration not only minimizes the current burden on distribution infrastructure but also enhances operational reliability and extends the service life of electrical equipment across a wide range of industrial applications.

## References

1. Wang J., Rakhmonov I.U., Atajiyev Sh.M. “Long-term performance analysis of centralized inverters and key factors influencing their reliability” // Problems of Energy and Resource Saving. 2025. Special Issue No. 88. Pp. 224–229.
2. Raxmonov I. U., Atajiyev S. M., Nematov L. A. “[Reaktiv quvvatni boshqarishda matematik modellashtirish asoslari](https://devos.uz/article.php?id=2362)” // *Development of Science*. 2025. Volume 7, Issue 11. <https://devos.uz/article.php?id=2362>.
3. Khalikov S., Khalikov S., Rahmatov D., Atazhiyev Sh., Bakizhanov A. Issues of reliability and safety of an electrical substation // AIP Conference Proceedings. 2023. Vol. 2552. Article No. 060016. DOI: 10.1063/5.0117214.
4. Tulyaganov M., Mirkhaydarov M., Atajiev Sh., Ibragimov Y. Application of numerical optimization methods for solving the problems of researching the reliability of electric drives control // AIP Conference Proceedings. 2023. Vol. 2552. Article No. 040013. DOI: 10.1063/5.0111953.

## Xülasə

### SÜRƏTLİ AÇILIB-SÖNƏN TIRISTOR MODULLARI VASITƏSİLƏ REAKTIV GÜCÜN İDARƏ EDİLMƏSİ

*Atajiyev Ş.M., Toirov M.T., Harunov A.T., Talıflı A.F.*

Bu məqalədə elektrik şəbəkələrində reaktiv gücün effektiv idarə olunması üçün yüksək sürətli tiristor modullarının tətbiqi araşdırılır. Tədqiqat göstərir ki, sürətli kommutasiya, sıfır keçiddə işləmə və dinamik kompensasiya güc amilinin yaxşılaşmasına, başlanğıc cərəyanlarının azalmasına və sürətlə dəyişən yüklər zamanı gərginliyin sabitləşdirilməsinə şərait yaradır. Məqalədə tiristor əsaslı PFC sistemlərinin ənənəvi elektromexaniki qurğularla müqayisədə üstünlükləri və şəbəkənin etibarlılığına, istismar səmərəliliyinə və elektrik enerjisinin keyfiyyətinə təsiri izah olunur.

**Açar sözlər.** Yüksək sürətli tiristor modulları, reaktiv gücün idarə olunması, dinamik kompensasiya, güc amilinin yaxşılaşdırılması, tez dəyişən yüklər, başlanğıc cərəyanlarının azaldılması, gərginlik sabitliyi, sıfır keçiddə kommutasiya, PFC sistemi, elektrik şəbəkəsinin etibarlılığı.

## Резюме

### УПРАВЛЕНИЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТЬЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ТИРИСТОРНЫХ МОДУЛЕЙ

*Атаджиев Ш.М., Тоиров М.Т., Харунов А.Т., Талыфлы А.Ф.*

В данной работе рассматривается применение быстродействующих тиристорных модулей для эффективного управления реактивной мощностью в электрических сетях. Особое внимание уделено тому, как высокая скорость коммутации, работа в режиме нулевого тока и динамическая компенсация способствуют улучшению коэффициента мощности, снижению пусковых токов и стабилизации напряжения при быстро изменяющихся нагрузках. Показаны преимущества тиристорных систем PFC по сравнению с традиционными электромеханическими устройствами и их влияние на надёжность сети, эксплуатационную эффективность и качество электроэнергетики.

**Ключевые слова.** Быстродействующие тиристорные модули, управление реактивной мощностью, динамическая компенсация, улучшение коэффициента мощности, быстро изменяющиеся нагрузки, снижение пусковых токов, стабильность напряжения, коммутация в нулевой точке тока, система PFC, надёжность электрической сети.

## FACTORS AFFECTING THE FORECAST INDICATORS OF ELECTRICITY CONSUMPTION OF TEXTILE INDUSTRY ENTERPRISES

<sup>1</sup>Yusupaliyeva Khulkaroy Urazali kizi

<sup>2</sup>Korjobova Makhzuna Fakhridin kizi

1- The institute of energy problems of the academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

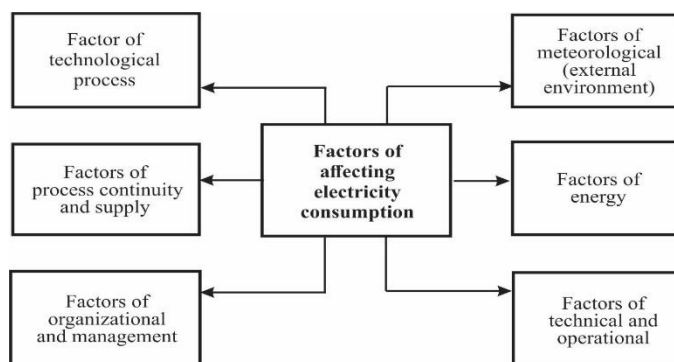
2-Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

[hulkaroy90@bk.ru](mailto:hulkaroy90@bk.ru)

**Summary** This study analyzes the key factors influencing the forecast indicators of electricity consumption in textile industry enterprises. Electricity usage in textile production is multifactorial and depends on the interaction of technological, operational, meteorological, organizational, and energy-related parameters. Based on expert evaluation conducted at “BIRYUZA GROUP” LLC, ten primary factors were identified and assessed using a 10-point scale, after which their reliability coefficients were calculated. Factors with a reliability coefficient of  $K \geq 0.6$  were determined to have a significant impact on electricity consumption, including production volume, equipment load level, energy losses, number of interruptions, extended operating hours, indoor air humidity, and weather temperature. A functional model describing the relationship between these factors and electricity consumption was established to support forecasting and efficiency improvement. The results demonstrate that accurate factor classification and mathematical modeling are essential for reducing energy waste, optimizing production processes, lowering operational costs, and enhancing energy management systems in textile enterprises.

**Keywords.** Electricity consumption; textile industry; forecasting factors; expert evaluation; technological processes; mathematical modeling; energy efficiency; production planning; environmental conditions; operational factors.

**Introduction.** When forecasting electricity consumption during technological processes of textile enterprises, various factors simultaneously affect. Among these factors, some significantly determine energy consumption, while others have a relatively low, indirect or uncertain effect. In addition, these factors are divided into two groups in terms of their scope of influence: constant, i.e., depending on stable indicators of the technological process, and seasonal, i.e., varying with external environmental conditions, seasons or market demand. Therefore, the actual consumption of electricity is multifactorial and complex, and it is important to use mathematical modeling and statistical analysis methods to determine the share of each factor. For effective and scientifically sound forecasting of electricity consumption at enterprises, it is important to identify and group the factors affecting consumption. Based on preliminary scientific analyses, these factors were divided into 6 main groups (Figure 1).



**Fig. 1.** Factors of affecting the forecast of electricity consumption

Based on the analysis of Figure 1 above, the factors affecting the forecast of electricity consumption of textile enterprises were divided into the following six main groups:

1. Technological and process factors - factors related to product volume, type, raw material quality, processing level, production technology, product strength and dimensions.
2. Process continuity and supply factors - production interruptions, raw material supply, equipment condition, maintenance frequency, adjustment and lubrication.
3. Energy factors - energy losses in networks, load imbalance, power reserve, load differences during weekends and holidays.

4. Meteorological (external environment) factors - weather temperature, humidity, daily daylight hours, changes in the external environment.

5. Organizational and management factors - the level of production planning, working hours, shift organization, personnel qualifications, level of automation, availability of an energy management system.

6. Technical and operational factors - the technical condition of the main and auxiliary equipment, operational efficiency, repair modes, technological reserves.

Many factors affect the consumption of electricity in the technological processes of textile enterprises. These factors are of different nature, and each of them affects electricity consumption to a different extent. It turns out that some factors have a direct and strong impact, while others have an indirect or insignificant impact. Taking into account all of these factors at the same time when building mathematical models can not only complicate calculations, but also lead to excess data that negatively affects the accuracy of the model. Therefore, when forecasting electricity consumption, it is important to sort factors by their level of impact - to divide them into high, medium and low impact groups.

**Main part.** As a preliminary stage of the study, the factors influencing electricity consumption depending on technological processes were identified at the textile enterprise “BIRYUZA GROUP” LLC, which was the object of the study. The assessment process was organized with the participation of leading specialists of the enterprise - 10 highly qualified employees with many years of practical experience, as a result of which a questionnaire was formed to identify factors influencing electricity consumption. During the survey, experts identified 10 main factors that could affect electricity consumption and evaluated them based on their professional experience and practical observations. The assessment was carried out on a 10-point scale, and the degree of influence of each factor on electricity consumption was expressed in the corresponding points (Table 1). The estimates obtained on the basis of this approach, as a result of mathematical and statistical processing at the next stage, were scientifically substantiated with a reliability coefficient (K). The reliability coefficient is determined using the following mathematical formula:

$$K_{reliability} = \frac{K}{K_M} \quad (1)$$

Here K- is the absolute reliability of the scores given by the experts participating in the survey and is defined as follows:

$$K = \frac{N_n}{N_{total}} \quad (2)$$

$K_M$  – Since the questionnaire uses a collective expert assessment method, it is necessary to determine the relative reliability of the scores given, which is expressed as follows::

$$K_M = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M K_i \quad (3)$$

The reliability coefficient of the results obtained in the course of such a multi-stage questionnaire tends to  $K \rightarrow 1$ . The results of the expert assessment method are presented in Table 1 below.

**Table 1**

**Expert assessment method for determining factors affecting electricity consumption in textile industry enterprises**

№	Factors	Number of individual experts										Collective expert assessment result K
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Volume of fabric produced	6	5	10	9	7	5	8	9	9	9	<b>0,77</b>
2	Equipment load level	4	3	7	9	7	10	5	7	9	5	<b>0,66</b>
3	Technical condition of equipment (wear coefficient)	6	7	7	4	5	3	4	8	5	4	0,53
4	Loss of electricity	8	7	6	9	10	6	8	5	9	9	<b>0,77</b>
5	Number of interruptions	9	6	8	7	6	10	6	9	5	8	<b>0,74</b>
6	Extension of working hours	5	8	5	7	4	6	8	5	6	7	<b>0,61</b>
7	Type of products (fabric density)	6	8	7	7	4	5	7	5	7	3	0,59

8	Indoor air humidity	8	9	5	6	7	4	5	7	4	6	<b>0,61</b>
9	Weekends	6	3	4	2	5	3	6	7	5	5	0,46
10	Weather temperature	7	9	10	8	7	9	8	10	8	7	<b>0,83</b>

Taking into account the data in Table 1 above and the results of the collective expert assessment, i.e. the tendency of the reliability coefficient  $K \rightarrow 1$ , factors with a reliability coefficient  $K=0.6$  and higher were identified as factors that significantly affect electricity consumption, and they include the following:

- $F_1$  – Volume of fabric produced,  $A$ , *tonna*;
- $F_2$  – Equipment load level,  $k_{yuk}$  %;
- $F_3$  – Loss of electricity  $\Delta P$ , *kVt.soat*;
- $F_4$  – Number of interruptions  $N$ , *dona (marta)*;
- $F_5$  – Extension of working hours  $t$ , *soat*
- $F_6$  – Weather temperature  $T$ ,  $C^0$ .
- $F_7$  – Indoor air humidity  $\varphi$ , %

The functional relationship between the factors influencing the forecast of the electricity consumption of the research object is presented in expression 4, which serves to determine the relationship between these factors and energy consumption. Based on this relationship model, it is possible to determine the forecast values of electricity, assess the degree of influence of factors, and increase the efficiency of technological processes:

$$W_{fore.} = f(A, k_{load}, t, \Delta P, N, \varphi, T,) \quad (4)$$

**Conclusion.** The need to choose a forecasting method for electricity consumption in textile enterprises, including knitwear enterprises, based on the technological process of production, and at the same time develop forecasting models taking into account the factors affecting electricity consumption, has been scientifically substantiated. The factors affecting electricity consumption in textile enterprises were determined using the expert assessment method. According to it, it was found that electricity consumption in textile enterprises is significantly affected by factors such as production volume, equipment load, number of stops, and operating hours. This approach allows us to reveal internal dependencies in the production system, reduce waste, increase energy efficiency, and digitally control production. Mathematical modeling of energy indicators is not only of theoretical importance, but also an important tool in real practice for increasing the efficiency of enterprises, optimizing resource use, reducing production costs, and ensuring environmental sustainability.

## References

- [1] Khushimov F.A., Kadirov K.Sh., Kushev A.P., Yusupaliyeva Kh.U. Technological process and laws of change of energy consumption parameters of spinning enterprises // *E3S Web of Conferences*, 497, 01013 (2024), ICECAE 2024. – DOI: 10.1051/e3sconf/202449701013.
- [2] Khashimov F.A. Optimization of energy resources use in the textile industry. – Tashkent, 2005. – 250 p.
- [3] Khoshimov F.A., Kadirov K.Sh., Yusupaliyeva H.U. Electric power supply systems: current and future trends // *IV International Scientific and Technical Conference “Actual Problems of Power Supply Systems”*. – Nukus, 2024. – pp. 6–9.
- [4] Khoshimov F.A., Kadirov K.Sh., Yusupaliyeva H.U. Electric power supply systems: current and future trends // *IV International Scientific and Technical Conference “Actual Problems of Power Supply Systems”*. – Nukus, 2024. – pp. 6–9. (*Takroriy maqola, istasangiz chiqarib yuborish mumkin.*)
- [5] Khoshimov F.A., Kadirov K.Sh., Yusupaliyeva H.U. Standardization of energy consumption per unit of output in the spinning production of the textile industry // *Energy and Energy Resources Tejash Muammolari*, maxsus son (No. 85), 2024. – pp. 246–255.

## Xülasə

### TEKSTİL SƏNAYESİ MÜƏSSİSƏLƏRİNİN ELEKTRİK ENERJISI İSTEHLAKININ PROQNOZ GÖSTƏRİCİLƏRİNƏ TƏSİR EDƏN AMİLLƏR

*Yusupaliyeva X.U., Korjobova M.F.*

Bu məqalədə tekstil sənayesi müəssisələrində elektrik enerjisi sərfiyyatının proqnoz göstəricilərinə təsir edən əsas amillər araşdırılır. Tekstil istehsal proseslərində enerji sərfiyyatı çoxamilli xarakter daşıyır və texnoloji, enerji, meteoroloji, idarəetmə və istismar amillərinin qarşılıqlı təsirindən asılıdır. “BIRYUZA GROUP” MMC-də aparılan ekspert qiymətləndirməsi əsasında on əsas amil müəyyən edilmiş, onlar 10 ballıq şkala üzrə qiymətləndirilmiş və etibarlılıq əmsalları hesablanmışdır. Etibarlılıq əmsalı  $K \geq 0.6$  olan amillər elektrik sərfiyyatına əhəmiyyətli təsir göstərən amillər kimi seçilmişdir: istehsal həcmi, avadanlıqların yüklənmə səviyyəsi, enerji itkiləri, fasilələrin sayı, iş saatlarının uzadılması, daxili havanın rütubəti və hava temperaturu. Bu amillər ilə elektrik

enerjisi sərfiyyatı arasındakı funksional asılılıq modeli qurulmuşdur. Nəticələr göstərir ki, düzgün amil təsnifatı və riyazi modelləşdirmə enerji itkilərinin azaldılması, istehsal proseslərinin optimallaşdırılması, xərclərin aşağı salınması və tekstil müəssisələrində enerji idarəetmə sistemlərinin təkmilləşdirilməsi üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

**Açar sözlər.** Elektrik enerjisinin sərfiyyatı; tekstil sənayesi; proqnozlaşdırma amilləri; ekspert qiymətləndirilməsi; texnoloji proseslər; riyazi modelləşdirmə; enerji səmərəliliyi; istehsal planlaşdırılması; meteoroloji şərait; istismar amilləri.

#### Резюме

### ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОГНОЗНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Юсупалиева Х.У., Коржобова М.Ф.*

В данной работе исследуются основные факторы, влияющие на прогнозные показатели потребления электроэнергии на текстильных предприятиях. Потребление электроэнергии в текстильных технологических процессах является многофакторным и определяется совокупностью технологических, энергетических, организационных, метеорологических и эксплуатационных параметров. На основе экспертной оценки, проведенной на предприятии «BIRYUZA GROUP» ООО, были выделены десять ключевых факторов, оценённых по 10-балльной шкале, после чего были вычислены коэффициенты надёжности. Факторы с коэффициентом надёжности  $K \geq 0.6$  признаны существенно влияющими на потребление электроэнергии: объём выпускаемой продукции, уровень загрузки оборудования, потери электроэнергии, количество остановок, увеличение рабочего времени, влажность воздуха и температура окружающей среды. Сформирована функциональная модель взаимосвязи этих факторов с объёмом потребления электроэнергии. Полученные результаты подтверждают, что корректная классификация факторов и математическое моделирование являются важными инструментами для повышения энергоэффективности, оптимизации производственных процессов, снижения затрат и совершенствования систем энергетического менеджмента текстильных предприятий.

**Ключевые слова.** Потребление электроэнергии; текстильная промышленность; факторы прогноза; экспертная оценка; технологические процессы; математическое моделирование; энергоэффективность; производственное планирование; внешние условия; эксплуатационные факторы

### БАЛАНС ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

**Ибадов Чингиз Шафи оглы**

*ОАО “Азеришиг”, Баку, Азербайджан*

[chingiz.ibadov@mail.ru](mailto:chingiz.ibadov@mail.ru)

**Резюме.** Электроэнергия как товар имеет уникальные характеристики. Поскольку его невозможно хранить в больших объемах, т. е. складировать, процессы купли-продажи создают больше трудностей, чем у других товаров. Тот факт, что электроэнергия доставляется от производства до потребления за очень короткое время (десятые доли секунды), а сети передачи и распределения имеют сложную инфраструктуру, являются одними из основных причин, по которым технические потери электроэнергии неизбежны. Текущая проблема на этом не заканчивается. Если электроэнергия не измеряется на пути от производства до потребителя, это также приводит к дополнительным потерям. Из-за нецелевого использования электроэнергии и неэффективного управления сетями передачи и распределения на этапах от производства до потребления возникают не только технические потери, но и нетехнические, т.е. коммерческие. Хотя за последние годы в электрических сетях Азербайджанской республики была проделана большая работа по существенному сокращению этих потерь, они по-прежнему остаются серьезной проблемой. Так, в 2021 году в районных сетях ОАО «Азеришиг» произошло 575,0 млн. кВт.ч небаланса, т.е. потерь, превышающих нормативные технические потери. Исследования показывают, что снижение этих потерь до уровня нормативных технических потерь, т.е. 8,8%, экономически эффективнее чем ввода новых производственных мощностей. В эпоху, когда энергетическая безопасность является гарантом независимости стран, минимизация потерь при передаче и распределении электроэнергии является одной из важнейших задач, стоящих перед государствами в связи с переходом к либеральной рыночной экономике.

**Ключевые слова:** энергобаланс, фактические потери, технические потери, коммерческие потери, нагрузочные потери, условно-устойчивые потери, климатические потери и др.

#### Введение

В соответствии со стратегией основателя нашего независимого государства, общенационального лидера Гейдара Алиева, направленной на динамичное развитие экономики страны, в результате реформ, реализуемых под руководством и по инициативе Президента Азербайджанской Республики уважаемого Ильхама Алиева, промышленный и социально-экономический потенциал нашей республики получил дальнейшее развитие и диверсификацию, достигнуты высокие достижения во всех сферах экономики, обеспечена экономическая безопасность нашего суверенного государства. В последнее время глобальный экономический кризис оказывает свое влияние и на электроэнергетический сектор, как и на другие отрасли. Именно поэтому постоянное внимание Президента страны к электроэнергетическому сектору в целом, проводимые реформы, особенно внедрение инноваций, современных и цифровых технологий на освобожденных

территориях, обладающих значительным экономическим потенциалом и благоприятными условиями, успешная реализация проектов «Умный город», «Умное село» и «Зеленая энергия» позволят в кратчайшие сроки превратить Карабахский экономический район в один из самых развитых регионов нашей страны. В результате стремительного социально-экономического развития страны для удовлетворения растущего спроса на электроэнергию со стороны новых промышленных предприятий, объектов культурного и социального назначения, сельского хозяйства и других инфраструктур создаются новые энергетические центры, распределительные сети модернизируются на основе новых технологий и в соответствии с международными стандартами, увеличивается количество кольцевых электрических сетей, принимаются безотлагательные меры для эффективного снабжения электроэнергией каждого потребителя.

В электроэнергетической сфере постоянно совершенствуется законодательство, проводятся структурные и кадровые изменения. Внимание государства к передающим и распределительным сетям неуклонно растет. Работы по реконструкции ведутся ускоренными темпами. Однако, несмотря на это, общий объем потерь в стране (коммерческие и технические потери) остается выше уровня аналогичных показателей развитых стран. В европейских странах этот показатель составляет 6%. Поэтому необходимо контролировать, измерять и учитывать объем потребляемой электроэнергии. Одним из важнейших методов для этого является балансовый метод.

Баланс электроэнергии служит основой для планирования и оптимизации режимов работы электростанций, запасов топлива, графиков ремонта оборудования, расчета тарифов на услуги передачи, распределения и продажи электроэнергии.

Под балансом электроэнергии в электрической сети понимается равенство между электроэнергией, поступившей в сеть (субъектом оптового и розничного рынка), с учетом фактических потерь при передаче и распределении, а также производственных нужд сетевой организации, и электроэнергией, проданной потребителям.

Фактический объем потерь определяется как разница между объемом электроэнергии, поступившей в сеть от других сетей или производителей (с учетом переданной другим сетевым компаниям), и объемом электроэнергии, потребленной абонентами, подключенными к сети.

Фактические потери при передаче и распределении электроэнергии являются ключевым показателем экономической эффективности эксплуатации сетей, индикатором состояния всей энергосистемы и четким отражением взаимосвязи эффективности энергосбытовой деятельности.

Поскольку в нашей стране проводятся новые реформы, направленные на либерализацию электроэнергетической системы и коммунального сектора, создание множества структурных единиц, компаний, дистрибьюторов, региональных и оптовых сбытовых организаций (в зависимости от технологий и видов деятельности), задача формирования структурных компонентов баланса фактических потерь становится еще более актуальной.

Это значительно повышает требования к достоверности балансовой отчетности, делает необходимым разработку и утверждение нормативно-правовых документов, регулирующих процедуру определения баланса в электрических сетях, а также порядок расчета его структурных компонентов.

Важность и сложность решения этих проблем можно объяснить следующим образом:

Распределительная сеть при оптовой закупке электроэнергии обязана компенсировать (оплачивать) фактические потери в своих сетях. Другими словами, распределительная сеть должна оплачивать электроэнергию, которую она получила, но не смогла продать, то есть фактически потеряла. Поэтому при расчете тарифов на услуги передачи, распределения и продажи электроэнергии учитывается стоимость нормативных технологических потерь. Если фактические потери в распределительных и передающих сетях превышают нормативные технологические потери, достичь экономической эффективности в этих сетях невозможно.

Таким образом, распределительные и передающие сети, оплачивая все фактические потери и получая компенсацию только в размере стоимости нормативных технологических потерь (учтенных в тарифе), несут финансовые убытки из-за «избыточных» потерь электроэнергии и работают в убыток. «Избыточные» потери электроэнергии связаны с ошибками в системе учета, неполным учетом потребленной электроэнергии, случаями хищения, низкой платежеспособностью потребителей, неэффективностью механизмов управления для снижения потерь в сетях и многими другими причинами.

Именно поэтому ключевая задача передающих и распределительных сетей заключается в точном определении баланса электроэнергии и его структурных компонентов в сетях различного напряжения, включая данные о потребленной электроэнергии, то есть в повышении обоснованности

и достоверности расчета фактических потерь. Чтобы определить роль балансовой отчетности и объема фактических потерь в функционировании энергосистем разных стран, рассмотрим показатели Российской Федерации,

Таблица 1

Показ.баланса	Ед.изм	1994	1995	2000	2004	2005	2008	2010	2015	2020
Производство электроэнергии	млрд.К вт*ч	875,9	860	876	931,9	953,1	1040,38	1037,7	1049,9	1089,67
Удельный расход электроэнергии электростанциями	млрд.К вт*ч	61,7	58,6	59,9	59,4	65	67,4	64,2	67,01	69,59
Закупленная электроэнергия (импорт)	млрд.К вт*ч	22,2	18,4	10,2	12,2	10,1	3,11	2,1	8,2	1,378
Передаваемая электроэнергия (экспорт)	млрд.К вт*ч	41,7	38	22,8	19,8	22,5	20,74	19,5	18,2	12,11
Подаваемая в сеть	млрд.К вт*ч	794,7	781,8	803,5	864,9	875,7	955,35	956,1	972,89	1009,35
Потреблённая электроэнергия	млрд.К вт*ч	707,6	698,3	701,9	752,2	763,1	846,10	851,1	859,33	905,8
Потери электроэнергии	млрд.К вт*ч	79	83,5	101,6	112,6	112,6	109,24	104,97	113,5	103,5
	%	9,94	10,68	12,64	13,02	12,86	11,43	10,98	11,67	10,25

Источник: [www.energodata.ru](http://www.energodata.ru)

Таблица 1 показывает, что в то время как поставки электроэнергии в сеть увеличились на 7,19% за 1994-2004 годы, потери увеличились на 37,64% за 10 лет. С 2005 года наблюдается тенденция к снижению.

Теперь проанализируем данные по потреблению и потерям электроэнергии ряда бывших советских республик, которые я получил с официального сайта Международного энергетического агентства.

Приведенные в таблицах проценты потерь вовсе не являются фактическими потерями, а, скорее всего, показателями нормативных технических потерь, применяемых во всех странах бывшего СССР (утверждаемых Кабинетами Министров республик). Фактические потери не учитываются, а баланс энергосистемы составляется формально.

Таблица 2

	2000		2005		2010		2015		2020	
	Произведенная Электроэнергия, МВт	Потери, %	Произведенная Электроэнергия, МВт	Потери, %	Произведенная Электроэнергия, МВт	Потери, %	Произведенная Электроэнергия, МВт	Потери, %	Произведенная Электроэнергия, МВт	Потери, %
Украина	159,955	18,08	175,35	13,34	178,313	11,49	152,348	7,7	133,497	10,4
Беларусь	24,537	13,06	29,107	11,74	32,81	10,82	32,056	12,1	35,936	11,4
Казахстан	48,621	13,96	64,169	10,24	78,09	8,03	86,696	14,01	103,597	18,5
Грузия	7,271	16,82	7,143	15,60	9,985	10,89	10,605	6,6	11,609	7,3
Узбекистан	44,323	9,08	46,974	8,84	49,266	8,82	54,552	8,8	61,046	8,8
Киргизстан	15,708	25,39	14,637	34,48	11,929	24,09	12,803	20,2	14,84	15,4
Таджикистан	13,983	15,04	16,92	16,07	16,269	14,18	16,982	14,10	19,906	14,0

Источник: [www.energosoвет.ru](http://www.energosoвет.ru)

В таблице ниже рассмотрим таблицы потребления и потерь электроэнергии, подготовленные Международным энергетическим агентством на основе данных, предоставленных зарубежными странами:

Таблица 3

	2010			2015			2020		
	Произведенная Электроэнергия, МВт	Потери, МВт	Потери, %	Произведенная Электроэнергия, МВт	Потери, МВт	Потери, %	Произведенная Электроэнергия, МВт	Потери, МВт	Потери, %
Бельгия	90 251	4 283	4,75	86 917	3 815	4,39	83 117	3 444	4,14
Австрия	65 422	3 350	5,12	67 050	3 466	5,17	66 911	3 191	4,77
Чехия	62 559	4 466	7,14	62 740	4 066	6,48	63 271	4 117	6,51
Дания	35 737	2 624	7,34	33 832	1 765	5,22	34 194	1 573	4,60
Финляндия	87 720	2 761	3,15	82 490	2 434	2,95	81 869	3 021	3,69
Франция	506 988	35 414	6,99	484 187	36 140	7,46	459 578	35 893	7,81
Германия	570 840	23 973	4,20	553 955	25 605	4,62	525 180	26 939	5,13
Греция	59 058	3 782	6,40	57 340	4 895	8,54	52 315	3 256	6,22
Венгрия	39 807	3 800	9,55	41 836	3 695	8,83	44 591	3 139	7,04
Ирландия	27 622	2 098	7,60	27 768	2 084	7,51	30 832	2 313	7,50
Италия	330 453	20 570	6,22	316 897	19 717	6,22	301 755	17 760	5,89
Эстония	8 477	1 047	12,3	8 136	697	8,57	8 588	404	4,70
Латвия	6 942	725	10,4	6 914	450	6,51	7 009	381	5,44
Литва	10 316	989	9,59	10 960	793	7,24	11 975	951	7,94
Нидерланды	117 600	5 633	4,79	114 651	5 264	4,59	116 491	5 059	4,34
Норвегия	130 100	9 554	7,34	127 647	7 469	5,85	133 180	8 909	6,69
Польша	141 275	11 851	8,39	149 461	10 534	7,05	158 080	9 995	6,32
Португалия	54 893	4 280	7,80	51 746	4 894	9,46	51 551	4 501	8,73
Словакия	25 936	856	3,30	26 737	1 363	5,10	23 341	1 571	6,73
Словения	13 045	982	7,53	13 758	864	6,28	11 360	849	7,47
Испания	278 160	27 400	9,85	265 098	26 509	10,0	262 409	25 631	9,77
Швеция	147 194	10 561	7,17	136 263	6 988	5,13	135 287	10 434	7,71
Швейцария	64 157	4 372	6,81	62 787	4 540	7,23	59 894	4 190	7,00
Великобритания	364 395	26 884	7,38	371 954	28 719	7,72	313 760	26 323	8,39
Турция	202 272	30 222	14,9	253 841	36 528	14,3	292 070	29 126	9,97
Австралия	236 472	16 381	6,93	234 756	14 296	6,09	250 020	8 933	3,57
Новая Зеландия	43 446	3 101	7,14	42 895	2 902	6,76	43 768	2 755	6,29
Канада	559 794	48 659	8,69	578 723	33 263	5,75	565 814	33 650	5,95
США	4 155 366	260 999	6,28	4 150 687	255 322	6,15	4 057 937	197 969	4,88
Мексика	263 385	44 252	16,8	297 107	40 640	13,6	334 805	31 633	9,45
Ю.Корея	476 729	18 034	3,78	524 141	17 979	3,43	557 463	18 433	3,31
Япония	1 102 998	47 917	4,34	1 025 301	41 162	4,01	993 136	44 194	4,45

Источник: [www.energodata.ru](http://www.energodata.ru)

В Австрии, Чехии, Финляндии, Франции, Норвегии, Португалии и Швеции потери электроэнергии определяются балансовым методом как разница между переданной в сеть электроэнергией и потребленной, т.е. являются фактическими потерями.

В таблице ниже рассмотрим сравнительные таблицы приобретенных, проданных и фактических потерь ОАО «Азеришыг» за 2016-2021 годы:

Таблица 4

Сравнение фактических потерь по городу Баку ОАО «Азеришыг» за 2016 – 2021 гг.

ГГ	Закуп.энергия	Реализованная энергия	Фактические потери		Нормативно тех.потери		Коммерческие потери	
	kVts	kVts	kVts	%	kVts	%	kVts	%
2021	9 220 282 598	8 771 638 200	448 644 398	4,87%	673 205 889	7,30%	-224 561 491	-2,44%
2020	8 430 181 864	8 024 691 120	405 490 744	4,81%	631 658 089	7,49%	-226 167 344	-2,68%
2019	8 978 613 450	8 496 744 331	481 869 119	5,37%	708 007 231	7,89%	-226 138 112	-2,52%
2018	8 953 873 311	8 338 920 597	614 952 715	6,87%	714 485 575	7,98%	-99 532 860	-1,11%
2017	8 739 055 170	8 163 777 311	575 277 860	6,58%	703 059 507	8,05%	-127 781 647	-1,46%
2016	8 963 210 418	8 221 704 720	741 505 698	8,27%	737 086 374	8,22%	4 419 324	0,05%

Сравнение фактических потерь по регионам ОАО «Азеришыг» за 2016 – 2021 гг.

ГГ	Закуп. энергия	Реализованная энергия	Фактические потери		Нармотивно тех.потери		Комерческие потери	
	kVts	kVts	kVts	%	kVts	%	kVts	%
2021	10 542 648 155	8 911 156 677	1 631 491 478	15,48%	1 058 462 211	10,04%	573 029 267	5,44%
2020	10 104 858 601	8 427 708 065	1 677 150 535	16,60%	1 025 037 138	10,14%	652 113 398	6,45%
2019	10 056 771 364	8 341 616 874	1 715 154 489	17,05%	1 131 268 031	11,25%	583 886 459	5,81%
2018	9 831 736 544	7 978 805 867	1 852 930 677	18,85%	1 117 088 355	11,36%	735 842 322	7,48%
2017	9 848 611 369	7 600 048 088	2 248 563 280	22,83%	1 128 300 408	11,46%	1 120 262 872	11,37%
2016	10 293 253 174	7 824 095 646	2 469 157 528	23,99%	1 196 923 069	11,63%	1 272 234 458	12,36%

Сравнение общих(столица и регионам) фактических потерь ОАО «Азеришыг» за 2016 – 2021 гг.

ГГ	Закуп. энергия	Реализованная энергия	Фактические потери		Нармотивно тех.потери		Комерческие потери	
	kVts	kVts	kVts	%	kVts	%	kVts	%
2021	19 762 930 753	17 682 794 877	2 080 135 876	10,53%	1 731 668 100	8,76%	348 467 776	1,76%
2020	18 535 040 465	16 452 399 185	2 082 641 280	11,24%	1 656 695 227	8,94%	425 946 053	2,30%
2019	19 035 384 814	16 838 361 205	2 197 023 608	11,54%	1 839 275 261	9,66%	357 748 347	1,88%
2018	18 785 609 856	16 317 726 464	2 467 883 392	13,14%	1 831 573 930	9,75%	636 309 462	3,39%
2017	18 587 666 539	15 763 825 399	2 823 841 140	15,19%	1 831 359 914	9,85%	992 481 225	5,34%
2016	19 256 463 592	16 045 800 366	3 210 663 226	16,67%	1 934 009 443	10,04%	1 276 653 782	6,63%

Источник: отчёты по годам по ОАО «Азеришыг»

По оценкам экспертов, величина фактических потерь в электрических сетях напряжением 0,4–500 кВ не должна превышать 8% от переданной (принятой) в сеть электроэнергии. В целом максимальные фактические потери не должны превышать 10–12% от отпускаемой в сеть электроэнергии. Если фактические потери энергии превышают 10–12%, то это обычно объясняется наличием чрезмерных потерь. Как видно из таблиц, такая ситуация существует во многих странах. Предельные относительные технологические потери электроэнергии по уровню напряжения электрических сетей целесообразно установить в соотношении к отпущенной в сеть электрической энергии:

220 - 500 kV	0,8 – 1,5 %
110 kV	1,2 – 2,0 %
35 kV	2,0 – 4,0 %
6 - 10 kV	4,0 – 6,0 %
0,4 kV	6,0 – 8,0 %

Практика показывает, что наибольшие потери электроэнергии происходят в сетях низкого напряжения (СНН) – 10/6/0,4 кВ, и именно здесь возникают основные сложности в их снижении.

Основные причины этого:

- Отсутствие приборов учета у некоторых потребителей или использование устаревших счетчиков;
- Некорректный съём показаний балансовых и потребительских счетчиков;
- Умышленное искажение схемы учета, приводящее к неучтенному (украденному) потреблению электроэнергии;
- Отсутствие или неисправность счетчиков, трансформаторов напряжения и тока, что ведет к методическим ошибкам в учете.

Как видно из таблиц, в последние годы во многих странах наблюдается устойчивое снижение потерь в электросетях. Благодаря внедрению современных счетчиков, усилению контроля потребления, автоматизации сбора данных и управления, в некоторых странах потери сократились в 4-5 раз.

В Азербайджане ситуация неоднородна. В Баку потери за последние годы уменьшились в 7-8 раз, достигнув 5% (уровень развитых европейских стран). Однако в регионах процент фактических потерь остается крайне высоким.

Связь роста потерь с экономическими кризисами характерен как для России, так и для других постсоветских стран, переходящих от централизованной экономики к рыночным механизмам. Это связано с:

- Ослаблением контроля за потреблением электроэнергии;
- Ростом краж электроэнергии;
- Снижением платежеспособности населения.

При этом анализ показывает, что объективных причин для столь высоких потерь нет.

Основные причины высоких потерь в регионах Азербайджана:

-Увеличение потерь в сетях 110 кВ из-за избытка реактивной мощности в часы малой нагрузки;

-Рост нагрузки в сетях низкого напряжения из-за увеличения доли бытовых потребителей;

-Рост коммерческих потерь (кражи электроэнергии) ;

-Рост и дифференциация оптовых и розничных тарифов на электроэнергию;

Сокращение государственных субсидий (списание долгов) по сравнению с предыдущими годами;

-Отсутствие ответственности за потери – вся нагрузка ложится на распределительные и передающие сети;

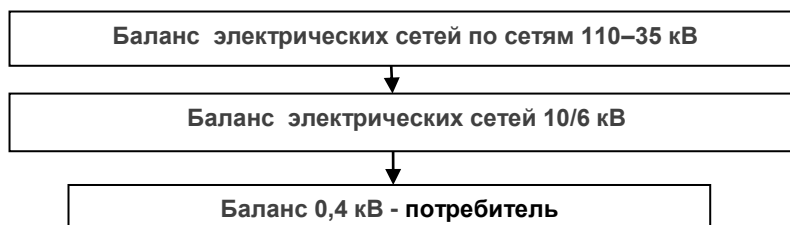
-Отсутствие модернизации региональных сетей низкого напряжения в течение 30 лет (до передачи в баланс АО "Азеришыг" в 2015 г.).

Для снижения потерь до 8% к 2025 году (в соответствии со Стратегией развития энергетики) необходимо: использовать лучший мировой и местный опыт, провести оценку фактических потерь в сетях, мобилизовать резервы для их снижения. Детально изучить структуру баланса электроэнергии, регулярно принимать меры по снижению коммерческих (нетехнические) потерь и факторы, влияющие на них.

Предлагаемая схема построения баланса электроэнергии в распределительных сетях:



Баланс электроэнергии по уровням напряжения в распределительных сетях следует составлять следующим образом:



Топливо-энергетический баланс как индикатор состояния энергосистемы страны:

Состояние энергосистемы страны характеризуется единой моделью топливо-энергетического баланса (ТЭБ), объединяющей балансы производства и потребления отдельных энергоносителей.

Определение: "Топливо-энергетический баланс – это соотношение между объемом топливо-энергетических ресурсов, поступивших в результате производства или импорта на хозяйственный объект или определенную территорию, и их уменьшением за счет местного потребления или экспорта".

Таким образом, главная задача ТЭБ – отразить реальную структуру производства, передачи, распределения и потребление энергоресурсов на конкретной территории. ТЭБ может составляться на уровне республики, области, региона, города, района или даже отдельных предприятий и населенных пунктов.

В Азербайджане Кабинет Министров ежегодно утверждает ТЭБ, включая прогноз на следующие 3 года. Однако требуется дальнейшее совершенствование методологии его составления и усиление контроля за исполнением.

Недостаточная прозрачность ТЭБ может привести к следующим проблемам в энергетической политике

- Снижение доступности энергоуслуг (технической и экономической);
- Низкая экономическая эффективность из-за высоких потерь в энергокомплексе (особенно в распределительных сетях);
- Уменьшение энергетической безопасности страны;
- Замедление экономического роста;
- Ускорение инфляции;
- Увеличение доли платежей за энергоносители в семейных бюджетах и снижение платежной дисциплины;
- Рост нагрузки на местные бюджеты из-за коммунальных долгов.

Для разработки качественного ТЭБ и прогнозов необходимо: создавать системно интегрированные балансы на всех уровнях – от локальных предприятий до национальной системы, разделить глобальную задачу на более мелкие и управляемые части.

При разработке качественного баланса электроэнергии в сетях следует уделить внимание трем основным проблемам:

1. Отсутствие надежного централизованного учета электроэнергии, поступающей в сеть, передаваемой другим сетям и потребляемой (необходимо сертифицированное программного обеспечения).
2. Недостаточная законодательная база, регулирующая формирование баланса в электросетях, а также отсутствие утвержденных нормативных документов.
3. Необходимость совершенствования методологии и терминологии, используемой при формировании структурных компонентов баланса и тарифном регулировании.

Кроме того, требуется уточнение терминологии, связанной с потерями и продажей электроэнергии. В настоящее время в различных документах, научных статьях и отчетах предприятий встречаются неоднозначные трактовки, что затрудняет интеграцию между экономическими структурами и ведет к ошибкам.

Еще в 2004 году в АО "Бакиэлектрикшебеке" (тогда управляемой турецкой компанией "Barmek Holding") мною был предложен метод учета баланса электроэнергии в многоквартирных домах путем установки балансовых счетчиков на вводных распределительных щитах. Это позволяло точно определять места хищений электроэнергии.

Несмотря на скептицизм турецких специалистов, при поддержке местных экспертов: были разработаны балансовые отчеты по ТП и КТП.

Впервые в Азербайджане в АО "Бакиэлектрикшебеке" была организована отдельная служба по анализу баланса и потерь (3 человека).

Сегодня в АО "Азеришыг" работает около 200 специалистов, составляющих балансовые отчеты по регионам, городам, районам, подстанциям. Однако указанные выше 3 проблемы по-прежнему затрудняют совершенствование отчетности.

Балансовые отчеты по сетям не всегда совпадают с административно-территориальным делением. Ключевым критерием является исторически сложившаяся конфигурация сетей. Главное – чтобы баланс:

- Позволял точно рассчитывать потери, локализовывать их и определять их характер;
- Обеспечивал точный учет поступающей и передаваемой электроэнергии.

Примеры:

-Часть поселка Биладжары (Бинагадинский район г. Баку) с 2004 года работает как отдельная сеть;

-Зыря (Хазарский район) и Маштага (Сабунчинский район) также работают как независимые сети;

-Баглар ЭШ (не имеющий административного статуса) с 2006 года функционирует отдельно и остается одной из самых проблемных сетей по потерям.

Такая организация учета значительно снизила потери в Апшеронском регионе.

Несмотря на успехи, отсутствие официально утвержденной Методики баланса электроэнергии в сетях (зарегистрированной в Министерстве Юстиции) не позволяет:

- Достоверно оценить масштабы потерь электроэнергии;
- Эффективно снижать потери;
- Разрабатывать обоснованные технико-экономические программы по снижению потерь при тарифном регулировании.

Вывод:

Для дальнейшего совершенствования системы учета необходимо утвердить единую методологию формирования баланса, усилить законодательную базу, внедрить современные технологии учета.

Структура технических потерь сетей в нашей стране изучена достаточно хорошо, проведены значительные научные исследования. В следующих таблицах показана структура фактических, технологических и коммерческих потерь:

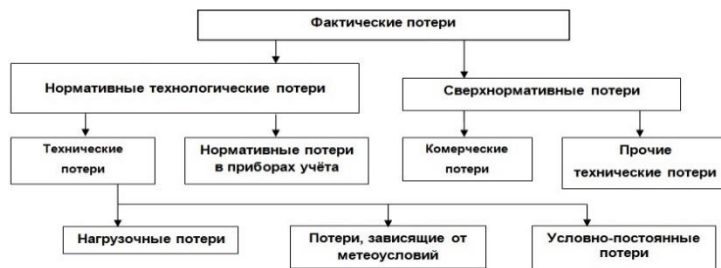


Рис. 1.



Рис. 2.



Рис. 3.

Приведенные выше схемы (Рисунок 1, 2, 3) отражают традиционный подход к анализу фактических, коммерческих и нетехнологических потерь. Если говорить простым языком, фактические потери в системе распределения делятся на два вида:

**Технические потери;** связаны с техническими характеристиками распределительной сети и обусловлены расходом энергии в проводниках, потреблением энергии оборудованием, используемым для распределения электроэнергии. Эти потери могут возникать в любом элементе системы распределения электроэнергии.

Для точного расчета технических потерь в современной литературе существует множество методов. В частности, в Азербайджанском научно-исследовательском энергетическом институте разработано специальное программное обеспечение для этих целей

**Нетехнические (коммерческие) потери** определяются как разница между:

- Фактически потребленной электроэнергией;
- Учетной (измеренной счетчиками) или оплаченной электроэнергией.

Исследования показывают, что точная оценка доли коммерческих потерь в общих потерях затруднительна. Эти потери зависят от:

- Технического состояния сетей
- Социально-экономического благополучия населения
- Организации управления сетями
- Соблюдения правил обслуживающим персоналом,

Ориентировочно коммерческие потери составляют: 20-30% от общих потерь, отдельных случаях до 50%.

Причины коммерческих потерь обобщены в следующей схеме:

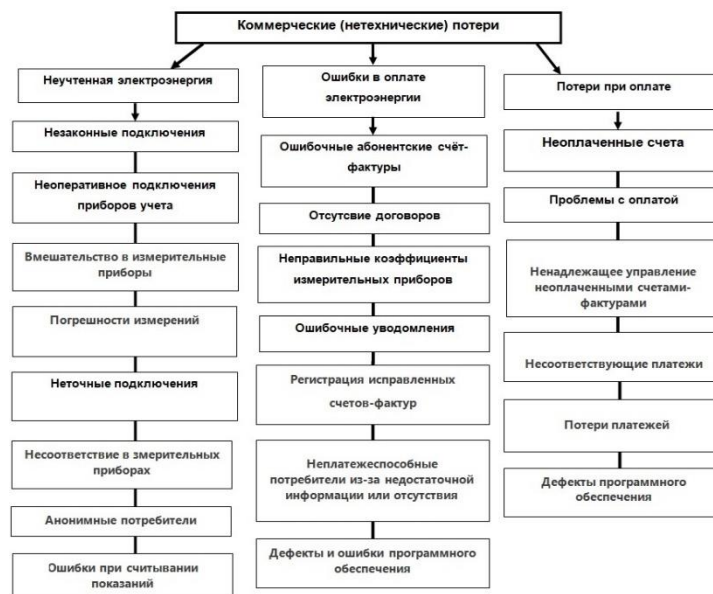


Рис. 4.

Электроэнергия является незаменимым элементом нашей повседневной жизни. Однако в результате неправильного и неэффективного использования этой энергии на всех этапах - от производства (электростанций) до точек потребления - возникают технические и коммерческие потери.

Сокращение этих потерь может позволить: более эффективно использовать существующие энергосистемы, поддерживать баланс спроса и предложения в электроэнергетическом секторе.

### Заключение

1. Во всем мире проблемы энергопотерь в передающих и распределительных электрических сетях, их мониторинг и поэтапное сокращение приобретают первостепенное значение. В определенном смысле, усилия по снижению энергопотерь сопоставимы с исследованиями в области производства электроэнергии.

2. Анализ отчетных материалов и статистических данных из зарубежных источников показывает, что основным критерием экономической эффективности производства и распределения электроэнергии является соотношение фактических потерь электроэнергии к объему энергии, вырабатываемой генераторами электростанций.

3. Технические потери как составная часть фактических потерь в нашей стране достаточно изучены. По данной теме написаны содержательные научные работы, исследованы методы расчета технических потерь, разработаны нормативы для электрических сетей.

4. Однако точно рассчитать коммерческие потери математическими методами невозможно. Внедрение балансовой отчетности в передающих и распределительных сетях с уточнением ее структуры и компонентов позволяет определять фактические потери, выявлять коммерческие потери.

Проведение балансовой отчетности на всех этапах (снизу вверх) дает возможность: локализовать фактические потери, выявлять вероятные коммерческие потери на конкретных линиях 10/6/0,4 кВ и между трансформаторами и потребителями и принимать меры по их сокращению.

5. В нашей стране необходимо исследовать коммерческие потери в распределительных сетях, анализировать причины их возникновения и пути сокращения, изучить эффективность методов предотвращения краж электроэнергии, исследовать взаимосвязь с динамикой фактических потерь, разрабатывать конкретные предложения.

## **Литература**

1. Azərbaycanın energetikası. Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi. Bakı – 2020.
2. "Azərişiq" ASC, Satış, nəzarət və balans idarələrinin illik hesabatları, Bakı – 2020.
3. Balametov Ə.B., Xəlilov E.D. Azərbaycanın elektroenergetika sisteminin elektrik şəbəkələrində enerjiyə qənaət tədbirlərinin nəticələri. Energetikanın problemləri №3, 2018.
4. Balametov Ə.B., Xəlilov E.D. Enerji sistemin elektrik şəbəkələrində elektrik enerjisi itkilərinin hesablanması, təhlili və normallaşdırılması. "ELM", Bakı – 2015.
5. Behcet Kocaman, Teknik Olmayan Enerji Kayıplarının Azaltılmasında PLC Sayaçlarının Önemi, Bitlis Eren Üniversitesi, 2018
6. Celal Yaşar, Yılmaz Aslan, Tarık Biçer., Bir Dağıtım Tranformatörü Bölgesindeki Kayıpların İncelenmesi, Dumlupınar Üniversitesi, 2010.
7. İrfan Güney, Şebeke kayıplarının azaltılması, Marmara Üniversitesi, 2016.
8. Баламетов А.Б. Резервы снижения потерь электроэнергии в электрических сетях. Проблемы энергетики, 2014, №4.
9. Воротницкий В.Э., Калинкина М.А., Туркина О.В. Методика определения фактических потерь электрической энергии в электрических сетях, 2006.
10. Воротницкий В.Э., Железко Ю.С., Казанцев В.Н. и др. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем, 1983.
11. Рамазанов К.Н., Баламетов А.Б. К вопросу повышения эффективности работы Азербайджанской энергосистемы. Проблемы энергетики, 2000, №1
12. Стивен Стофт. Экономика энергосистем. Введение в проектирование рынков электроэнергии, 2006.
13. [www.enerdata.net](http://www.enerdata.net) – Enerdata (World Energy Statistics, Supply & Demand)
14. [www.iea.org](http://www.iea.org) - The International Energy Agency

### **Xülasə**

#### **AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ ELEKTRİK ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ ELEKTRİK ENERJİSİ BALANSI**

*İbadov Ç.Ş.*

Elektrik enerjisi bir əmtəə kimi özünəməxsus xüsusiyyətlərə malikdir. Onun böyük həcmdə saxlanması, yəni anbarlaşdırılması mümkün olmadığından, alqı-satqı prosesləri digər əmtəələrlə müqayisədə daha çox çətinlik yaradır. Elektrik enerjisinin istehsaldan istehlaka çox qısa müddətdə (saniyənin onluq hissələri ərzində) çatdırılması, eləcə də ötürmə və paylama şəbəkələrinin mürəkkəb infraqstruktura malik olması elektrik enerjisində texniki itkilərin qaçılmaz olmasının əsas səbəblərindəndir. Mövcud problem bununla bitmir. Elektrik enerjisinin istehsaldan istehlakçıya qədər olan qısa məsafədə uçotunun aparılmaması əlavə itkilərə səbəb olur. İstehsaldan istehlaka qədər olan mərhələlərdə elektrik enerjisindən düzgün istifadə edilməməsi və ötürmə və paylama şəbəkələrinin səmərəsiz idarə olunması nəticəsində təkcə texniki deyil, həm də qeyri-texniki, yəni kommersiya itkiləri yaranır. Son illərdə bu itkilərin əhəmiyyətli dərəcədə azaldılması istiqamətində xeyli iş görülsə də, onlar hələ də ciddi problem olaraq qalmaqdadır. Belə ki, 2021-ci ildə "Azərişiq" ASC-nin rayon elektrik şəbəkələrində 575,0 milyon kVt·saat həcmində disbalans, yəni normativ texniki itkilərdən artıq itkilər baş vermişdir. Tədqiqatlar göstərir ki, bu itkilərin normativ texniki itkilər səviyyəsinə, yəni 8,8 %-ə endirilməsi yeni istehsal güclərinin yaradılmasından daha iqtisadi cəhətdən səmərəlidir. Enerji təhlükəsizliyinin ölkələrin müstəqilliyinin təminatçısı olduğu bir dövrdə elektrik enerjisinin ötürülməsi və paylanması zamanı itkilərin minimuma endirilməsi liberal bazar iqtisadiyyatına keçid şəraitində dövlətlərin qarşısında duran ən mühüm vəzifələrdən biridir.

**Açar sözlər:** enerji balans, faktiki itkilər, texniki itkilər, kommersiya itkiləri, yük itkiləri, şərti sabit itkilər, iqlim itkiləri və s.

### **Summary**

#### **ELECTRICITY BALANCE IN THE ELECTRIC NETWORKS OF THE AZERBAIJAN REPUBLIC**

*Ibadov Ch.Sh.*

Electricity as a commodity has unique characteristics. Since it cannot be stored in large quantities, i.e. warehousing, the processes of buying and selling create more difficulties than other commodities. The fact that electricity is delivered from production to consumption in a very short time (tenths of a second) and the transmission and distribution networks have a complex infrastructure are among the main reasons why technical losses of electricity are inevitable. The current problem does not end there. If electricity is not metered on the short path from production to the consumer, this also leads to additional losses. Due to the improper use of electricity and inefficient management of transmission and distribution networks at the stages from production to consumption, not only technical losses arise, but also non-technical ones, i.e. commercial. Although a lot of work has been done in recent years to significantly reduce these losses, they still remain a serious problem. Thus, in 2021, 575.0 million kWh of imbalance occurred in the district networks of Azerishig OJSC, i.e. losses exceeding the standard technical losses. Studies show that reducing these losses to the level of standard technical losses, i.e. 8.8%, is more cost-effective than introducing new production capacities. In an era when energy security is the guarantor of the independence of countries, minimizing losses in the transmission and distribution of electricity is one of the most important tasks facing states in connection with the transition to a liberal market economy.

**Keywords:** energy balance, actual losses, technical losses, commercial losses, load losses, conditionally stable losses, climatic losses, etc.

## II BÖLMƏ

### ENERJİ SİSTEMLƏRİ VƏ KOMPLEKSLƏRİ

#### РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО СИММЕТРИРОВАНИЯ СЕТЕЙ 0,4 КВ

**Шакиров Алмаз Фанисович**  
**Маклецов Александр Михайлович**  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
[almaz.27.10@mail.ru](mailto:almaz.27.10@mail.ru)

**Резюме.** Электрические сети низкого напряжения, работающие на уровне 0,4 кВ, широко используются для энергоснабжения жилых, коммерческих и промышленных объектов. В силу структуры нагрузки и различий в подключении потребителей, такие сети часто работают в несимметричном режиме, что вызывает перекосы фазных напряжений, увеличение потерь и перегрев оборудования. В условиях цифровизации и роста требований к качеству электроснабжения становится необходимым переход к интеллектуальному управлению симметрией в сетях. Основной задачей является разработка такой методики, которая позволила бы не только балансировать нагрузку, но и учитывать динамику работы сети, а также значимость конкретных узлов. Это особенно актуально в условиях появления распределённой генерации, электромобилей и «умных» потребителей.

**Ключевые слова:** интеллектуальное симметрирование, напряжение, коммутация, электроэнергия, интернет вещей.

#### **Проблематика и цель исследования**

Несимметрия в сетях 0,4 кВ возникает вследствие неравномерного распределения однофазных потребителей по фазам. Это приводит к:

- перекосу напряжений, ухудшению качества питания;
- росту потерь энергии в линиях и трансформаторах;
- ускоренному износу оборудования;
- нестабильной работе чувствительных нагрузок.

**Методика интеллектуального симметрирования.** Предлагаемая методика базируется на следующих принципах:

#### **1. Сбор и анализ информации о сети**

Используются данные с интеллектуальных счётчиков, датчиков напряжения и устройств мониторинга тока. Эти данные позволяют получить картину распределения нагрузок по фазам, определить узлы с максимальным отклонением и наибольшим влиянием на общую симметрию.

#### **2. Построение цифровой модели сети**

Сеть моделируется в виде ориентированного графа, где вершины — узлы подключения, а рёбра — линии и трансформаторы. На основе модели производится расчет токов, напряжений и потерь с учётом фазных нагрузок.

#### **3. Оценка степени несимметрии**

Для каждого узла рассчитывается коэффициент несимметрии по напряжению и току. Также вводится интегральный показатель по всей сети. Он используется в качестве целевой функции при оптимизации:

#### **4. Применение интеллектуальных алгоритмов**

Оптимизация производится с использованием:

- генетических алгоритмов;
- нейросетевых моделей;
- методов динамического программирования.

Алгоритмы формируют оптимальные варианты перераспределения нагрузок по фазам для минимизации коэффициента симметрии.

#### **5. Внедрение решений**

Полученные схемы передаются в систему управления, либо применяются в автоматизированных коммутационных устройствах, позволяющих переключать потребителей между фазами без отключения.

## Результаты моделирования

На тестовой модели городской низковольтной сети, содержащей 60 узлов и более 150 нагрузок, применение интеллектуального симметрирования дало следующие результаты:

- снижение фазного перекоса на 25–35%;
- сокращение потерь активной энергии на 8–10%;
- стабилизация напряжения в узлах с чувствительными потребителями;
- повышение надежности работы защитных устройств.

Разработка и внедрение интеллектуальной методики симметрирования сетей 0,4 кВ позволяет повысить качество электроэнергии, сократить потери и обеспечить надежность энергоснабжения. Предлагаемый подход может быть реализован как в автоматизированных системах диспетчерского управления, так и в виде автономных интеллектуальных устройств на базе микроконтроллеров. В дальнейшем возможна интеграция методики в цифровые платформы «умной» сети, с возможностью самообучения и адаптации под изменяющиеся условия эксплуатации.

## Литература

1. Киселёв А.И., Горохов И.В. Анализ и моделирование режимов работы электрических сетей. — М.: Энергия, 2021. — 352 с.
2. Белоусов Е.Г., Патраков А.М. Оптимизация фазировки нагрузок в низковольтных сетях 0,4 кВ // Электротехника и электромеханика. — 2022. — №2. — С. 30–36.
3. Кобринский И.Н., Тарасов С.М. Применение интеллектуальных алгоритмов в управлении асимметричными нагрузками // Вестник НИУ «МЭИ». — 2020. — №4. — С. 48–54.
4. Дьяконов В.П. Методы машинного обучения: от нейросетей к решающим деревьям. — М.: ДМК Пресс, 2022. — 416 с.

## Xülasə

### TERCİH OLUNAN DÜYÜN GƏRGİNLİYİ MEYARINA GÖRƏ 0,4 KV ŞƏBƏKƏLƏRİN İNTELLEKTUAL SİMMETRİZASİYASI METODOLOGİYASININ İNKİŞAFI *Şakirov Ə.L.F., Makletsov A. M.*

0,4 KV-da işləyən aşağı gərginlikli elektrik şəbəkələri yaşayış, ticarət və sənaye obyektlərinin enerji təchizatı üçün geniş istifadə olunur. Yük quruluşu və istehlakçı əlaqəsindəki fərqlər səbəbindən bu cür şəbəkələr tez-tez asimetrik rejimdə işləyir, bu da faz gərginliklərinin pozulmasına, itkilərin artmasına və avadanlıqların həddindən artıq istiləşməsinə səbəb olur. Rəqəmsallaşma və enerji təchizatı keyfiyyətinə olan tələblərin artması şəraitində şəbəkələrdə simmetriyanın ağıllı idarə edilməsinə keçid zəruri olur. Əsas vəzifə yalnız yükü tarazlaşdırmağa deyil, həm də şəbəkənin dinamikasını, həmçinin xüsusi qovşaqların əhəmiyyətini nəzərə almağa imkan verən belə bir texnikanın hazırlanmasıdır. Bu, xüsusilə paylanmış nəsil, elektrikli nəqliyyat vasitələri və "ağıllı" istehlakçıların meydana çıxması şəraitində doğrudur.

**Açar sözlər:** intellektual simmetriya, gərginlik, kommutasiya, elektrik enerjisi, əşyaların İnterneti.

## Summary

### DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR INTELLIGENT SYMMETRIZATION OF 0.4 KV NETWORKS ACCORDING TO THE CRITERION OF PREFERRED NODE VOLTAGES *Shakirov A.L.F., Makletsov A.M.*

Low-voltage electric networks operating at 0.4 kV are widely used for power supply of residential, commercial and industrial facilities. Due to the load structure and differences in consumer connections, such networks often operate in an unbalanced mode, which causes phase voltage distortions, increased losses and overheating of equipment. In the context of digitalization and increasing demands on the quality of electricity supply, it becomes necessary to switch to intelligent symmetry management in networks. The main task is to develop a methodology that would allow not only load balancing, but also take into account the dynamics of the network, as well as the importance of specific nodes. This is especially important in the context of the emergence of distributed generation, electric vehicles and "smart" consumers.

**Keywords:** intelligent symmetry, voltage, switching, electric power, Internet of Things.

## 110 KV YARIMSTANSİYALARININ ELEKTRİK ŞƏBƏKƏLƏRİNİN DAYANIQLIĞININ PRAKTİK TƏTBİQİ

### Həsənli Cahid Şahin oğlu

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

**Xülasə.** 110 KV yarımstansiyalar elektrik enerjisinin son istehlakçılara çatdırılması üçün struktur olaraq birləşdirilmiş elektrik avadanlıqları şəbəkəsidir. Çıxış və giriş zəncirləri kimi müxtəlif elektrik yarımstansiyaları mövcuddur və hər birinin öz avtomatik açarı, izolyatorları, transformatorları, şin sistemi və s. olur ki, sistem fasiləsiz işləsin. Enerji sistemi bir sıra

komponentlərdən ibarətdir, məsələn, paylama, ötürmə və generasiya sistemləri, və yarımstansiyalar enerji sisteminin işləməsi üçün vacib komponent rolunu oynayır. Yarımstansiyalar istehlakçıların öz yüklərini işə salması üçün elektrik enerjisi aldıkları obyektlərdir, eyni zamanda tələb olunan enerji keyfiyyəti istehlakçılara tezlik və gərginlik səviyyəsinin dəyişdirilməsi və digər üsullarla çatdırıla bilər. 110 KV elektrik yarımstansiyasının konstruksiyası tamamilə tələblərdən asılıdır, məsələn, sadə bir şin sistemi və ya mürəkkəb şin sistemi ola bilər. Bundan əlavə, konstruksiya tətbiqindən də asılıdır, məsələn, daxili yarımstansiyalar, generasiya yarımstansiyaları, ötürmə yarımstansiyaları, dirək tipli yarımstansiyalar, açıq yarımstansiyalar, çevirmə yarımstansiyaları və komutasiya yarımstansiyaları və s. kimi.

**Açar sözlər:** yarımstansiya, elektrik, 110 KV, sənaye, gərginlik, qurğu.

110 kV-luq yarımstansiyalar, 110 kV gərginliyində üçfazlı dəyişən cərəyanı qəbul edən, çevrilən və paylayan elektrik yarımstansiyalarıdır. Onlar enerji sistemlərinin əsas elementlərindən biridir və sənaye müəssisələrinin, şəhər rayonlarının, həmçinin dəmir yolu və kənd nəqliyyatı sistemlərinin elektrik təchizatı üçün istifadə olunur. 110 kV-luq yarımstansiyaların müxtəlif növləri mövcuddur, o cümlədən açıq paylayıcı qurğular, qapalı paylayıcı qurğular və blok tipli komplekt transformator yarımstansiyaları [1].

110 kV-luq yarımstansiyalar yüksək gərginlikli elektrik enerjisini qəbul edir və onu daha aşağı gərginlik səviyyələrinə (məsələn, 10 kV və ya 6 kV) çevirir ki, sonrakı paylama istehlakçılara həyata keçirilsin.

110 kV yarımstansiyaların bir neçə növü vardır: [2]

- Açıq paylayıcı qurğular: Əsas avadanlıq açıq havada yerləşdirilir.
- Qapalı paylayıcı qurğular: Avadanlıq binaların içərisində quraşdırılır, bu, əlverişsiz iqlim şəraiti olan və ya havanın yüksək çirklənmə səviyyəsi olan ərazilər üçün uyğundur.
- Komplekt transformator yarımstansiyaları: Hazır yığma avadanlıq kompleksləri olub, blok, modul və ya kiosk tipli konstruksiyaya şəklində ola bilər.

110 kV-luq yarımstansiyalar yüksək güc tələb edən obyektlər üçün etibarlı və dayanıqlı elektrik təchizatı təmin edir. Köhnə yarımstansiyaların rekonstruksiyası və modernləşdirilməsi zamanı istifadə olunur. Neft-qaz, mədən, maşınqayırma, metallurgiya sənayelərində, həmçinin şəhər və kənd rayonlarının elektrik təchizatı üçün tətbiq edilir.

110 kV-luq şəbəkələrin dayanıqlığı müxtəlif qəza hallarından, məsələn, qısaqapanmalardan və ya xətlərin ayrılmasından sonra normal iş rejimini, sinxronluğu və gərginliyin icazə verilən səviyyələrini qoruyub saxlamaq qabiliyyətidir. Bu dayanıqlıq statik və dinamik tədbirlər vasitəsilə təmin olunur. Belə tədbirlərə avtomatik gərginlik tənzimlənməsi, gücün sabit saxlanması, rele mühafizəsinin sazlanması, eləcə də avtomatik təkrar qoşulma və avtomatik ehtiyatın daxil edilməsi sistemlərinin tətbiqi daxildir [1].

Statik dayanıqlıq, elektrik sisteminin kiçik pozuntulardan sonra normal iş rejiminə qayıtmaq qabiliyyətidir. Bu, şəbəkədə gərginlik və güc səviyyələrinin sabit saxlanması ilə təmin olunur və avtomatik gərginlik tənzimləyiciləri və digər idarəetmə qurğuları vasitəsilə həyata keçirilir.

110 kV-luq şəbəkələrin dayanıqlığına transformatorların, kompensasiyaedici qurğuların və ötürücü xətlərin keyfiyyəti də əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Yükün stansiyalar və xətlər arasında bərabər paylanması da vacibdir, çünki bu, həddindən artıq yüklənmələrin və qəza vəziyyətlərinin qarşısını almağa kömək edir [2].

Statik dayanıqlığın artırılması üçün generatorların qızdırılmasının avtomatik tənzimlənməsi sxemləri və reaktiv gücün idarə olunması qurğuları tətbiq olunur. Şəbəkədə aktiv və reaktiv gücün optimal nisbətinin qorunması da əsas rol oynayır. Bütün bu tədbirlər 110 kV-luq elektrik şəbəkələrinin etibarlı və fasiləsiz işləməsini təmin etməyə yönəldilmişdir, hətta daxili və ya xarici pozuntular baş verdikdə belə.

## **Ədəbiyyat**

1. Электрические системы. Режимы работы электрических систем и сетей / Под. ред. В.А.Веникова – М.: Высшая школа, 1975. – 344 с.: ил.
2. Федин В.Т. Оперативное управление в энергосистемах. Часть 3. Регулирование нормальных режимов в энергосистемах и электрических сетях: Учеб. метод. пособие по дисциплине —Оперативное управление в энергосистемахI. – Мн., 2002. – 128 с.

## **Summary**

### **DURABILITY OF ELECTRICITY NETWORKS OF 110 KV SUBSTATIONS PRACTICAL APPLICATION**

*Hasanli J.Sh.*

110 kV substations are networks of electrical equipment structurally connected to deliver electricity to end consumers. There are various types of electrical substations, such as outgoing and incoming circuits, each equipped with its own circuit breakers, insulators, transformers, bus systems, etc., to ensure the continuous operation of the system. The power system consists of multiple components, including distribution, transmission, and generation systems, and substations serve as essential components for the operation of the power system. Substations are facilities where consumers receive electricity to operate their loads, while the required power quality can be delivered to consumers through adjustments in frequency, voltage levels, and other methods. The design of a

110 kV electrical substation depends entirely on the requirements, such as a simple bus system or a complex bus arrangement. Additionally, the design also depends on the application, for example, indoor substations, generating substations, transmission substations, pole-type substations, outdoor substations, converter substations, and switching substations, among others.

**Keywords:** Substation, electricity, 110 kV, industry, voltage, equipment.

**Резюме**  
**ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ ПОДСТАНЦИЙ 110 КВ**  
*Гасанли Дж.Ш.*

Подстанции 110 кВ представляют собой сети электрического оборудования, структурно соединённого для подачи электроэнергии конечным потребителям. Существуют различные типы электрических подстанций, такие как исходящие и входящие цепи, каждая из которых оснащена собственными автоматическими выключателями, изоляторами, трансформаторами, шинными системами и т.д., чтобы обеспечить непрерывную работу системы. Энергетическая система состоит из множества компонентов, включая системы распределения, передачи и генерации, и подстанции являются важными элементами для функционирования энергетической системы. Подстанции — это объекты, где потребители получают электроэнергию для работы своих нагрузок, при этом требуемое качество электроэнергии может доставляться потребителям посредством регулирования частоты, уровней напряжения и другими методами. Конструкция электрической подстанции 110 кВ полностью зависит от требований, например, простой системы шин или сложной конфигурации шин. Кроме того, конструкция зависит от назначения, например, внутренних подстанций, генерирующих подстанций, передающих подстанций, подстанций на опорах, открытых подстанций, преобразовательных подстанций и коммутационных подстанций и т.д.

**Ключевые слова:** Подстанция, электричество, 110 кВ, промышленность, напряжение, оборудование.

**ELEKTROMAQNİT VİBROTƏSİRLƏNDİRİCİNİN MAQNİT SİSTEMİNİN TƏDQIQI**

**Hüseynov Ramiz Ağəli oğlu**  
*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*  
[ramiz.huseynov@sdu.edu.az](mailto:ramiz.huseynov@sdu.edu.az)

**Xülasə** Elektromaqnit vibrotəsirləndiricilər (EV) qüvvə yaradan element kimi xalq təsərrüfatının bir çox sahələrində tətbiq edirlər. Belə EV-lərin layihələndirilməsi və onların dartı qüvvəsinə görə həndəsi ölçülərinin seçilməsi üçün maqnit sisteminin tam hesabını aparmaq lazımdır. Bu hesabatı EV-nin müxtəlif sahələrində maqnit sahə gərginliklərinin, maqnit sellərinin, nəticədə EV-nin yarada biləcəyi qüvvənin hesablanması daxil edilməlidir.

Hazırkı məqalə alçaq mexaniki tezlikli vibrotəsirləndiricinin maqnit sistemini tədqiq edərək, qurğunun ayrı-ayrı hissələrindən qapanan maqnit sellərinə uyğun maqnit sahə gərginliklərinin riyazi ifadələrinin alınmasına həsr olunmuşdur.

**Açar sözlər:** elektromaqnit, vibrasiya qurğusu, vibrotəsirləndirici, maqnit sistemi, Bessel tənliyi, maqnit sahə gərginliyi.

Maqnit sisteminin hesabı üçün elektromaqnit sahəsinin vaxtilə Maksvel tərəfindən təklif edilmiş tam cərəyan və elektromaqnit induksiya qanunlarının diferensial formasından istifadə edilir [1]. Məlum Maksvel tənliklərini yazıb, nəzərə alsaq ki, tədqiq olunan EV aşağı tezlikdə işləyir və qurğuda maye və qaz mühiti yoxdur, tədqiq olunan EV-nin maqnit dövrəsində böyük hava məsafəsi olması səbəbindən qurğunun elektromaqnit sisteminin parametrlərini harmonik qanunla dəyişən qəbul etmək olar. Buna görə də qurğunun elektromaqnit parametrlərini kompleks formada təsvir etmək olar [2].

Maqnit sisteminin tam hesabını aparmaq üçün əvvəlcə əlverişli hesablama sistemi seçilir. Hazırkı işdə tədqiq olunan EV-nin nüvəsinin ortasından çıxıntısı olan silindrik stəkan formasında olduğunu nəzərə alaraq, qəbul edirik ki, belə konstruksiyalı nüvədə maqnit sisteminin hesabının silindrik koordinat sistemində aparılması daha əlverişlidir (şəkil 1).

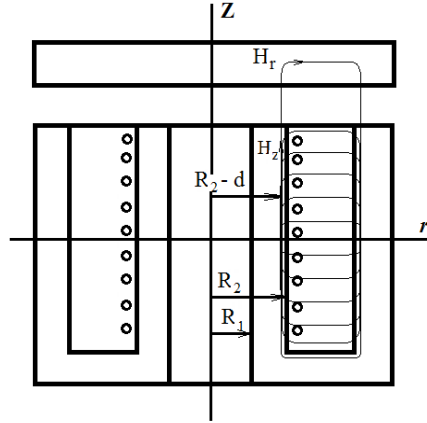
Qurğunu ifadə edən tənliyi həll etmək üçün  $\dot{H}$ -in silindrik koordinat sistemindəki təşkiledicilərini nəzərə alıb, təşkiledicilərə görə sistem tənlik yazılır. Məlumdur ki,  $\dot{H}$ -in silindrik koordinat sistemində üç -  $\dot{H}_z, \dot{H}_r, \dot{H}_\vartheta$  - təşkilediciləri var. Belə olduqda sistem tənliyin həlli zamanı hər bir tənlikdə hər bir təşkilediciyə uyğun altı, ümumiyyətlə sistemin həllindən isə on səkkiz bir-birindən funksional asılı olan inteqral sabitləri ortaya çıxır. İnteqral sabitlərini tapmaq üçün tədqiq olunan EV-də gedən fiziki prosesləri düzgün ifadə edən əlavə tənliklərin yazılması tələb olunur ki, bu da məsələnin həllini çətinləşdirir. Bu çətinliyin aradan qaldırılması üçün EV-nin elektromaqnit sistemi nəzərdən keçirilir. Bu səbəbdən tədqiq etdiyimiz EV-nin konstruksiyasında maqnit sahəsinin paylanma forması nəzərə alınır. Şəkil 1-dən görüldüyü kimi EV nüvəsi ortasından dəyirmi çıxıntısı olan silindrik stəkan formasında olub bütöv poladdan hazırlanmışdır. Dəyirmi çıxıntı üzərində dolaq yerləşdirilmişdir. Şəkildə EV-nin nüvəsində elektromaqnitin yaratdığı maqnit selinin qapanma xətləri göstərilir. Göstərdiyimiz maqnit sahəsində maqnit sahə gərginliyi maqnit qüvvə xətlərinə toxunan formada təsvir edilir.

Məlumdur ki, hər bir maqnit sistemində elə bir müstəvi tapmaq olar ki, bu müstəviyə nəzərən sistem simmetrik olsun və bu müstəvinə şərti olaraq simmetriya müstəvisi adlandırılır. Həmçinin qəbul edilir ki, bu simmetriya müstəvisi təxminən təsirlənmə dolağının ortasından keçən müstəvi ilə üst-üstə düşür.

Silindrik koordinat sistemi elə yerləşdirilir ki,  $z$ - oxu silindrik nüvənin mərkəzindən keçən oxun üzərinə,  $r$ - oxu isə simmetriya müstəvisinin üzərinə düşsün. Şəkil 1-dən görüldüyü kimi EV-nin nüvəsində maqnit seli elə qapanır ki, konstruksiyanın istənilən hissəsində maqnit qüvvə xətləri  $\mathcal{G}$ -ya perpendikulyar olur, yəni  $\dot{H}$  vektorunun  $\dot{H}_\mathcal{G}$ -proyeksiyası 0-a bərabər alınır.  $\dot{H}_\mathcal{G} = 0$  olduğundan

$$\frac{\partial \dot{H}_\mathcal{G}}{\partial r} = \frac{\partial \dot{H}_\mathcal{G}}{\partial z} = \frac{1}{r} \frac{\partial \dot{H}_\mathcal{G}}{\partial \mathcal{G}} = 0 \quad \text{və} \quad \frac{\partial^2 \dot{H}_\mathcal{G}}{\partial r^2} = \frac{\partial^2 \dot{H}_\mathcal{G}}{\partial z^2} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \dot{H}_\mathcal{G}}{\partial \mathcal{G}^2} = 0$$

olur.



**Şəkil 1.** Nüvədə və nüvə ətrafında maqnit selinin paylanması

Şəkil 1-dən görünür ki, nüvədə maqnit seli elə paylanır ki,  $\dot{H}$  vektorunun  $z$  oxu istiqamətindəki  $\dot{H}_z$  və  $r$  oxu istiqamətindəki  $\dot{H}_r$  təşkilədicilərinin qiymətləri heç bir yerdə  $\mathcal{G}$  koordinatından asılı olmur. Onda:

$$\frac{\partial \dot{H}_z}{\partial \mathcal{G}} = \frac{\partial \dot{H}_r}{\partial \mathcal{G}} = 0 \quad \text{və} \quad \frac{\partial^2 \dot{H}_z}{\partial \mathcal{G}^2} = \frac{\partial^2 \dot{H}_r}{\partial \mathcal{G}^2} = 0$$

alınır.

Beləliklə,  $\dot{H}_z$  və  $\dot{H}_r$  təşkilədicilərinin qiymətləri ancaq  $z$  və  $r$  koordinatlarından asılı olur.

Əgər sistemi ifadə edən tənliyi maqnit sisteminin yuxarıda qeyd etdiyimiz simmetriya müstəvisi üzərində yazmış olsaq görərik ki, simmetriya müstəvisi üzərində, yəni  $z = 0$  müstəvisində  $\dot{H}_r = 0$ -dır. Həmçinin qeyd etdiyimiz müstəvi üzərində  $\dot{H}_z$  təşkilədicisi maqnit selinin paylanmasına müvafiq olaraq  $z$  koordinatından asılı deyil. Onda:

$$\frac{\partial \dot{H}_z}{\partial z} = 0; \quad \frac{\partial^2 \dot{H}_z}{\partial z^2} = 0; \quad \frac{\partial \dot{H}_r}{\partial z} = \frac{\partial \dot{H}_r}{\partial r} = 0 \quad \text{və} \quad \frac{\partial^2 \dot{H}_r}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \dot{H}_r}{\partial r^2} = 0$$

yazmaq olar.

Beləliklə, sistem tənlikdən ancaq  $r$  koordinatından asılı olan  $\dot{H}_z$  - təşkilədicisinə uyğun olan tənlik qalır. Diferensial tənlikdə  $\dot{H}_z$  ancaq  $r$ -dən asılı olduğuna görə alınmış tənlikdə xüsusi törəmələr tam törəmələrlə əvəz edilir. Bunlara müvafiq olaraq yuxarıda qeyd etdiyimiz inteqral sabitləri də azalır və tapılması tələb olunan iki ədəd inteqral sabiti qalır.

Yuxarıda qeyd olunan sadələşmələri nəzərə alaraq sistemi ifadə edən tənliyi  $z = 0$  müstəvisində aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\frac{d^2 \dot{H}_{z=0}}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\dot{H}_{z=0}}{dr} = j\gamma \mu \mu_0 \omega \dot{H}_{z=0}. \quad (1)$$

Bərabərliyin sadə şəkli düşməsi üçün sağ tərəfdəki ifadəni bərabərliyin soluna keçirib yeni dəyişən qəbul edirik, yəni

$$x = r\sqrt{-j\gamma \mu \mu_0 \omega} \quad (2)$$

qəbul etdikdə, (1) tənliyi

$$\frac{d^2 \dot{H}_{z=0}}{dx^2} + \frac{1}{x} \frac{d\dot{H}_{z=0}}{dx} + \dot{H}_{z=0} = 0 \quad (3)$$

şəklində yazılır. Göründüyü kimi (3) Bessel tənliyinin xüsusi formasıdır, yəni 0 tərtibli ( $n=0$ ) Bessel tənliyidir.

Bu tənliyin həlli məlum olduğu kimi belə yazılır [3]:

$$\dot{H}_{z=0} = A J_0(x) + B N_0(x). \quad (4)$$

Burada  $A$  və  $B$  tapılması tələb olunan inteqral sabitləri,  $J_0(x)$  - birinci tip sıfır tərtibli Bessel funksiyası,  $N_0(x)$  - ikinci tip sıfır tərtibli Bessel funksiyasıdır.

Bessel funksiyalarında  $x$  sıfıra yaxınlaşdıqda  $J_0(0) = 1$  və  $N_0(0) = \infty$  alınır.

Baxdığımız müstəvidə EV nüvəsinin konstruksiyasına müvafiq olaraq  $r = R_2$  -dən  $r = R_1$  -dək azalanda, yəni  $x = x_2$  -dən  $x = x_1$  -dək azalanda maqnit sahə gərginliyinin qiyməti nüvədə maksimumdan minimumadək azalır. Ona görə də belə nəticəyə gəlmək olar ki, maqnit sahə gərginliyi  $x$  azaldıqca sonsuz qiymət ala bilməz. Buna görə də  $B = 0$  qəbul edilir. Bunu nəzərə almaqla (4)-ü simmetriya müstəvisində

$$\dot{H}_{z=0} = A J_0(x) \quad (5)$$

şəklində yazmaq olar. Burada,

$$J_0(x) = 1 - \frac{x^2}{2^2} + \frac{x^4}{(2 \cdot 4)^2} - \frac{x^6}{(2 \cdot 4 \cdot 6)^2} + \dots$$

$A$  - inteqral sabitini tapmaq üçün sərhəd şərtlərindən istifadə edilir. EV dolağı dəyişən cərəyanla qidalandırıldığından nüvənin səthində, yəni şəkil 1-də qeyd olunduğu kimi  $r = R_2$  olanda maqnit sahə gərginliyinin qiyməti maksimum olur. Onda  $x = x_2$ ;  $\dot{H}_{z=0} = \dot{H}_{1zm}$  və bunlara müvafiq olaraq  $\dot{H}_{z=0} = A J_0(x_2) = \dot{H}_{1zm}$  yazılır. Sonuncu bərabərlikdən  $A$  -ni təyin edib (5)-də nəzərə alsaq

$$\dot{H}_{z=0} = \dot{H}_{1zm} \frac{J_0(x)}{J_0(x_2)} \quad (6)$$

olar.

Səthi effekt hadisəsinə görə dəyişən maqnit seli elektromaqnitin nüvəsindən qapanarkən nüvənin daxilinə getdikcə azalır və  $d = \sqrt{\frac{1}{\gamma \mu \mu_0 \omega}}$  dərinlikdə maqnit selinin qiyməti sıfıra bərabər qəbul edilir. Bu səbəbdən nüvənin daxili divarının qalınlığının sönmə dərinliyindən böyük götürülməsi heç bir əhəmiyyət kəsb etmir. Ona görə də bütöv nüvə layihə olunarkən daxili və xarici divarların qalınlıqlarını sönmə dərinliyi qədər götürmək kifayətdir. Bütöv konstruksion poladdan hazırlanmış nüvələr üçün sönmə dərinliyinin qiyməti materialdan asılı olaraq şəbəkə tezliyində adətən  $d \approx 3 \div 5 \text{ mm}$  diapazonunda olduğundan qeyd etdiyimiz qalınlıqları da  $3 \div 5 \text{ mm}$  götürmək olar. Nüvənin daxili divarının qalınlığı  $\Delta = 3 \div 5 \text{ mm}$  götürülsə (2) ifadəsində  $x$  -in modul qiymətləri vahid radələrində dəyişir. Ümumiyyətlə,  $x < \pi$  şərti şəbəkə tezliyində həmişə ödənilir. Qeyd etdiyimiz şərt daxilində Bessel funksiyasını

$$J_0(x) = \cos \frac{2x}{\pi}$$

kimi appraksimasiya etmək olar. Appraksimasiya ifadəsi üzərində aparılan tədqiqatdan aydın olmuşdur ki, həmin ifadə göstərilən interval daxilində təxminən  $5 \div 10\%$  xəta ilə Bessel funksiyasını əvəz edə bilər. Qeyd etmək lazımdır ki, xətanın böyük qiymətləri  $x$  - in  $\pi$  - yə yaxın halında alınır.

(6) ifadəsində  $\dot{H}_{1zm}$  məlum olduqdan sonra qurğunun elektromaqnit sisteminin parametrlərini, o cümlədən istənilən hissədən qapanan maqnit selinin qiymətini müəyyən etmək mümkündür.

### Ədəbiyyat

1. Нейман Л.Р. Поверхностный эффект в ферромагнитных телах, М., Л., Госэнергоиздат, 1959, 192 с.
2. Бинс К., Лауренсон П. Анализ и расчет электрических и магнитных полей, М., Энергия, 1970, 45 с.
3. Буцько В.Н., Соколов В.А. Элементы теории Бесселевых функции, М., Изд-во МoTK3 ин-та им. И.М.Губкина, 1974, 91 с.

### Summary

#### INVESTIGATION OF THE MAGNETIC SYSTEM OF AN ELECTROMAGNETIC VIBROEXCITER

*Huseynov R.A.*

This paper presents a theoretical analysis of the magnetic system of an electromagnetic vibroexciter (EV) operating at a low mechanical frequency. The study investigates the distribution of the magnetic field, magnetic field intensity, and magnetic flux behavior within the device's structure. A cylindrical coordinate system and simplified forms of Maxwell's equations are used, leading to a differential equation that corresponds to a modified Bessel equation of zero order. Boundary conditions are applied to determine the integral constants that define the variation of magnetic field intensity within the core. The findings of the study are applicable to the design of electromagnetic systems and accurate calculation of their magnetic parameters.

**Keywords:** electromagnetic, vibration device, vibroexciter, magnetic system, Bessel equation, magnetic field intensity.

### Резюме

#### ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯ

*Гусейнов Р.А.*

В данной статье проведён теоретический анализ магнитной системы электромагнитного вибровозбудителя (ЭВ), который функционирует на низкой механической частоте. Исследовано распределение магнитного поля, напряжённость магнитного поля и поведение магнитного потока в конструкции вибровозбудителя. Для расчётов использована цилиндрическая система координат и упрощённые формы уравнений Максвелла, в результате чего получено дифференциальное уравнение, представляющее собой модифицированное уравнение Бесселя нулевого порядка. На основе граничных условий определены интегральные постоянные, описывающие изменения напряжённости магнитного поля в сердечнике. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании электромагнитных систем и для точного расчёта их параметров.

**Ключевые слова:** электромагнит, вибрационное устройство, вибровозбудитель, магнитная система, уравнение Бесселя, напряжённость магнитного поля.

#### INFLUENCE OF ELECTRIC ARC FURNACE OPERATION ON ELECTRICAL NETWORK PARAMETERS

<sup>1</sup>Bobojanov M.Q., <sup>1</sup>Makhmutkhonov S.K.,

<sup>2</sup>Aliguliyeva Kh.V., <sup>2</sup>Harunov A.T.

*1-Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan*

*2-Sumgayit State University, Sumgayit, Azerbaijan*

[mahmutkhonov.sultonkhoja.93@gmail.com](mailto:mahmutkhonov.sultonkhoja.93@gmail.com), [asim.harunov@sdu.edu.az](mailto:asim.harunov@sdu.edu.az)

**Summary.** This paper presents the results of experimental studies conducted on a DSP-30 electric arc furnace operated at the "LI DA METAL TECHNOLOGY" plant. The analysis revealed significant harmonic distortions in the voltage and current waveforms, with several harmonics (2nd, 3rd, 5th, 7th) exceeding the permissible limits defined by GOST 32144-2013. The total harmonic distortion (THD) was found to be 37.4%. The results confirm that arc furnaces are major sources of harmonic pollution and necessitate the application of compensation devices such as filters and static VAR generators.

**Keywords.** Electric arc furnace, harmonic analysis, power quality, THD, GOST 32144-2013, reactive power, electromagnetic disturbances.

In modern power systems, the issue of high-order harmonics is becoming increasingly critical. Such distortions are primarily caused by nonlinear loads. Among the largest of these are electric arc steel melting furnaces [1]. These furnaces introduce various negative impacts into the power grid, including high-order harmonics, voltage fluctuations, increased reactive power, and phase imbalances. These effects degrade

power quality, adversely affect the operation of other consumers, and compromise the stability of the power system. Therefore, experimentally studying the impact of electric arc furnaces on the electrical network and developing mitigation solutions is an important scientific and practical task [3].

Electric arc furnaces represent high-power loads characterized by the continuous ignition and extinction of the arc and variable thermal control. This operational behavior distorts the sinusoidal waveform of the current and voltage in the network, leading to high-order harmonics, voltage flicker, reactive power increase, asymmetry, and electromagnetic interference.

Theoretically, any nonlinear load—especially the current flowing in an arc furnace—can be analyzed using Fourier series expansion, which reveals that, in addition to the fundamental 50 Hz frequency, multiple higher-order harmonics are present [4]. These harmonics can adversely affect other consumers, reduce power quality, and increase energy losses. Furthermore, high harmonic currents can cause overheating in transformers, cables, and other equipment [5].

Additionally, when an electric arc furnace is switched on or during the start of each melting cycle, a strong inrush current is generated in the power network. This leads to short-term voltage sags and destabilization of the system. To analyze and mitigate these impacts, it is essential to conduct experimental research on an operating electric arc steel melting furnace in real time.

Based on the above, this research was conducted through an experimental study of the operational process of a DSP-30 electric arc furnace at the melting workshop of the “LI DA METAL TECHNOLOGY” LLC enterprise[7].

Figure 1 shows the monitor of the visualization system that controls the operation of the DSP-30 furnace. From the image, it can be observed that the electrodes, which are the main components of the electric arc furnace, are generally connected to the secondary winding of the furnace transformer and are moved vertically with the help of a hydraulic system.

The time-dependent variations of the phase currents are continuously displayed on the monitor. The furnace transformer is connected to the power grid through a reactor and an SF6 (sulfur hexafluoride) circuit breaker.



**Fig.1.** Visualization system of the DSP-30 electric arc furnace

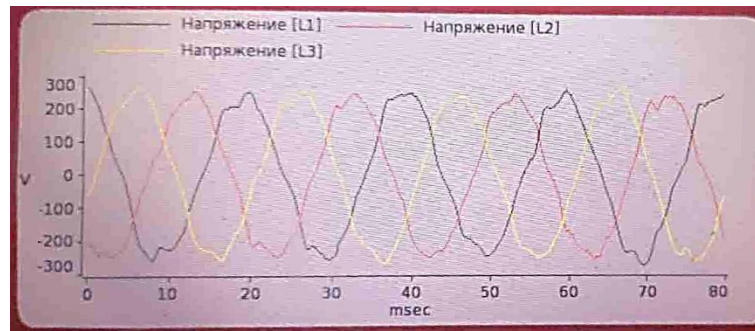
Through the Online Trend Control window, time-dependent current variation graphs for each phase of the electric arc furnace (EAF) are presented. From the graph, it can be observed that during the melting phase—when the furnace operates under heavy load—the phase currents reach high magnitudes and differ significantly from each other.

For instance, at 19:34, the current in the second phase (shown in green) exceeds 40 kA, while at 19:40, it is approximately 36 kA. At the same moments, the current in phase A decreases from 36 kA to about 6 kA at 19:34, and is around 30 kA at 19:40.

The subsequent melting phase ends at 19:43, which is reflected by the sharp drop of the phase currents to zero on the graph. After a short pause, once a new batch of scrap metal is loaded into the furnace, the process resumes.

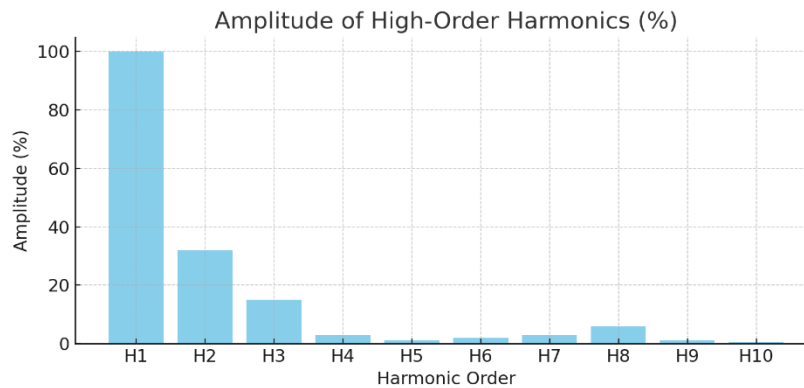
It is important to note that the melting current values and melting duration depend on several parameters, such as the type of scrap metal (iron, cast iron, etc.), its compaction level, and other related characteristics.

During the melting process at the “LI DA METAL TECHNOLOGY” plant, oscillograms of voltage variations in the short-circuit network of the DSP-30 electric arc furnace were recorded using the AR-6 Circutor power quality analyzer.



**Fig. 2.** Voltage variation in the short-circuit network of the DSP-30 electric arc furnace

The voltage variation graph of a single phase in this oscillogram was analyzed using Fourier series expansion to determine the amplitudes of the high-order harmonics contained within it.



**Fig. 2.** Harmonic content and diagram of the voltage in the short-circuit network of the DSP-30 furnace

Fig. 2 presents the harmonic composition of the voltage in the short-circuit network of the DSP-30 electric arc furnace, shown in the form of a histogram.

As seen in the histogram, in addition to the fundamental harmonic, the 2nd, 3rd, 5th, 7th, 8th, 9th, and 10th harmonics have noticeably significant amplitudes within the voltage waveform. According to the analysis results, the 1st harmonic represents the fundamental energy component of the signal and is taken as 100%.

Relative to it, the amplitude of the 2nd harmonic is approximately 32%, and the 3rd harmonic is around 14%, both of which significantly distort the sinusoidal waveform.

The 5th, 7th, 8th, 9th, and 10th harmonics have amplitudes of about 9%, 6%, 8%, 5%, and 7%, respectively, and also negatively affect waveform quality.

The total harmonic distortion (THD) in the network was calculated to be 37.4%. The obtained results are compared with the maximum permissible values specified in GOST 32144-2013 standard, as presented in Table 1.

**Table 1. Comparison of the amplitudes of high-order harmonics generated by the DSP-30 electric arc furnace with the GOST 32144-2013 standard**

Harmonic Order	Measured Amplitude (%)	GOST 32144-2013 Limit (%)
2nd Harmonic	11.28%	≤ 1%
3rd Harmonic	24.51%	≤ 5%
5th Harmonic	14.40%	≤ 6%
7th Harmonic	8.82%	≤ 5%
9th Harmonic	4.62%	≤ 1.5%
THD (Total)	37.4%	≤ 5%

The conducted experimental analyses and comparisons with the GOST 32144-2013 standard have clearly demonstrated that electric arc furnaces (EAFs) significantly and negatively impact power supply systems as major sources of high-order harmonics.

Spectral analysis of voltage and current variations in the short-circuit network of the DSP-30 electric arc furnace revealed that the 2nd, 3rd, 5th, 7th, and 8th harmonics significantly exceeded the standard permissible levels. In particular, the 2nd harmonic reached 11.28% (limit: 1%), the 3rd harmonic reached 24.51% (limit: 5%), and the 5th harmonic reached 14.4% (limit: 6%), which indicates that the furnace injects strong electromagnetic disturbances into the grid.

The total harmonic distortion (THD) was found to be 37.4%, nearly five times higher than the allowable limit of 8% [5]. Such conditions pose serious threats to power quality, including voltage distortion, phase imbalance, malfunction of sensitive equipment, increased thermal losses, and overheating of transformers.

Considering these factors, electric arc furnaces are classified among the most powerful industrial sources of harmonic distortion. To mitigate their impact on the power supply system, it is essential to implement modern compensation devices such as harmonic filters, reactors, and SVG (Static VAR Generators) [6-7].

## References

1. Basu, M., Das, S., Dubey, G. Harmonic distortion caused by arc furnaces and its mitigation. *Electric Power Systems Research*, vol. 71, no. 3, pp. 289–296, 2004.
2. Bollen, M.H.J. *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*. IEEE Press, 2000.
3. Circutor S.A. *AR6 Power Quality Analyzer User Manual*. Barcelona, 2018.
4. Emanuel, A.E. *Power Definitions and the Physical Mechanism of Power Flow*. IEEE Press, 2010.
5. GOST 32144-2013. *Power quality. General technical requirements*. Moscow: Standartinform, 2014.
6. IEEE Std 519-2014. *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. IEEE Power and Energy Society, 2014.
7. Makhmutkhoyayev K.K. *Improving the energy efficiency of the steel melting process in electric arc furnaces (Case study: “LI DA METAL TECHNOLOGY” plant)*. PhD dissertation in Technical Sciences, Tashkent State Technical University, Tashkent, 2024.

## Резюме

### ВЛИЯНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ ПЕЧИ НА ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

*Бободжанов М.Г., Махмутханов С.К., Алигулиева Х.В., Харунов А.Т.*

В данной статье представлены результаты экспериментального анализа влияния электродуговой печи DSP-30 на систему электроснабжения. Измерения показали значительные искажения сигналов напряжения и тока из-за высокочастотных гармоник. Общий коэффициент нелинейности (THD) составил 37,4%, что значительно превышает допустимые нормы, установленные ГОСТ 32144-2013. Исследование подтверждает, что электродуговые печи являются основными источниками гармоник, и подчеркивает необходимость использования компенсирующих устройств для снижения их воздействия на энергосистему.

**Ключевые слова.** Электродуговая печь, гармонический анализ, качество электроэнергии, THD, потери энергии, электромагнитные помехи.

## Xülasə

### ELEKTRİK QÖVS SOBASININ İŞLƏMƏSİNİN ELEKTRİK ŞƏBƏKƏSİ PARAMETRLƏRİNƏ TƏSİRİ

*Bobocanov M.Q., Mahmutxanov S.K., Əliquliyeva X.V., Harunov A.T*

Bu məqalədə DSP-30 elektrik qövs sobasının elektrik təchizatı sisteminə təsiri eksperimental təhlil əsasında təqdim olunur. Ölçmə nəticələri gərginlik və cərəyan siqnullarında yüksək sıra harmonikaları səbəbindən ciddi təhriflərin olduğunu göstərdi. Ümumi harmonik təhrif (THD) səviyyəsi 37.4% təşkil etmiş və bu, GOST 32144-2013 standartında müəyyən edilmiş hədləri əhəmiyyətli dərəcədə üstələmişdir. Tədqiqat göstərir ki, elektrik qövs sobaları əsas harmonika mənbələrindən biridir və onların təsirini azaltmaq üçün kompensasiya qurğularının tətbiqi vacibdir.

**Açar sözlər.** Elektr qövs sobası, harmonik təhlil, enerji keyfiyyəti, THD, enerji itkiləri, elektromaqnit pozuntular.

## AQRESSİV ŞƏRAİTDƏ GÜC KABELLƏRİNİN İSTİSMARININ ANALİZİ

**Məmmədzadə Ruhyyə Kazım qızı, Camalxanova İradə Seyfulla qızı,  
Camalədinova Ülkər Hikmət qızı, Əhmədov Sərxan Elşən oğlu**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[camalxanovairade@mail.ru](mailto:camalxanovairade@mail.ru)

**Xülasə.** Güc kabellərinin etibarlılığını artırmaq üçün bir neçə üsul və metod mövcuddur. Bunlar həm material seçimi, həm dizayn, həm də istismar və texniki xidmətlə bağlıdır. Keyfiyyətli materiallardan istifadə, korroziyaya davamlı örtüklər, düzgün

layihələndirmə və quraşdırma, aqressiv ifrat atmosfer təsirlərindən qorunma, sənaye müəssisələrində turşulara və digər aqressiv maddələrə qarşı dözümlü izolyasiya seçilməsi günün vacib məsələsidir.

**Açar sözlər:** güc kabelləri, güc kabellərinin vəzifələri, aqressiv şərait, etibarlılıq göstəriciləri, etibarlılığını artırmaq

Güc kabelləri elektrik enerjisinin ötürülməsi və paylanması təmin edən əsas elementlərdən biridir. Onlar aqressiv mühitlərdə yüksək temperatur, kimyəvi təsirlər, su və mexaniki yüklənmələrə qarşı dayanıqlı olmalıdır. Kabelin etibarlılığını artırmaq üçün keyfiyyətli materiallardan istifadə edilməli, düzgün layihələndirilməli və texniki xidmət göstərilməlidir. Qoruyucu qatlar və düzgün yük paylanması onların uzunömürlülüyünü və təhlükəsizliyini təmin edir. Bu metodlar kabellərin səmərəliliyini artıraraq, fasiləsiz və təhlükəsiz enerji ötürülməsinə imkan yaradır.

Enerji obyektlərinin istismar xarakteristikalarının yaxşılaşdırılması müasir enerji sistemlərinin etibarlılığını, dayanıqlığını və uzunömürlülüyünü təmin etmək baxımından strateji əhəmiyyətə malikdir. Elektrik enerjisinin fasiləsiz və təhlükəsiz ötürülməsi üçün infrostrukturların texniki vəziyyəti və onların istismar göstəricilərinin optimallaşdırılması böyük rol oynayır. Bu kontekstdə kabellərin mexaniki xarakteristikalarının etibarlılığının və onların uzunömürlülüyünün təmir edilməsi vacib faktorlar sırasına aiddir. Xüsusilə kabellərin dayanıqlığının artırılması, onların fiziki və mexaniki xassələrinin enerji obyektlərinin istismarı üçün vacib tədbirlərdəndir.

Eyni zamanda kabellərin uzunömürlülüyünün artırılması onların korroziya davamlılığının, mexaniki möhkəmliyinin və elektrik keçiriciliyinin yaxşılaşdırılması ilə sıx əlaqəlidir. Transformatorların və paylayıcı qurğuların davamlı və etibarlı işləməsi elektrik enerjisinin sabit şəkildə ötürülməsinə və istehlakçıların fasiləsiz enerji təchizatı ilə təmin olunmasına şərait yaradır.

Güc kabelləri– elektrik enerjisinin mənbədən istehlakçılara ötürülməsi və paylanması üçün istifadə olunan izolyasiyalı kabellərdir. Onlar yüksək gərginlik, cərəyan gücü və mexaniki yüklənməyə davamlı olmaq üçün xüsusi materiallardan hazırlanır. Mexaniki qorunma üçün paslanmayan polad boru iki mis tel arasında sıxışdırılır və yarımkeçirici yastıq təbəqələrinə yapışdırılır. Qabığın ekstrüde edilmiş büzməli alüminium konstruksiya olduğu və istehsal zamanı əhəmiyyətli mexaniki qüvvələr gördüyü üçün bu dərəcədə qorunma tələb olunur. Tipik olaraq, paslanmayan polad borunun daxili diametrindən (adətən 1,6 mm xarici diametri) asılı olaraq boruya bir-dörd lif daxil edilir. Boru, həmçinin uzununa nəm miqrasiyasını maneə törətmək üçün bir növ suda şişən toz və ya tiksotrop gel ilə doldurulur. Bu örtük borusu paslanmayan polad və ya mis ola bilər. Mis boru, digər tərəfdən, bir qədər elastiklik təklif edir, lakin paslanmayan poladdan nisbətən zəifdir və zəif əzilmə gücünə səbəb olur; elektrik kabelləri kanallara yerləşdirilərkən və küçə küncündə 90° əyilmə məcburiyyətində qaldıqda nəzərə alınmalıdır.

Kabel xəttini birbaşa yerdə-xəndəklərin içərisində çəkmək üçün zirehli korroziyadan mühafizə olunmuş kabellərdən istifadə olunur. Gərginliyi 35 kV-a qədər olan zirehli kabellər 0.8 m dərinlikli xəndəklərdə quraşdırılır. Xəndəyin dibinə 10 sm qalınlığında qum təbəqəsi töküldükdən sonra kabel yerləşdirilir. Kabelin üzərinə yenidən yumşaq torpaq tökülür. Kabeli mexaniki zədələnmədən qorumaq üçün kərpic və ya beton örtükdən istifadə edilir. Bu örtüyü qoyduqdan sonra xəndək basdırılır. Kabel xəttinin yeraltı kommunikasiyalar ilə kəsişdiyi yerdə xəndəyin dərinliyini 0,5 m-ə qədər azaltmaq olar. Ancaq dərinliyi azaldılmış xəndəyin uzunluğu 5 m-dən artıq olmamalıdır.

Güc kabellərinin vəzifəsi, elektrik stansiyalarından, paylayıcı şəbəkələrdən və transformatorlardan sənaye obyektlərinə, binalara və digər istehlakçılara enerjinin çatdırılması, elektrik enerjisinin ötürülməsi vasitəsilə həyata keçirilir.

Yüksək izolyasiya və dayanıqlılıq sayəsində elektrik enerjisinin təhlükəsiz və fasiləsiz ötürülməsi təmin edilir.

Su, istilik, kimyəvi maddələr, mexaniki və ekoloji amillərə qarşı davamlılıq və fiziki təsirlərə qarşı qorunmaq üçün xüsusi qoruyucu qatlarla təchiz olunurlar.

Elektrik qısaqapanmalarının və sızmalarının qarşısını almaq üçün təhlükəsiz və yüksək izolyasiya xüsusiyyətlərinə malikdirlər.

Yeraltı, sualtı, açıq hava və bina daxili quraşdırmalarında fərqli şəraitlərdə istifadə oluna bilər.

Seçim tətbiq sahəsinə və elektrik yüklənməsinə uyğun olaraq güc kabelləri gərginlik səviyyəsinə görə aşağı, orta və yüksək gərginlikli olaraq tətbiq edilir.

Kabel xətlərinin çəkilişində alüminium damarlı kabellərdən geniş istifadə olunur. Bu tipli kabellərdən torpaqda çəkiləcək II və III kateqoriyalı elektrik enerjisi tələbatçılarına qidalandırmaq üçün müəyyən şərtlər daxilində istifadə olunur, xəndəyə torpaq tökərkən onun içərisində daş, şüşə və s. kabelin örtüyünü zədələyə bilən qırıntılar olmamalıdır, torpaq işləri görəkən metal alətlərdən istifadə edilməməlidir.

Aqressiv şəraitdə kabellərin istismarı zamanı onların uzunmüddətli və təhlükəsiz işləməsi üçün bir sıra mühüm faktorlar nəzərə alınmalıdır. Aqressiv şərait dedikdə aşağıdakı amillər nəzərdə tutulur:

Yüksək və aşağı temperatur nəticəsində kabelin izolyasiya və qoruyucu örtükləri istilik təsirindən zədələnmə bilər. Kimyəvi maddələr və korroziya, sənaye müəssisələrində turşular, qələvilər, duzlar və digər kimyəvi maddələr kabellərin izolyasiya qatına və metal hissələrinə mənfi təsir göstərə bilər.

Mexaniki təsirlər, vibrasiya, gərginlik, əyilmə və zərbələr nəticəsində kabellər tez sıradan çıxır.

Su və rütubət kabellərin izolyasiyasını zədələyə və qısaqapanma yarada bilər.

Açıq havada istifadə olunan kabellər günəş şüalarının təsirindən deqradasiyaya uğraya bilər.

Güc kabellərinin etibarlılıq göstəriciləri onların uzunmüddətli, təhlükəsiz və səmərəli işləməsini müəyyən edən əsas parametrlərdir.

Elektrik göstəriciləri, kabelin dayana biləcəyi maksimum gərginlik səviyyəsi (məsələn, 0,6/1 kV, 6/10 kV) və kabelin icazə verilən maksimal cərəyan yükü, izolyasiya materialının keyfiyyətini və elektrik sızmalarına qarşı dayanıqlığını göstərir.

Kabelin qısaqapanma cərəyanlarına qarşı dözümlülüüyü, onun daxili və xarici qısaqapanma dayanıqlığını göstərir.

Güc kabellərinin etibarlılığını artırmaq üçün bir neçə əsas üsul mövcuddur. Bunlar həm material seçimi, həm dizayn, həm də istismar və texniki xidmətlə bağlıdır. Keyfiyyətli materiallardan istifadə, korroziyaya davamlı örtüklər, düzgün layihələndirmə və quraşdırma, kəskin bükülmələrdən qaçınmaq, xarici təsirlərdən qoruma və sənaye müəssisələrində turşulara və digər aqressiv maddələrə dözümlü izolyasiya seçilməsi. Kabelin həddindən artıq yüklənməsinin qarşısını almaq üçün yük paylanması düzgün tənzimləmək vacibdir. Bu metodlar güc kabellərinin istismar müddətini artırmaqla yanaşı, həm də təhlükəsizliyini və səmərəliliyini yüksəldir.

### Ədəbiyyat

1. E.M.Fərhadzadə, M.A.Naşımov, V.A.Kələntərov. Elektrik stansiyalarının elektrik hissəsi Bakı, 1990
2. Гайсаров З.И., Лисовская Н.Т. Выбор электрической аппаратуры, токоведущих частей и изоляторов. Челябинск, 2002
3. R.K.Məmmədzadə. Elektrik stansiyalarının elektrik hissəsi. Bakı, 2008
4. Elektron qurğularının əsasları, (anl.az), (2014)

### Summary

#### ANALYSIS OF THE EXPLOITATION OF POWER CABLES IN AGGRESSIVE CONDITIONS

*Mammadzade R. K., Jamalxanova I. S., Jamaledinova U. H., Ahmadov S.E.*

There are several methods and techniques to increase the reliability of power cables. These are related to the choice of materials, design, operation and maintenance. The use of high-quality materials, corrosion-resistant coatings, proper design and installation, protection from aggressive extreme atmospheric influences, and the selection of insulation resistant to acids and other aggressive substances in industrial enterprises are important issues of the day.

**Keywords:** power cables, functions of power cables, aggressive conditions, reliability indicators, increasing reliability.

### Резюме

#### АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ В АГРЕССИВНЫХ УСЛОВИЯХ

*Маммедзаде Р.К., Джамалханова И.С., Джамаладинова У.Х., Ахмедов С.Э.*

Существует несколько методов и приемов повышения надежности силовых кабелей. Они связаны с выбором материалов, проектированием, эксплуатацией и обслуживанием. Использование качественных материалов, антикоррозионных покрытий, грамотное проектирование и монтаж, защита от агрессивных экстремальных атмосферных воздействий, выбор изоляции, устойчивой к кислотам и другим агрессивным веществам на промышленных объектах являются актуальными вопросами современности.

**Ключевые слова:** силовые кабели, функции силовых кабелей, агрессивные условия, показатели надежности, повышение надежности

## LQR VE PID TABANLI KONTROL ALGORITMALARININ OWC (SALINIMLI SU KOLONU) DALGA ENERJISI SISTEMLERINDE PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASI

<sup>1</sup>Merve Kibar Altaylı, <sup>1</sup>Hakan Ülker, <sup>2</sup>Asım Balbay

<sup>1</sup>Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, Türkiye

<sup>2</sup>Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Malatya, Türkiye

[merveakcilli@gmail.com](mailto:merveakcilli@gmail.com), [hakan.ulker@btu.edu.tr](mailto:hakan.ulker@btu.edu.tr), [asim.balbay@ozal.edu.tr](mailto:asim.balbay@ozal.edu.tr)

**Özet:** Bu çalışmada, salınımlı su kolonu (OWC) tipi dalga enerjisi dönüşüm sisteminde türbin hızının düzenlenmesi amacıyla Doğrusal Kuadratik Regülatör (LQR) ve Oransal-İntegral-Türev (PID) kontrol algoritmalarının karşılaştırmalı performans analizi sunulmaktadır. Doğrusal hale getirilmiş OWC modeli üzerinde gerçekleştirilen simülasyonlar kapsamında, her iki kontrol

stratejisinin sistem yanıtı referans takibi ve enerji verimliliği açısından değerlendirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, kontrol algoritmaları aracılığıyla OWC sisteminden maksimum düzeyde enerji elde etmektir. Elde edilen bulgular, LQR kontrolcüsünün daha düşük aşma oranı ve kontrol çabası ile PID algoritmasına kıyasla daha verimli bir performans sergilediğini ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** OWC, PID kontrol, LQR kontrol, deniz dalga enerjisi, enerji verimliliği

## Giriş

Salınımlı su kolonu (OWC) sistemleri, deniz dalgalarının enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesinde kullanılan önemli teknolojilerden biridir. Bu sistemlerde dalga etkisiyle değişen su seviyesi, sistemdeki hava sütununu harekete geçirerek enerji dönüşümünü mümkün kılar. OWC sistemlerinde rotor hızının etkili bir şekilde kontrol edilmesi, enerji üretim verimliliği açısından kritik bir gerekliliktir.

Bu kapsamda sistem performansını iyileştirmek amacıyla çeşitli kontrol stratejileri araştırılmıştır. Literatürde, özellikle PID kontrol yapılarının OWC sistemlerine uygulanması yaygın olarak incelenmiştir [1]. Öte yandan, optimal kontrol teorileri kapsamında değerlendirilen LQR yöntemleri de farklı enerji sistemlerinde başarıyla uygulanmaktadır [2].

Bazı çalışmalarda ise maksimum güç noktası takibi (MPPT) için adaptif yapılar [2], verimlilik odaklı model kestirimi [3] ve akış kontrolü için bulanık mantık temelli denetleyiciler [4] tercih edilmiştir. Ayrıca, çoklu model geçişine dayalı yapılar da denenmiştir [5].

Bu çalışmada, OWC sisteminin doğrusal modeli üzerinde PID ve LQR kontrol algoritmaları ile referans rotor hızı takibi gerçekleştirilmiş, performans ölçütleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

## Yöntem

OWC sistemleri, dalga etkisiyle su seviyesinin yukarı-aşağı hareket ettiği, bu hareketin ise kapalı hava odasında bir hacim değişikliğine neden olduğu yapılar olarak tanımlanır. Bu değişim, çift yönlü bir hava akışı meydana getirir. Oluşan hava akımı Wells türbini üzerinden geçerek mekanik enerjiye dönüşür. Türbine bağlı rotorun dönmesiyle birlikte enerji, jeneratör aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür.

Bu çalışmada kullanılan OWC modeli, bu fiziksel süreçlerin temel bileşenlerini içerecek şekilde Mishra ve arkadaşları [1] tarafından önerilen doğrusallaştırılmış yapı temel alınarak sadeleştirilmiştir. Doğrusal model üzerinde rotor hızı kontrol edilen büyüklük olarak tanımlanmış; kontrol giriş sinyali olarak ise rotor gerilimi kullanılmıştır. Dalga girdisi olarak JONSWAP tipi düzensiz deniz dalgası spektrumu uygulanmıştır.

PID ve LQR algoritmaları doğrusal model üzerine entegre edilerek, rotor hızının referans takibi kapsamında kontrol performansları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

PID kontrolcüsü, doğrusal hale getirilmiş sistem üzerinde kutup yerleştirme yöntemiyle tasarlanmıştır. Bu yöntemde, sistemin kapalı çevrim karakteristik denklemi ile istenen kutuplar eşleştirilerek PID kazançları hesaplanmıştır.

Kontrol yasası aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$G_{PID}(S) = K_p + \frac{K_i}{S} + K_d S$$

PID algoritması; oransal ( $K_p$ ), integral ( $K_i$ ) ve türev ( $K_d$ ) kazançlarından oluşur. Kazanç değerleri, maksimum çıkış gücüne ulaşacak şekilde seçilmiş ve bozucu etkiler altında da kararlı davranış gösterilmesi hedeflenmiştir.

LQR kontrol stratejisi, sistemin performans indeksini minimize edecek şekilde uygulanmıştır. Performans fonksiyonu aşağıda tanımlanan formda olup, hata büyüklüğü ve kontrol enerjisi dikkate alınmıştır:

$$f = \int_0^{\infty} [x^T(t)Qx(t) + u^T(t)Ru(t)]dt$$

Burada  $x(t)$  sistemin durum vektörü,  $u(t)$  kontrol sinyali,  $Q$  durum ağırlık matrisi ve  $R$  kontrol sinyali ağırlık matrisidir. Bu matrisler, kararlılık ve enerji verimliliği arasında denge sağlayacak şekilde seçilmiştir. LQR kontrol yasası genel formda şu şekilde yazılır:  $u(t) = -Kx(t)$ .

Tüm simülasyonlar zaman domeninde gerçekleştirilmiş ve kontrol algoritmalarının sabit referans rotor hızını izleme başarımı değerlendirilmiştir. LQR kontrolcüsü, daha düşük kontrol çabasıyla rotor hızını referans değere daha kararlı biçimde ulaştırarak PID'e kıyasla daha verimli bir performans sergilemiştir.

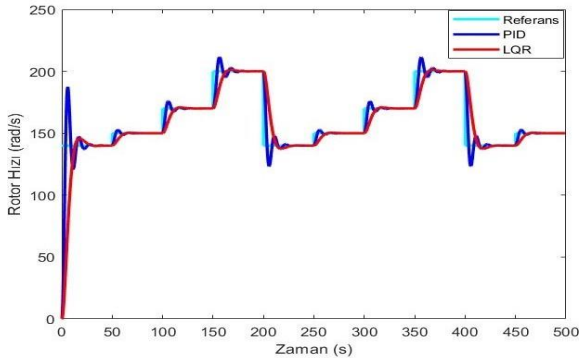
#### Bulgular ve Tartışma

**Tablo 1.** Referans takibi altındaki kontrol performans ölçütleri.

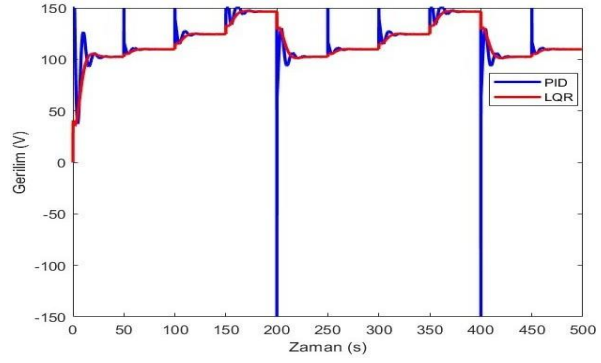
Kriter	PID	LQR
Maksimum aşma (%)	33.8	4.3
Yerleşme süresi (s)	23.5	23.5
Enerji tüketimi	$7.09 \times 10^7$	$6.97 \times 10^7$

Şekil 1'de sistem referansını takip eden PID ve LQR kontrolcülerinin rotor hız tepkileri gösterilmektedir. LQR, referans sinyaline daha düşük hata ile takip ederken, PID kontrolcüsünde yüksek aşma ve geçici rejim salınımları gözlemlenmiştir.

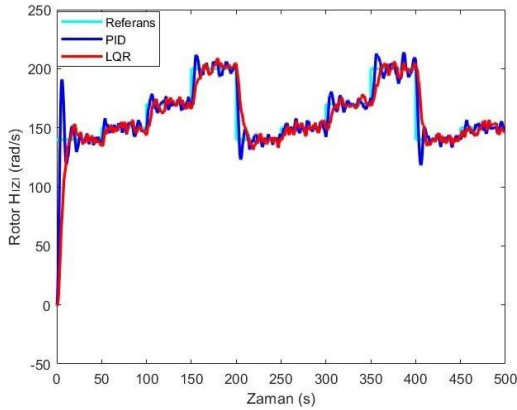
Şekil 2'de ise PID kontrolcüsü yüksek genlikli ani sıçramalar üretirken, LQR kontrolcüsü daha dengeli ve sınırlı kontrol sinyalleri üretmiştir. Bu durum LQR'nin enerji tüketimi açısından daha verimli olduğunu göstermektedir.



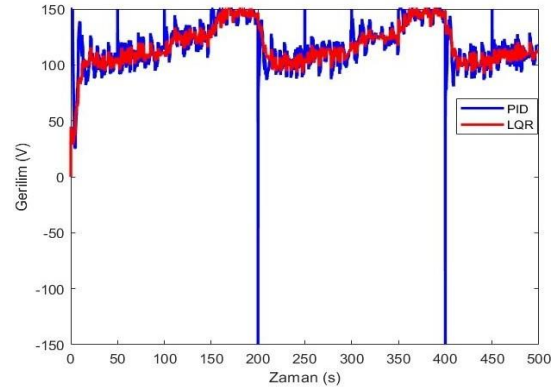
**Şekil 1.** Referans takibi altında rotor hızı tepkisi



**Şekil 2.** Referans takibi altında kontrolcü gerilim sinyalleri



**Şekil 3.** Stokastik bozucu etkiler altında rotor hızı tepkisi



**Şekil 4.** Stokastik bozucu etkiler altında kontrolcü gerilim sinyalleri

**Tablo 2.** Stokastik bozucu etkiler altında kontrol performans ölçütleri

Kriter	PID	LQR
Maksimum aşma (%)	36.3	9.3
Yerleşme süresi (s)	24.5	27.6
Enerji tüketimi	$7.12 \times 10^7$	$6.98 \times 10^7$

Şekil 3'te bozucu etkiler altında LQR kontrolcüsü, referans sinyaline daha kararlı şekilde yaklaşırken, PID kontrolcüsü daha belirgin saptmalar ve düzensiz salınımlar üretmiştir. Bu da LQR'nin bozucu reddi performansında üstünlüğünü ortaya koymaktadır.

Şekil 4'te ise PID kontrolcüsü düzensiz ve büyük genlikli kontrol sinyalleri üretmiştir. Buna karşın, LQR kontrolcüsü daha stabil ve enerji açısından tasarruflu bir kontrol sinyali sağlamıştır.

Simülasyon sonuçları, LQR kontrolcüsünün hem enerji tüketimi hem de maksimum aşma oranı açısından PID kontrolcüsüne göre daha verimli bir performans sergilediğini göstermektedir. Özellikle stokastik bozucu etkiler altında, PID kontrolcüsünde gözlenen yüksek salınımlar sistem kararlılığı açısından dezavantaj oluşturmuştur.

#### **Sonuçlar**

Bu çalışmada, OWC sisteminin türbin hız kontrolü için LQR ve PID kontrol stratejileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Her iki kontrolcü aynı doğrusal model üzerinde test edilmiştir. Gerçekçi dalga koşullarında, LQR kontrolcüsü, özellikle enerji tüketimi ve maksimum aşma kriterlerinde PID kontrolcüsüne göre üstünlük sağlamıştır. Bu nedenle, enerji verimliliği ve sistem kararlılığı açısından LQR yönteminin OWC sistemlerinde uygulanabilirliği güçlü bir şekilde ortaya konmuştur.

#### **Kaynaklar**

1. S. Mishra et al., "PID Control of the OWC Plant to Improve Ocean Wave Energy Capture," 2020.
2. J. Lekube et al., "Rotational Speed Optimization in OWC Wave Power Plants Based on MPPT,"
3. IEEE Trans. Autom. Sci. Eng., 2017.
4. N. Sergiienko et al., "Efficiency-Aware Model Predictive Control Approaches for Wave Energy Devices," J. Ocean Eng. Marine Energy, 2022.
5. F. M'zoughi et al., "Fuzzy Gain Scheduled PI-Based Airflow Control of OWC," IEEE J. Ocean Eng., 2018.
6. Garrido et al., "Intelligent Airflow Controls for a Stalling-Free Operation of OWC Plants,"
7. IEEE, 2019.

#### **Summary**

#### **PERFORMANCE COMPARISON OF LQR AND PID BASED CONTROL ALGORITHMS IN OWC (OSCILLATING WATER COLUMN) WAVE ENERGY SYSTEMS**

*Altayli M.K., Ülker H., Balbay A.*

This paper presents a comparative performance analysis of Proportional-Integral-Derivative (PID) and Linear Quadratic Regulator (LQR) control algorithms applied for rotor speed regulation in Oscillating Water Column (OWC) wave energy conversion systems. The analysis is conducted on a linearized OWC system model, where both control strategies are evaluated in terms of reference tracking and energy efficiency. The main objective is to maximize energy extraction from the OWC system through effective control. Simulation results indicate that the LQR controller achieves superior performance compared to the PID controller, with lower overshoot and reduced control effort.

**Keywords:** OWC, PID control, LQR control, wave energy, energy efficiency

#### **Резюме**

#### **СРАВНЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ LQR И PID В OWC (КОЛЕБЛЮЩЕМСЯ ВОДЯНОМ СТОЛБЕ) ВОЛНОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

*Алтайли М.К., Улкер Х., Балбай А.*

В данной статье представлен сравнительный анализ эффективности алгоритмов управления пропорционально-интегрально-производными (PID) и линейно-квадратичным регулятором (LQR), применяемых для регулирования частоты вращения ротора в системах преобразования энергии волн в колеблющемся водяном столбе (OWC). Анализ проводится на основе линеаризованной модели системы OWC, где обе стратегии управления оцениваются с точки зрения отслеживания исходных данных и энергоэффективности. Основная цель заключается в максимальном извлечении энергии из системы OWC за счет эффективного управления. Результаты моделирования показывают, что контроллер LQR обеспечивает более высокую производительность по сравнению с ПИД-регулятором при меньшей перегрузке и меньших усилиях по управлению.

**Ключевые слова:** OWC, ПИД-регулирование, LQR-регулирование, энергия волн, энергоэффективность

## МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.

<sup>1</sup>Алиев Надир Абдурахман оглы

<sup>2</sup>Гаджибалаев Надир Мирзабала оглы

<sup>3</sup>Ширинова Айнур Яшар гызы

<sup>4</sup>Байрамалиева Эльмира Наджаф гызы

1 – Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности,  
Баку, Азербайджан

2,3,4 – Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан

[Nadir.alili.52@mail.ru](mailto:Nadir.alili.52@mail.ru), [nadir.hacibalalayev@sdu.edu.az](mailto:nadir.hacibalalayev@sdu.edu.az),

[aynur.shirinova@sdu.edu.az](mailto:aynur.shirinova@sdu.edu.az), [elmira.bayramaliyeva@sdu.edu.az](mailto:elmira.bayramaliyeva@sdu.edu.az)

**Резюме** Данная статья посвящена методам оптимизации энергетических показателей ветроэнергетических установок (ВЭУ), которая представляет собой устройство с электрогенератором и лопастями, установленными на валу с шкивами. Уникальная структура этой установки, в том числе угловое смещение лопастей и защитный экран, повышает её эффективность. В данном проекте предложены некоторые методы оптимизации энергетических показателей. В рамках исследования будет рассмотрено применение современных технологий в этой области и возможность адаптации ВЭУ в условиях различных климатических условий и на разных территориях.

**Ключевые слова:** энергия ветра, ветроэлектрические установки, многофазный генератор переменного тока, оптимизация, электрические показатели, двухгенераторная ВЭУ.

Энергия ветра одна из ключевых отраслей возобновляемой энергии и играет важную роль в современном мире. Соответственно ветроэлектрические установки (ВЭУ) позволяют снизить зависимости от ископаемых топлив и в борьбе с изменением климата. Однако, для эффективной эксплуатации ВЭУ необходимо учитывать множество факторов, которые значительно влияют на их энергетические показатели.

Неустойчивость ветра, изменчивость погоды, сезонные колебания приводит к неравномерности поставок энергии ветра и создает проблемы для обеспечения стабильности энергосистемы. Оптимизация энергетических показателей позволяет повысить эффективность работы установок, снизить затраты на эксплуатации и продолжительность службы. Многие проблемы могут быть преодолены с помощью технических решений.

На данной работе предложены некоторые методы оптимизации энергетических показателей ветроэнергетических установок. Одним из основных факторов влияющих на к.п.д. ветроэнергетических установок является аэродинамика лопастей ветроколеса. Они должны быть сконструированы так, чтобы эффективно преобразовали кинетическую энергию ветра в механическую. Эффективная система регулирования угол наклона лопастей также является важнее.

Известно, что одним из основных элементов ВЭУ является электрический генератор, которую энергию ветра превращает в электрическую. Для эффективной работы ВЭУ необходимо правильно выбрать и настроить генератор.

Использование многофазных генераторов переменного тока позволяет снизить потери энергии и повысить стабильность работы при переменных нагрузках. Современные инверторы обеспечивают синхронизацию вырабатываемой энергии с электрической сетью.

Для оптимизации энергетических показателей ВЭУ большой мощности, часто применяются решения предполагающие использования нескольких турбин и генераторов в сети. Совмещение ВЭУ в такую сеть позволяет эффективное распределение нагрузки, так как, каждая машина может работать в разных условиях, компенсируя слабые места других.

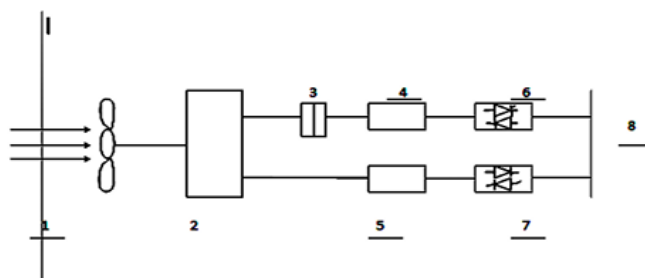


Рис.1.

На рисунке 1. Представлена двухгенераторная ВЭУ. Здесь обозначены: 1 – ветродвигатель, 2 – асинхронный генератор большой мощности; 3 – редуктор, муфта сцепления (гидравлическая или электрическая); 4,5 – синхронизированный асинхронный генератор малой мощности; 6,7 – тиристорные выключатели; 8 – электрическая сеть.

Достоинством предложенного проектного решения является следующие:

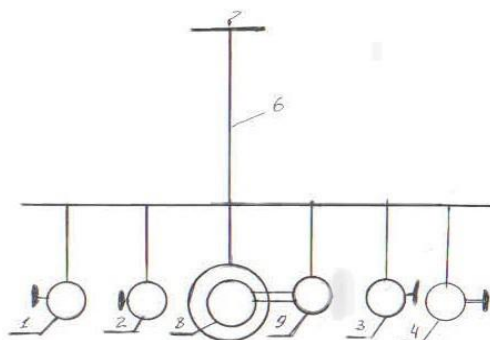
1. Высокий коэффициент использования энергии ветра как при малых, так и при больших скоростях ветра и высокий к.п.д. установки.

2. Обеспечивает работу ВЭУ с  $\cos \varphi = 1$  во всех режимах.

3. Возможность мягкого электромеханического пуска ВЭУ.

При различных скоростях и разных точках местности предложенная ВЭУ позволяет получить стабильную выработку энергии объединяя данные двух генераторов.

Для обеспечения долгосрочной и эффективной работы ВЭУ необходимо внедрить системы автоматизированного управления одним из таких технических решений для компенсации реактивной мощности ВЭУ представлена на рисунке 2.



**Рис.2.**

Здесь обозначены:

1,2,3,4 – ВЭУ, 5 – шины ВЭС, 6 – линия электропередачи; 7 – шины ближайшей крупной электрической подстанции; 8 – синхронной компенсатор; 9 – пусковой (разгонный) двигатель.

Основными достоинства проектного решения является:

1. Возможность полной автоматизации процесса компенсации реактивной мощности ВЭС;

2. Наличие эффекта саморегулирования, что особенно важно в переходных режимах;

3. Мягкий пуск синхронного компенсатора без каких – либо отрицательного влияния на сеть и ВЭС;

4. Использование пускового двигателя в качестве дополнительного источника реактивной мощности, путем перевода его в синхронный режим работы.

Заключение. Как видно из изложенного, оптимизация энергетических показателей ВЭУ является многогранным процессом, охватывающим технические и организационные вопросы. Внедрение современных технологий, управления и обслуживания ВЭУ позволяет значительно повысить их эффективность в развитие возобновляемой энергии.

### **Ədəbiyyat**

1. A.İ. Abdulkadırov, N.M. Hacıbalayev, S.M. Cabbarova. İki generatorlu külək qurğusunun xüsusiyyətləri və energetik göstəriciləri. Energetikanın problemləri. Bakı, Elm nəşriyyatı, 2019, №1, 65-69 s.
2. A.İ. Abdulkadırov, N.A. Aliyev. “On the Use of an Electromagnetic Slip Coupling in a Wind Power Plant” International Scientific and Practical Conference on Development of Technical Sciences in the Modern World pp.76-96, Voronezh, Russia 2016.
3. N.A. Aliyev, E.N. Ahmadov, S.A. Khanahmedova. Some issues of use and simulation of electromagnetic brake in wind plant. The 18 th International Conference on “Technical and Physical Problems of Engineering” 30 October 2022, number 21, Pages 104-110
4. N.A. Aliyev, E.N. Ahmadov, S.A. Khanahmedova. Improving efficiency of wind turbines with electromagnetic braces. International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering” IJTPPE – Issue 55, Volume 15, number 2, June 2023 (Serial №: 0055-1502-0623), pp, 37-43

**Xülasə**  
**KÜLƏK TURBINLƏRİNİN ENERJİ GÖSTƏRİCİLƏRİNİN OPTİMALLAŞDIRILMASI ÜÇÜN METODLAR.**  
*Əliyev N.Ə., Hacibalayev N.M., Şirinova A.Y., Bayraməliyeva E.N.*

Məqalə, külək energetik qurğularının (KEQ) enerji göstəricilərinin optimallaşdırılması üsullarına həsr olunub. Bu, elektrik generatoru və şkiyləri olan vala quraşdırılmış pərləri olan bir cihazdır. Bu qurğunun unikal quruluşu, o cümlədən pərlərin bucaq yer dəyişməsi və qoruyucu ekran, onun səmərəliliyini artırır. Bu layihədə enerji göstəricilərini optimallaşdırmaq üçün bir neçə üsul təklif olunur. Araşdırma çərçivəsində bu sahədə müasir texnologiyaların tətbiqi və KEQ-nin müxtəlif iqlim şəraitində və müxtəlif ərazilərdə uyğunlaşdırılması imkanı nəzərdən keçiriləcək.

**Açar sözlər:** külək enerjisi, külək enerjisi qurğuları, çoxfazlı dəyişən cərəyan generatoru, optimallaşdırma, elektrik göstəriciləri, iki generatorlu KEQ.

**Summary**  
**METHODS FOR OPTIMIZING THE ENERGY PERFORMANCE OF WIND TURBINES.**  
*Aliyev N.A., Hacibalayev N.M., Shirinova A.Y., Bayramaliyeva E.N.*

This article is dedicated to methods for optimizing the energy performance of wind power plants (WPPs), which are devices consisting of an electric generator and blades installed on a shaft with pulleys. The unique structure of this installation, including the angular displacement of the blades and a protective screen, enhances its efficiency. Several methods for optimizing energy performance are proposed in this project. The study will consider the application of modern technologies in this field, as well as the possibility of adapting WPPs to different climatic conditions and various terrains.

**Keywords:** wind energy, wind power plants, multi-phase AC generator, optimization, electrical parameters, dual-generator WPP.

**ROBOTOTEXNİKİ KOMPLEKSLƏRDƏ BUCAQ YERDƏYİŞMƏSİNİ ÖLÇƏN  
VERİCİNİN TƏDQIQINƏ DAIR**

**Əhmədova Tamella Əhməd qızı**  
**Hacıyeva Könül Ramiz qızı**  
*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*  
[tamilla.ahmedova@sdu.edu.az](mailto:tamilla.ahmedova@sdu.edu.az)

**Xülasə** Məqalədə sənaye robotunun qolunun bucaq yerdəyişməsini ölçmək üçün yaradılmış bucaq dönmə elektromaqnit vericisinin tədqiqatı əsasında onun tezliyinin seçilməsi məsələsinə baxılmışdır.

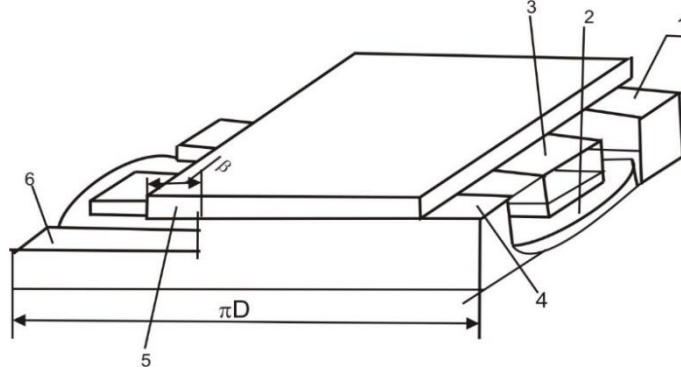
**Açar sözlər:** Açar sözlər: robototexniki kompleks, bucaq dönmə, verici, sənaye robotu, avtogenerator, tezlik

Cihazqayırma və maşınqayırma sənaye sahələrində istifadə olunan RTK-ın informasiya-ölçmə və idarəetmə sistemlərində bucaq yerdəyişmə vericilərindən geniş istifadə olunur [1]. Belə vericilərin işləmə prinsipi dövrədə aktiv müqavimətin, induktivliyin, tutumun dəyişməsinə əsaslanma bilər. Aparılan hərtərəfli tədqiqatlar əsasında müəyyən edilmişdir ki, induktiv və ya qarşılıqlı induktivliyin dəyişməsi prinsipində işləyən bucaq dönmə vericiləri yüksək, güclü informasiya siqnalına malik olurlar. Buna görə də RTK-da bucaq dönmə vericilərindən istifadə etmək əlverişli olur [2]. Mövcud induktiv bucaq dönmə vericilərinin nüvəsi şixtələnmiş elektrotexniki və rəq şəkili poladdan hazırlanmışdır və onların hazırlanma texnologiyası çətin olur. Bununla əlaqədar olaraq, belə vericilərin iqtisadi göstəriciləri aşağı düşür. Bucaq dönmə vericisinin iqtisadi göstəricilərini yüksəltmək üçün onların nüvələrini maşınqayırma sənayesində geniş yayılmış adi konstruktiv poladdan hazırlamaq lazım gəlir. Belə halda nüvənin oxunun konstruksiyasını sadə texnologiya ilə hazırlamaq mümkün olur.

RTK-da istifadə olunan SR-nın qolunun bucaq dönməsi müxtəlif olur [3]. Onların tətbiq sahəsindən asılı olaraq qolun bucaq dönməsi  $60^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $120^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$ ,  $240^{\circ}$  və s. ola bilər. Cihazqayırmada istifadə olunan bucaq dönmə vericiləri  $90^{\circ}$ ,  $120^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$  bucaq altında öz qollarını döndərmə xüsusiyyətlərinə malik olurlar. Bununla əlaqədar olaraq buxarlandırıcıların hazırlanmasında istifadə olunan “kolokolçik”in açılmasında istifadə olunan SR-in qolunun bucaq dönməsi  $90^{\circ}$  və  $180^{\circ}$  ola bilər. Bundan başqa buxarlandırıcıların kanallarının genişləndirilməsində hidravlik preslərdən istifadə olunur. Belə preslərin axın xəttində yerləşdirilməsindən asılı olaraq onları yükləyən və boşaldan SR-in qolunun dönmə bucağı  $90^{\circ}$  yaxud  $180^{\circ}$  ola bilər. Əgər hidravlik pres axın xəttinə paralel yerləşirsə, onda yüklənmə və boşaldılma  $90^{\circ}$  bucaq altında yerinə yetirilir. Burada istifadə olunan hidravlik preslər  $+30^{\circ}$  və  $-30^{\circ}$  bucaq altında yerləşdirilir. Belə halda SR-in qolunun maksimum dönmə bucağının istiqaməti hidravlik presin qabaq müstəvisinə perpendikulyar olur. Bu perpendikulyarlıq SR-ə nəzərən həm sağda, həm də solda yerinə yetirilir. Nəzərdə tutulan proqram əsasında SR sağdakı və ya soldakı hidravlik presi yükləyir və ya boşaldır. Belə halda iki hidravlik presə bir SR xidmət göstərir. Bununla əlaqədar olaraq bucaq dönməsini ölçən üçpilləli  $90^{\circ}$ ,  $120^{\circ}$  və  $180^{\circ}$  vericini

hazırlamaq lazım gəlir. Belə vericini yaratmaq üçün bir-birinə kooksial olan iki silindrik nüvə hazırlanır. Hər iki silindr nazik divarlı olub, aralarında çox kiçik  $\delta$  məsafəsi mövcuddur. Hazırlanmış silindrlərin açılışı şəkil 1-da verilmişdir [4].

Xarici silindrin daxili diametrimin uzunluğu  $\pi D$ , onun daxilində yerləşən üç 1, 3, 4-yarımsilindrin

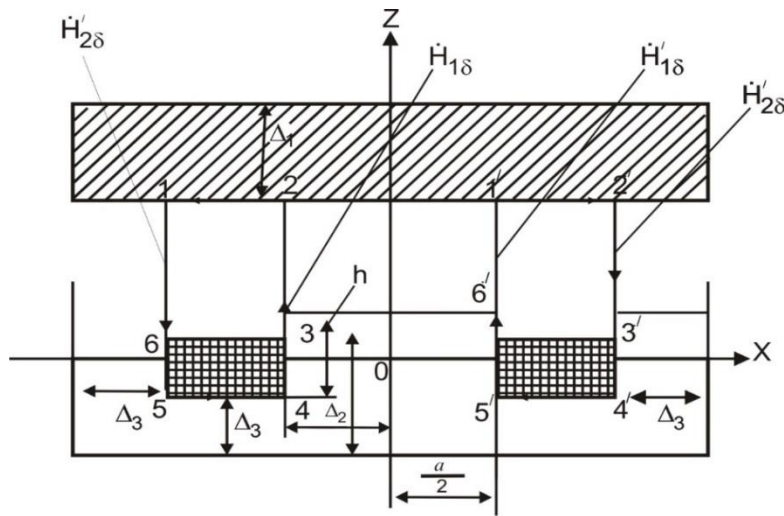


**Şəkil 1.** Vericinin konstruktiv açılışı

hər birinin uzunluğu (onların daxili diametrləri üzrə)  $(\frac{\pi D}{2} - \delta)$ -ya bərabər alınır. Vericinin hərəkət edən yarımsilindri - 5  $\beta$  bucağı qədər döndükdə 2- təsirlənmə dolağının üstünü örtür. Vericinin 2 -təsirlənmə dolağı LC-avtogeneratorun RK-na qoşulur. Nəticədə induktiv əks rabitəyə malik olan avtogenerator alınır.

Yuxarıda qeyd olunduğu kimi vericinin induktiv sarğacının nüvəsi en kəsiyə görə III şəkillidir. En kəsik şəkil 2-də göstərilən kimidir.

Göstərilən maqnit sisteminin diferensial tənliyi ümumi şəkildə



**Şəkil 2.** Vericinin maqnit sisteminin en kəsiyi

$$\frac{\partial^2 \dot{H}_{y=0}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \dot{H}_{y=0}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \dot{H}_{y=0}}{\partial z^2} = k^2 \dot{H}_{y=0} \quad (1)$$

kimi yazılır. Qəbul olunmuş dekart koordinat sistemində simmetriya oxu 3-4 və 3'-4' aralığının orta hissəsinə düşür. Burada z oxu istiqamətində maqnit qüvvə xətləri bir-birinə paraleldir, yəni  $\dot{H}_{y=0}$  z koordinatından asılı deyil. YO(-X), YOX yarımmüstəvisində  $\dot{H}_{y=0}$  maqnit sahə gərginliyi Y dəyişənindən asılı deyil.

Beləliklə,

$$\frac{\partial^2 \dot{H}_{y=0}}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 \dot{H}_{y=0}}{\partial z^2} = 0 \quad (2)$$

olur. Sonuncu bərabərliyi (1)-də nəzərə alsaq,

$$\frac{\partial^2 \dot{H}_{y=0}}{\partial x^2} = k^2 \dot{H}_{z=0}$$

alınar. Burada  $k = \sqrt{j\omega\gamma\mu\mu_0}$ . Bu tənliyin həlli

$$\dot{H}_{z=0} = A_1 e^{kx} + A_2 e^{-kx} \quad (3)$$

olur. Burada  $x = +\frac{a}{2}$  və  $x = -\frac{a}{2}$  xətlərinə uyğun gələn  $\dot{H}_{34} = \dot{H}_{3'4'}$  olur. Bu yazılışdan aydın olur ki,

$$A_1 = A_2 = A.$$

Bunları (3)-də nəzərə alsaq,

$$\dot{H}_{z=0} = \frac{\dot{H}_{34} chnx}{chn \frac{a}{2}}$$

olar. Beləliklə, simmetriya müstəvisini kəsən, maqnit qüvvə xətlərini kəsən maqnit seli aşağıdakı kimi olacaq

$$\begin{aligned} \dot{\Phi}_{z=0} &= 2\mu\mu_0 \cdot \frac{\dot{H}_{3'4'}}{chk \frac{a}{2}} \int_0^{\frac{a}{2}} zchkx dx = \\ &= 2\mu\mu_0 \frac{\dot{H}_{3'4'} Z}{kchk \frac{a}{2}} shk \frac{a}{2} = \frac{2\mu\mu_0 \dot{H}_{3'4'} Z}{k} thk \frac{a}{2} \end{aligned}$$

Burada  $Z$ - vericinin təsirlənmə dolağının hərəkət edən hissə tərəfindən örtülmə uzunluğudur,  $\mu$  – nüvənin nisbi maqnit nüfuz əmsəlidir,  $\dot{H}_{34}$  və  $\dot{H}_{3'4'}$  -yuvanın daxili səthinin oxuna paralel olan hissəsinə uyğun gələn maqnit sahə gərginliyidir.

Yuxarıda göstərilən 1-2 və 1'-2' xətlərinin orta hissəsinə uyğun gələn maqnit sahəsinin tənlikləri ikitərtibli olub, onların həlli

$$\dot{H}_x = \dot{H}_{12} e^{-kz} \quad \text{və} \quad \dot{H}_x = \dot{H}_{1'2'} e^{-kz}$$

$x=0$  düz xəttinə uyğun olan müstəvini kəsən maqnit seli

$$\dot{\Phi}_{x=0} = \frac{\mu\mu_0 \dot{H}_{12}}{k} (1 - e^{-k\Delta_1}) \cdot 2 = \frac{\mu\mu_0 \dot{H}_{1'2'}}{k} (1 - e^{-k\Delta_1}) \cdot 2$$

kimi ifadə olunur. Burada  $\dot{H}_{12} = \dot{H}_{1'2'} = \dot{H}_{y=0}$  alınır.

Beləliklə

$$\dot{\Phi}_{z=0} = 2\dot{\Phi}_{x=0}$$

Bu ifadədən

$$\dot{H}_{12} = \frac{\dot{H}_{34} + thk \frac{a}{2}}{1 - e^{-k\Delta_1}} \quad (4)$$

alınır. Vericinin rəqs konturu yüksək tezliyə hesablandığı üçün aşağıdakı hallar yerinə yetirilir:

$$1 = thk \frac{a}{2} \quad (5)$$

$$1 \gg e^{-k\Delta_1}$$

(5) ifadəsini (4) –də nəzərə alsaq,

$$\dot{H}_{12} = \dot{H}_{34} + 1$$

olar.

İndi isə 1-2-3-4-5-6-1 və 1' -2' -3' -4' -5' -6' -1' qapalı konturlarına tam cərəyan qanununu tətbiq etsək, aşağıdakı ifadələri yazıya bilərik

$$-(\dot{H}_{12} + \dot{H}_{2\delta})b + (\dot{H}_{1\delta} + \dot{H}_{2\delta})\delta + (\dot{H}_{34} + \dot{H}_{2\delta})h = \dot{I}W \quad (6)$$

$$(\dot{H}_{1'2'} + \dot{H}_{4'5'})b + (\dot{H}_{1\delta} + \dot{H}_{2\delta})\delta + (\dot{H}_{3'4'} + \dot{H}_{3'4'})h = \dot{I}W \quad (7)$$

Şəkil 2-də göstərilən maqnit sistemi Z oxuna nəzərən simmetrik olduğu üçün

$$\dot{H}_{12} = \dot{H}_{1'2'}; \dot{H}_{34} = \dot{H}_{3'4'}; \dot{H}_{45} = \dot{H}_{4'5'}; \dot{H}_{56} = \dot{H}_{5'6'}$$

$$\dot{H}_{1\delta} = \dot{H}_{1\delta}; \dot{H}_{2\delta} = \dot{H}_{2\delta}; \dot{H}_{12} = \dot{H}_{56}; \dot{H}_{1'2'} = \dot{H}_{4'5'}$$

bərabərlikləri alınır. Maqnit selinin arasıkəsilməzlik prinsipinə görə

$$\dot{H}_{12} = \dot{H}_{56} \frac{1 - e^{-k\Delta_3}}{1 - e^{-k\Delta_1}}; \dot{H}_{1'2'} = \frac{\dot{H}_{3'4'}(1 - e^{-k\Delta_3})}{1 - e^{-k\Delta_1}} \quad (8)$$

alınır. Həmin qanunu elementar en kəsiyə tətbiq etmiş olsaq,

$$\dot{H}_{1\delta} = \mu \dot{H}_{34} \quad \text{və} \quad \dot{H}_{1\delta} = \mu \dot{H}_{3'4'} \quad (9)$$

alırıq. Eyni qayda ilə

$$\dot{H}_{2\delta} = \mu \dot{H}_{36} \quad \text{və} \quad \dot{H}'_{36} = \mu \dot{H}_{3'6'} \quad (10)$$

olur. (4), (8), (9), (10) ifadələrini (6) və (7)-də nəzərə alaraq və nəzərdə tutsaq ki,  $\Delta_1 = \Delta_3 = \Delta$ , onda

$$2\dot{H}_{12}b + 2\dot{H}_{1'2'}\mu\delta + 2\dot{H}_{1'2'} \cdot h = \dot{I}W,$$

$$\dot{H}_{12} = \frac{\dot{I}W}{2[b + h + \mu\delta]} = \dot{H}_{1'2'} = \dot{H}_{56} = \dot{H}_{5'6'}$$

alırıq. Beləliklə, vericinin təsirlənmə dolağını kəsən maqnit seli

$$\dot{\Phi}_{z=0} = \mu\mu_0 \frac{\dot{I}Wz}{2k(b + h + \mu\delta)}$$

alınır.

Yaradılmış vericinin təsirlənmə dolağının induktivliyi

$$L_1 = \frac{W_1 \dot{\Phi}_{z=0}}{\dot{I}} = \frac{\mu\mu_0 W_1^2 z}{2k(b + h + \mu\delta)}$$

Avtogeneratorun rəqs konturunda  $L_1$  və  $L_2$  induktivlikləri şəkil 2-də göstərilən sxem üçün tapılır və onun tezliyi

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{r_2 + r_\delta}{r_e}} \quad \text{və} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_{1a} C_2}} \quad (11)$$

ifadəsi ilə təyin olunur. Alınmış (11) ifadəsində  $L_1$  induktivliyinin reaktiv təşkilçisi  $L_{1a}$  iştirak edir və bu kəmiyyət

$$L_{1a} = \frac{\mu\mu_0 W_1^2 z}{2k_m(b + h + \mu\delta)}$$

kimi yazılır. İnduktivliyin bu ifadəsini (11)-də nəzərə alıb, bir qədər çevirmə apardıqdan sonra

$$\omega = \sqrt[3]{\frac{2\gamma(b + h + \mu\delta)^2}{C_2^2 \mu\mu_0 W_1^2 z^2}} \cdot \sqrt{1 - \frac{r_2 + r_b}{r_e}}$$

alırıq. Alınmış sonuncu ifadədən görünür ki, vericinin həndəsi ölçülərini bilməklə avtogeneratorun  $\omega$  tezliyini seçmək mümkündür.

## Ədəbiyyat

1. Мамедов, Ф.И. Анализ энергетических показателей электромагнитного датчика малых линейных перемещений / Ф.И.Мамедов, Р.Б.Дадашева, Р.А. Гусейнов // - Москва: Измерительная техника. Метрология, - 2010. №11, - с.30-39.

**Summary**  
**ON THE STUDY OF A SENSOR MEASURING ANGULAR DISPLACEMENT IN ROBOTIC COMPLEXES**  
*Ahmadova T. A., Hajiyeva K.R*

The article examines the issue of selecting the operating frequency of an angular rotational electromagnetic sensor developed for measuring the angular displacement of an industrial robot arm.

**Keywords:** robotic complex, angular rotation, sensor, industrial robot, autogenerator, frequency

**Резюме**  
**ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ДАТЧИКА, ИЗМЕРЯЮЩЕГО УГЛОВОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ**  
*Ахмедова Т.А., Гаджиева К.Р.*

В статье рассмотрен вопрос выбора рабочей частоты углового вращательного электромагнитного датчика, разработанного для измерения углового перемещения звена промышленного робота

**Ключевые слова:** робото-технический комплекс, угловое вращение, датчик, промышленный робот, автогенератор, частота

**ELEKTRİK MAŞINLARINDA YARANAN İSTİSMAR NASAZLIQLARI VƏ ONLARIN ƏSAS MƏNŞƏYİ**

**Abdulova Nafisə Abdulfəs qızı**  
**Teyyubova Sədaqət Rəhim qızı**  
*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan,*  
[abdulovanafise@gmail.com](mailto:abdulovanafise@gmail.com)

**Xülasə :** Araşdırılan elektrik qısa qapanmalarının nəzəri təhlili göstərir ki, onlar statorun faza dövrələrində elektrik və maqnit simmetrikliliyini pozur və bu da maşında əlavə yüksək harmonikaların yaranmasına səbəb olur. Maqnit simmetrikliliyinin pozulması və bu pozulmalardan yaranan harmonikaların kəmiyyət göstəriciləri, mühərrikin diaqnostik parametrləri kimi istifadə edilə bilər. Sarğılar və fazalar arası qısa qapanmalar differensial və alın hissələrinin maqnit sahələrinə təsir göstərir. Buna görə də, bu maqnit sahələrinin, xüsusən harmonik və spektral tərkib hissələrinin təhlili əsasında mühərrikin texniki vəziyyətinə effektiv nəzarət üsulları qurula bilər.

**Açar sözlər:** izolyasiya, sinxron generator, termoreaktiv, radial titrəmə, elektrodinamiki qüvvə

Elektrik maşınlarının istismarı göstərir ki, onların konstruktiv hissələrində yaranan və qəflətən açılmaya səbəb olan nasazlıqların əksəriyyəti statorun payına düşür. Bu nasazlıqların çoxu stator dolağında izolyasiyanın zədələnməsi ilə əlaqədardır.

Sinxron generatorlarında və böyük güclü elektrik mühərriklərində texniki normalara uyğun olaraq stator dolağı üçün yüksək gərginlikli izolyasiya istifadə edilir. Bu izolyasiyanın struktur quruluşu və ona qoyulan tələblər DÜİST tərəfindən müəyyən edilir.

Stator dolağı B və ya F izolyasiya sinfinə malik olmalı və maksimal işləmə temperaturu 120°C-dən aşağı olmalıdır. Çubuq izolyasiyasının elektriki möhkəmliyi onun bütün uzunluğu boyu bərabər hazırlanır [1].

Keçmiş SSRİ məkanında yüksək gərginlikli elektrik maşınlarında mikalenta əsaslı kompauntlaşdırılmış izolyasiya istifadə olunurdu. Çubuq və ya seksiya alın hissəsi daxil olmaqla, mikolenta (xüsusi asfalt əsaslı lakla birləşdirilmiş slyuda vərəqləri) vasitəsilə qat-qat hörülür və vakuum şəraitində bitum tərkibli maddələrlə kompauntlaşdırılır.

Bu izolyasiyanın çatışmazlığı mexaniki möhkəmliyin aşağı olmasıdır, xüsusilə işçi temperaturu yüksəldikdə. Bu səbəbdən, yüksək güclü generatorlarda bu izolyasiyanın tətbiqi çətinləşir. Generatorun gücü artdıqca, dolaq çubuqlarının uzunluğu və çəkisi artır, bu da izolyasiyaya təsir edən mexaniki qüvvələri artırır və izolyasiyanın zədələnməsi riskini yüksəldir. Həmçinin, generatorun gücü artdıqca, qısa qapanmalar zamanı dolağa təsir edən elektrodinamiki qüvvələr artır və izolyasiyanın mexaniki zədələnməsi ehtimalı yüksəlir [2].

Buna görə də, böyük güclü generatorlarda stator dolağı izolyasiyasının mexaniki möhkəmliyinə olan tələblər artmaqdadır.

Bu tələbləri qarşılamak üçün, bu gün böyük gücə malik generatorlarda termoreaktiv izolyasiya istifadə olunur. Bu izolyasiya yüksək mexaniki möhkəmliyə malikdir və işçi temperaturunun artması ilə yumşalmır, çox qat kompauntlaşdırma tələb etmir [3].

Termoreaktiv izolyasiyanın əsas komponentləri epoksid və yarımefir smolasıdır. Bu materiallar polimerləşdikdən sonra bərk və əriməz hala gəlir. Bu izolyasiyanın hazırlanmasında kompauntlaşdırma

texnologiyasına yer verilməyib, onun əvəzinə “bişirmə” - polimerləşdirmə prosesi tətbiq edilir. Bu izolyasiyada yüksək qiymətli slyuda vərəqləri deyil, ucuz slyudinit istifadə olunur.

Termoreaktiv izolyasiyanın çatışmazlığı isə onun kövrək olmasıdır. Böyük təsir qüvvələrinə tab gətirsə də, çubuq əyildikdə izolyasiyada çatlar yarana bilər. Bu problemi həll etmək üçün çubuq hazırlanarkən ona elə forma verilir ki, yuvaya qoyulanda əyilməsi minimum olsun.

Stator dolağında yüksək gərginlikli izolyasiyanın ən çox rastlanan defektləri və nişanələri bunlardır:

- İzolyasiyadakı çatdaqlar: Böyük çatdaqlar, adətən, çubuqların sıxılan hissələrində yaranır. Bunlar, çubuqların yuvasına yerləşdirilməsi və ya yuvadan çıxarılması zamanı, və ya digər əməliyyatlar nəticəsində əmələ gələn böyük əyici qüvvələrdən yarana bilər. Bu çatdaqlar generatorun çıxışlarına yaxın yerlərdə baş verən qısa qapanmalardan da əmələ gələ bilər. Çatdaqlar həmçinin izolyasiyanın qat-qat ayrılması ilə nəticələnə bilər ki, bu da içəridə boşluqların yaranmasına səbəb olur.

- İzolyasiyada uzununa qırışlar: Bu cür qırışlar, izolyasiyanın hazırlanması zamanı dartınma və presləmə proseslərində yaranır. Əksər hallarda qırışlar yalnız çubuqların üst qatlarında müşahidə olunur. Bəzi hallarda isə qırışlar izolyasiyanın daxili qatlarını da əhatə edə bilər ki, bu da profilaktik sınaqlar vasitəsilə aşkar edilə bilər.

- İzolyasiyanın sürtünməsi: Çubuğun yuvada radial titrəməsi nəticəsində izolyasiyada çatlar yarana bilər. Bu, xüsusən çubuğun enli tərəflərində baş verir və çubuqdakı naqillərin qırılmasına səbəb ola bilər. Sürtünmə səbəbindən izolyasiya daha dərin zədələyə bilər.

Çubuğun aktiv nüvəsi və izolyasiya arasında kondensator funksiyası da yarana bilər. Bu zaman izolyasiyanın səthində tutum cərəyanları yaranır və burada izolyasiyanın əlavə qırılması baş verə bilər. İstismar təcrübəsi göstərir ki, bu cür hallarda izolyasiyanın səthində tozlar və digər hissəciklər alışıb yanmağa səbəb ola bilər.

Stator dolağının alın hissələrində yaranan zədələr generatorun böyük təmir işlərini tələb edir. Çubuqların yuvaya yerləşdirilməsindən sonra lehəmənin pəzulması da ciddi nasazlıqdır, çünki bu, elektrik qövsü yaratmaqla yerlə qapanma, sarğılar və fazalar arasında qısa qapanmalara səbəb olur, hətta yangınların meydana gəlməsinə yol açır.

Bir fazanın yerlə qapanması yaranarsa, və xüsusən də elektrik qövsü vasitəsilə olarsa, digər fazaların izolyasiyası yüksək gərginliyə məruz qalır və izolyasiyanın zəif yerlərində deşilmə baş verir, nəticədə qısa qapanmaların yaranması ehtimalı artır. Fazalar arasında qısa qapanmalar, izolyasiyanın uzun müddət ərzində qızması səbəbindən də yaranır. Bu zaman çubuq və aktiv nüvə arasında tutum cərəyanları yaranır və izolyasiya közərir, nəticədə fazalar arasında qısa qapanma baş verir.

Stator dolağında sarğılar arası qısa qapanmaların əsas səbəbi sarğılardakı izolyasiyanın zədələnməsidir. Bəzən isə kobud rəftar nəticəsində sarğıların metal birləşməsindən də bu nasazlıq yarana bilər. Sarğılar arasında qısa qapanma, əksər hallarda, iş zamanı baş verir və adətən qonşu sarğılardakı məftillərin biri-birinə toxunması nəticəsində yaranır.

## Ədəbiyyat

1. Копылов И.П. “Электрические машины”. Москва, Логос, 2000. 607 с.
2. Ильинский Н.Ф., Козаченко В.Ф. Общий курс элек-тропривода: Учебник для вузов. М.: Энергоатомиз-дат, 1992.
3. Москаленко В.В. Электрический привод: учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Издатель-ский центр «Академия», 2007.-368с.

### Summary

#### MALFUNCTIONS IN ELECTRIC VEHICLES AND THEIR MAIN ORIGINS.

*Abdulova N.A., Teyyubova S.R*

Theoretical analysis of the studied electrical short circuits shows that they violate the electrical and magnetic symmetry in the phase circuits of the stator, which leads to the formation of additional high harmonics in the machine. Violation of magnetic symmetry and quantitative indicators of harmonics arising from these violations can be used as diagnostic parameters of the engine. Short circuits between windings and phases affect the magnetic fields of the differential and front parts. Therefore, effective methods of monitoring the technical condition of the engine can be established based on the analysis of these magnetic fields, in particular their harmonic and spectral components.

**Keywords:** insulation, synchronous generator, thermoreactive, radial vibration, electrodynamic force

**Резюме**  
**НЕИСПРАВНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ИХ ОСНОВНОЕ**  
**ПРОИСХОЖДЕНИЕ.**

*Абдулова Н.А., Тейубова С.К.*

Теоретический анализ исследованных электрических коротких замыканий показывает, что они нарушают электрическую и магнитную симметрию в фазных цепях статора, что приводит к образованию дополнительных высших гармоник в машине. Количественные показатели нарушений магнитной симметрии и гармоник, возникающих в результате этих нарушений, могут быть использованы в качестве диагностических параметров двигателя. Короткие замыкания между обмотками и фазами влияют на магнитные поля дифференциальной и фронтальной секций. Поэтому на основе анализа этих магнитных полей, особенно их гармонических и спектральных составляющих, могут быть разработаны эффективные методы контроля технического состояния двигателя.

**Ключевые слова:** изоляция, синхронный генератор, термореактивность, радиальная вибрация, электродинамическая сила

**ELEKTRİK MAŞINLARININ İSTİSMAR NASAZLIQLARI DİAQNOSTİKASININ**  
**MÖVCUD ÜSULLARI VƏ ANALİZİ**

<sup>1</sup>**Quliyeva Təranə Saməddin qızı**

<sup>2</sup>**Həsənova Ülviyyə Elxan qızı**

<sup>1</sup>*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

<sup>2</sup>*Bakı Mühəndislik Universiteti, Bakı, Azərbaycan*

[taranagulieva@list.ru](mailto:taranagulieva@list.ru)

**Xülasə** Effektiv yeni diaqnoz üsullarının işlənməsində funksional fiziki proseslərin harmonik və spektral tərkib hissələrinin nasazlıqdan asılı olaraq dəyişməsi əsas götürülməlidir. Yeni üsullar maşının işləmə şəraitində onda yaranan nasazlıqların təyini üçün istifadəyə yararlı olmaqla bərabər, maşının texniki vəziyyətinin erkən diaqnostik təhlilinin aparılmasına da imkan verməlidir.

**Açar sözlər:** stator, elektrik maşınları, faz dolağı, induksiya, gücləndirici

Elektrik maşınlarında işləmə şəraitində tez-tez rast gəlinən elektrik nasazlıqları, əsasən, izolyasiyanın elektrik keyfiyyətinin tədricən pisləşməsi nəticəsində stator dolağında yaranan sarğılar və fazalar arasında qısa qapanmalardır. Bu nasazlıqların əsas göstəriciləri, faz dolaqlarında lokal qızmaların meydana gəlməsi, axan cərəyanların qeyri-bərabərliyi, vibrasiyanın artması və səsin dəyişməsi kimi əlamətlərdir. Bu səbəbdən, onların ən sadə aşkar edilmə metodu, dolaqda lokal qızmaların axtarılmasıdır. Lakin, bu proses üçün maşının işdən çıxarılması və sürətli şəkildə sökülməsi tələb olunur [1, 2].

Təklif olunan metodlardan biri, stator dolağını nominal gərginliyinin  $1/3+1/4$  səviyyəsində bəsləyərək, üç faz dolaqlarında cərəyanların ölçülməsinə əsaslanır [2]. Belə ki, qısa qapanma olan faz dolağını axan cərəyanların qeyri-simmetrikliliyi ilə müəyyən etmək mümkündür. Ulduz birləşdirilmiş üçfazlı dolaqda zədələnmiş fazada cərəyanın dəyəri, digər iki sağlam faza ilə müqayisədə daha yüksək olur. Üçbucaq birləşdirilmiş dolaqda isə qısa qapanmış faza ilə əlaqədə olan iki fazada cərəyanın dəyəri, üçüncü fazadakı dəyərdən daha böyük olur. Bu metod elektrik mühərriklərində istifadə üçün daha əlverişlidir, lakin tətbiqi də maşının işdən dayandırılmasını tələb edir.

Zədələnmiş faza, statorun faz dolağında sabit cərəyana olan müqavimətin ölçülməsi ilə də müəyyən edilə bilər. Bu metod istismar dövründə geniş yayılmışdır [1, 2]. Faz dolaqlarının aktiv müqavimətini ölçmək üçün ampermetr, voltmetr və ya körpü sxemindən istifadə olunur. Qısa qapanmış faz dolağında müqavimət dəyəri, digər fazalarla müqayisədə azalır. Ulduz birləşdirilmiş stator dolağında ölçülən fazalararası müqavimət dəyəri, zədələnmiş fazanın iştirak etmədiyi iki faza üçün böyük olur. Digər iki halda isə zədələnmiş faz dolağı ölçmə sxeminə qoşulduğundan, müqavimət dəyərləri bərabər və kiçik olur. Üçbucaq birləşdirilmiş stator dolağında isə ən kiçik müqavimət dəyəri, zədələnmiş fazın uclarına qoşulduqda alınır. Digər iki halda, ölçmə sxemi sağlam faz dolaqlarının uclarına qoşulduqda müqavimət dəyərləri bərabər və nisbətən böyük olur. Stator dolağının fazaları arasında qısa qapanmanı meqquer vasitəsilə aşkarlamaq mümkündür. Sarğılararası qısa qapanmanın müəyyən edilməsi üçün təklif olunan metod [3], statorun ulduz birləşdirilmiş dolağının iki fazasına sabit cərəyan mənbəyi qoşulması və üçüncü fazada induksiyaalan EHQ-nin (elektrik hərəkət qüvvəsi) ölçülməsi prinsipinə əsaslanır. Əgər faz dolağında sarğılararası qısa qapanma yoxdursa, ölçülən EHQ dəyəri sıfıra bərabər olur.

Sarğılararası qısa qapanma nəticəsində dolaqda baş verən parametrlərin dəyişməsinə görə, xüsusi qurğular vasitəsilə bu nasazlığı aşkar etmək mümkündür. Dəyişən tezlik yaradan generator, bir sıra blok elementləri və sıxac strukturlarını özündə birləşdirən bu qurğu, sınaq dövrəsində rezonans tezliyinin dəyişməsinə qeyd edir və zədələnməni aşkar edir

Üç fazlı stator dolağında paralel budaqlar arasında qapanmanı müəyyən etmək üçün impuls generatoru, siqnal formalaşdırıcı və gücləndirici bloklardan ibarət bir qurğu təklif edilmişdir. Formalaşdırılan sınaq siqnalı gücləndirilərək etalon siqnalla müqayisə edilir və fərq yarandıqda dövrədə cərəyan axmağa başlayır, bu cərəyanın maqnit sahəsi indikator vasitəsilə qeyd edilir.

Qurğuda uyğun analoq və rəqəm elementlərinin istifadəsi ilə elektrik maşınlarının dolaqlarının diaqnostik nəzarəti üçün qısa qapanmaların təsiri ilə faz dolaqlarında yaranan qızmalar və aktiv müqavimətin dəyişməsinə əsaslanan üsul mövcuddur.

Asinxron maşınların üç fazlı stator dolağında sarğılararası qısa qapanmanın sıfır naqilində cərəyanın axmasına görə müəyyən edilməsi metodu mövcuddur. Faz dolağının neytralı, ümumi aktiv müqavimətdən maşının giriş sxacları ilə birləşdirilir. Bu dövrəyə növbə ilə vattmetrin cərəyan sarğısı qoşulur və yalnız ali harmonikalı (3-cü və ona bərabər) axan cərəyanlar ölçülür. Sağlam faz dolaqlarına qoşulduqda cihazın göstəricisi maksimum, zədələnmiş fazaya qoşulduqda isə axan cərəyanın dəyəri minimum olur.

Elektrik maşınlarının üç fazlı stator dolağında yaranan elektrik zədələnmələrinin, o cümlədən faz dolaqlarında yaranan sarğılar və fazalararası qısa qapanmaların müəyyən edilməsi üçün baxılan və digər mövcud metodlar, az təsirli olduğundan geniş tətbiq tapa bilmir. Bu metodların əsas çatışmazlığı, işləmə şəraitində istifadə edilməsinin qeyri-mümkünlüyüdür. Bundan əlavə, aşağıda qeyd edilən digər nöqsanlara da malikdirlər. Məsələn, induksiyaalan EHQ dəyərində görə elektrik qısa qapanmaların müəyyən edilməsi metodu, maşının işdən dayandırılmasını və müstəqil sabit cərəyan mənbəyi tələb etməklə yanaşı, dəqiqliyi də aşağıdır. Nəzarət parametri olan EHQ, maqnit qeyri-simmetrikliliyini yaradan başqa səbəblərdən (məsələn, eksentrisitet) də induksiyaalana bilər.

Rezonans tezliyinin qeydiyyatı əsasında olan nəzarət qurğusu mürəkkəb ölçü sxeminə malikdir və çoxsaylı elementləri birləşdirdiyindən dəqiqliyi və etibarlığı aşağıdır. Qeyd edilən nöqsanlar, istilik ayırmaya və müqavimətin dəyişməsinə əsaslanan, eləcə də zədələnmiş dolaqda induksiyaalan cərəyanların dəyərini impuls generatorunun siqnalı ilə etalon müqayisəsi üçün formalaşdırılan qurğularda da mövcuddur. Bütün bunlar metodların effektivliyini azaldır və tətbiqini məhdudlaşdırır. İşləyən maşında istifadə oluna bilməsi baxımından nisbətən uğurlu olan neytral məslində cərəyanın ölçülməsi metodu hesab edilə bilər. Lakin, bu metod yalnız faz dolaqları ulduz birləşdirilmiş maşınlarda tətbiq oluna bilər. Bundan əlavə, sxaclarla qoşulan aktiv müqavimətlərin düzgün seçilməsi üçün dəqiq hesablanması tələb olunur ki, cərəyan dəyərlərində əlavə qeyri-simmetriklilik yaranmasın. Nəzarət olunan dolaqda EHQ fərqlinin ölçülməsinə əsaslanan metodun çətinliyi və kiçik dəqiqliyi, geniş tətbiqini mümkün etmir.

Hazırda sarğılar və fazalararası qısa qapanmaların müəyyən edilməsi üçün geniş istifadə olunan omik müqavimətin ölçülməsinə və üç fazlı alçaq gərginlikli mənbələrdən bəslənmə şəraitində faz cərəyanlarının ölçülməsinə əsaslanan metodların da effektivliyi aşağıdır və dəqiqliyi kiçikdir. Alçaq gərginlikli və sabit cərəyanlı mənbələrin tələb olunması, sınaq əməliyyatını çətinləşdirir və sxemi mürəkkəbləşdirir. Ən böyük çatışmazlıq isə elektrik maşını işdən dayandırma tələbidir.

Qeyd etmək lazımdır ki, stator dolağında sarğılar və fazalararası qısa qapanmaların maşının vibrasiyası əsasında müəyyən edilməsi metodları praktik olaraq yoxdur. Mövcud metodların az təsirli olması və onların işləmə şəraitində baxılan nasazlıqların müəyyən edilməsində yararsız olması, xüsusilə erkən diaqnostika məqsədilə istifadəsinin qeyri-mümkünlüyü ilə izah olunur. Bu, elektrik maşınlarında elektromaqnit və vibro-akustika fiziki proseslərinə təsir edən xüsusi diaqnostik parametrlərin olmaması ilə bağlıdır. Belə parametrlərin müəyyən edilməsi və onların əsasında effektiv metodların işlənməsi üçün ayrı-ayrı nasazlıqların diaqnostik obyekt baxımından araşdırılması və funksional fiziki proseslərə təsirlərinin aşkarlanması zəruridir.

## Ədəbiyyat

1. Гемке Р.Г. Неисправности электрических машин М, «Энергия», 1980, 295с.
2. Жерве Г.К. Промышленное испытание электрических машин М, «Энергия», 1984
3. Монсенко А.Б. Способ обнаружения межвиткового замыкания. А.С. № 676949 Б.И. №3, 1990

## Summary

### EXISTING METHODS AND ANALYSIS OF DIAGNOSTICS OF MALFUNCTIONS OF ELECTRICAL MACHINERY *Guliyeva T.S., Hasanova U.E.*

The development of effective new diagnostic methods should take into account the changes in the harmonic and spectral components of functional physical processes depending on the fault. New methods should be suitable for use in determining faults that arise in the machine under operating conditions, and should also allow for early diagnostic analysis of the technical condition of the machine.

**Keywords:** stator, electrical machines, phase winding, induction, amplifier

**Резюме**  
**СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ И АНАЛИЗ ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ**  
**ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**  
*Гулиева Т.С., Гасанова У.Э.*

Разработка новых эффективных методов диагностики должна учитывать изменение гармонических и спектральных составляющих функциональных физических процессов в зависимости от неисправности. Новые методы должны быть полезны для обнаружения неисправностей, возникающих в условиях эксплуатации машины, а также позволят проводить раннюю диагностику технического состояния машины.

**Ключевые слова:** статор, электрические машины, фазная обмотка, индукция, усилитель

**ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ МЕТАЛЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ**  
**ТРАНЗИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ**

**Сагындыкова А.Ж.**

*Алматинский университет энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева*

*Алматы, Казахстан*

[a.sagyndikova@aes.kz](mailto:a.sagyndikova@aes.kz)

**Резюме.** Преобразователи частоты для индукционного нагрева металла это технологии с низкой стоимостью, высоким коэффициентом полезного действия, малым весом и габаритами. Они обеспечивают требуемый диапазон регулирования частоты ПЧ, выбор минимального количества силовых транзисторов, минимальные установленные мощности. Разработан и изготовлен опытный образец преобразователя частоты и индуктор мощности. Произведены экспериментальные исследования и испытания опытного образца преобразователя частоты для индукционного нагрева металла в реальных условиях.

**Ключевые слова:** преобразователи частоты, индукционный нагрев, транзисторный модуль, симисторы, трехфазный выпрямитель, инвертор.

Преобразователи частоты (ПЧ) для индукционного нагрева металла состоят IGBT или MOSFET транзисторных модулей, соединенные в определенной конфигурации с драйверами управления. При этом они имеют защиту от токов короткого замыкания, перегрузок и защиту от превышения температуры.

В настоящее время применение ПЧ для индукционного нагрева металла в промышленности Казахстана практически отсутствует, так как удельная стоимость существующих зарубежных аналогов очень высока, поэтому массовое внедрение их невыгодно. Следует разрабатывать свои технологии с низкой стоимостью, высоким коэффициентом полезного действия, малым весом и габаритами.

Преобразователи частоты могут быть применены в следующих технологиях:

- для индукционного нагрева металлов с целью штамповки,
- для плавки металлов в индукционных плавильных тигельных печах,
- для индукционного нагрева металлов с целью горячей объемной закалки,
- для индукционного нагрева нефти в трубопроводах и цистернах,
- для индукционной сушки зерна, нагрева жидких сред, сушка древесины и покрытий и получения молочного порошка.

Основными задачами и целями является создание технологии производства ПЧ, которые должны: обеспечивать требуемый диапазон регулирования частоты ПЧ, выбор минимального количества силовых транзисторов, иметь высокий КПД и низкие цены, минимальные установленные мощности всего ПЧ или отдельных его элементов при тех же заданных параметрах технологии нагрева.

На рисунке 1 представлена схема преобразователя частоты, которая состоит из: 1-входные симисторы, 2-трехфазный выпрямитель, 3-инвертора. Особенностью инвертора является то, что он выполнен на двух транзисторах. Трехфазный выпрямитель предназначен для преобразования переменного напряжения сети в постоянное, а инвертор постоянный ток преобразовывает в переменное напряжение повышенной частоты.

Индуктор - электрическую энергию высокой частоты преобразует в тепловую энергию, а трансформатор понижает напряжение до необходимой величины. Выпрямитель и инвертор представлен как преобразователь частоты. Выходной трансформатор применяется для согласования параметров индуктора с заготовкой с параметрами высокочастотного инвертора, при этом массогабаритные размеры трансформатора уменьшены в несколько раз.

Входные симисторы 1 предназначены не только для бесконтактного включения преобразователя частоты в сеть, но и для регулирования входного напряжения. Дело в том, что при эксплуатации индукционного нагревателя через каждые несколько минут надо преобразователь частоты отключать от сети, так как нагретый металл (заготовка) следует вынимать от индуктора и передавать для штамповки. Далее новую заготовку вставляют в индуктор и включают преобразователь частоты в сеть. Полумостовой инвертор, образованный IGBT транзисторами  $T_1$  и  $T_2$  (рисунк 1), подключен к источнику напряжения постоянного тока, конденсаторы  $C_n$  (нижний и верхний) предназначены для деления напряжения питания на две равные части. Конденсатор  $C$  в выходной цепи инвертора предназначен для улучшения качества выходного напряжения и для того, чтобы добиться последовательного резонанса.

Для формирования положительного полупериода напряжения на выходе инвертора открывается транзистор  $T_1$ , а транзистор  $T_2$  закрыт, при этом постоянный ток от источника напряжения будет протекать через транзистор  $T_1$  и первичную обмотку трансформатора.

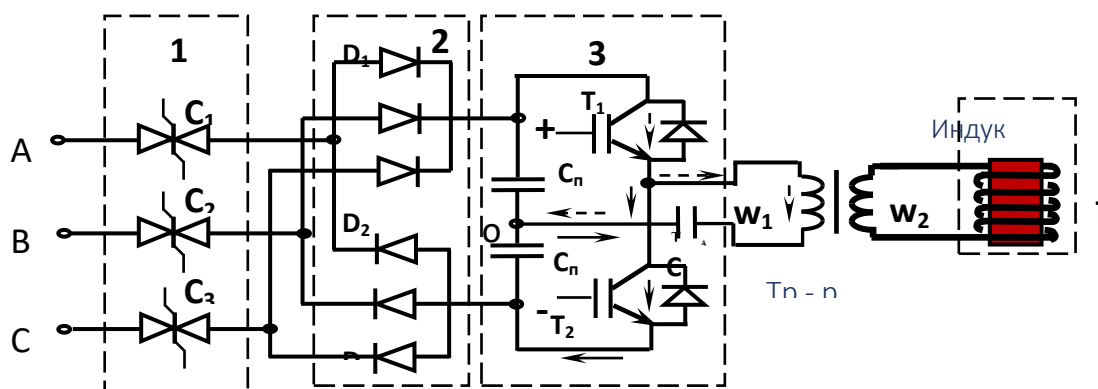


Рис. 1. Электрическая схема преобразователя частоты индукционного нагревателя при трехфазном питании

Для формирования отрицательного полупериода на выходе инвертора открывается транзистор  $T_2$ , а транзистор  $T_1$  закрывается, при этом постоянный ток от источника напряжения будет протекать через транзисторы  $T_2$  и первичную обмотку трансформатора в обратном направлении.

Таким образом, происходит формирование ступенчатого напряжения на выходе инвертора. Следует отметить, что частота ступенчатого напряжения на индукторе определяется частотой коммутации транзисторов и может достигать десятки килогерц.

Такой режим работы инвертора с минимальным количеством силовых транзисторов позволит повысить частотный диапазон тока на индукторе и улучшить их энергетические показатели, а также повышает надежность и снижает себестоимость оборудования.

К выходу симисторов включена мостовая схема трехфазного выпрямителя 2 (рисунок 1). Как известно мостовая схема трехфазного выпрямителя обеспечивает наименьшую пульсацию выходного напряжения.

В мостовой схеме трехфазного выпрямителя неуправляемые диоды  $D_1 - D_6 - D_3 - D_2 - D_5 - D_4$  открываются последовательно со сдвигом на  $60^\circ$ , причем диоды  $D_1, D_3$  и  $D_5$  открываются в положительные, а диоды  $D_6, D_2$  и  $D_4$  – в отрицательные полупериоды фазных напряжений. Интервал проводимости каждого диода равен  $120^\circ$ , в каждый момент времени открыты два диода (по одному в плече моста) и напряжение на нагрузке определяется разностью фазных напряжений, т. е. линейным напряжением.

Среднее значение напряжения на нагрузке при синусоидальном напряжении сети имеет следующий вид,

$$U_{cp} = \frac{6\sqrt{2}}{\pi} U_m \sin \frac{\pi}{6} \cos \alpha = 1,35 U_{л} \cos \alpha = 2,34 U_{\phi} \cos \alpha$$

где  $U_{л} = \sqrt{3} U_{\phi}$  – действующее значение линейного напряжения вторичной обмотки трансформатора.

Разработан и изготовлен опытный образец преобразователя частоты и индуктор мощностью 6 кВт с частотой от 2 до 20 кГц при питании от одного или трехфазного напряжения. Были произведены экспериментальные исследования и испытания опытно образца преобразователя частоты для индукционного нагрева металла в реальных условиях.

На рисунке 2 представлен процесс индукционного нагрева металлической заготовки диаметром 44 мм и длиной 80 мм. В начале процесса индукционного нагрева металл не равномерно нагревался, т.е. в середине заготовки температура была ниже, чем по краям. Это означало, что глубина проникновения электромагнитной волны не значительна, поэтому следует выбрать меньшую частоту тока, однако при этом увеличится время нагрева металла. Время нагрева металл преобразователем частоты до температуры 600-650<sup>0</sup>С составила 3,5 минуты при частоте 8 кГц и при частоте 10 кГц - 2.41 минуты (рисунок 3). При этом транзисторы не перегревались, что требуется по условиям эксплуатации.



*Рис. 2. Индукционный нагреватель в период испытания*

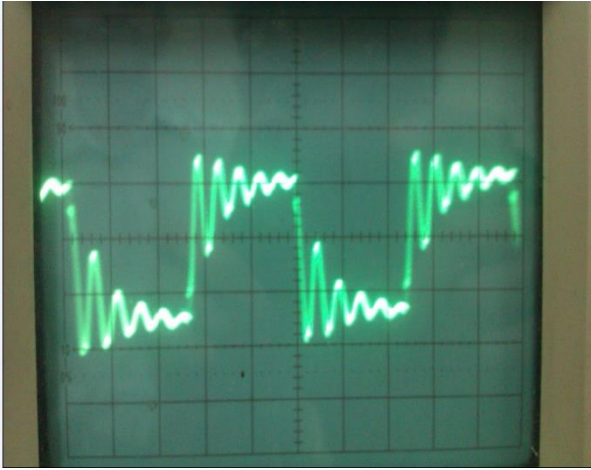
Результаты испытания показали, что созданный индукционный нагреватель работоспособен, прошел успешное испытание, и система охлаждения индуктора работала исправно. Процесс индукционного нагрева металла можно осуществить до нужной температуры.



*Рис. 3. Процесс индукционного нагрева металла до температуры 731 °C*

При разработке технической документации для изготовления лабораторного образца преобразователя частоты и выборе транзисторных JGBT модулей основное внимание было уделено топологии силовых шин модуля и способам подключения электрических цепей и отвода тепла. Даже при использовании самых современных чипов конструкция мощных ключевых модулей имеет чрезвычайно большое значение для обеспечения надежности и эффективности. Распределенные характеристики проводимости и значения паразитных индуктивностей шин связи и выводов должны иметь минимальное значение для уменьшения потерь и снижения уровня переходных перенапряжений.

На рисунке 4 представлена осциллограмма напряжения на выходе инвертора без конденсатора в первичной цепи трансформатора. Как видно из графика, осциллограмма напряжения имеет колебательный характер, это значит, что транзисторы работают в активном режиме. При этом они будут нагреваться и конечном счете выйдут из строя. Чтобы транзисторов перевести в ключевой режим, надо включать последовательно конденсатор С в выходной цепи инвертора, улучшить качество выходного напряжения и добиться последовательного резонанса.



*Рис. 4. Осциллограмма напряжения на выходе инвертора без конденсатора в первичной цепи трансформатора*



*Рис. 5. Осциллограмма напряжения на выходе инвертора с конденсатором в первичной цепи трансформатора*

На рисунке 5 представлена осциллограмма напряжения на выходе инвертора при конденсаторе в первичной цепи трансформатора. Как видно из графика, напряжения на выходе инвертора имеет прямоугольную форму, это значит, что транзисторы работают в режиме ключа, при этом они не будут нагреваться.

Кроме того, подбирая экспериментальным путем значение конденсатора  $C$  можно не только улучшить качество выходного напряжения, но добиться последовательного резонанса. При резонансе активная мощность инвертора будет передаваться индуктору, т.е. заготовке для нагрева.

#### **Литература**

1. Кувальдин А. Б. Индукционный нагреватель ферромагнитной стали. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 188 с.
2. Многоступенчатый транзисторный инвертор (варианты). № 60621: Авторское свидетельство на предпатент. Комитет по правам интеллектуальной собственности министерства юстиции РК. – Бюл. № 9 от 15.07.2009 г.
3. Преобразователь частоты на двух транзисторах для электротехнологии // XIV Междунар. конф. «Электромеханика, Электротехнологии, Электротехнические Материалы и Компоненты». – Крым: Алушта, 2012.
4. Безтрансформаторный инвертор (варианты). № 73453: Авторское свидетельство на патент. Комитет по правам интеллектуальной собственности министерства юстиции РК. – Бюл. № 3 от 15.03.2012.

#### **Xülasə**

#### **TRANZISTORLU TEZLIK ÇEVIRICISI ƏSASINDA METALIN INDUKSIYA ILƏ QIZDIRILMASI** *Sağındıqova A.J.*

Metallın induksiya üsulu ilə qızdırılması üçün tezlik çeviriciləri aşağı maya dəyəri, yüksək faydalı iş əmsalı, az çəki və kiçik qabarit ölçüləri ilə xarakterizə olunan texnologiyalardır. Bu çeviricilər tezlik çeviricisinin (TÇ) tələb olunan tezlik tənzimləmə diapazonunu, güc tranzistorlarının minimal sayda seçilməsini və minimal quraşdırılmış güclərin təmin olunmasını mümkün edir. Tezlik çeviricisinin və güc induktorunun eksperimental nümunəsi işlənib hazırlanmış və hazırlanmışdır. Metallın induksiya ilə qızdırılması üçün nəzərdə tutulmuş tezlik çeviricisinin eksperimental nümunəsi real istismar şəraitində eksperimental tədqiqat və sınaqlardan keçirilmişdir.

**Açar sözlər:** tezlik çeviriciləri, induksiya qızdırılması, tranzistor modulu, simistorlar, üçfazlı doğrulducu, inverter.

#### **Summary**

#### **INDUCTION HEATING OF METAL USING A TRANSISTOR FREQUENCY CONVERTER** *Sağındıqova A.Zh.*

Frequency converters for induction heating of metal are technologies with low cost, high efficiency, low weight and dimensions. They provide the required frequency control range for the IF frequency, the choice of the minimum number of power transistors, and the minimum installed power. An experimental model of a frequency converter and a power inductor are designed and manufactured. Experimental studies and tests of a prototype frequency converter for induction heating of metal in real conditions have been carried out.

**Keywords:** frequency converters, induction heating, transistor module, triacs, three-phase rectifier, inverter

# МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗКИ В ВИДЕ ОБОБЩЕННЫХ ОПЕРАТОРНЫХ УРАВНЕНИЙ

Байрамалиева Эльмира Наджаф кызы

Сумгайтский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан

[bayramaliyeva@bk.ru](mailto:bayramaliyeva@bk.ru)

**Резюме** в статье рассматриваются вопросы определения вида передаточной функции для типового узла нагрузки, используемого в задаче идентификации его частотных характеристик. Задача решается на примере моделирования смешанного нефтяного узла нагрузки, с преобладающим в его составе асинхронных двигателей. Передаточные функции, как для всего узла нагрузки, так и ее двигательной части, рассматриваются в виде операторной проводимости четырехполюсника или двухполюсника, составленного на основе уравнений малых колебаний, записываемых во вращающихся координатных осях.

**Ключевые слова:** типовой узел нагрузки, реактивная мощность, методы расчета установившихся режимов

Важным этапом в определении модели для смешанной нагрузки выбор методики её представления, которая позволяла бы по переменным состояниям вход-выход наиболее полно и адекватно оценить его характеристики и параметры. В зависимости от того, насколько полны и адекватно отражают реальные свойства нагрузки, полученные модели будут существенно зависеть от качества решения задачи анализа режимов в энергосистеме. Наиболее полными математическими моделями для электрической системы, с помощью которых можно идентифицировать ее динамические свойства, являются соответствующие передаточные функции. В этом случае моделирование сводится к задаче синтеза, устанавливающих характеристические связи для узла нагрузки.

В статье рассматриваются вопросы определения вида передаточной функции для типового узла нагрузки, используемого в задаче идентификации его частотных характеристик. Задача решается на примере моделирования смешанного нефтяного узла нагрузки, с преобладающим в его составе асинхронных двигателей. Передаточные функции, как для всего узла нагрузки, так и ее двигательной части, рассматриваются в виде операторной проводимости четырехполюсника или двухполюсника, составленного на основе уравнений малых колебаний, записываемых во вращающихся координатных осях

Для двигателя, эквивалентирующий узел нефтяной нагрузки, определяется передаточная функция и соответствующие ее частотные характеристики на основе расчета операторной проводимости четырехполюсника по данным анализа случайных изменений напряжения и тока.

## **Операторные проводимости обобщенного узла нагрузки электрической системы.**

В понятие операторной проводимости для смешанного узла нагрузки, содержащего как статические элементы, так и вращающиеся машины, здесь вкладывается частотные зависимости между функцией входного питающего напряжения и входным потребляемым нагрузкой током [33,40]. Во вращающихся координатах эти частотные характеристики аналогичны операторным сопротивлениям четырехполюсника, описываемого в виде [31,40];

$$\Delta i_d = Y_{11}(P)\Delta U_d + Y_{12}(P)\Delta U_q \quad (1)$$

$$\Delta i_q = Y_{11}(P)\Delta U_d + Y_{22}(P)\Delta U_q \quad (2)$$

где  $\Delta U_d, \Delta U_q, \Delta i_d, \Delta i_q$  - отклонения напряжения и тока на зажимах нагрузки в режиме малых возмущений, приведенных к синхронно-вращающимся осям;

$Y_{12}(P), Y_{21}(P)$  - передаточная функция четырехполюсника, замещающего нагрузку.

$Y_{11}(P), Y_{22}(P)$  - его входные проводимости;

Частотные зависимости  $Y_{11}(P), Y_{12}(P), Y_{21}(P), Y_{22}(P)$  могут быть вычислены для конкретного узла нагрузки при заданной его схеме замещения и значений эквивалентных параметров. Однако значения этих характеристик непосредственно не могут быть оценены методом идентификации из-за невозможности прямого измерения отклонений  $\Delta U_d, \Delta U_q, \Delta i_d, \Delta i_q$ .

Известно, что на основе данных случайных флуктуаций напряжения и тока могут быть получены оценки полной проводимости узла  $Y$ . Если структура узла нагрузки задана и есть возможность аналитического изображения частотных характеристик  $Y_{11}(P), Y_{12}(P), Y_{21}(P), Y_{22}(P)$  то нетрудно будет получить аналитическое изображение полной операторной проводимости узла  $Y(P)$ . В дальнейшем идентификация будет сводиться к определению параметров этой функции.

Однако для нагрузки общего вида, содержащего много различных элементов, практически невозможно составить выражения функций  $Y_{11}(P), Y_{12}(P), Y_{21}(P), Y_{22}(P)$ . Определение их на основе идентификации частотной характеристики  $Y(j\omega)$  будет давать неоднозначные решения из-за

недостаточности информации. Эта неопределенность может быть устранена, если в процессе идентификации - также определить частотные зависимости, связывающих активную и реактивную мощности(токи) с изменением приложенного напряжения и его частоты.

Такие зависимости для мощностей имеют следующий вид [33]

$$\begin{aligned}\Delta P &= K_{PU}(P)\Delta U + K_{P\omega}(P)\Delta\omega \\ \Delta Q &= K_{QU}(P)\Delta U + K_{Q\omega}(P)\Delta\omega\end{aligned}\quad (3)$$

где  $\Delta U, \Delta\omega$  - отклонения напряжения и частоты питающего нагрузку узла;  $K_{PU}(P), K_{QU}(P), K_{P\omega}(P), K_{Q\omega}(P)$  - динамические регулирующие эффекты активной и реактивной мощности нагрузки соответственно по напряжению и частоте.

Таким образом, если в процессе пассивного эксперимента регистрировать изменения активной и реактивной мощности нагрузки, модуля и частоты питающего напряжения, то можно идентифицировать частотные зависимости, отражающие изменения динамических регулирующих эффектов  $K_{PU}(P), K_{QU}(P), K_{P\omega}(P), K_{Q\omega}(P)$  - Для конкретного узла нагрузки, если задана его схема замещения и эквивалентные параметры, можно составить аналитические выражения для всех динамических регулирующих эффектов (2-3).

Получив по результатам пассивного эксперимента характеристики  $K_{PU}(P), K_{QU}(P), K_{P\omega}(P), K_{Q\omega}(P)$  нетрудно определить проводимости четырехполюсника

(2-1), эквивалентирующего узел нагрузки. Этой целью определим зависимости, устанавливающие связь между искомыми операторными проводимостями  $Y_{11}(P), Y_{12}(P), Y_{21}(P), Y_{22}(P)$ , и заданными из эксперимента динамическими регулируемыми эффектами  $K_{PU}(P), K_{QU}(P), K_{P\omega}(P), K_{Q\omega}(P)$ . Воспользуемся следующими линеаризованными выражениями мощностей, напряжения и частоты:

$$\left. \begin{aligned}\Delta P &= U_{d0}\Delta i_d + i_{d0}\Delta U_d + U_{q0}\Delta i_q + i_{q0}\Delta U_q \\ \Delta Q &= U_{q0}\Delta i_d + i_{d0}\Delta U_q - U_{d0}\Delta i_q - i_{q0}\Delta U_d \\ \Delta\omega &= P\Delta U_q \frac{U_{d0}}{U_0^2} - P\Delta U_d \frac{U_{q0}}{U_0^2} \\ \Delta U &= \Delta U_d \frac{U_{d0}}{U_0} + \Delta U_q \frac{U_{q0}}{U_0}\end{aligned}\right\} \quad (4)$$

Решив систему (2.4.) относительно  $\Delta i_d$  и  $\Delta i_q$  подставив найденные для них выражения в соответствующие уравнения системы (2-1), получим:

$$\left. \begin{aligned}\Delta P \frac{U_{d0}}{U_0^2} + \Delta Q \frac{U_{q0}}{U_0^2} &= Y_{11}(P) \left[ -U_{q0} \frac{\Delta\omega}{P} + \frac{U_{d0}}{U_0} \Delta U \right] + Y_{11}(P) \left[ U_{d0} \frac{\Delta\omega}{P} + \frac{U_{q0}}{U_0} \Delta U \right] = \\ &= \left[ -Y_{11}(P)U_{q0} + Y_{12}(P)U_{d0} + i_{q0} \right] \frac{\Delta\omega}{P} + \left[ Y_{11}(P) \frac{U_{d0}}{U_0} + Y_{12}(P) \frac{U_{q0}}{U_0} + \frac{i_{d0}}{U_0} \right] \Delta U \\ \Delta P \frac{U_{q0}}{U_0^2} - \Delta Q \frac{U_{d0}}{U_0^2} &= Y_{21}(P) \left[ -U_{q0} \frac{\Delta\omega}{P} + \frac{U_{d0}}{U_0} \Delta U \right] + Y_{22}(P) \left[ U_{d0} \frac{\Delta\omega}{P} + \frac{U_{q0}}{U_0} \Delta U \right] = \\ &= \left[ -Y_{21}(P)U_{q0} + Y_{22}(P)U_{d0} + i_{d0} \right] \frac{\Delta\omega}{P} + \left[ Y_{21}(P) \frac{U_{d0}}{U_0} + Y_{22}(P) \frac{U_{q0}}{U_0} + \frac{i_{d0}}{U_0} \right] \Delta U\end{aligned}\right\} \quad (5)$$

Из решения системы (2.5) получим искомые выражения связи частотных характеристик.

$$\begin{aligned}\Delta P &= \left\{ U_{d0} \left[ -Y_{11}(P)U_{q0} + Y_{12}(P)U_{d0} + i_{q0} \right] + U_{d0} \left[ Y_{21}(P)U_{q0} + Y_{22}(P)U_{d0} - i_{q0} \right] \right\} \frac{\Delta\omega}{P} + \\ &+ \left\{ U_{d0} \left[ Y_{11}(P) \frac{U_{d0}}{U_0} + Y_{12}(P) \frac{U_{q0}}{U_0} + \frac{i_{d0}}{U_0} \right] + U_{q0} \left[ Y_{21}(P) \frac{U_{d0}}{U_0} + Y_{22}(P) \frac{U_{q0}}{U_0} + \frac{i_{q0}}{U_0} \right] \right\} \Delta U \\ \Delta Q &= \left\{ -U_{d0}U_{q0} \left[ Y_{21}(P) + Y_{12}(P) \right] - P_0 + U_{d0}^2 Y_{22}(P) + U_{d0}^2 Y_{11}(P) \right\} \frac{\Delta\omega}{P} + \\ &+ \left\{ \frac{U_{d0}U_{q0}}{U_0} \left[ Y_{22}(P) - Y_{11}(P) \right] + \frac{Q_0}{U_0} + Y_{21}(P) \frac{U_{d0}^2}{U_0} - Y_{12}(P) \frac{U_q^2}{U_0} \right\} \Delta U\end{aligned}$$

Отсюда выражения для динамических регулирующих эффектов будут:

по напряжению

$$\left. \begin{aligned}K_{PU}(P) &= \frac{U_{d0}U_{q0}}{U_0} \left[ Y_{12}(P) + Y_{21}(P) \right] + \frac{P_0}{U_0} + \frac{U_{d0}^2}{U_0} Y_{11}(P) + \frac{U_{q0}^2}{U_0} Y_{22}(P) \\ K_{QU}(P) &= \frac{U_{d0}U_{q0}}{U_0} \left[ Y_{22}(P) + Y_{11}(P) \right] + \frac{Q_0}{U_0} + Y_{21}(P) - Y_{12}(P) \frac{U_{q0}^2}{U_0}\end{aligned}\right\}$$

по частоте

$$\begin{aligned}K_{P\omega}(P) &= \frac{1}{P} U_{d0}U_{q0} \left[ Y_{22}(P) - Y_{11}(P) + Q_0 + Y_{12}(P)U_{d0}^2 - Y_{21}(P)U_{q0}^2 \right] \\ K_{Q\omega}(P) &= \frac{1}{P} \left( -U_{d0}U_{q0} \right) \left[ Y_{21}(P) + Y_{12}(P) - P_0 + U_{d0}^2 Y_{22}(P) + U_{q0}^2 Y_{11}(P) \right]\end{aligned}$$

## Литература

1. Гулиев Г.Б., Рахманов Н.Р. Вероятностное моделирование потокораспределения в энергосистеме с распределенной генерацией и возобновляемыми источниками// Электронное моделирование, Т 38, №5, Киев, 2016, с.101-112.
2. Потребич А.А. Моделирование нагрузок для расчета потерь в электрических сетях энергосистем №3, Электричество, 1997, с.7

### Xülasə

## YÜKÜN ÜMÜMİLƏŞDİRİLMİŞ OPERATOR TƏNLİKLƏRİ ŞƏKLİNDƏ MODELƏŞDİRİLMƏSİ

*Bayraməliyeva E.N.*

*Məqalədə yükün tipik düyün üçün ötürmə funksiyasının növünün müəyyən edilməsi məsələləri nəzərdən keçirilir. Bu, onun tezlik xarakteristikalarının identifikasiyası məsələsində istifadə olunur. Məsələ qarışıq neft yükü düyünün modelləşdirilməsi nümunəsində həll olunur, burada düyünün tərkibində əsasən asinxron mühərriklər üstünlük təşkil edir. Yük düyünün ümumi hissəsi üçün də, həmçinin onun mühərrik hissəsi üçün də ötürmə funksiyaları dördqütblü və ya ikiqütblü sxemin operator keçiriciliyi şəklində nəzərdən keçirilir. Bu sxem isə kiçik rəqslərin tənlikləri əsasında, fırlanan koordinat oxlarında yazılan ifadələrdən qurulur.*

**Açar sözlər:** tipik yük düyünləri, reaktiv güc, dayanıqlıq rejimlərinin hesablanması üsulları

### Summary

## MODELING OF LOADS IN THE FORM OF GENERALIZED OPERATOR EQUATIONS

*Bayraməliyeva E.N.*

The article addresses the determination of the transfer function type for a standard load unit used in the task of identifying its frequency characteristics. The problem is solved using the example of modeling a mixed oil-production load unit in which induction motors constitute the predominant components. The transfer functions—both for the load unit as a whole and for its motor section—are considered in the form of the operator admittance of a four-terminal or two-terminal network, constructed on the basis of small-signal equations written in rotating coordinate axes.

**Keywords:** typical load node, reactive power, steady-state calculation methods

## ENERGETİKA SİSTEMLƏRİ VƏ KOMPLEKSLƏRİNDƏ TƏHLÜKƏSİZLİK MƏSƏLƏLƏRİNİN TƏDQIQI

<sup>1</sup>Səfərova T.A., <sup>2</sup>Tağızadə R.A.

*1- Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

*2 - Azərbaycan Dövlət Təhlükəsizliyi Xidmətinin Heydər Əliyev Adına Akademiyası,*

*Bakı, Azərbaycan*

[tarana.safarova.70@mail.ru](mailto:tarana.safarova.70@mail.ru) ; [Rufat-60@bk.ru](mailto:Rufat-60@bk.ru)

**Xülasə** Hal-hazırda iqtisadiyyatın eləcə də cəmiyyətin zamanın tələblərinə uyğun inkişafı üçün energetika sistemləri və komplekslərinin təhlükəsizliyinə aid müasir vasitələrdən istifadə olduqca aktualdır. Elektrik istehsalının ötürülmə və paylanması prosesində hər hansı bir nasazlıq və yaxud təhlükə halları baş verərsə bu böyük fəsadlara yol açə bilər. Beləki enerji təchizatında fasilələr yaranar, bu da iqtisadiyyata böyük zərər vurur. Bu məqsədlə baxılan işdə energetika sistemlərində təhlükəsizlik metodlarının istifadəsi və tətbiqi öyrənilir.

**Açar sözlər:** süni intellekt, energetika sistemi, kiberhücumlar, risklərin idarə edilməsi, etibarlılıq, dayanıqlı enerji, enerji təhlükəsizliyi

Energetika sistemləri və komplekslərində təhlükəsizliyin tədqiqi bir neçə istiqamətdə aparılır. Bunlara fəvqəladə halların təhlükəsizliyi və idarəedilməsi, risklərin qiymətləndirilməsi və idarəedilməsi, kibernetik təhlükəsizlik, ekoloji təhlükəsizlik istiqamətləri aiddir.

Fəvqəladə halların təhlükəsizliyi və idarəedilməsi istiqamətində əsasən qəzaların aradan qaldırılması üçün risk analizi aparılır, təhlükəsizlik planları hazırlanır, texnoloji üsullar tətbiq olunur.

Risklərin qiymətləndirilməsi və idarəedilməsi istiqamətində modelləşdirmə, statistik analizlər, strateji yanaşmalar inkişaf etdirilir. Risk analizi metodlarından (FMEA, HAZOP, FTA) istifadə olunaraq energetika komplekslərinin təhlükəsizliyi təmin olunmuşdur. Avtomatlaşdırılmış idarəetmə və nəzarət mexanizmlərinin tətbiqi nəticəsində energetik sistemlərin etibarlılığı artırılmışdır. Smart grid və SCADA tipli sistemlərdə bəzi üsullar təhlil edilmişdir. Bunlara informasiya təhlükəsizliyinin təmin olunması istiqamətində müasir texnoloji üsullar yəni şifrələmə, identifikasiya və süni intellekt aiddir. [3]

Kibernetik təhlükəsizlik istiqamətində energetika infrastrukturalarında haker hücumlarına qarşı mühafizə, kiberhücumlara qarşı proqram təminatı tətbiq edilir.

Tezisdə enerji sistemləri və komplekslərində təhlükəsizlik mərhələlərinə təsir göstərən əsas amillər araşdırılmışdır. Bu amillərə - texniki informasiya, kiber və ekoloji risklər aiddir. Eləcə də tezisdə daha çox

diqqət enerji şəbəkələrində etibarlılığın artırılmasına, fəvqəladə halarda qəzaların qabağının alınması, sistemin dayanıqlığının qorunması, risklərin qiymətləndirilməsi və idarədilməsinə verilmişdir. [1, 2]

Bununla yanaşı enerji sistemləri və komplekslərində təhlükəsizlik strategiyasının daha qorunaqlı olması üçün mövcud olan risklərin qiymətləndirilməsi, təhlükə mənbələrinin araşdırılması, nəzarət tədbirlərinin artırılması və tətbiqi metodları təhlil edilmişdir.

Verilmiş məsələlərin modelləşdirilməsi prosesində süni intellektlə bağlı olan diaqnostika və adaptiv idarəetmə sistemlərinin tətbiqi nəticəsində enerji sistemlərində təhlükəsizlik səviyyəsinin əhəmiyyətli dərəcədə yüksəldilmişdir.

Tədqiqatın gedişatı zamanı müəyyən olundu ki, elektrik stansiyalarında və paylayıcı şəbəkələrdə avadanlıqların köhnə olması qəza risklərini artırılmasına səbəb olur. Bunu aradan qaldırmaq üçün müasir sensor sistemlərinin tətbiqi sayəsində avadanlıqların köhnə olan vəziyyəti bilinir. Süni intellekt alqoritmləri vasitəsilə kibernetik təhlükəsizlik riskləri 60-70% azaldıla bilər.[4]

Məsələnin həlli zamanı belə nəticəyə gəlmək olar ki, energetika sistemləri və komplekslərində təhlükəsizlik məsələlərinin tədqiqi zamanı bu sahədə risklər çoxşaxəli və dinamik xarakter daşıyır. Kibernetik təhdidlər, global iqlim dəyişikliyi və mürəkkəb texnologiya təhlükəsizlik problemlərini daha da aktuallaşdırır. Bu səbəbdən də energetika sektorunda təhlükəsizliyi təmin etmək üçün yalnız texniki tədbirlərdən deyil, eləcə də strateji idarəetmə və beynəlxalq əməkdaşlıq vasitəsilə görülən tədbirlər də həyata keçirilməlidir. Enerji sistemlərində təhlükəsizliyin təmin edilməsi həm texnoloji, həm də təşkilati və normativ – hüquqi araşdırmaların sintezi əsasında mümkün oluna bilər.

## **Ədəbiyyat**

1. İsmayilov R.A. “Enerji təhlükəsizliyi və dayanıqlı inkişaf” Bakı: Elm,2022
2. IEC62351 Standart – Power Systems Management and Associated Information Exchange – Data and Communication Security. 2021
3. International Energy Agency (IEA). “Cybersecurity in the Energy Sector Report”, 2023
4. Əliyev V. E. “Energetika sistemlərinin etibarlılığı və idarəetməsi”, Bakı Mühəndislik Universiteti, 2020

### **Summary**

#### **RESEARCH OF SAFETY ISSUES IN ENERGY SYSTEMS AND COMPLEXES**

*Safarova T.A., Taghizadeh R.A.*

Currently, the use of modern means of security of energy systems and complexes is very relevant for the development of the economy and society in accordance with the requirements of the time. If any malfunction or danger occurs in the process of transmission and distribution of electricity generation, this can lead to major consequences. As a result, interruptions in energy supply occur, which causes great damage to the economy. For this purpose, the study of the use and research of security methods in energy systems is studied.

**Keywords:** artificial intelligence, energy system, cyberattacks, risk management, reliability, sustainable energy, energy security

### **Резюме**

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И КОМПЛЕКСАХ**

*Сафарова Т.А., Тагизаде Р.А.*

В настоящее время применение современных средств обеспечения безопасности энергетических систем и комплексов весьма актуально для развития экономики и общества в соответствии с требованиями времени. Возникновение неисправностей или опасностей в процессе передачи и распределения электроэнергии может привести к серьезным последствиям. В результате возникают перебои в энергоснабжении, наносящие огромный ущерб экономике. С этой целью изучается применение и исследуются методы обеспечения безопасности в энергетических системах:

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, энергетическая система, кибератаки, управление рисками, надежность, устойчивая энергетика, энергетическая безопасность

# METROPOLİTEN NƏQLİYYATININ İSTİSMARINDA ELEKTRİK ŞƏBƏKƏLƏRİNİN ETİBARLILIĞINA TƏSİR EDƏN GÖSTƏRİCİLƏRİN NƏZƏRƏ ALINMASI

**Sadıqlı Bəhruz Məmməd oğlu, Aslanov İbrahim Bəxtiyar oğlu,  
Əliyev Qurban Emin oğlu, Rzayev Ceyhun Zahir oğlu,  
Şükürov Əfruz Təşəkkür oğlu, Ağayeva Seyranə Sehran qızı**

*Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan*

[behruz.sadiqli@student.aztu.edu.az](mailto:behruz.sadiqli@student.aztu.edu.az), [ibrahim.aslanov.ba@student.aztu.edu.az](mailto:ibrahim.aslanov.ba@student.aztu.edu.az),  
[gurban.aliyev.em@student.aztu.edu.az](mailto:gurban.aliyev.em@student.aztu.edu.az), [ceyhun.rzayev.za@student.aztu.edu.az](mailto:ceyhun.rzayev.za@student.aztu.edu.az),  
[efruz.shukurov.te@student.aztu.edu.az](mailto:efruz.shukurov.te@student.aztu.edu.az), [seyrane.agayeva.se@student.aztu.edu.az](mailto:seyrane.agayeva.se@student.aztu.edu.az)

**Xülasə** Məqalədə metropoliten elektrik şəbəkələrinin etibarlılıq göstəriciləri və metronun fasiləsiz enerji təchizatının təmini araşdırılmışdır. Səhvlər Ağacı Təhlili (FTA) modeli ilə elektrik şəbəkələrində baş verə bilən nasazlıqların səbəb-nəticə əlaqələrinin təhlili və şəbəkələrin etibarlılığına təsir edən göstəricilərin nəzərə alınması göstərir ki, metropoliten elektrik təchizatı şəbəkələrinin etibarlılıq səviyyəsinin artırılması üçün texniki xidmət proqramlarının təkmilləşdirilməsi, süni intellektin tətbiqi, əsaslı diaqnostika və ehtiyat qida mənbələrinin istifadəsi xeyirlidir. Bu da, metro nəqliyyatının elektrik şəbəkələrinin enerji təchizatı davamlılığını və səmərəliliyini artırır.

**Açar sözlər:** Metropoliten, Elektrik şəbəkəsi, Etibarlılıq, Səhvlər Ağacı Təhlili (FTA), göstəricilər.

**Giriş.** Müasir şəhər nəqliyyat infrastrukturunda metropoliten sistemləri xüsusi əhəmiyyət kəsb edir və bu sistemlərin fasiləsiz fəaliyyəti şəhər həyatının ritmini qorumaq üçün strateji zərurətə malikdir. Metropolitenin fəaliyyətinin əsas dayaqlarından biri isə elektrik təchizatı və şəbəkələrinin yüksək etibarlılıq səviyyəsidir. Elektrik şəbəkələrinin etibarsızlığı səmərəliliyini rahatlığını və təhlükəsizliyini təhdid edərək, şəhərin iqtisadi həyatına da mənfi təsir göstərə bilər [1]. Metropoliten elektrik şəbəkələrinin istismarında əsas məqsədlər qəza risklərini minimuma endirmək, fasiləsiz enerji təchizatını və avadanlığın uzunömürlülüyünü təmin etməkdir. Bu məqsədlərə çatmaq üçün şəbəkələrin etibarlılıq göstəricilərinin dəqiq təhlili, qəza risklərinin vaxtında aşkarlanıb aradan qaldırılması və səmərəli idarəetmə strategiyalarının hazırlanması vacibdir [2].

Etibarlılıq göstəricilərinin tədqiqi, həm texniki, həm də təşkilati səviyyədə kompleks yanaşma tələb edir. Texniki baxımdan elektrik şəbəkələrinin komponentlərinin iş qabiliyyəti, texnoloji avadanlıqların nasazlıq ehtimalları və enerji ötürmə sistemlərinin davamlılığı təhlil olunmalıdır. Təşkilati səviyyədə isə, risklərin idarə olunması üçün qabaqçılıq tədbirlərin planlaşdırılması, profilaktik texniki xidmətlərin təşkili və fəvqəladə hallar üzrə fəaliyyət planlarının hazırlanması ön plana çıxır.

Metropoliten elektrik şəbəkələrində risklərinin idarəetməsi potensial təhlükələrin və zəif nöqtələrin vaxtında müəyyənəşdirilməsi, bu risklərin ehtimal olunması ilə nəticələrinin qiymətləndirilməsi və onların aradan qaldırılması üçün optimal strategiyaların tətbiqindən ibarətdir [3, 4]. Buraya həm texniki modernləşdirmə tədbirləri, həm də insan tərəfindən idarəetmə üzrə tədbirlər daxildir.

Bu tədqiqatın məqsədi, metropoliten elektrik şəbəkələrinin etibarlılıq göstəricilərinin sistemli şəkildə təhlil edilməsi, əsas risklərin müəyyən olunması və aradan qaldırılması üzrə müasir idarəetmə yanaşmalarının təklif edilməsidir. Tədqiqat prosesində əldə olunan nəticələr, metropoliten şəbəkələrinin dayanıqlılığının artırılmasına və səmərəli təhlükəsizliyinin təmin edilməsinə yönəlmiş elmi - praktik tövsiyələr üçün baza rolunu oynayacaqdır.

**Məsələnin qoyuluşu.** Metropoliten sistemləri müasir şəhər infrastrukturunda əhəmiyyətli rol oynayır və gündəlik səmərəliliyində fasiləsiz, təhlükəsiz xidmət göstərməlidir və bu məqsədlə metropolitenin elektrik şəbəkələrinin yüksək etibarlılığı xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Elektrik təchizatında baş verə biləcək gözlənilməz nasazlıq səmərəliliyinin yalnız rahatlığına deyil, həm də ki, həyat və sağlamlığına ciddi təhlükə ola bilər. Ona görə də, metropoliten elektrik şəbəkələrinin etibarlılıq göstəricilərinin tədqiqi və bu çərçivədə risklərin idarə olunması əsas araşdırma sahələrindən birinə çevrilmişdir [3, 5].

Metropolitenlərin elektrik təchizatı sistemi bir neçə əsas komponentlərdən ibarətdir. Şəhərin ümumi enerji şəbəkəsinin yüksək gərginlikli yarımstansiyalarından alınan elektrik enerjisinin gərginliyi lazımı səviyyəyə endirilir və xüsusi paylayıcı şəbəkələr vasitəsilə qatarların hərəkətini təmin edən kontakt şinlərinə ötürülür. Enerji təchizatının fasiləsizliyi üçün ehtiyat mənbələr – generatorlar, UPS sistemləri və batareya qurğuları da mövcuddur. Bu qurğular qəza və ya əsas enerji mənbəsində nasazlıq hallarında avtomatik olaraq enerji təchizatını və metropoliten fəaliyyətinin təhlükəsizliyini təmin edir.

Metropoliten elektrik şəbəkələrinin digər sənaye və şəhər şəbəkələrindən fərqlənən bir sıra xüsusiyyətləri var. Bu sistemlərdə çoxlu yük daşıması mövcuddur və qatarların hərəkətində enerji istehlakı sürətlə dəyişir. Eləcə də, metropoliten elektrik sistemi fasiləsiz işləməlidir və hər hansı bir texniki nasazlıq dərhal arzuolunmaz ciddi nəticələrə gətirib çıxara bilər. Metropoliten şəbəkələrinin havalandırma, yanğın

təhlükəsizliyi və obyektlərinin qapalı məkanlarda (tunellərdə və stansiyalarda) yerləşdiyi üçün bu sahələrin sərnişinlərdən təcili boşaldılmasına görə əlavə enerji resurslarına ehtiyacı var. Şəbəkələrin istismarında yüksək səviyyədə avtomatlaşdırılmış nəzarət və idarəetmə sistemləri, xüsusilə də, SCADA texnologiyası geniş tətbiq olunur.

Şəbəkənin etibarlılıq səviyyəsini dəyərləndirmək üçün müxtəlif göstəricilərdən istifadə edilir. Ən vacib göstəricilərdən biri orta işləmə müddətidir – yəni fəaliyyətində fasilələrlə nəticələnən nasazlıqlar arasında davam edən orta vaxt (MTBF) göstəricisi [6]. Bu parametr avadanlıqların ümumi etibarlılıq səviyyəsini təyin etməyə imkan verir. Digər önəmli parametr isə – nasazlıq baş verdikdə onun orta bərpa müddəti (MTTR) göstəricisidir [7]. Bu göstəricilər əsasında elektrik şəbəkəsinin ümumi işləmə qabiliyyəti (availability) hesablanır. Statistik metodlar və analitik modellər bu göstəricilərin hesablanmasında əsas rol oynayır.

Metropoliten elektrik şəbəkələrinin təhlükəsiz və davamlı işləməsi üçün risklərin effektiv idarə olunması vacibdir. Risk idarəetməsi potensial təhlükələrin və zəif nöqtələrin vaxtında müəyyən edilməsini, ehtimal və nəticələrin qiymətləndirilməsini və müvafiq profilaktik tədbirlərin görülməsini təmin edir. Elektrik şəbəkələrində risklər avadanlıqlarda texniki nasazlıqlardan, enerji təchizatında kəsilmələrdən, istismar və insanların texniki xidmət səhvlərindən, həmçinin təbii fəlakətlərdən, fəvqəladə və s. hallardan əmələ gələ bilər. Risklərin dəyərləndirilməsi üçün FMEA (Failure Mode and Effects Analysis - İmtinaların növlər və nəticələrinin təhlili) və FTA (Fault Tree Analysis - Səhvlər ağacı təhlili) kimi metodlardan geniş istifadə edilir [8]. Risklərin idarəetməsi isə müxtəlif təhlükə növlərinin ehtimal və təsir gücünə görə prioritet sayılır.

Müasir texnologiyaların tətbiqi risk idarəetməsinin effektivliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Avtomatlaşdırılmış diaqnostika və monitorinq sistemləri, süni intellekt və iri verilənlər analitikası vasitəsi ilə potensial nasazlıqlar ilkin mərhələdə aşkarlanır [9]. SCADA sistemləri vasitəsilə isə şəbəkə real vaxt rejimində izlənilir və fəvqəladə vəziyyətlərə operativ reaksiyalar verilir. Belə yanaşmalar metropoliten şəbəkələrinin fasiləsizliyini və sərnişinlərin təhlükəsizliyini təmin edən əsas texnoloji dəstək mexanizmləridir.

Tədqiqat nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, metropoliten elektrik şəbəkələrinin etibarlılıq səviyyəsinin yüksəldilməsi üçün texniki avadanlıqların mütəmadi yenilənməsi, preventiv texniki xidmət proqramlarının təkmilləşdirilməsi və personalın peşə hazırlığının artırılması zəruridir. Bundan əlavə, ehtiyat enerji sistemlərinin gücləndirilməsi və risk idarəetmə sistemlərinin rəqəmsallaşdırılması tövsiyə olunur.

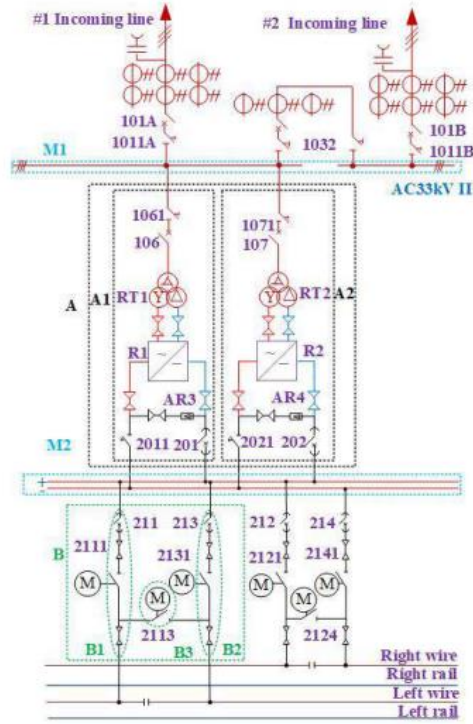
FTA modeli sadə bir sistemin məntiqi əlaqələrini səhvlər ağacı vasitəsilə ifadə edir [10]. Model ən arzuolunmaz hadisədən başlayır, sistem nasazlığına səbəb olan əsas səbəblərə və aralıq proseslərə diqqət yetirir və sistemin məntiqi strukturunu səhvlər ağacı şəkilində göstərir. Bu yanaşma vizual və intuitivdir, dərzi yarımstansiyasından gələn elektrik enerjisi metronun elektrik şəbəkəsində dəyişən və sabit cərəyanlar formasında istifadə edilir [11]. Belə enerji sisteminin strukturu genişdir və avadanlıq çeşidi çox müxtəlifdir. Buna görə də, etibarlılıq təhlilindən əvvəl sistemin strukturunu sadələşdirmək zəruridir.

Sistemə təsir edən tezlik və zamanın nasazlıq dəyişikliklərini nəzərə alaraq, metronun dərzi yarımstansiyasının enerji təchizatı strukturu dövrə açarları (circuit breakers), ayırıcılar (disconnectors), birləşdirici açarlar (tie switches) və kabellər kimi komponentlər vasitəsilə müxtəlif sahələrə bölünə bilər [12]. Çində “Metro Line 9” adlanan bir dərzi yarımstansiyasının strukturu Şəkil 1-də göstərilmişdir. Yuxarıdan aşağıya doğru, onun fiziki strukturu aşağıda göstərilən komponentlərdən ibarətdir:

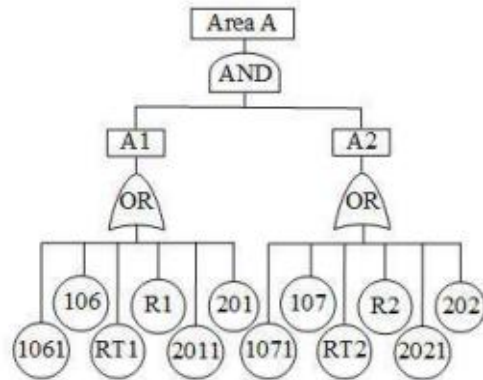
- giriş hissəsi;
- 33 kV gərginlikli dəyişən cərəyan şin sistemi;
- aşağı gərginlikli düzləndirici zona bölməsi (step-down rectification zone);
- 1500 V gərginlikli sabit cərəyan şin sisteminin sahəsi;
- mənbədən gələn sol və sağ qidalandırıcı xətlər sahəsi;
- rels rekuperasiya sahəsi.

Giriş hissəsi enerji təchizatı xəttinə aiddir və bu məqalədə dərzi yarımstansiyasının etibarlılıq qiymətləndirilməsi aparıldığı üçün bu hissə nəzərə alınmır. Eləcə də, rels rekuperasiya sahəsinin nasazlığı ümumi sistemin etibarlılığı ilə birbaşa əlaqəli olmadığı üçün bu sahədə nəzərə alınmır. Beləliklə, metronun dərzi yarımstansiyasının etibarlılığının təhlili və qiymətləndirilməsi qalan komponentlər üçün həyata keçirilməlidir.

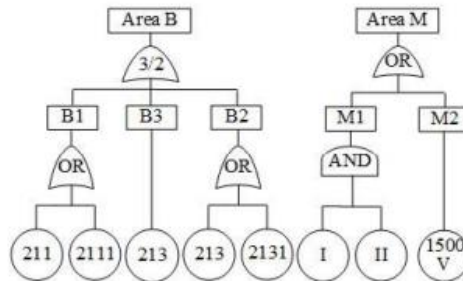
Dərzi yarımstansiyasının Şəkil 1-də göstərilən sxemində elektrik strukturları xüsusi **A**, **B** və **M** zonalarına ayrılaraq nöqtəli xətlərlə verilmişdir. **A**, **B** və **M** zonalarının ağac şəkilli məntiqi diaqramları isə Şəkil 2 və Şəkil 3-də təqdim olunmuşdur.



Şəkil 1. Çində "Metro Line 9" dartı yarımsansiyasının elektrik sxemi



Şəkil 2. A zonasının regional FTA modeli



Şəkil 3. B və M zonalarının regional FTA modelləri.

A zonası – aşağı gərginlikli düzləndirici zonadır, A1 və A2 alt zonalarından ibarətdir. Hər birinin öz Səhvlər ağacı modeli olan və Şəkil 2-də göstərilən A1 və A2 zonalarının elektrik strukturları tamamilə eynidir:

- A1 zonasında əsas avadanlıqlar – dövrə açarları 106 və 201, ayırıcılar 1061 və 2011, alçaldıcı transformator RT1 və R1 düzləndiricidir;
- A2 zonası A1 zonasına oxşar struktura malikdir və əsas avadanlıqları – dövrə açarları 107 və 202, ayırıcılar 1071 və 2021, alçaldıcı transformator RT2 və R2 düzləndiricidir.

B zonası – sol qidalandırıcı xətt zonasıdır və elektrik əlaqəsi ilə birbaşa sol xəttin kontakt şəbəkəsinə birləşir. Şəkil 3-də göstəriləni kimi, B1, B2 və B3 alt zonalarından ibarətdir:

- B1 zonasında əsas avadanlıqlar – sabit cərəyanda işləyən sürətli dövrə açarı 211 və 2111 ayırıcısıdır;
- B2 zonası B1 zonasına oxşar struktura malikdir və əsas avadanlıqları – sabit cərəyanda işləyən sürətli dövrə açarı 213 və 2131 ayırıcısıdır.

Şəkil 3-dən görüldüyü kimi bu iki zona paralel birləşir və hər birinin Səhvlər ağacı modeli var.

• B3 zonası – adətən açıq olan 213 ayırıcıdan ibarətdir və B1 və B2 zonalarını birləşdirir. Əgər birinci hissədə nasazlıq baş verərsə, 213 açarı bağlanır və ikinci hissə birincinin enerji təchizatını təmin edir. Əgər ikinci hissədə nasazlıq baş verərsə, birinci hissə bu vəzifəni üzərinə götürür. Beləliklə, bu üç hissə “üçdən ikisini seçmə” sistemini təşkil edir, yəni B1, B2 və B3 bölmələrindən ikisi və ya ondan çoxu eyni anda sıradan çıxarsa, bütün B zonası sıradan çıxmış sayılır.

M zonası – Şəkil 3-də göstərilən 33 kV-luq orta gərginlikli dəyişən cərəyanda işləyən şin sistemindən (M1 zonası) və 1500 V-luq aşağı gərginlikli sabit cərəyanda işləyən şin sistemindən (M2 zonası) ibarətdir:

- **M1** zonasında 33 kV-luq orta gərginlikli dəyişən cərəyan şin sistemi iki hissəyə bölünür (şin I və şin II). Hər iki şin paralel qoşulmuşdur, əgər şin I sıradan çıxarsa, şin II onun funksiyasını yerinə yetirir və əksinə;
- **M2** zonasında sabit cərəyan şin sisteminin nasazlığı isə birbaşa bütün metro dartı yarımstansiyasından enerji təchizatının kəsilməsinə səbəb olur.

#### **Nəticə**

Metropoliten elektrik şəbəkələrinin etibarlılıq səviyyəsinin yüksək olması, şəhər nəqliyyat sistemlərinin fasiləsizliyi və sərnişin təhlükəsizliyi baxımından strateji əhəmiyyətə malikdir. Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, metropoliten şəbəkələrinin istismarında nasazlıqların və enerji təchizatında fasilələrin qarşısını almaq üçün sistemli etibarlılığın təhlili və risk hadisələrində qabaqçılıq idarəetmə tədbirləri həyata keçirilməlidir.

FTA modelinin tətbiqi, dartı yarımstansiyalarının kompleks strukturunda nasazlıq ehtimalı olan əsas sahələrin və avadanlıqların müəyyənləşdirilməsinə imkan verir. Xüsusilə də, dartı yarımstansiyasının aşağı gərginlikli düzləndirici zonası, qidalandırıcı xətt zonası və şin zonası üzrə aparılan bölgü və modelləşdirmə, nasazlıq ehtimallarının vizual və analitik şəkildə qiymətləndirilməsinə şərait edir.

Təhlil göstərir ki, aşağı gərginlikli sabit cərəyan şin sistemində baş verən nasazlıq bütün dartı yarımstansiyasının enerji təchizatının kəsilməsinə səbəb ola bilər. Bu isə metro sistemində ciddi fasilələrə və sərnişin təhlükəsizliyi risklərinə yol açır. Buna görə də, şəbəkə elementlərinə təsir edən parametrlərin nəzərə alınması ilə elementlərin paralel strukturda təşkil olunması, ehtiyat enerji mənbələrinin artırılması və avtomatlaşdırılmış monitorinq sistemlərinin tətbiqi metropoliten şəbəkələrinin dayanıqlılığını artırmaq üçün vacibdir.

Müasir texnologiyaların, xüsusilə də, SCADA sistemləri və süni intellekt əsaslı təhlil alətlərinin tətbiqi, real vaxt rejimində nasazlıqların aşkarlanmasına və risk hadisələrinin operativ şəkildə idarə olunmasına imkan verir. Belə yanaşmalar metro şəbəkəsinin fasiləsiz və təhlükəsiz işləməsinə təmin etmək üçün əsaslı texnoloji dəstək mexanizmləri rolunu oynayır.

Ümumilikdə, metropoliten elektrik şəbəkələrinin etibarlılıq göstəricilərinin təhlili və risk hadisələrinin idarəetmə sistemlərinin inkişafı sahəsində aparılan bu tədqiqat, gələcəkdə metro şəbəkələrinin daha dayanıqlı, təhlükəsiz və effektiv idarə olunmasına yönəlmiş mühüm elmi-praktik nəticələr təqdim edir.

#### **Ədəbiyyat**

1. Mürsəlov S. Ə. “Elektrik şəbəkələrinin və sistemlərinin istismarı”. Bakı, AzTU nəşriyyatı, 2008, səh. 78 - 96.
2. Zöhrabov A. E., Məmmədov R. X. “Elektrik sistemlərinin istismarı”. Bakı, ADNSU nəşriyyatı, 2018, səh. 76 - 92.
3. Смирнов В. А. “Системы электроснабжения метрополитена с современными полупроводниковыми преобразователями и накопителями энергии”. Москва, Издательство “Транспорт”, 2021, стр. 45 - 53.
4. Иванов А. Т. “Электрические системы метрополитена”. Библиотека Metro.ru, 2020, стр. 36 - 50.

5. Petrov I. E. "Enhancing metro traction power system resilience through technological upgrades". "Science Direct", 2022, Volume 58, Issue 9, pp. 1145 - 1152.
6. Li G., Huang Y., Bie Z. "Reliability evaluation of smart distribution systems considering load rebound characteristics". IEEE Trans. Sustain. Energy, 2018, Vol. 9, № 4, pp. 1713 -1721.
7. Jinglei C. "Research on reliability of metro traction power supply system based on basic method". Ph.D. dissertation, Southwest Jiaotong Univ., Chengdu, China, 2009.
8. Peeters J. F. W., Basten R. J. I., T. Tinga. "Improving failure analysis efficiency by combining FTA and FMEA in a recursive manner". Rel. Eng. Syst. Safety, 2018, Vol. 36, pp. 36 - 44.
9. Chen Y. "Reliability Evaluation of Metro Traction Substation". University of Birmingham, PhD Thesis, pp. 202 - 300.
10. Min Z., Zhijian Z., Gangyang Z. "Sequential failure modeling and analyzing for standby redundant system based on FTA method". Frontiers Energy Res., 2018, Vol. 6, № 60, pp. 342 - 348.
11. Zeng D., He Z., Yu M. "Reliability analysis of metro's traction substation". China Railway Soc., 2008, Vol. 30, № 4, pp. 22 - 27.
12. Zhengyou H. "Reliability assessment of traction power supply system from saudi meghassa to mugodasa metro project". National Rail Transit Electrification and Automation Engineering Technology Research Center, Chengdu, 2011.

#### Summary

### ELECTRICITY IN METROPOLITAN TRANSPORT OPERATION AFFECTING THE RELIABILITY OF NETWORKS CONSIDERATION OF INDICATORS

*Sadiqli B.M., Aslanov İ.B., Aliyev G.E., Rzayev J.Z., Shukurov A.T., Agayeva S.S.*

The article examines the reliability indicators of metropolitan electrical networks and the provision of uninterrupted power supply to the metro. Analysis of the cause-effect relationships of faults that may occur in electrical networks using the Fault Tree Analysis (FTA) model and consideration of the indicators affecting the reliability of the networks show that improving maintenance programs, applying artificial intelligence, basic diagnostics and using backup power sources are beneficial in increasing the reliability of metropolitan electrical networks. This, in turn, increases the continuity of power supply of metro transport electrical networks and passenger safety.

**Keywords:** Metropolitan, Electrical network, Reliability, Fault Tree Analysis (FTA), indicators.

#### Резюме

### УЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЛИЯНИЕ НА НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА МЕТРОПОЛИТЕНА

*Садыклы Б.М., Асланов И.Б., Алиев Г.Э., Рзаев Дж.З., Шукюров А.Т., Агаева С.С.*

В статье рассматриваются показатели надежности метрополитеновских электрических сетей и обеспечение бесперебойного энергоснабжения метро. Анализ причинно-следственных связей возможных неисправностей в электрических сетях моделью анализа дерева неисправностей (FTA) и учет воздействующих на надежность сетей показателей показывают, что для повышения уровня надежности метрополитеновских сетей электроснабжения полезно совершенствование программ технического обслуживания, внедрение искусственного интеллекта, использование основательной диагностики и резервных источников питания. И это, повышает продолжительность энергоснабжения электросетей метрополитена и безопасность пассажиров.

**Ключевые слова:** Метрополитен, Электрическая сеть, Надежность, Анализ дерева неисправностей (FTA), показатели.

## IEC 61850 STANDARTINA UYGUN RƏQƏMSAL 110/10 KV YARIMSTANSİYA LAYİHƏSİ

**Əliyev Nadir Nəzir oğlu**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

**Xülasə** IEC 61850 standartına uyğun rəqəmsal 110/10 kv yarımstansiya layihəsində innovativ üsulların tətbiqinə əsaslanan bir sistem kimi perspektivli istiqamət hesab olunur. Elektrik şəbəkəsi kompleksinə yeni nəsil avadanlığın tətbiqi informasiya axınlarının təşkilini təkmilləşdirəcək, bütün ölçmələrin yüksək dəqiqliyini və vahidliyini təmin edəcək. Belə həllərin əsas üstünlüklərinə texniki xidmətin həcminin və istismar xərclərinin azalması da daxildir. Bununla yanaşı, rəqəmsal yarımstansiyaların tətbiqinin əsas məqsədləri ağıllı şəbəkələrin yaradılması, elektrik şəbəkə avadanlığının tikinti və satınalma proseslərinin optimallaşdırılması nəticəsində əməliyyat və kapital xərclərinin ümumilikdə azaldılması, həmçinin avadanlığın vəziyyətinin monitorinqi və idarə olunması üçün yeni texnologiyaların tətbiqi hesabına elektrik şəbəkəsi obyektlərinin xidmət xərclərinin azaldılmasıdır. IEC 61850 standartına uyğun rəqəmsal 110/10 kv yarımstansiya layihəsinin müəyyən üstünlükləri olsa da, rəqəmsal yarımstansiyalara keçiddə hələ də bir çox suallar mövcuddur. İstehlakçıların etibarlı IEC 61850 standartının təmin olunması məqsədilə yeni rəqəmsal idarəetmə sistemlərinin elementlərini istismara vermək mərhələli şəkildə aparılmalı və sistemlərdə ehtiyat nüsxələr nəzərə alınmalıdır [1].

**Açar sözlər.** IEC 61850, rəqəmsal, şəbəkə, yarımstansiya, rabitə, sistem, model

Dünyanın ilk rəqəmsal yarımstansiyası layihəsi 2006-cı ildə Çində işə salınıb və bu gün Çin bu texnologiyanın tətbiqi üzrə lider ölkədir. 2014-cü ilə qədər Çində funksional uyğunluq üzrə cihazların testlərinin 6 sessiyası keçirilib və bu sessiyalarda müxtəlif istehsalçı şirkətlər iştirak edib. 2005-ci ildə Çin üçün milli standart (DL/T860) kimi IEC 61850 standartı qəbul edilib və KEMA ilə birgə IEC 61850 dəstəklili cihazların uyğunluq yoxlamalarının aparılması üçün laboratoriya yaradılıb. Proses magistralı ilə ilk rəqəmsal yarımstansiya (əsas gərginlik 110 kV) 2006-cı ilin mart ayında işə salınıb. 2013-cü ildə Çində artıq 35–1000 kV əsas gərginlikli, IEC 61850-8-1 dəstəklili ikincil cihazlara malik 10 000-dən çox yarımstansiya işə salınıb. 2013-cü ilin sonuna qədər proses magistralıdan istifadə olunan yarımstansiyaların ümumi sayı 893 təşkil edib. Bundan əlavə, bu texnologiya ABŞ, Kanada və Rusiya kimi ölkələrdə də geniş inkişaf etdirilib. Bu gün dünya üzrə aparıcı elektrik enerji şirkətləri, eləcə də rəqəmsal yarımstansiya texnologiyasının layihələndirilməsi və tətbiqi üzrə xidmət göstərən şirkətlər bu sahədə fəaliyyət göstərir. Son illərdə elektrik enerjisinin inkişafı elektrik şəbəkəsi və informasiya infrastrukturalarının birləşdirilməsi amili ilə bağlıdır [1].

IEC 61850 standartına uyğun 110/10 kV rəqəmsal yarımstansiya layihəsi standartlaşdırılmış rabitə protokollarına əsaslanan idarəetmə və avtomatika sisteminin işlənilməsi hazırlanmasını əhatə edir. Layihə üç səviyyəli arxitekturanı nəzərdə tutur: yarımstansiya səviyyəsi, qoşulma səviyyəsi və proses səviyyəsi. Əsas prinsip fərqli istehsalçıların avadanlıqlarının məlumat mübadiləsi aparmasına və vahid sistemdə birlikdə işləməsinə imkan verən standartlaşdırılmış məntiqi qurğu məlumat modelidir.

Layihələndirmənin bir sıra əsas mərhələləri vardır. Konsept və arxitektura, yarımstansiyanın və idarəetmə sisteminin ümumi strukturu müəyyən edilir, səviyyələrə bölünmə nəzərə alınır (yarımstansiya səviyyəsi, qoşulma səviyyəsi, proses səviyyəsi). Loqik modelin işlənməsi, IEC 61850 standartına əsaslanaraq qurğuların loqik modeli yaradılır; bu model məlumatın necə təqdim olunacağını və qurğular arasında necə ötürülməyini (loqik qurğular və loqik düyünlər) müəyyən edir. Avadanlıq seçimi, fərqli istehsalçıların IEC 61850 standartına uyğun ağıllı elektron qurğuları (İEQ) seçilir və vahid sistemə inteqrasiya olunur [2].

IEC 61850 standartına uyğun rəqəmsal 110/10 kv yarımstansiya layihələndirilməsi, yarımstansiyanın şəbəkə infrastrukturunu işlənilir, rabitə protokolları və şəbəkə topologiyası seçilir, səviyyələr arasında etibarlı məlumat mübadiləsi təmin edilir. İdarəetmə və dispetçer sistemi, yarımstansiyanın idarəetmə sistemi üçün proqram təminatı hazırlanır, SCADA sistemi daxil olmaqla, sahə səviyyəsindən yarımstansiya səviyyəsinə məlumatların qəbulu, emalı və təqdimatı təmin olunur. Kiber təhlükəsizlik, rəqəmsal yarımstansiyaların böyük həcmdə məlumatlarla işləməsi və xarici təhdidlərdən qorunması tələb olunduğu üçün fiziki və kiber təhlükəsizliyin təmin edilməsi üçün tədbirlər hazırlanır və tətbiq olunur. Sınaq və işə salma, sistemin funksionallığını və bütün normativ tələblərə uyğunluğunu yoxlamaq məqsədilə kompleks testlər aparılır və işə salma mərhələsi həyata keçirilir.

## Ədəbiyyat

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 08.12.2011 г. № 2227-р «О Стратегии инновационного развития РФ на период до 2020 года».
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 03.04.2013 № 511-р «Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса РФ»

## Summary

### DIGITAL 110/10 KV SUBSTATION PROJECT IN ACCORDANCE WITH IEC 61850 STANDARD

*Aliyev N.N.*

The digital 110/10 kV substation project in accordance with the IEC 61850 standard is considered a promising direction as a system based on the application of innovative methods. The implementation of next-generation equipment in the power network complex will improve the organization of information flows and ensure high accuracy and consistency of all measurements. The main advantages of such solutions also include a reduction in the volume of technical maintenance and operational costs. In addition, the primary goals of implementing digital substations are the creation of smart grids, optimization of the construction and procurement processes of power network equipment leading to a general reduction of operational and capital expenditures, as well as the reduction of maintenance costs of power network facilities through the application of new technologies for monitoring and managing equipment condition. Although the IEC 61850-compliant digital 110/10 kV substation project has certain advantages, there remain many questions regarding the transition to digital substations. To ensure reliable IEC 61850-compliant power supply to consumers, the commissioning of new elements of digital control systems must be carried out gradually, and system redundancy should be taken into account.

**Keywords.** IEC 61850, digital, network, substation, communication, system, model.

**Резюме**  
**ПРОЕКТ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ 110/10 КВ В СООТВЕТСТВИИ СО СТАНДАРТОМ IEC 61850**  
*Алиев Н.Н.*

Проект цифровой 110/10 кВ подстанции в соответствии со стандартом IEC 61850 рассматривается как перспективное направление, основанное на применении инновационных методов. Внедрение оборудования нового поколения в комплекс электрических сетей улучшит организацию информационных потоков и обеспечит высокую точность и единообразие всех измерений. Основными преимуществами таких решений также являются сокращение объема технического обслуживания и эксплуатационных затрат. Кроме того, основными целями внедрения цифровых подстанций являются создание «умных» сетей, оптимизация процессов строительства и закупки оборудования электрических сетей, что приводит к общему снижению операционных и капитальных затрат, а также сокращение расходов на обслуживание объектов электросети за счет применения новых технологий мониторинга и управления состоянием оборудования. Несмотря на определенные преимущества проекта цифровой подстанции 110/10 кВ, соответствующего стандарту IEC 61850, остаются многочисленные вопросы относительно перехода к цифровым подстанциям. Для обеспечения надежного электроснабжения потребителей с соблюдением стандарта IEC 61850 ввод новых элементов цифровых систем управления должен осуществляться поэтапно, с учетом резервирования системы.

**Ключевые слова.** IEC 61850, цифровой, сеть, подстанция, связь, система, модель.

## **ENERJİ SISTEMİLƏRİNİN ÖTÜRMƏ QABİLİYYƏTİ VƏ İQTİSADI SƏMƏRƏLİLİYİNİ ARTIRMAQ ÜÇÜN FACTS TEXNOLOGİYALARININ TƏTBİQİ**

**Səlimova Afaq<sup>1</sup>, Zeynalova Nuridə<sup>2</sup>, Yaqublu Tofiq<sup>3</sup>, Rəcəbov Kamran<sup>4</sup>**

*1,2,3,4 "Azərenerji" ASC, Azərbaycan Elmi-Tədqiqat Layihə-Axtarış və Energetika İnstitutu" MMC,  
Bakı, Azərbaycan*

[afag\\_sk@mail.ru](mailto:afag_sk@mail.ru) ; [nurida.zeynalova@azerenerji.gov.az](mailto:nurida.zeynalova@azerenerji.gov.az) ;  
[tofiq.yaqubov.92@mail.ru](mailto:tofiq.yaqubov.92@mail.ru) ; [kamran.racabov@azerenerji.gov.az](mailto:kamran.racabov@azerenerji.gov.az)

**Xülasə.** Qərarlaşmış iş rejimləri (QİR) Azərbaycan Enerjisisteminə (EES) FACTS (Flexible AC Transmission System) cihazları nəzərə alınmaqla təhlil edilir. Müəyyən edilmişdir ki, STATCOM cihazları və universal enerji axını tənzimləyicisi (UEAT) 220-330-500 kV elektrik veriliş xəttinin (EVX) ötürmə qabiliyyətini artırmağa, gərginlik səviyyəsini yaxşılaşdırmağa və aktiv enerji itkilərini azaltmağa imkan verir. Elektrik xətti ilə ötürülən güc xəttin uclarındakı gərginliklərdən, onlar arasındakı faza bucağından və xəttin ümumi reaktiv müqavimətindən asılıdır. Enerji idarəetmə probleminin hərtərəfli və optimal həlli idarə olunan dəyişən cərəyan ötürücü sistem texnologiyasından istifadə etməklə mümkündür. Yeni nəsil konvertor texnologiyası əsasında yaradılmış FACTS cihazları imkan verir: mürəkkəb qeyri-bircinsli şəbəkədə gücün məcburi paylanmasını təmin etmək, EPS-nin idarə olunma qabiliyyətini artırmaq, gərginlikləri sabitləşdirmək, rəqsləri yumşaltmaq, statik və dinamik sabitliyi artırmaq, axının paylanmasını optimallaşdırmaq, şəbəkə tutumunu artırmaq, reaktiv enerji axınlarını idarə etmək; tsiklik axınları idarə etmək, qəfil qeyri-xətti yüklər altında gərginliyin harmonik səviyyələrini azaltmaq və enerji itkilərini azaltmaq. Gərginliyin saxlanılması və aktiv enerji itkilərinin azaldılması baxımından ən səmərəli və prioritet tədbir Abşeron 500 kV-luq elektrik veriliş xəttinin dövrəsində 220 kV-luq şin tərəfində UEAT-in quraşdırılmasıdır.

**Açar sözlər:** elektrik şəbəkələri, çevik dəyişən cərəyan ötürücü sistemləri, STATCOM, universal enerji axını tənzimləyicisi.

Elektrik xətti ilə ötürülən güc xəttin uclarındakı gərginliklərdən, onların arasındakı faza bucağından və bu xəttin ümumi reaktiv müqavimətindən asılıdır. Enerji idarəetmə probleminin hərtərəfli və optimal həlli idarə olunan dəyişən cərəyan ötürücü sistemləri texnologiyasından istifadə etməklə mümkündür. FACTS müasir elektronika ilə təchiz olunmuş dəyişən cərəyan ötürücü sistemləridir. FACTS elektrik şəbəkəsi funksiyasını mövcud "passiv"dən "aktiv"ə çevirir. Yeni nəsil konvertor texnologiyası əsasında yaradılmış FACTS cihazları imkan verir: dispetçerin tələblərinə uyğun olaraq mürəkkəb heterojen şəbəkədə gücün məcburi paylanmasını təmin etmək, EES-nin idarə olunma qabiliyyətini artırmaq, gərginlikləri sabitləşdirmək, rəqsləri yumşaltmaq, statik və dinamik dayanıqlığı artırmaq, enerji axınının paylanmasını optimallaşdırmaq, şəbəkə tutumunu artırmaq, enerji axınının yenidən aktivləşdirilməsinə nəzarət etmək; tsiklik axınları idarə etmək, qəfil qeyri-xətti yüklər altında gərginliyin harmonik səviyyələrini azaltmaq və enerji itkilərini azaltmaq. FACTS-dən istifadə EPS problemlərini effektiv həll etməyə imkan verir [4-6].

**Birinci nəsil FACTS cihazları:** Tiristorla idarə olunan faza dəyişdiriciləri (TCPS), tiristorla idarə olunan seriyalı kondansator (TCSC), tiristorla idarə olunan statik güc kompensatoru (TCSVC).

**İkinci nəsil FACTS cihazları:** Konvertorlar ikinci nəsil FACTS cihazlarının əsasını təşkil edir [7]. Ən son ikinci nəsil FACTS cihazlarına (FACTS-2) tam idarə olunan güc elektronikasına cihazları (IGBT tranzistorları, IGCT tiristorları, çeviricilər və s.) əsasında əməliyyat parametrlərinin tənzimlənməsini təmin edən qurğular daxildir: STATCOM; statik sinxron seriya kompensatoru (SSSC); Vahid Güc Axını Tənzimləyicisi VGAN; IPFC (Daxili Güc Akışı Nəzarətçisi)

**Üçüncü nəsill FACTS cihazları:** Üçüncü nəsill nümayəndəsi kimi Birləşdirilmiş güc axını tənzimləyicisi-BGAT Vahid Enerji Axın tənzimləyicisi (UPFC). FACTS-3cihazlar ən mükəmməl FACTS cihazıdır.

Statik sinxron kompensator (STATCOM), tutumlu və ya induktiv çıxış cərəyanı dəyişən cərəyan şəbəkə gərginliyindən asılı olmayaraq dəyişə bilən statik reaktiv güc kompensatoru kimi fəaliyyət göstərən statik çeviriciyə əsaslanan bir cihazdır. STATCOM aşağıdakı problemləri həll etmək üçün istifadə edilə bilər: gərginliyin sabitləşdirilməsi və tənzimlənməsi; reaktiv gücün kompensasiyası; bir fazadan aktiv enerji istehlakı və digər fazaya çatdırılması ilə yükün balanslaşdırılması; STATCOM yüksək reaksiya sürətinə malik olduğundan enerji sistemindəki vibrasiya; şəbəkədə müvafiq harmonikləri kompensasiya etmək üçün tələb olunan yalnız harmonik gərginliyin deyil, həm də poliharmonik gərginliyin əmələ gəlməsinin mümkünlüyü ilə izah edilən aktiv gərginliyin filtrasiyası; yük qrafiklərinin hamarlanması, rektifikasiya edilmiş gərginlik tərəfində yüksək tutumlu enerji saxlama qurğusu olduqda. STATCOM cihazı ümumiyyətlə 1) aktiv və reaktiv gücün müxtəlif istehlak və istehsal rejimlərində işləməyə qadir olan və adətən qapalı yerlərdə yerləşən statik çeviricidən ibarətdir; 2) yüksək gərginlikli şinlərə qoşulmaq üçün uyğun transformator; 3) sinusoidal cərəyanların (gərginliklərin) modulyasiyasını həyata keçirmək üçün cərəyanın (gərginliyin) sabitliyini təmin edən birbaşa cərəyan (rektifikasiya edilmiş gərginlik) bağlantısı; 4) faza cərəyanlarının sinusoidallığını təmin etmək üçün passiv filtrlər.

**Vahid Güc Axını Nəzarətçisi (VGAN)** bir şunt dövrəsi vasitəsilə şəbəkəyə ardıcıl olaraq qoşulmuş STATCOM terminalları arasında ikitərəfli aktiv enerji mübadiləsini təmin etmək üçün ümumi DC dövrəsi ilə qoşulmuş STATCOM və statik sinxron seriyalı kompensatorun (SSSC) birləşməsidir və xarici enerji mənbəyindən istifadə etmədən xəttin aktiv və reaktiv gücünün eyni vaxtda kompensasiyası üçün idarə olunur. VGAN, bucağından asılı olmayaraq, gərginliyi tənzimləməklə, eyni vaxtda və ya ayrıca xəttin gərginliyini, xəttin müqavimətini və bucağını və ya xəttin aktiv və reaktiv gücünü idarə edə bilər. VGAN həmçinin müstəqil idarə olunan şunt reaktiv gücünün kompensasiyasını təmin edə bilər.

**Enerji sistemindəki problemlərin həlli üçün effektiv üsul kimi çevik AC ötürücü sistemlərdən istifadə.** 220–750 kV-luq xətlərin gücü naqillərin qızması və elektrik ötürülməsinin dayanıqlığı ilə məhdudlaşır. Məlumdur ki, xətt boyunca itkisiz ötürülən aktiv güc və onun uclarında istehlak edilən reaktiv güc, ötürmə bucağından  $\delta$  asılı olaraq, VGAN tərəfindən mürəkkəb çevrilmə nisbətində malik ekvivalent transformatorun modeli şəklində müəyyən edilir:

$$P = \frac{U_1 \cdot U_2}{X_L} \cdot \sin \delta, \quad Q_1 = \frac{U_1(U_1 - U_2 \cos \delta)}{X_L} \quad (1)$$

burada,  $U_1, U_2$  -xəttin əvvəlində və sonunda gərginliklərdir;  $X_L$  – xəttin induktiv müqaviməti;  $\delta$   $U_1$  və  $U_2$  vektorları arasındakı bucaqdır. Ötürülən  $P_0$  gücünün məhdudluqları ötürülən güc üçün təhlükəsizlik faktoru ilə normal rejimdə statik sabitliyin təmin edilməsi ehtiyacından qaynaqlanır.

$$K_{Peht} = \frac{P_{PR} - P_0}{P_0} 100\% > 20\%, \quad (2)$$

Həmçinin qəza rejimində dinamik dayanıqlığı və  $K_{Reht} \geq 8\%$  ehtiyatı ilə post-fövqəladə rejimdə elektrik verilişi xətti boyunca tələb olunan gücün ötürülməsini təmin etmək lazımdır. (1) ifadəsindən görüldüyü kimi, uzun hava xətlərinin ötürülən gücü  $P_{PR}$  xəttin müqavimətini azaltmaqla artırıla bilər:

**Azərbaycanın enerji sistemində FACTS cihazının yerləşdirilməsinin effektivliyinin qiymətləndirilməsi.** FACTS-dən istifadə EPS problemlərini effektiv həll etməyə imkan verir [4-6].

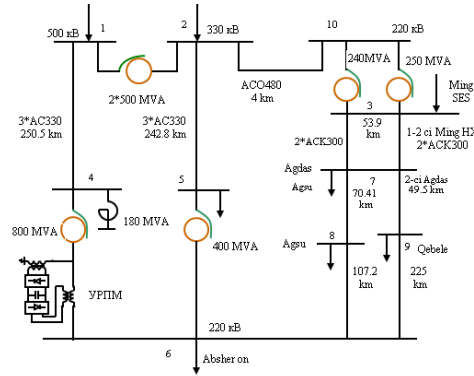
220 və 500 kV-luq hava elektrik xətlərinin dairəvi dövrəsində ekvivalent ES nümunələri ilə idarə olunan FACTS-dan istifadənin səmərəliliyi qiymətləndirilmişdir. Mingəçevir 330/220 kV-luq yarımstansiyada “Azərenerji” ASC-nin dairəvi qeyri-bircinsli şəbəkəsində VGAN -nin yerləşdirilməsinin səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi aparılıb. “Azərenerji” ASC-nin 220-330-500 kV-lik dairəvi qeyri-bircinsli şəbəkəsində STATCOM-dan istifadənin səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi üçün hesablamalar aparılmışdır.

**VGAN effektivliyinin qiymətləndirilməsi.**  $U_1$  və  $Q_2$  üçün ifrat gərginlikli elektrik ötürücü xətti rejiminin optimallaşdırılması. Yüksək gərginlikli elektrik verilişi xətlərinin kompensasiya qurğularının gərginlik və reaktiv gücünün optimal qiymətlərinin müəyyən edilməsi məsələlərinə baxılır; 500 kV elektrik verilişi xəttinin nümunəsindən istifadə edərək, VGAN -nin idarə edilməsi üçün müvafiq tövsiyələr nümayiş etdirilir və verilir.

**Misal.** 500 kV elektrik verilişi xəttinin parametrləri. Fazanın konstruksiyası. Naqilin markası 3\*AC-330/43, parçalanma addımı 0,4 m.  $r_0=0,029$  Ohm/km,  $x_0=0,299$  Ohm/km,  $b_0=3,74 \cdot 10^{-6}$  S/km, yaxşı havaya uyğun gələn tacda xüsusi itkilər qəbul edilir.  $\square P_{k0}=4$  Vt/m, itkilərin gərginlik tacından asılılıq dərəcəsi  $\rho=5$  kimi qəbul edilir. Elektrik veriliş xəttinin uzunluğu 250 km-dir.

Hesabatın nəticələri göstərir ki, xəttin uzunluğundan, ötürülən gücün miqdarından və xüsusi korona itkilərindən asılı olaraq xəttin başlanğıcındakı optimal gərginlik xəttin sonundakı nominal gərginlikdən 0-5%

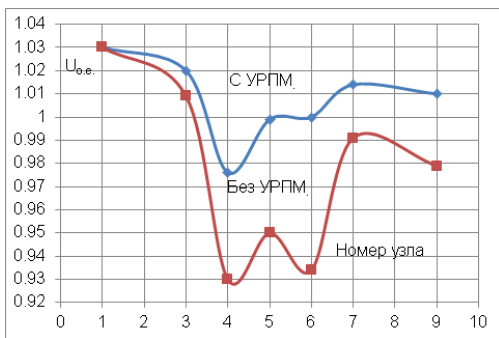
yüksəkdir, yəni. 250 km uzunluğunda elektrik ötürücü xətti üçün optimal rejimin 0,9-1,05 gərginliklərinə uyğundur. Bu halda, ötürülən aktiv gücün artması, tac ilə əlaqədar xüsusi güc itkiləri və xəttin uzunluğu ilə gərginliyin azalması artır.



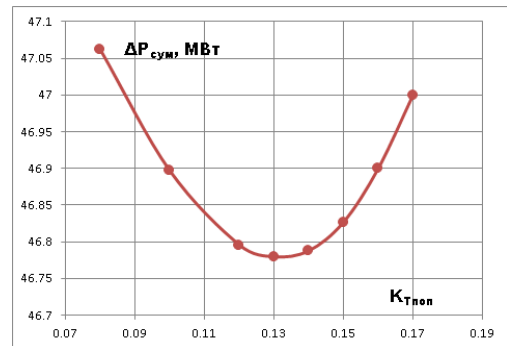
Şəkil 1. 220-330-500 kV-luq bölmənin ekvivalent elektrik sxemi

220, 330 və 500 kV-luq elektrik verilişi xətlərinin və 500 kV-lik xətt üzrə VGAN -in yaxınlaşdığı Abşeron STATCOM yarımstansiyasının 220 kV-luq tirlərində quraşdırılması nəzərdən keçirilir. Azərbaycanın EPS-nin şimal-qərb zonasında elektrik stansiyalarının istehsalı təxminən 3400 MVt-dir. Abşeron zonasında elektrik stansiyalarının istehsalı təxminən 3000 MVt təşkil edir.

**Müqayisəli nəticələr.** 800 MVA 220 kV Abşeron y-st avtotransformator (ATR) tərəfdən 500 kV-luq hava elektrik xəttinin sonunda VGAN -nin quraşdırılması yeri. Hər birinin gücü 50 MVt olan 220 kV-luq Ağdaş, Ağsu, Qəbələ yarımstansiyalarında aktiv güc alınarkən Abşeron zonasında 1600 MVt aktiv enerji istehlakı rejimləri nəzərə alınır. Hesablamalar Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış Energetika İnstitutunun proqram paketi əsasında aparılıb. Ötürmə sisteminin tutumu sabit vəziyyətin sabitlik həddi, istilik həddi, keçici sabitlik həddi və sistemin dempferləməsi kimi müxtəlif amillərə görə məhduddur. Şəbəkə diaqramında qeyri-bircins (şəkil 1) 220 kV-luq elektrik verilişi xəttinin həddindən artıq yüklənməsinə və aktiv enerji itkilərinin artmasına səbəb olur. UEAT-nin 500 kV-luq hava xəttində quraşdırılması zamanı aktiv enerji axınları 888,3 MVt-dan 971,4 MVt-a qədər artır, 220 kV-luq hava xəttində isə 482 MVt-dan 433 MVt-a qədər azalır. VGAN nəzərə alınmaqla enerji itkiləri 11,46 MVt azalıb. VGAN nəzərə alınmaqla və nəzərə alınmadan düyünlərdə gərginliklər şəkil 2-də göstərilmişdir. VGAN nəzərə alınmaqla enerji itkiləri 11,46 MVt azalmışdır. Hesablamaların nəticələri göstərir ki, Abşeron enerji blokunun STATCOM-da 220 kV-luq avtobuslarda normal rejimlərdə quraşdırılması aktiv enerji itkilərini 10 MVt-dan çox azaltmağa imkan verir. VGAN -nin 6 nömrəli qovşağında quraşdırma aktiv enerji itkilərini 12 MVt-dan çox azaltmağa imkan verir [10]. Aktiv güc itkilərinin kompleks transformasiya nisbətinin eninə komponentindən asılılığı Şəkil 3-də göstərilmişdir



Şəkil 2. Dövrə qovşaqları üzrə gərginlik profilləri



Şəkil 3. Aktiv güc itkilərinin kompleks çevrilmə nisbətindən eninə komponentindən asılılığı

1600 MVt gücündə elektrik enerjisinin ötürülməsi rejimində Abşeron qovşağında tələb olunan reaktiv enerji istehsalı 320 MVar təşkil edir. Əsas effekt VGAN -nin 6 nömrəli düyündə quraşdırılması ilə əldə edilir.

**Nəticə.** Müəyyən edilib ki, gərginliyin saxlanması və aktiv enerji itkilərinin azaldılması baxımından ən səmərəli və prioritet tədbir "Abşeron" 220 kV-luq yarımstansiyanın və VGAN -nin şinlərinə STATCOM-un quraşdırılmasıdır.

1. Azərbaycan EES-nin dayanıqlığını artırmaq üçün VGAN yerləşdirməklə aşağı tezlikli rəqslərin dempferləməsinin təkmilləşdirilməsi təklif olunur. VGAN normal və qəza rejimlərində gərginliyin effektiv tənzimlənməsinə, 330 və 500 kV-luq elektrik verilişi xətlərinin ötürmə qabiliyyətinin artırılmasına, qəza rejimlərində gərginliyin dəyişməsinin azaldılmasına imkan verir.

2. Müəyyən edilmişdir ki, VGAN -nin rəşional yerləşdirilməsi Azərbaycan EES-nin texniki-iqtisadi göstəricilərinin bütün rejimlər üzrə yaxşılaşdırılmasına imkan verir; qeyri-bircinsli şəbəkədə hava xətləri üzrə aktiv enerji axınlarının yenidən bölüşdürülməsi: 500 kV-luq hava xətlərinin 100 MVt-dan çox yüklənməsi və 220 kV-luq hava xətlərinin boşaldılması; aktiv enerji itkilərinin 12 MVt-dan çox azaldılması; enerji sistemi qovşaqlarında gərginlik səviyyəsinin 10%-ə qədər yaxşılaşdırılması.

## **Ədəbiyyat**

1. A.B.Balametov, E.D.Xəlilov, T.M.İsayeva. elektrik sistemində gərginlik keyfiyyətinin yaxşılanması üçün STATCOM-un simulyasiyası. "Mühəndisliyin Texniki və Fiziki Problemləri" Beynəlxalq Jurnalı (IJTPE). 22-ci say, 7-ci cild, 1-ci il, mart 2015-ci il.
2. Balametov A.B, Xəlilov E.D., İsayeva T.M və Yaqublu T.R. Enerji Sistemi Rejimlərinə Optimal Nəzarət üçün FACTSın Yerləşdirmələrinin Seçilməsi. Kompüter və İnformasiya Elmində Kommunikasiyalar. İnformasiya Texnologiyaları və Tətbiqləri üzrə 2-ci Beynəlxalq Konfrans, ITTA 2024; Bakı; Azərbaycan; 23 aprel 2024 - 25 aprel 2024; Kodu 321819. Cild 2225 CCIS, 2025, Səhifələr 157-171
3. Balametov A.B. Qeyri-bərabərliyi azaltmaq, Enerji sisteminin işinin tutumunu və səmərəliliyini artırmaq üçün FACTS cihazlarının tətbiqi haqqında. Enerji problemləri 2013 No 3, səh. 9-18.
4. Balametov A.B. Nəzarət olunan FACTS-in istifadəsi enerji sistemində sabitliyi yaxşılaşdırmaq və gərginlik səviyyələrini optimallaşdırmaq üçün effektiv üsuldur. Mühəndislik Akademiyasının bülleteni. Beynəlxalq elmi və texniki jurnal. 15-ci cild, No 2, 2023, səh. 99-109.
5. Balametov A.B., Xəlilov E.D. Azərbaycanın enerji sistemində aşağı tezlikli rəqslərin qarşısının alınması üçün FACTS cihazlarının tətbiqi. Böyük enerji sistemlərinin etibarlılığının öyrənilməsinin metodoloji məsələləri: Məsələ. 73. İrkutsk: ISEM SB RAS. 2022. c. 648-657.
6. Balametov A.B., Xəlilov E.D. Elektrik şəbəkələrinin sabit vəziyyət rejimlərinin hesablamalarında FACTS cihazlarının modelləşdirilməsi. Enerji problemləri 2012 No 4, səh. 9-18.
7. Balametov A.B., Xəlilov E.D. EPS-də problemlərin həllində effektiv üsul kimi çevik dəyişən cərəyan ötürmə sistemlərinin istifadəsi // - Bakı: Enerji problemləri, "ELM", - 2010. No 4, - s. 20-28.
8. Balametov A.B., Kononov Yu.Q., Xəlilov E.D., Afanasyev V.V., Kostyukov K.A. Rusiya, Zaqafqaziya, İran və Türkiyənin enerji sistemlərinin paralel istismarına hazırlığın texniki aspektləri haqqında. Yu.N adına Beynəlxalq elmi seminar. Rudenko tədqiqatın metodoloji məsələləri. Böyük enerji sistemlərinin etibarlılığı. 90-cı iclas "İnkişaf etməkdə olan enerji sistemlərinin etibarlılığı" 01-07 iyul 2018-ci il İrkutsk Baykal gölü. 1-12.
9. Balametov Ə.B., Xəlilov ED, Baxışov EC Azərbaycan elektroenergetika sistemi elektrik şəbəkələrində reaktiv gücün tələbatının səviyyəsi haqqında. Energetikanın problemləri 2011 No. 1, s. 58-66.

## **Summary**

### **APPLICATION OF FACTS TECHNOLOGIES TO IMPROVE THE TRANSMISSION CAPACITY AND ECONOMIC EFFICIENCY OF ENERGY SYSTEMS**

*Salimova A., Zeynalova N., Yagublu T., Rajabov K.*

The determined operating modes (DOM) are analyzed in the Azerbaijan Energy System (EES) taking into account FACTS (Flexible AC Transmission System) devices. It was found that STATCOM devices and universal energy flow regulator (UEAT) allow to increase the transmission capacity of the 220-330-500 kV power transmission line (EVX), improve the voltage level and reduce active energy losses. The power transmitted by the power line depends on the voltages at the ends of the line, the phase angle between them and the total reactive resistance of the line. A comprehensive and optimal solution to the power management problem is possible using the technology of controlled alternating current transmission systems. FACTS devices, created on the basis of new generation converter technology, allow: to ensure forced power distribution in a complex heterogeneous network, increase the controllability of the EPS, stabilize voltages, smooth out oscillations, increase static and dynamic stability, optimize flow distribution, increase network capacity, control reactive energy flows; to control cyclic flows, reduce voltage harmonic levels under sudden nonlinear loads, and reduce energy losses. The most efficient and priority measure in terms of maintaining voltage and reducing active energy losses is the installation of a UEAT on the 220 kV busbar side of the Absheron 500 kV power transmission line circuit.

**Keywords:** electrical networks, flexible alternating current transmission systems, STATCOM, universal power flow controller.

#### Резюме

### ПРИМЕНЕНИЕ FACTS TECHNOLOGIES ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПЕРЕДАЧИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Салимова А., Зейналова Н., Язублу Т., Раджабов К.*

Проведен анализ детерминированных режимов работы (ДР) в Азербайджанской энергосистеме (АЭС) с учетом устройств FACTS (Flexible AC Transmission System). Установлено, что устройства STATCOM и универсальный регулятор потоков энергии (UEAT) позволяют увеличить пропускную способность линии электропередачи (ЛЭП) 220-330-500 кВ, улучшить уровень напряжения и снизить потери активной энергии. Мощность, передаваемая по ЛЭП, зависит от напряжений на концах линии, угла сдвига фаз между ними и полного реактивного сопротивления линии. Комплексное и оптимальное решение задачи управления мощностью возможно с использованием технологии управляемых систем передачи переменного тока. Устройства FACTS, созданные на основе преобразовательной техники нового поколения, позволяют: обеспечить форсированное распределение мощности в сложной неоднородной сети, повысить управляемость ЭЭС, стабилизировать напряжения, сглаживать колебания, повысить статическую и динамическую устойчивость, оптимизировать потокораспределение, увеличить пропускную способность сети, управлять потоками реактивной энергии; для управления циклическими перетоками, снижения уровня гармоник напряжения при резких нелинейных нагрузках и снижения потерь электроэнергии наиболее эффективным и приоритетным мероприятием с точки зрения поддержания напряжения и снижения потерь активной энергии является установка УЭАТ на стороне шин 220 кВ схемы ВЛ 500 кВ «Апшерон».

**Ключевые слова:** электрические сети, гибкие системы передачи переменного тока, СТАТКОМ, универсальный регулятор потоков мощности.

### GƏMİ GÖYƏRTƏ MEXANİZMLƏRİNDƏ TƏTBİQ EDİLƏN ELEKTRİK İNTİQALLARININ NÖVLƏRİ VƏ ONLARIN İDARƏETMƏ SİSTEMLƏRİNİN MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ

**Sultanov Elşən Fəxrəddin oğlu,**

**Həsənov Elsevər Akif oğlu,**

**Əlicanov Ruslan Ramiz oğlu**

*Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası PHŞ, Bakı, Azərbaycan*  
[elshen\\_sultanov@mail.ru](mailto:elshen_sultanov@mail.ru), [hasanov.079@mail.ru](mailto:hasanov.079@mail.ru), [ralicanov@mail.ru](mailto:ralicanov@mail.ru)

**Xülasə.** Müasir gəmiçilik sənayesi yüksək dərəcədə avtomatlaşdırılmış və mürəkkəb texnoloji sistemlərlə təchiz olunmuşdur. Bu sistemlərin əsasını təşkil edən əsas elementlərdən biri də göyərtə mexanizmlərini hərəkətə gətirən elektrik intiqallarıdır. Gəmi göyərtə mexanizmi sayılan lövbər və yanalma bucurqadlarından tutmuş yük kranlarına və digər köməkçi qurğulara qədər bütün bu mexanizmlərin etibarlı, səmərəli və təhlükəsiz işləməsi birbaşa olaraq istifadə olunan elektrik intiqalının növündən və onun idarəetmə sisteminin təkmilliyindən asılıdır. Məqalədə bu məqsədlə gəmi göyərtə mexanizmlərində tətbiq edilən elektrik intiqallarının növləri və onların idarəetmə sistemlərinin müqayisəli təhlili aparılmışdır.

**Açar sözlər:** gəmi, elektrik intiqalı, göyərtə mexanizmi, idarəetmə sistemi, müqayisəli təhlil

**Giriş.** Bildiyimiz kimi göyərtə mexanizmlərinin elektrik intiqallarının əsas xüsusiyyətlərindən biri yükün və sürətin iş prosesində geniş diapazonda dəyişməsidir. Hazırda gəmi göyərtə mexanizmlərinin elektrik intiqallarında tətbiq edilən üç sürətli rotoru qısaqapanmış asinxron mühərrikin və onun idarə sisteminin bir çox çatışmayan cəhətləri vardır. Onlardan sürət tənziminin pilləli olmasını, idarəetmənin prosesinin kontaktorlar vasitəsilə yerinə yetirilməsini, mühərrikin çəkisinin və həcmnin böyük olmasını və eyni zamanda belə mühərrikin göyərtə mexanizmlərinin elektrik intiqallarına lazım olan tənzim xarakteristikasını tam ödəmədiyini misal göstərmək olar.

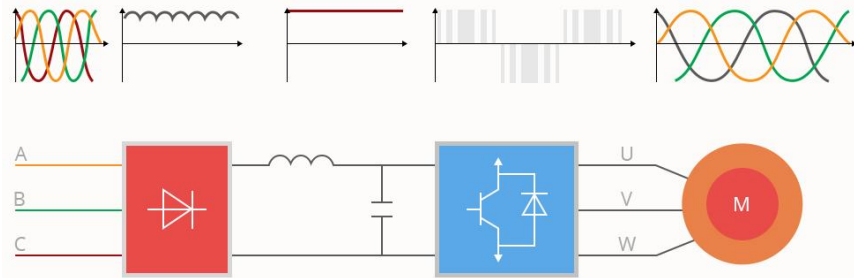
Beynəlxalq Dəniz Təşkilatının (BDT) tələblərinə görə gəmi elektrik intiqalları etibarlı olmalı, asan idarə edilməli, sürətləri geniş həddə tənzim edilməli, həcm və çəkili az olmalı və fasiləsiz iş rejimini təmin etməlidir. Qeyd etmək lazımdır ki, hazırda gəmilərdə tətbiq edilən bəzi göyərtə mexanizmlərinin elektrik intiqalları mühərrikinin quruluşuna və idarəetmə prinsipinə görə müasir dövrün tələblərinə tam cavab vermir. Belə ki, bu mühərriklərin həcm və kütləsi bir dolaqlı qısaqapanmış rotorlu asinxron mühərriklərə nisbətən çox olur və onlar göyərtə mexanizmlərinə lazım olan sürət tənzimini ödəmirlər [1,2].

**Əsas hissə.** Gəmi elektrik avadanlığının inkişaf istiqamətlərindən biri də müasir güc elektronikasına və yeni mikroprosessor idarəetmə sistemlərindən istifadə edərək tamamilə yeni bir elektrik avadanlıqlarının yaradılmasıdır.

Dəniz şəraitinin sərt tələbləri – yüksək rütubət, duzlu suyun korroziyaya təsiri, gəminin yırğalanması və məhdud enerji resursları göyərtə mexanizmlərinin elektrik intiqallarına xüsusi tələblər qoyur. Bu məqalədə gəmi göyərtə mexanizmlərində tətbiq edilən əsas elektrik intiqalı növləri, onların idarəetmə sistemləri ətraflı şəkildə nəzərdən keçiriləcək və müqayisəli təhlili aparılacaqdır.

Tarixən gəmilərdə həm sabit, həm də dəyişən cərəyan mühərriklərindən istifadə olunsa da, müasir gəmiçilikdə dəyişən cərəyan intiqalları, xüsusilə də asinxron mühərriklər üstünlük təşkil edir.

**Dəyişən cərəyan elektrik intiqalları.** Bu intiqallar, xüsusən də rotoru qısaqapanmış asinxron mühərriklər, etibarlılığı, sadə konstruksiyası, texniki xidmətə az ehtiyac duyması və nisbətən ucuz olması səbəbindən gəmi göyərtə mexanizmlərində ən geniş yayılmış intiqal növüdür. Şəkil 1-də dəyişən cərəyan elektrik intiqalının tezlik çeviricisi ilə idarəetmə sxemi göstərilmişdir.



**Şəkil 1.** Dəyişən cərəyan elektrik intiqalının tezlik çeviricisi ilə idarəetmə sxemi

Bu sxem müasir asinxron mühərriklərin idarə edilməsində inqilab yaranan tezlik çeviricisinin strukturunu əks etdirir. Sxem üç əsas hissədən ibarətdir:

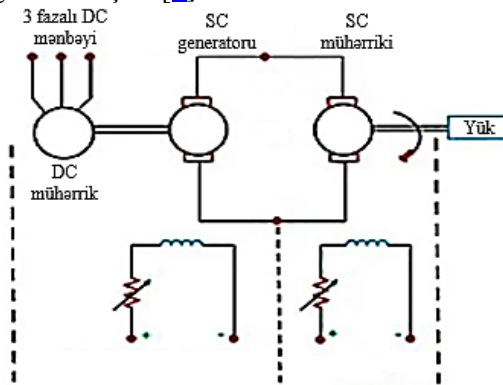
Düzləndirici: şəbəkədən gələn dəyişən cərəyanı (AC) sabit cərəyan (DC) çevirir.

DC dövrəsi (sabit gərginlik şini): düzləndirilmiş gərginliyi hamarlayır.

İnvertor: Sabit cərəyanı yenidən tələb olunan tezlikli və amplitudalı dəyişən cərəyan (AC) çevirərək mühərrikə ötürür. Bu prinsip mühərrikin sürətinin və momentinin səlis tənzimlənməsinə imkan verir.

Bu mühərriklər ağır dəniz şəraitində uzunmüddətli və stabil işləmə qabiliyyətinə malikdir. Rotoru qısaqapanmış asinxron mühərriklər göyərtə mexanizmlərinin əksəriyyətində (bucurqadlar, nasoslar, ventilyatorlar) istifadə olunur. Faz rotorlu asinxron mühərriklər isə rotor dövrəsinə müqavimətlərin qoşulması ilə yüksək işəsalma momenti və sürətin pilləli tənzimlənməsini təmin edir. Lakin rotor dövrəsindəki müqavimətlərdə yaranan enerji itkiləri və fırça-kollektor qovşağının daha çox texniki qulluq tələb etməsi onların tətbiqini məhdudlaşdırır. Çoxsürətli asinxron mühərriklər stator sarğılarının qütblərinin sayını dəyişməklə iki və ya üç sabit fırlanma sürəti əldə etməyə imkan verir. Bu tip mühərriklər xüsusilə lövbər-yanalma qurğularında geniş tətbiq tapmışdır [3,4].

**Sabit cərəyan elektrik intiqalları.** Sabit cərəyan mühərrikləri geniş diapazonda səlis sürət tənzimləmə və yüksək fırlanma momenti yaratmaq kimi üstünlüklərə malikdir. Şəkil 2-də sabit cərəyan elektrik intiqalının idarəetmə sxemi göstərilmişdir [2].



**Şəkil 2.** Sabit cərəyan elektrik intiqalının idarəetmə sxemi

Bu sxem, məqalədə bəhs edilən sabit cərəyan mühərriklərinin səlis sürət tənzimlənməsini təmin edən Ward-Leonard metodu klassik "generator-mühərrik" sistemini göstərir. Sxemdə dəyişən cərəyan mühərriki ilə hərəkətə gətirilən sabit cərəyan generatoru, əsas sabit cərəyan mühərrikinin lövbər dövrəsinə qidalandırır. Generatorun təsirlənmə cərəyanını dəyişməklə onun çıxış gərginliyi və nəticədə əsas mühərrikin sürəti geniş diapazonda səlis şəkildə tənzimlənir. Bu sistem kranlar və liftlər kimi dəqiq idarəetmə tələb edən mexanizmlərdə istifadə olunurdu.

Bu xüsusiyyətlər onları yük kranları kimi dəqiq idarəetmə tələb edən mexanizmlər üçün əlverişli edir. Lakin bir çox mənfi cəhətləri onların tətbiqini xeyli azaltmışdır:

**Mürəkkəb quruluş:** Fırça-kollektor qovşağının olması mühərrikin quruluşunu mürəkkəbləşdirir, etibarlılığını azaldır və müntəzəm texniki qulluq tələb edir.

**Qidalanma problemi:** Müasir gəmilərin elektrik şəbəkəsi əsasən dəyişən cərəyanla işlədiyi üçün, sabit cərəyan mühərriklərini qidalandırmaq üçün xüsusi çeviricilər (məsələn, "Generator-Mühərrik" sistemi) tələb olunur. Bu işə həm iqtisadi cəhətdən səmərəli deyil, həm də əlavə yer və texniki xidmət tələb edir [5].

Bu səbəblərdən, hazırda sabit cərəyan intiqallarına yalnız xüsusi təyinatlı, böyük güclü qaldırıcı kranlara malik gəmilərdə və ya AUT2 avtomatlaşdırma sinifinə daxil olan gəmilərdə rast gəlinir.

**Gəmi göyərtə mexanizmlərinin elektrik intiqallarının idarəetmə sistemləri.** Göyərtə mexanizminin işinin effektivliyi və təhlükəsizliyi birbaşa onun idarəetmə sistemindən asılıdır. Texnologiyanın inkişafı ilə bu sistemlər sadə kontaktorlu-releli sxemlərdən müasir mikroprosessorlu çeviricilərə qədər təkamül etmişdir.

✓ **Kontaktör-rele idarəetmə sistemləri.** Bu, ən sadə və ənənəvi idarəetmə üsuludur. Mühərrikin birbaşa şəbəkəyə qoşulması və ya çoxsürətli mühərriklərdə sarğıların dəyişdirilməsi kontaktör və relələr vasitəsilə həyata keçirilir.

- **Üstünlükləri:** sadə və ucuz olması.

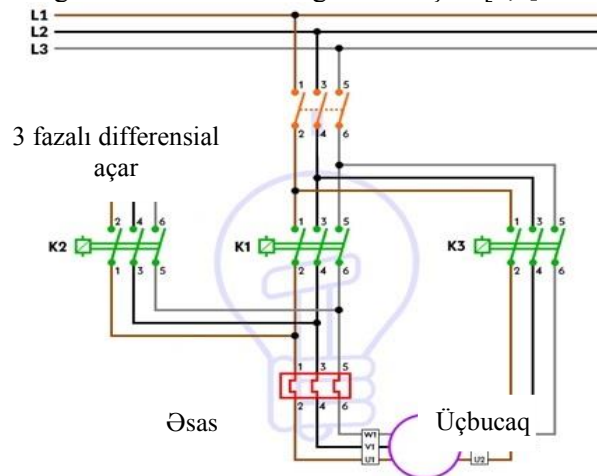
- **Çatışmazlıqları:**

- **Yüksək işəsalma cərəyanları:** Mühərrikin birbaşa işə salınması nominal cərəyandan 5-7 dəfə böyük olan cərəyan tələb edir ki, bu da gəminin məhdud gücə malik elektrik stansiyasına mənfi təsir göstərir.

- **Mexaniki zərbələr:** Ani başlanğıc və dayanma həm mühərrikin özünə, həm də mexanizmin reduktor və digər hissələrinə mexaniki zərbələr vurur, onların istismar müddətini azaldır.

- **Səlis tənzimləmənin olmaması:** Sürət yalnız pilləli şəkildə dəyişdirilə bilər ki, bu da yük kranları kimi dəqiq əməliyyatlar üçün əlverişli deyil.

**Tezlik çeviriciləri ilə idarəetmə.** Yarımkəçirici texnologiyasının və mikroelektronikanın inkişafı ilə ortaya çıxan tezlik çeviriciləri dəyişən cərəyan intiqallarının idarə edilməsində inqilab yaratdı. Şəkil 3-də iki sürətli üç fazlı asinxron mühərrikin güc dövrəsinin sxemi göstərilmişdir [2,3].



**Şəkil 3.** Üç fazlı iki sürətli asinxron mühərrikin güc dövrəsinin sxemi

Məqalədə bəhs edilən çoxsürətli mühərriklərin iş prinsipini izah olaraq qeyd edə bilərik ki, sxemdə müxtəlif kontaktörün (KM) kombinasiyaları vasitəsilə mühərrikin stator dolaqlarının qütblərinin sayı dəyişdirilir. Nəticədə mühərrikin fırlanma sürəti pilləli şəkildə dəyişdirilərək (məsələn, aşağı, orta və yüksək sürət) mexanizm üçün fərqli iş rejimləri təmin edilir. Bu cür mühərriklər adətən lövbər-yanalma bucurqadlarında istifadə olunur [5, 6].

Bu qurğular qısaqapanmış asinxron mühərriklərin fırlanma sürətini və momentini geniş diapazonda səlis şəkildə tənzimləməyə imkan verir .

- **Tezlik çeviricilərinin iş prinsipi:** Tezlik çeviricisi gəminin elektrik şəbəkəsindən gələn sabit tezlikli (adətən 50 və ya 60 Hz) və gərginlikli dəyişən cərəyanı əvvəlcə sabit cərəyanla, sonra işə tələb olunan tezlikli və gərginlikli dəyişən cərəyanla çevirərək mühərriklərə ötürür. Mühərrikin sürəti birbaşa ona verilən cərəyanın tezliyindən asılı olduğu üçün, tezliyi dəyişməklə sürəti səlis tənzimləmək mümkün olur.

- **Tezlik çeviricilərinin üstünlükləri aşağıdakılardır:**

- **Səlis işəsalma və tormozlama:** işəsalma cərəyanlarını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır, mexaniki zərbələri aradan qaldırır.

- **Sürət həddinin geniş tənzim diapazonu:** mexanizmin tələblərinə uyğun olaraq optimal sürətin seçilməsini təmin edir.
- **Enerjiyə qənaət:** mühərrikin hər an tələb olunan yükə uyğun rejimdə işləməsini təmin edərək elektrik enerjisinə xeyli qənaət edir.
- **Avtomatlaşdırma:** müasir tezlik çeviriciləri mikroprosessorlarla təchiz olunur və asanlıqla gəminin ümumi avtomatlaşdırılmış idarəetmə sisteminə inteqrasiya oluna bilər
- **Etibarlılığın artırılması:** mexaniki hissələrin yeyilməsini azaldaraq avadanlığın ümumi istismar müddətini artırır.

Kontaktorla idarəetmədə mühərrik "təbii" xarakteristika üzrə işə düşür ki, bu da yüksək işəsalma cərəyanları yaradır. Tezlik çeviricisi isə bu xarakteristikanı dəyişdirərək istənilən momentdə səlis işəsalmanı təmin edir.

**Sistemlərin müqayisəli təhlili.** Aşağıdakı cədvəl 1-də müxtəlif elektrik intiqalı və idarəetmə sistemlərinin əsas parametrlər üzrə müqayisəsi verilmişdir:

*Cədvəl 1.*

Parametr	Sabit cərəyan intiqalı (Generator-Mühərrik)	Dəyişən cərəyan intiqalı (rele-kontaktor idarəetmə)	Dəyişən cərəyan intiqalı (tezlik çeviricili idarəetmə)
Sürət tənzimlənməsi	Geniş diapazonda, çox səlis	Pilləli və ya yoxdur	Geniş diapazonda, çox səlis
İşəsalma cərəyanı	Aşağı	Çox yüksək	Aşağı (tənzimlənən)
Enerji səmərəliliyi	Orta (çevirmə itkiləri var)	Aşağı	Yüksək
Mexaniki təsir	Səlis	Zərbəli	Səlis
İlkin investisiya	Çox yüksək	Aşağı	Yüksək
İstismar xərcləri	Yüksək (texniki qulluq)	Aşağı	Çox aşağı
Etibarlılıq	Orta (firçalar)	Yüksək	Çox yüksək
Avtomatlaşdırma	Mümkündür, lakin mürəkkəbdir	Məhdudur	Asan və tam inteqrasiya

Müasir texniki tərəqqi və təkmilləşdirmələr olaraq gəmi göyörtə mexanizmlərinin elektrik intiqalları sahəsində inkişaf davam etməkdədir:

- **İnteqrasiya olunmuş idarəetmə:** Elektrik intiqalları artıq tək bir mexanizmi idarə edən lokal sistemlər deyil, gəminin mərkəzi idarəetmə və monitoring sisteminə (IAS - Integrated Automation System) tam inteqrasiya olunmuş komponentlərdir.

- **Diaqnostika xidməti:** Müasir idarəetmə sistemləri mühərrikin vəziyyəti, yüklənməsi, temperaturu kimi parametrləri daimi izləyir, mümkün nasazlıqlar barədə əvvəlcədən xəbərdarlıq edir.

- **Yükün yellənməsinə qarşı sistemlər:** Yük kranlarında tətbiq edilən bu texnologiya, tezlik çeviricisinin xüsusi alqoritmlər vasitəsilə kranın hərəkətini idarə edərək yükün yellənməsini minimuma endirir, əməliyyatların təhlükəsizliyini və sürətini artırır.

**Nəticə.** Aparılmış araşdırmalardan da məlum olmuşdur ki, gəmi göyörtə mexanizmlərinin elektrik intiqalları sadə mühərriklərdən mürəkkəb, ağıllı və inteqrasiya olunmuş sistemlərə doğru böyük bir inkişaf yolu keçmişdir. Müqayisəli təhlil göstərir ki, rotoru qısaqapanmış asinxron mühərriklərin tezlik çeviriciləri ilə birlikdə istifadəsi müasir gəmiçiliyin tələblərinə ən optimal cavab verən həlldir. Bu kombinasiya yüksək enerji səmərəliliyi, səlis və dəqiq idarəetmə, yüksək etibarlılıq və aşağı istismar xərclərini təmin edir.

## Ədəbiyyat

1. Mehdiyev H.A., Həsənov Z.Ə., Şabanov T.H. Avtomatlaşdırılmış gəmi elektrik intiqalları. Bakı, «Nurlan», 2005-358 səh.
2. Sultanov E.F., Abdullayev A.N. Müasir gəmi elektrik intiqalları, dərslik, Bakı, 2018-438 s.
3. Sultanov E.F. Həsənov E.A. Gəmi lövbər qurğusunun elektrik intiqalının tezlik çeviricisi vasitəsilə idarə olunması // – Bakı: Energetikanın problemləri, – 2014. №3, – s. 65-77.
4. Sultanov E.F. Həsənov E.A. Məmmədov E.M. Gəmi göyörtə mexanizmlərinin elektrik intiqallarında tətbiq olunan tezlik çeviricilərinin tədqiqi. Second International Baku Conference On Scientific Research. Baku Odlar Yurdu University, Volume 1, – Bakı: – april 28-30, – 2021, – p. 424-430.
5. Sultanov E.F., Hasanov E.A., Ismayilov S.S., Mammadov E.M. (2023). Transient process of electric drive of a ship mooring controlled by a frequency converter // International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE). Iss. 56, Vol. 15, No. 3, – p. 290-297.
6. Будашко В.В. Судовые автоматизированные электроприводы, Учебное пособие-Одесса. 2007-250 с.

**Summary**  
**COMPARATIVE ANALYSIS OF TYPES OF ELECTRICAL DRIVES USED IN SHIP DECK MECHANISMS  
AND THEIR CONTROL SYSTEM**  
*Sultanov E.F., Hasanov E.A., Alicanov R.R.*

The modern shipping industry is equipped with highly automated and complex technological systems. One of the main elements that form the backbone of these systems is the electric drives that drive the deck mechanisms. The reliable, efficient and safe operation of all these mechanisms, from anchor and mooring winches to cargo cranes and other auxiliary devices, directly depends on the type of electric drive used and the sophistication of its control system. For this purpose, the article has conducted a comparative analysis of the types of electric drives used in ship deck mechanisms and their control system

**Key words:** ship, electrical drive, deck mechanism, control system, comparative analysis

**Резюме**  
**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТИПОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В  
МЕХАНИЗМАХ КОРАБЕЛЬНОЙ ПАЛУБЫ И ИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ**  
*Султанов Э.Ф., Гасанов Э.Ф., Алиджанов Р.Р.*

*Современное судоходство оснащено высокоавтоматизированными и сложными технологическими системами. Одним из основных элементов, составляющих основу этих систем, являются электроприводы, приводящие в действие палубные механизмы. Надежная, эффективная и безопасная работа всех этих механизмов, от якорных и швартовых лебедок до грузовых кранов и других вспомогательных устройств, напрямую зависит от типа применяемого электропривода и совершенства его системы управления. С этой целью в статье проведен сравнительный анализ типов электроприводов, используемых в судовых палубных механизмах*

**Ключевые слова:** судно, электропривод, палубный механизм, система управления, сравнительный анализ.

**SƏNAYE OBYEKTŁƏRİNİN TORPAQLANMA QURULUŞUNUN İSTİSMAR  
GÖSTƏRİCİLƏRİNİ TƏYİN EDƏN PARAMETRLƏRİN TƏHLİLİ**

**Əhmədov Sərxan Elşən oğlu**  
*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*  
[ahmedov.serxan.82@gmail.com](mailto:ahmedov.serxan.82@gmail.com)

**Xülasə.** Ənənəvi yarımstansiya torpaqlama metodları böyük sənaye obyektləri üçün yetərli deyil. Belə obyektlərdə 60 Hz tezliyində belə potensial fərqlər, dərin torpaq qatlarının cərəyana təsiri və müxtəlif standartlara əsaslanan alt sistemlərin inteqrasiyası nəzərə alınmalıdır. Bu tədqiqat, mövcud metodların məhdudluqlarını araşdırır və böyük torpaqlama sistemləri üçün geofiziki üsullar və mürəkkəb torpaq modellərini nəzərə alan simulyasiya proqramlarının tətbiqini tövsiyə edir.

**Açar sözlər:** torpaqlama, sənaye obyektləri, torpaq modelləri, geofiziki üsullar.

Müxtəlif torpaqlama sistemlərinin birləşməsi ilə formalaşan iri sənaye komplekslərinin torpaqlama sistemlərinin qarşılıqlı təsiri, yuxarıda qeyd olunan prinsiplər nəzərə alınmaqla araşdırılmalıdır. Bu, əsas yüksək gərginlikli yarımstansiyanın torpaqlama barmaqlığının sənaye kompleksinin digər torpaqlama sistemləri ilə qarşılıqlı təsirini real şəkildə qiymətləndirməyə imkan verir. Belə qarşılıqlı təsir, yüksək gərginlikli yarımstansiyada faza ilə torpaq arasında baş verə biləcək qısaqapanma halında, sənaye kompleksində insanların təhlükəsizliyinə (addım və toxunma gərginlikləri) və avadanlıqların qorunmasına (potensialın ötürülməsi) birbaşa təsir göstərir.

Hazırda Braziliyada sənayeləşmənin mövcud mərhələsində yüksək, orta və aşağı gərginlik səviyyəli alt sistemləri olan iri sənaye obyektlərinin layihələndirilməsi geniş yayılmışdır. Torpaqlama sistemlərinin layihələndirilməsi ənənəvi Wenner metodu ilə aparılan ölçmələrə əsaslanan torpaq modelləri üzərində qurulur və bu ölçmələrdə istifadə olunan elektrodlararası məsafə nadir hallarda 64 metrə çatır. Simulyasiya isə adətən torpaqlama barmaqlığının tam ekvipotensial (eyni potensialda) olduğu fərziyyəsinə əsaslanan proqram təminatı ilə aparılır [1].

Enerji şəbəkələrinin digər sistemlər (məsələn, boru kəmərləri) üzərindəki təsirinin araşdırılması da, təklif edilən daha mürəkkəb torpaq modelləri və inkişaf etmiş proqram təminatının tətbiqindən faydalana bilər. Braziliyada, böyük ölçülü torpaqlama barmaqlıqları ilə uyğun gələn daha mürəkkəb torpaq modellərinin qurulmasına imkan verən geofiziki üsullardan istifadə hazırda yalnız müəyyən spesifik layihələrlə məhdudlaşır.

Mühəndis üçün “torpaq” termini bərk qayalıq qatının (süxurun) üzərində yerləşən bütün konsolidasiya olunmamış süxurları əhatə edir. Mülki mühəndislikdə torpaq mexanikası, ümumilikdə tikililərlə əlaqəli olaraq torpağın yüklər və mexaniki təsirlərə qarşı davranışını öyrənir. Elektrik mühəndisi üçün isə torpaq – elektrik cərəyanlarının axa biləcəyi mühit olaraq qəbul olunur. Bu, adətən enerji

sistemlərinin fəaliyyəti ilə bağlı olur və torpaqlama elektrod sisteminin yerləşdiriləcəyi sahəni, eləcə də həmin sistemin elektrik baxımından təsir etdiyi bütün torpaq həcmi əhatə edir.

Mühəndislik baxımından məqsədəuyğun olan sadə təsnifata əsasən, Yer qabığı üç əsas qata bölünür [1]:

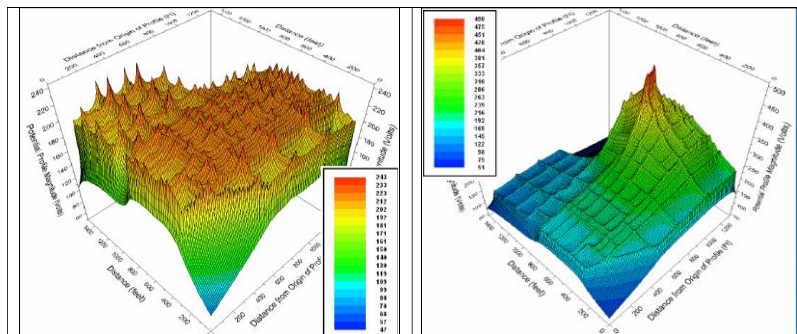
- üzvi maddələrdən ibarət olan və həyatın davamı üçün şərait yaradan səthi qat;
- parçalanmış və/ya qismən deqradasiyaya uğramış süxurlardan ibarət olan zona;
- və bərk, ya da çatlamış, lakin parçalanmamış süxur matrisi – əsas (ana) süxur.

Torpağın elektrik davranışını təhlil etmək üçün ən vacib parametr onun xüsusi müqavimətidir. Bu parametr aşağı tezliklərdə torpaqlama elektrodlarının effektivliyini müəyyən edir. Tədqiqat və layihələndirmə işlərində torpağın xüsusi müqaviməti haqqında bilik zəruridir, çünki torpaqlama müqavimətlərinin və torpaq səthində potensial fərqlərinin hesablanması məhz bu parametərə əsaslanır.

Torpaq müqavimətinin ölçülməsi nəticəsində torpaq modelləri yaradılır. Bu modellər torpaqlama elektrodlarının yerləşdirildiyi mühitin mümkün qədər dəqiq təsvirini verir və torpaqlama barmaqlıqlarının simulyasiyası məqsədilə istifadə olunur. Lakin əldə edilən model mövcud ölçmələrin sayı və keyfiyyəti, eləcə də hesablamalar və simulyasiya üçün istifadə olunan vasitələrin imkanları ilə məhdudlaşır [2].

Böyük sənaye komplekslərinin torpaqlama sistemləri, adətən, kiçik məsafəli ölçmələr əsasında yaradılmış torpaq modellərinə əsaslanaraq layihələndirilmişdir. Bu ölçmələrin nəticələri, real ölçüləri nəzərə alınmadan, dərin qatlara qədər ekstrapolyasiya edilir. Dərin torpaq qatlarının xüsusiyyətləri məlum olmadığından, bu cür layihələrin ehtiyatlı və ya əksinə, riskli nəticələr verdiyi tam müəyyən deyil. Bundan başqa, böyük torpaqlama barmaqlıqları üçün “ekvipotensiallıq” fərziyyəsi istifadə edildikdə, bu, hesablamalarda həddindən artıq nikbin nəticələrə gətirib çıxarır və nəticədə hesablanan torpaqlama müqaviməti real qiymətdən aşağı göstərilir.

Geofizika, yerin dərin qatlarını tədqiq etmək üçün geniş texnologiyalar spektrinə malikdir. Bu üsullara səth ölçmələrindən başlayaraq, quyu tədqiqatlarına qədər müxtəlif yanaşmalar daxildir – seysmik, gravimetrik, maqnit, elektrik, elektromaqnit və radiometrik üsullar. Elektrik və elektromaqnit metodları müxtəlif ölçmə texnikalarını əhatə edir. Bu üsullar birgə şəkildə istifadə olunmaqla, müxtəlif dərinliklərə – onlarla kilometrə qədər, hətta Yer qabığı ilə mantiya arasındakı sərhədə (təxminən 30–40 km dərinliyə) qədər çatan, laylı və ya lateral dəyişikliklərə malik mürəkkəb torpaq müqaviməti modellərinin qurulmasına imkan verir [2].



**Şəkil 1.** İki müxtəlif simulyasiya şəraiti ilə yer səthi (1000 x 1000 m) üzərində torpaq səthinin potensial profili

Aparılan təhlil göstərir ki, dərin torpaq qatlarının elektrik müqaviməti haqqında biliklər hava xəttlərinin parametrlərinin hesablanması üçün mühüm əhəmiyyət daşıyır və xüsusilə müasir sənaye kompleksləri, o cümlədən neft-kimya və neft emalı zavodları ilə əlaqəli olan böyük torpaqlama barmaqlıqlarının modelləşdirilməsi üçün zəruridir.

Bu cür geniş torpaqlama şəbəkələri üçün ekvipotensiallıq (bərabər potensiallıq) fərziyyəsi artıq keçərlidir, çünki torpaqlama barmaqlığının öz daxilində təxminən 30%-ə qədər potensial fərqləri müşahidə olunur.

### Ədəbiyyat

1. Bologna, M. S. ; Vitorello, Í. ; Pádua, M. B. ; Padilha, A. L. . Geoelectrical structures retrieved from a Magnetotelluric Transect in the northwestern Borborema Province, NE Brazil. In: International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 2011, Rio de Janeiro.
2. BRAGA, Prof. Dr. Antonio Celso de Oliveira. Métodos Geométricos Aplicados: Módulo: Hidrogeologia. Universidade Paulista Estadual – UNESP/Campus de Rio Claro. Instituto de

**Summary**  
**ANALYSIS OF PARAMETERS DETERMINING OPERATIONAL INDICATORS**  
**OF INDUSTRIAL GROUNDING SYSTEMS**  
*Ahmedov S.E.*

Traditional substation grounding methods are not sufficient for large industrial facilities. In such facilities, potential differences even at 60 Hz, the influence of deep soil layers on the current, and the integration of subsystems based on different standards must be taken into account. This study examines the limitations of existing methods and recommends the application of geophysical methods and simulation programs that take into account complex soil models for large grounding systems.

**Keywords:** grounding, industrial facilities, soil models, geophysical methods.

**Резюме**  
**АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЙ**  
**СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**  
*Ахмедов С.Э.*

Традиционные методы заземления подстанций недостаточны для крупных промышленных объектов. В таких сооружениях необходимо учитывать разность потенциалов даже на частоте 60 Гц, влияние глубоких слоев почвы на ток, а также интеграцию подсистем, основанных на разных стандартах. В данном исследовании рассматриваются ограничения существующих методов и рекомендуется применять геофизические методы и программы моделирования, учитывающие сложные модели грунта для крупных систем заземления.

**Ключевые слова:** заземление, промышленные объекты, модели грунтов, геофизические методы.

**MATLABDA REAKTIV GÜCÜN KOMPENSASIYASINA NƏZARƏT MODELİNİN**  
**QURULMASI**

**Rəhimov Şəfahət Rəhim**  
**Məmmədova Gülnarə Abdulla**  
*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*  
[shafahat\\_61@mail.ru](mailto:shafahat_61@mail.ru)

**Xülasə.** Sənayedə müqaviməti induktiv olan müəyyən cihazlardan istifadə olunur. Bu, sənaye müəssisələrində enerjiyə qənaət etmək üçün reaktiv gücün təhlilini zəruri edir. Ümumiyyətlə, induksiya sobaları induksiya reaktiv gücü ilə tənzimlənən elektrik parametrik cihazının həm aktiv, həm də reaktiv hissəsini əhatə edir. Bu, reaktiv gücün təhlili ilə kompensasiya yolu ilə səmərəliliyə nail olmaq imkanı yaradır. Nəticədə, qeyri-səlis məntiqdən istifadə edən Matlab mühitində, enerji təchizatı induktorunun elektrik sobasının transformatoruna qoşulduğu nöqtədə bir dövrə və qeyri-səlis reaktiv güc tənzimləmə alqoritmi əsasında bir model hazırlanmışdır.

**Açar sözlər:** enerji təchizatı sistemləri, Matlab sistemi, tənzimləmə sistemləri, qeyri-səlis məntiq, reaktiv güc, induksiya sobaları.

Sənayedə tətbiq edilən müəyyən qurğular vardır ki, müqavimətləri induktiv xarakterlidirlər. Bu işə istehsalat müəssisələrində bu gün də aktual problemlərdən biri kimi reaktiv gücün təhlilinin aparılmasını zəruriləşdirir. Bu da reaktiv gücün təhlilini aparmaqla, kompensasiyaya görə effektivlik əldə etmək imkanı yaradır[1].

Sənaye tezlikli induksiya sobaları tez-tez bir çox sənaye müəssisələrində qara və əlvan metalların və onların qırıntıların əridilməsi, həmçinin ərintidən əvvəl qızdırılması üçün istifadə olunur. Ümumi halda bir induksiyanın reaktiv gücünə tənzimlənən elektrik parametrlər qurğusunun həm aktiv, həm də reaktiv komponentləri daxildir.

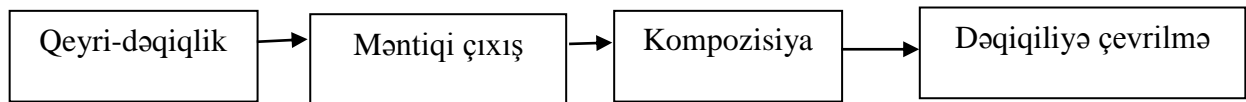
Elektrik sobasının qurğusunun müqaviməti induktivdir. Enerji təchizatı induktorunun girişində reaktiv gücün kompensasiyası yük altında tənzimlənən elektrik sobası transformatorunun quraşdırılmış gücünün, enerji itkilərinin və kabel xətlərinin kəşimləsinin əhəmiyyətli dərəcədə azalmasına səbəb olur[2,3].

Elektrik kondensator batareyaları adətən kompensasiya cihazları kimi istifadə olunur. Qeyri-səlis məntiq əsasında sənaye tezlikli induksiya sobasının reaktiv gücünün tənzimlənməsi üçün sxem və qeyri-səlis alqoritm işlənilib hazırlanmışdır.

Enerji təchizatının işləməsi zamanı real şəraitdə enerji istehlakının dəyişməsinin təsadüfi olduğunu nəzərə alsaq, bu, cərəyan tənzimləyicilərinin və kompensasiya cihazlarının işini məhdudlaşdırma bilər. Bu işdə qeyri-səlis məntiq modelindən istifadə etməklə sintez edilmiş qeyri-səlis reaktiv güc tənzimləyicisinin strukturu təklif olunur[4].

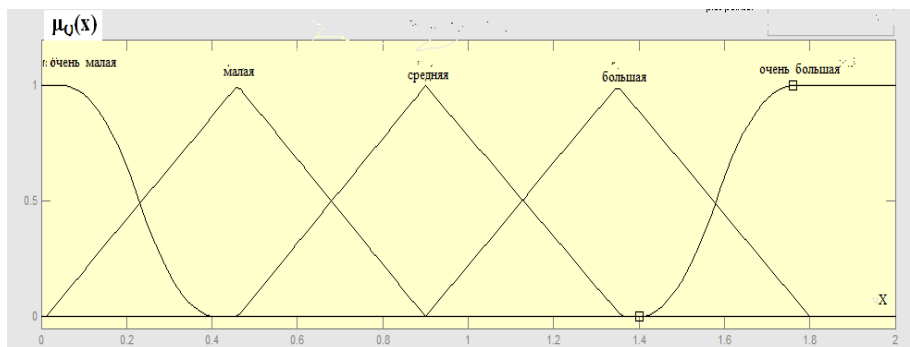
Reaktiv gücün kompensasiyasını idarə etmək üçün qeyri-səlis tənzimləyicinin struktur diaqramının qurulması problemi nəzərdən keçirilir. Bu məqsədlə sənaye tezlikli induksiya sobalarındakı reaktiv güc parametrləri təhlil olunur.

Enerji təchizatının reaktiv gücünün kompensasiyası üçün intellektual idarəetmə sisteminin qurulması aşağıdakı ardıcılıqla həyata keçirilir (şəkil 1.): 1) İnduksiya sobasının reaktiv gücün kompensasiyasına nəzarət sisteminin giriş və çıxışlarının müəyyən edilməsi; 2) giriş və çıxış dəyişənlərinin hər birinə mənsubiyyət funksiyasının təyin edilməsi; 3) linqvistik qaydaların işlənilib hazırlanması; 4) qeyri-səlis məntiqi nəticə çıxarma alqoritminin seçilməsi və həyata keçirilməsi; 5) reaktiv gücün kompensasiyasına nəzarət prosesinin təhlili və Matlab sistemində modelinin qurulması.

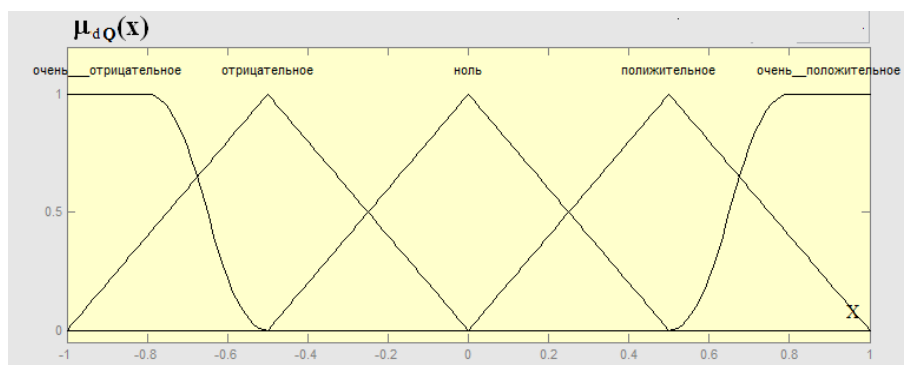


*Şəkil 1. Məntiqi çıxış sxemi*

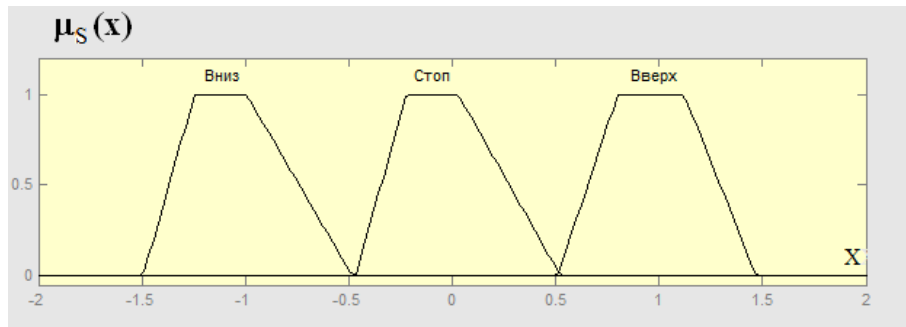
Qurulan məntiqi mənsubiyyət funksiyaları kimi üçbucaq, trapesial, S-formalı və Z-formalı düsturlardan istifadə olunubdur. Qeyri-səlis kontrolleri idarə etmək üçün aşağıdakı linqvistik dəyişənlərdən istifadə edilmişdir: Reaktiv güc; Dinamika və İstiqamət. Mamdani alqoritminə uyğun olaraq reaktiv gücün standartlaşdırılmış hədlər daxilində meyletməsini minimallaşdırmaq üçün qeyri-səlis kontrollerin girişinə aşağıdakılar ötürülür: reaktiv gücün hesablanmış qiyməti və reaktiv gücün törəməsi. Çıxışda isə ümumi dəyərin artması və ya azalması ilə dəyişdirilmiş tutumu tənzimləmək üçün nəzarətdə saxlayan Matlab-da tərtib olunmuş proqram ilə əlaqəli modulları dayanır. Hesablama təcrübələri Matlab mühitində Fuzzy Loqic Toolbox proqram paketindən istifadə etməklə aparılmış[5] və (2) , (3) və (4) təsvirlərində veriləndir.



*Şəkil 2. "Reaktiv güc" dəyişəninə qeyri-səlis dəyərləri*



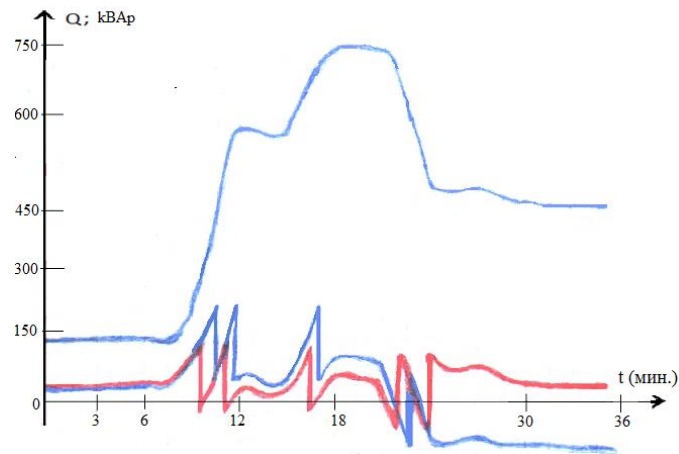
*Şəkil 2. "Dinamika" dəyişəninə qeyri-səlis dəyərləri*



Şəkil 3. "İstiqamət" dəyişənin qeyri-səlis dəyərləri

Matlab mühitində kontrollerin işləməsi üçün müxtəlif variantlar sınaqdan keçirilmişdir və dəyişənlərə əsasən bu sistem üçün 23 qeyri-səlis nəticə çıxarma qaydaları tərtib edilmişdir.

Şəkil 4-də yükə reaktiv gücün dəyişməsinin qrafikini göstərir, həmçinin reaktiv gücün adi (ənənəvi "aydın") tənzimlənməsinə (mavi əyri) və qeyri-səlis tənzimləməyə (qırmızı əyri) uyğun əyriyələri göstərir. Qeyri-səlis (fuzzy) və klassik, aydın (crisp) tənzimləyiciləri işləyərkən aydın olur ki, reaktiv güc həssaslığı olmayan "ölü zonadan" kənara çıxanda tənzimləyicilər işə salınır. Lakin qeyri-səlis tənzimləyici reaktiv gücün dəyişməsinə daha tez reaksiya verir.



Şəkil 4. Nəzarətdən əvvəl və sonra reaktiv gücün dəyişmə əyriyələri.

Nəticə kimi Matlab mühitində qeyri-səlis məntiqdən istifadə etməklə enerji təchizatının induktorunun elektrik soba transformatoruna qoşulduğu nöqtədə reaktiv gücün tənzimlənməsi üçün sxem və qeyri-səlis alqoritm əsasında model işlənilib hazırlanmışdır. Qurulan model həm də göstərir ki, qeyri-səlis reqlulyator reaktiv gücün dəyişməsinə daha sürətli cavab verir. Təsdiq etmək olar ki, aydın məntiqə əsaslanan kompensasiya cihazları ilə müqayisədə qeyri-səlis məntiqə əsaslanan kompensasiya qurğuları enerji təchizatının induktivatorunun elektrik sobasının transformatoruna qoşulma nöqtəsində reaktiv gücünü kompensasiya etmək üçün daha üstündür. Reaktiv gücün kompensasiyası daha yüksək keyfiyyətlə əldə edilir.

#### Ədəbiyyat

1. Фархадов З.И., Рагимов Ш.Р., Абдуллаев С.А., Осадчая М.С. Управление компенсацией реактивной мощности индукционной печи на основе нечеткой логики // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 144–151. DOI: 10.34031/article\_5d08b52f6c2b69.97192016
2. Алиферов А.Н. и др. Электротермические процессы и установки. Красноярск, 2007. 360 с.
3. Копырин В. Ткачук А. Контроллер управления компенсацией реактивной мощности индукционной печи промышленной частоты// Силовая Электроника. 2005. № 1, стр. 96-99.
4. Алиев Р.А., Алиев Р.Р. Теория интеллектуальных систем и ее применение. Баку, Чашыюглу, 2001, 720 с.
5. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами Matlab. Горячая линия –Телеком. М., 2007, 288 с.

**Summary**  
**DEVELOPMENT OF A REACTIVE POWER COMPENSATION CONTROL MODEL IN MATLAB**  
*Rahimov Sh.R., Mammadova G.A.*

In industry, certain devices are used whose resistance is inductive in nature. This necessitates the need to analyse reactive power, to save energy in industrial plants. In general, induction furnaces include both an active and a reactive part of the electrical parametric device, which is controlled by the reactive power of induction. This creates the possibility of achieving efficiency through compensation by analysing reactive power. As a result, a model based on the scheme and fuzzy algorithm for reactive power control at the point of connection of the power supply inductor to the electric furnace transformer has been developed in Matlab environment using fuzzy logic.

**Keywords:** power supply systems, Matlab system, regulation systems, fuzzy logic, reactive power, induction furnaces.

**Резюме**  
**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЕНСАЦИЕЙ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В MATLAB**  
*Рагимов Ш.Р., Мамедова Г.А.*

В промышленности используются определенные устройства, сопротивление которых носит индуктивный характер. Это обуславливает необходимость анализа реактивной мощности для экономии энергии на промышленных предприятиях. В целом индукционные печи включают в себя как активную, так и реактивную часть электрического параметрического устройства, которое регулируется реактивной мощностью индукции. Это создает возможность достижения эффективности за счет компенсации путем анализа реактивной мощности. В результате в среде Matlab с использованием нечеткой логики разработана модель на основе схемы и нечеткого алгоритма регулирования реактивной мощности в точке подключения индуктора источника питания к трансформатору электропечи.

**Ключевые слова:** системы электроснабжения, система Матлаб, системы регулирования, нечеткая логика, реактивная мощность, индукционные печи.

**HEVX-NIN TORPAQLAYICILARININ İSTİSMAR GÖSTƏRİCİLƏRİNİN AKTUALLIĞI Q  
PRAKTİKİ TƏTBİQİ**

**Məmmədzadə Ruhıyyə Kazım qızı**  
**Cüməliyeva İradə Cəmaləddin qızı**  
**Əhmədov Sərxan Elşən oğlu**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*  
[ruqiyyememmedzade1959@gmail.com](mailto:ruqiyyememmedzade1959@gmail.com)  
[ahmedov.serxan.82@gmail.com](mailto:ahmedov.serxan.82@gmail.com)

**Xülasə.** Tezisdə müasir elektroenergetika sistemlərinin inkişafı, Hava elektrik veriliş xəttinin istismar göstəricilərinin yaxşılaşdırılması, mexaniki möhkəmliyi, korroziyaya davamlılığı, Hava elektrik veriliş xəttinin torpaqlayıcı qurğusunun bütün atmosfer şəraitlərində normal rejmi və sabitliliyi məsələsinə baxılır.

**Açar sözlər:** elektrik enerjisi, şəbəkə, istismar, torpaqlayıcı, ötürülmə, istehsal

Azərbaycan Respublikasında sənaye sahələrinin əksər hissələri Bakı və Sumqayıt şəhərlərində cəmləndiyi üçün onları elektrik enerjisi ilə fasiləsiz təmin etmək məqsədi ilə respublikada mövcud olan elektrik stansiyalarından gələn HEVX-dan (hava elektrik veriliş xətləri) geniş istifadə edilir. Belə xətlər öz istismar dövründə ağır və dəyişən atmosfer şəraitində işləyir. Respublikanın elektrik sistemləri içərisində 35-500 kv-luq xətlər, nəhəng sənaye müəssisələrini elektrik enerjisi ilə təmin etməkdə böyük rol oynayır. İstismar zamanı HEVX-nin istismarı üçün mövcud qaydalara və normalara riayət olunmasına baxmayaraq, bir çox istismar parametrlərinin dəyişməsi həmin normalara cavab vermir. Belə parametrlərdən ən əsasını təşkil edən sxem və konstruksiyalarına görə müxtəlif olan metal dayaqlardır. Belə dayaqların iqtisadi göstəricilərini yaxşılaşdırmaq üçün birinci növbədə onların istismar parametrlərini o cümlədən, mexaniki möhkəmliyini, vibrasiyaya davamlılığı, ağır atmosfer şəraitinə davamlılığı, ildırımından mühafizə, təhlükəsizlik texnikasına aid olan parametrlər, korroziyaya davamlılığı, atmosfer artıq gərginliyinə davamlılığı, ildırımından yaranan cərəyanı yerə ötürən torpaqlayıcı qurğunun parametrlərinin stabilliyini və s. təmin etmək tələb olunur.

Bunların içərisində HEVX-nin dayaqlarının torpaqlayıcı qurğusunun parametrləri həmişə dəyişən olur və bu da xəttin ildırımından yaranan implus cərəyanını yerə ötürməklə xəttin normal rejimini o vaxt təmin edə bilər ki, onun parametrləri norma daxilində bütün atmosfer şəraitində sabit saxlanılsın. Bu da Abşeron şəraitində Sumqayıt zonasında bu gün həll olunmamış məsələ kimi qalır.

Torpaqlayıcı qurğuların uzunmüddətliyinin azaldılmasının əsas səbəbi aqressiv torpaq laylarında onların korroziyaya uğramasıdır. Belə qurğuların uzunmüddətliliyi vaxta görə qiymətləndirilir, onların

torpağa qoyulan anından, elementlərin en kəsiklərinin normadan kənara çıxma anına qədər korroziyaya təsirdən azalması baş verir və bu da HEVX-nin təhlükəli iş şəraitində olmasını yaradır.

Məlumdur ki, HEVX-nin torpaqlanma qurğusu iki hissədən ibarətdir horizontal və vertikal. Horizontal hissə yer səthindən təqribən 3,5-4m dərinlikdə torpaq layında horizontal vəziyyətdə olur, vertikal hissə kimi isə horizontal hissəyə qaynaq edilmiş silindrik bütöv naqıl, yaxud da boru götürülür. Bütün torpaqlayıcı tərtibatlar (qurğular) süxurun xüsusi müqaviməti ilə xarakterizə olunur ki, bu da

$$\dot{R} = \frac{\rho}{2\pi r_0} \quad (1)$$

Formulu ilə təyin edilir. Burada  $\rho$ -suxurun xüsusi müqaviməti,  $r_0$ -yer səthindən aşağıda götürülmüş yarımkürənin radiusudur.

(1)-i nəzərə almaqla torpaqlayıcının potensialı:

$$U = \frac{l\rho}{2\pi r_0} \quad (2)$$

düsturu ilə təyin edilir. Burada  $\dot{I}$ -torpaqlayıcı naqıldən torpağa axan cərəyanın qiymətidir.

Tufanlı və ildırımlı havalarda HEVX-in torpaqlayıcı naqillərindən qısa müddətli cərəyanlar axmalı olur. Buna uyğun olan impuls müqaviməti

$$R = \sqrt{\frac{\rho E_d}{2\pi l}} \quad (3)$$

şəklində yazılır. Burada  $E_d$  - deşilmə gərginliyidir.

Onu da qeyd etmək lazımdır ki, (3) düsturuna görə, impuls müqaviməti torpağa qapanan cərəyandan tərs mütənəsb asılıdır. Torpaqlayıcı naqıl müəyyən induktivliyə və aktiv müqavimətə malik olmalıdır. Lakin ədəbiyyatlardan impuls cərəyanından alınan keçid prosesində ancaq induktivliyi nəzərə almaqla, keçid prosesininin davamiyyəti təyin edilmişdir ki, bu da

$$T = \frac{Ll}{R} \quad (4)$$

ifadəsi ilə təyin edilir. Burada  $L$ -torpaqlayıcı naqilin vahid uzunluğuna düşən induktivlik,  $l$ -naqilin Ümumi uzunluğudur.

(3) düsturuna daxil olan torpağın müqaviməti  $\rho$  çox təqribi götürülür. Bu da onunla izah olunur ki, suxurun xüsusi müqaviməti təkcə onun tərkibindən yox, eyni zamanda torpağın nəmliyindən və atmosfer şəraitindən asılıdır.

HEVX-nin istismar göstəricilərinin yaxşılaşdırılma sahəsində torpaqlayıcı qurğunun parametrlərini sabitləşdirməklə və eyni zamanda dayaqların mexaniki möhkəmliyini yüksəltmək aktual məsələ hesab olunur.

## Ədəbiyyat

1. Нәсәнов, Q.Ə. Yüksək gərginlik texnikası. B.Nəşr.2003
2. Китушин, В.Г.. Учебное пособие для вузов. Надежность энергетических систем. 1984

## Summary.

### ACTUALITY PRACTICAL APPLICATION OF OPERATIONAL INDICATORS OF HEVX GROUNDING DEVICES

*Mammadzade R.K., Jumaliyeva I.J., Ahmedov S.E.*

The thesis examines the development of modern power systems, improvement of the operational performance of overhead power lines, mechanical strength, corrosion resistance, and the normal operation and stability of the grounding device of overhead power lines in all atmospheric conditions.

**Keywords:** electric power, network, operation, grounding, transmission, production.

## Резюме

### АКТУАЛЬНОСТЬ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ HEVX

*Мамедзаде Р.К., Джумалиева И.Д., Ахмедов С.Э.*

Тезис посвящен вопросам развития современных электроэнергетических систем, улучшения эксплуатационных показателей воздушной линии электропередачи, механической прочности, коррозионной стойкости, нормального режима и устойчивости заземляющего устройства воздушной линии электропередачи во всех атмосферных условиях.

**Ключевые слова:** электрическая энергия, сеть, эксплуатация, заземление, передача, производство.

# МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ РОСТА ДОЛИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Нийёзов Нумон Низомиддинович, Нишоналиев Рамзиддин Нуриддин оғлу  
Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан  
[numon.niyozov.92@mail.ru](mailto:numon.niyozov.92@mail.ru)

**Резюме.** В статье рассматриваются методы обеспечения устойчивости электрических сетей при росте доли возобновляемых источников энергии. Проведен анализ динамических характеристик энергосистем, влияния снижения инерции и колебаний напряжения на надежность сетей. Предложены математические модели для оценки устойчивости частоты и напряжения, включая swing equation, transient stability и методы виртуальной инерции. Рассмотрено применение алгоритмов LSTM для прогнозирования поведения энергосистемы, что позволяет снизить эксплуатационные риски и повысить надежность энергоснабжения.

**Ключевые слова:** возобновляемая энергетика, устойчивость, частота, напряжение, виртуальная инерция, математическое моделирование, LSTM.

В период с 2015 по 2023 годы мировое потребление первичной энергии увеличилось примерно на 13,6%, что свидетельствует о продолжающемся росте глобального спроса на энергоресурсы. Несмотря на временное сокращение потребления в 2020 году, вызванное пандемией COVID-19 и связанным с ней спадом экономической активности, в последующие годы наблюдалось устойчивое восстановление мировой экономики. Уже к 2023 году общий уровень потребления энергии вырос на 2% по сравнению с 2022 годом [1]. Такая динамика отражает не только рост производственных мощностей и транспортного сектора, но и общее увеличение потребностей населения вследствие урбанизации и роста численности мирового населения.

Учитывая постоянный прирост энергопотребления и ограниченность запасов традиционных (ископаемых) энергоресурсов, особую актуальность приобретает развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Согласно статистике, в 2023 году доля ВИЭ в мировом энергобалансе составляла около 13%, но, по прогнозам, к 2030 году этот показатель достигнет 20%, что подтверждает глобальную тенденцию перехода к «зелёной» энергетике. Основными драйверами такого роста являются государственная поддержка в рамках климатических соглашений (например, Парижское соглашение), снижение себестоимости технологий солнечной и ветровой генерации, а также необходимость сокращения выбросов парниковых газов.

Согласно прогнозам и стратегическим документам, к 2030 году доля возобновляемых источников в общем энергобалансе Узбекистана может достичь 54%, что значительно превышает средние мировые показатели. При этом ключевую роль будут играть именно солнечные и ветровые электростанции, доля которых к этому сроку должна составить порядка 45% от общей установленной мощности страны (см. Рис. 1). Это означает, что уже к концу текущего десятилетия именно ВИЭ станут основным источником прироста электроэнергии в Узбекистане, постепенно вытесняя традиционные углеводородные ресурсы.

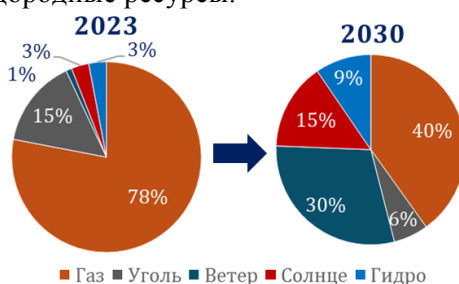


Рис. 1. Сравнительный анализ энергетического баланса Узбекистана за 2023–2030 годы

В электрических сетях, к которым подключены крупномасштабные возобновляемые источники энергии (ВИЭ), математическое моделирование динамических характеристик системы является одним из ключевых научных инструментов для обеспечения её устойчивости. Такие нестабильные источники, как солнечная и ветровая энергия, вызывают колебания частоты и напряжения, что угрожает надёжной работе сети. С помощью математических моделей можно количественно описать влияние этих изменений во времени, предсказать потери инерции, снижение частоты или резкие отклонения напряжения.

В рамках анализа динамических характеристик электрических сетей с высокой долей крупномасштабных возобновляемых источников энергии (ВИЭ) ключевую роль играют

математические модели, позволяющие описывать поведение системы в переходных режимах и при возмущениях. Среди них выделяются четыре фундаментальные модели:

1. Уравнение динамики частоты (swing equation).

Используется для описания вращательной динамики синхронных генераторов и связывает механическую мощность турбины, электромагнитную мощность генератора и изменение угловой скорости ротора. В классическом виде уравнение отражает баланс моментов инерции и приложенных мощностей.

2. Модель переходной устойчивости напряжения (transient voltage stability).

Позволяет оценить устойчивость работы системы при кратковременных возмущениях (короткие замыкания, резкое отключение нагрузки, колебания генерации ВИЭ). Модель учитывает динамику обмоток возбуждения, реактивные потоки мощности и способность системы сохранять допустимый уровень напряжения после возмущения.

3. Выражение, отражающее влияние инерции на частотные колебания.

В традиционных энергосистемах роль демпфера выполняют синхронные генераторы, обладающие большой механической инерцией. В сетях с высоким проникновением ВИЭ инерция снижается, что приводит к увеличению амплитуды и скорости колебаний частоты. Для моделирования используются модифицированные уравнения swing equation с учётом «виртуальной инерции» инверторных установок.

4. Модель переходных процессов (transient response).

Описывает реакцию энергосистемы на резкие изменения генерации или нагрузки, включая форму отклонений частоты и напряжения, их амплитуду и время восстановления до устойчивого состояния. На базе этой модели возможно оценить устойчивость энергосистемы при росте доли непредсказуемых источников генерации (солнечных и ветровых).

Особое внимание уделяется устойчивости частоты, так как именно этот параметр наиболее чувствителен к изменению структуры генерации. В традиционных энергосистемах тепловые электростанции (ТЭС), работающие на газе или пару, благодаря массивным вращающимся частям обладают высокой механической инерцией, которая сглаживает кратковременные дисбалансы и поддерживает стабильность частоты.

Однако в системах с высокой долей ВИЭ (солнечные и ветровые электростанции) ситуация принципиально иная:

- солнечные панели и ветротурбины через инверторы практически не обеспечивают инерционного отклика;
- даже незначительные отклонения между генерацией и потреблением мгновенно приводят к резким колебаниям частоты;
- при отсутствии компенсирующих механизмов это создаёт риск каскадных отключений, ухудшения качества электроэнергии и снижения надёжности энергосистемы [5,6].

В связи с этим одним из приоритетных направлений современных исследований является разработка методов виртуальной инерции (virtual inertia), реализуемых в инверторных системах управления. Такие решения позволяют компенсировать дефицит механической инерции в сетях с высокой долей ВИЭ, обеспечивая демпфирование частотных колебаний и повышение устойчивости энергосистемы.

Этот процесс описывается следующим уравнением:

$$\frac{df(t)}{dt} = \frac{1}{2H} \cdot \frac{P_m(t) - P_e(t)}{f_0}$$

где  $H$  — постоянная инерции системы,  $P_m$  и  $P_e$  — соответственно мощность генерации и нагрузки,  $f_0$  — номинальная частота. При низком значении  $H$  система становится чувствительной к частотным колебаниям, что может привести к аварийным ситуациям.

Из-за переменной природы солнечной и ветровой генерации значительно возрастают колебания напряжения [7,8]. В случае отключения или нестабильной работы таких установок возможны отклонения напряжения до 5–10%, что особенно критично для низковольтных распределительных сетей (0,4–6 кВ) [9,10]. Временные характеристики напряжения можно описать моделью RC-цепи :

$$\frac{dV(t)}{dt} = \frac{1}{C} \left( I(t) - \frac{V(t)}{R} \right)$$

где  $V(t)$  — напряжение,  $I(t)$  — ток,  $R$  и  $C$  — параметры цепи. Эта модель позволяет оценить поведение напряжения в переходных режимах и восстановление после отклонений.

Энергетические системы с ВИЭ должны быстро реагировать на внезапные изменения нагрузки или аварийные режимы. Такие кратковременные изменения называются переходными процессами и могут длиться от долей миллисекунды до нескольких секунд [11,12]. Их поведение описывается дифференциальным уравнением первого порядка:

$$T \frac{dx(t)}{dt} + x(t) = Ku(t)$$

где  $T$  — постоянная времени,  $K$  — коэффициент усиления,  $u(t)$  — входной сигнал (например, изменение нагрузки),  $x(t)$  — отклик системы (напряжение или частота). Это уравнение служит основой для анализа скорости и устойчивости отклика системы.

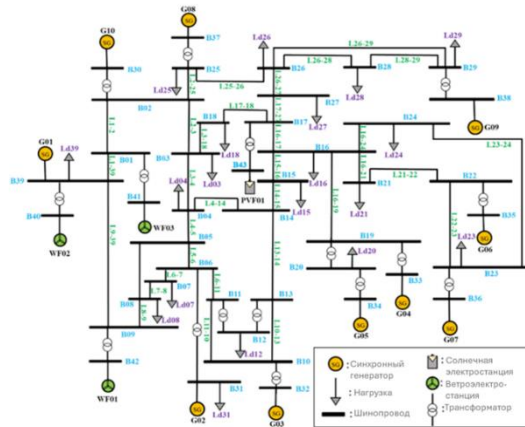


Рис.2. Модифицированная модель системы передачи IEEE с 39 шинами

При внезапном изменении нагрузки или генерации в системе, доля которой обеспечивается ВИЭ, возникает необходимость в быстрой стабилизации частоты. Так как ВИЭ не обладают механической инерцией, компенсировать отклонения становится сложнее [13]. Величину отклонения частоты можно оценить с помощью следующего приближённого выражения:

$$\Delta f = \frac{\Delta P}{2Hf_0}$$

где  $\Delta f$  — изменение частоты (Гц),  $\Delta P$  — разность между генерацией и нагрузкой (МВт),  $H$  — постоянная инерции,  $f_0$  — номинальная частота (обычно 50 Гц). При уменьшении  $H$  даже небольшие отклонения мощности могут вызывать значительные частотные колебания, что увеличивает риск отключения чувствительного оборудования и нестабильности в энергосистеме.

Для построения и валидации модели LSTM были использованы данные, полученные на основе симуляции тестовой системы IEEE 39-bus New England, которая признана международным сообществом и широко применяется для изучения влияния возобновляемых источников энергии на устойчивость энергосистем (Рис. 2) [14]. В процессе симуляции учитывались нестабильная генерация солнечных и ветровых электростанций, колебания нагрузки, снижение частоты и переходные процессы. В общей сложности было собрано 500 временных отсчётов. Для каждой временной точки учитывались следующие входные параметры:

- нагрузка системы  $P_{load}(t)$
- генерация от солнечных источников  $P_{gen}^{solar}(t)$
- генерация от ветровых источников  $P_{gen}^{wind}(t)$
- текущая частота  $f(t)$
- напряжение  $V(t)$
- значение инерции  $H(t)$
- состояние накопителя  $SOC(t)$
- скорость ветра  $W_{speed}(t)$

На основе этих данных для модели LSTM была сформирована входная последовательность с окном в 60 временных шагов ( $window\_size = 60$ ), предназначенная для обучения модели с целью прогнозирования динамического поведения энергосистемы.

Модель LSTM (Long Short-Term Memory) представляет собой архитектуру глубинного обучения, предназначенную для моделирования динамических изменений во временных рядах, таких как частота  $f(t)$ , напряжение  $V(t)$ , инерция  $H(t)$  и переходные процессы в электрических сетях

[16,17,18]. LSTM на каждом временном шаге обновляет внутренние состояния согласно следующим формулам:

$$\begin{aligned} f_t &= \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (\text{врата забывания}) \\ i_t &= \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (\text{входные врата}) \\ \tilde{C}_t &= \tanh(W_C \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_C) \quad (\text{новое состояние памяти}) \\ C_t &= f_t \cdot C_{t-1} + i_t \cdot \tilde{C}_t \quad (\text{обновленное состояние памяти}) \\ o_t &= \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (\text{выходные врата}) \\ h_t &= o_t \cdot \tanh(C_t) \quad (\text{выход модели}) \end{aligned}$$

где здесь  $x_t$  — входной вектор ( $P_{\text{load}}, P_{\text{gen}}, H(t), f(t-1), V(t-1)$ ),  $h_t$  — скрытое состояние (прогноз модели),  $C_t$  — контекстно-зависимая память во времени. Результаты модели обычно включают предсказанные значения ключевых параметров энергосистемы, таких как изменение частоты  $\Delta f = f(t) - f(t-1)$ , колебания напряжения  $\Delta V$ , время восстановления стабильности и градиент  $\frac{df}{dt}$ . Эти величины особенно важны для сетей с высокой долей возобновляемых источников энергии, где требуется своевременное управление реакцией системы, резервными мощностями и обеспечением надежности.

Проведённое исследование показало, что рост доли возобновляемых источников энергии в мировом и национальном энергобалансе является необратимым и стратегически важным процессом, определяющим будущую устойчивость энергетики. На примере Узбекистана, где к 2030 году прогнозируется достижение более 50% доли ВИЭ, подтверждается глобальная тенденция перехода к «зелёной» энергетике.

Детальный анализ динамических характеристик энергосистемы показал, что переменчивый характер солнечной и ветровой генерации создаёт новые вызовы для стабильности электрических сетей. Отсутствие механической инерции у ВИЭ приводит к более резким и частым колебаниям частоты и напряжения, что особенно критично для низковольтных распределительных сетей. В этих условиях применение классических моделей (уравнение динамики частоты, модели переходной устойчивости и переходных процессов) остаётся основой для оценки устойчивости системы, однако требует адаптации с учётом виртуальной инерции и новых алгоритмов управления инверторами.

Разработанные математические выражения для описания динамики частоты, напряжения и переходных процессов, а также использование методов искусственного интеллекта (архитектуры LSTM) подтвердили свою эффективность для прогнозирования поведения энергосистемы в условиях высокой доли ВИЭ. Такой подход позволяет:

- заранее выявлять критические отклонения частоты и напряжения;
- оценивать динамику переходных процессов;
- формировать оптимальные стратегии управления накопителями энергии и резервными мощностями;
- повышать общую надёжность и устойчивость работы энергосистемы.

Таким образом, интеграция классических методов системного анализа с современными инструментами машинного обучения открывает новые возможности для управления энергосистемами будущего. Реализация подобных решений позволит смягчить негативные эффекты от высокой доли переменной генерации, обеспечить устойчивое энергоснабжение, снизить эксплуатационные риски и поддержать переход к низкоуглеродной энергетике

## Литература

1. Ritchie H., Rosado P., Roser M. Energy Production and Consumption [Электронный ресурс]. Our World in Data. 2020. Доступно по: <https://ourworldindata.org/energy-production-consumption>. Ссылка активна на 23 мая 2025 г.
2. Saleem M.I., Saha S., Roy T.K., Ghosh S.K. Assessment and management of frequency stability in low inertia renewable energy rich power grids // IET Generation, Transmission & Distribution. 2024. Early Access. DOI: 10.1049/gtd2.13129.
3. Visser L.R., Schuurmans E.M.B., AlSkaif T.A., Fidler H.A., Van Voorden A.M. Regulation strategies for mitigating voltage fluctuations induced by photovoltaic systems in low-voltage grids // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2022. Vol. 137. Pp. 107695. DOI: 10.1016/j.ijepes.2021.107695.
4. Visser L.R., et al. Regulation strategies for mitigating voltage fluctuations induced by photovoltaic solar systems in an urban low-voltage grid // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2022. Vol. 137. Pp. 107695. DOI: 10.1016/j.ijepes.2021.107695.

5. Niyozov N.N., Liu C., Usmonov E.G. An overview of the current approaches to evaluating the stability and reliability of power systems with large-scale renewable energy integration // Proceedings of the Republican Scientific-Technical Conference "Development of Modern Electric Machines and Drives for Green Economy", 15–16 May 2025, Tashkent, Uzbekistan. Tashkent, 2025. Pp. 126–128.
6. Gonzalez-Longatt F., Wall P. Impact of high penetration of renewable energy sources on the power system stability // Renewable Energy. 2019. Vol. 135. Pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.renene.2018.11.002.
7. Liu C., Niyozov N.N., Usmonov E.G. Development of a mathematical model for the equivalent external characteristics of a power system integrated with large-scale renewable energy sources and analysis of their impact on frequency and voltage stability // Proceedings of the Republican Scientific-Technical Conference "Development of Modern Electric Machines and Drives for Green Economy", 15–16 May 2025, Tashkent, Uzbekistan. Tashkent, 2025. Pp. 135–137.
8. Niyozov N.N., Liu C., Usmonov E.G. Algorithmic approach to frequency and voltage control for static and dynamic stability analysis in electrical power networks // Proceedings of the Republican Scientific-Technical Conference "Development of Modern Electric Machines and Drives for Green Economy", 15–16 May 2025, Tashkent, Uzbekistan. Tashkent, 2025. Pp. 418–421.
9. Rakhmonov I.U., Ushakov V.Ya., Niyozov N.N., Kurbonov N.N. Прогнозирование электропотребления с помощью нейронных сетей с LSTM // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2023. Т. 334. № 12. С. 125–133. DOI: 10.18799/24131830/2023/12/4407.

#### Xülasə

### BƏRPA OLUNAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİNİN ARTAN PAYI KONTEKSTİNDƏ ELEKTRİK ŞƏBƏKƏLƏRİNİN SABİTLİYİNİN TƏMİN OLUNMASI ÜÇÜN METODLAR

*Niyozov N.N., Nişonaliev R.N.*

Məqalədə bərpa olunan enerji mənbələrinin payının artması şəraitində elektrik şəbəkələrinin dayanıqlığını təmin etmə metodları araşdırılır. Enerji sistemlərinin dinamik xüsusiyyətləri, inersiyanın azalmasının və gərginlik dalğalanmalarının etibarlılığa təsiri təhlil olunmuşdur. Tezlik və gərginlik sabitliyinin qiymətləndirilməsi üçün swing equation, transient stability və virtual inersiya modelləri təqdim olunmuşdur. Enerji sisteminin davranışını proqnozlaşdırmaq üçün LSTM alqoritmlərinin tətbiqi nəzərdən keçirilmişdir ki, bu da istismar risklərini azaldır və enerji təchizatının etibarlılığını artırır.

**Açar sözlər.** bərpa olunan enerji, dayanıqlıq, tezlik, gərginlik, virtual inersiya, riyazi modelləşdirmə, LSTM.

#### Summary

### METHODS FOR ENSURING THE STABILITY OF ELECTRIC GRIDS IN THE CONTEXT OF THE GROWING SHARE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

*Niyozov N.N., Nishonaliev R.N.*

The paper discusses methods for ensuring the stability of power grids under the increasing share of renewable energy sources. It analyzes the dynamic characteristics of power systems, focusing on the impact of reduced inertia and voltage fluctuations on reliability. Mathematical models such as the swing equation, transient stability, and virtual inertia methods are proposed for frequency and voltage stability assessment. The use of LSTM algorithms for forecasting system behavior is also considered, enabling improved reliability, reduced operational risks, and sustainable energy supply.

**Keywords.** renewable energy, stability, frequency, voltage, virtual inertia, mathematical modeling, LSTM.

### ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ: ОБЗОР МЕТОДОВ И ПРИЛОЖЕНИЙ

**Латипов Шерхон Шухратович**

*Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan*

[sherkhonlatipov@gmail.com](mailto:sherkhonlatipov@gmail.com)

**Резюме** Электроэнергетические системы, а также компании и потребители, взаимодействующие с ними, сталкиваются с растущим уровнем неопределенности, обусловленным такими факторами, как производство возобновляемой энергии, либерализация рынка и изменение климата. Это поднимает важный вопрос о том, как принимать оптимальные решения в условиях неопределенности. Цель данной статьи – представить обзор существующих методов моделирования и оптимизации задач, подверженных неопределенности, ориентированный на исследователей, знакомых с энергосистемами и оптимизацией. Мы также рассматриваем некоторые важные приложения оптимизации в условиях неопределенности в энергосистемах и предлагаем перспективы будущих направлений исследований.

**Ключевые слова:** электроэнергетические системы, неопределенности, возобновляемой энергии, либерализация рынка, оптимизация.

Ключевым источником неопределенности при планировании гидроэнергетики является приток воды, который определяет текущую и будущую способность производить электроэнергию.

Учитывая, что приток воды имеет ярко выраженные сезонные закономерности, которые коррелируют с таянием снега и сезонами дождей, важно учитывать использование воды в годовом горизонте. В пределах этого горизонта реализованный приток воды, а также решения о том, сколько электроэнергии производить, могут обновляться на регулярной основе. Это, естественно, приводит к многоэтапным задачам стохастического программирования, наиболее распространенным алгоритмом которых является стохастическое двойное динамическое программирование (*SDDP*). Разработанный Перейрой в конце 1980-х годов [1], [2], *SDDP* стал общепринятой методологией для среднесрочного и долгосрочного планирования в гидротермальных системах для многих стран [4], [5]. В этих моделях гидротермального планирования ключевой вопрос, с которым сталкиваются планировщики, заключается в том, стоит ли «тратить» воду из водохранилища для выработки электроэнергии в текущий момент времени или же сохранить её на будущее. Двойные решения *SDDP* предоставляют очень полезную информацию о... Эти двойные решения так же полезны (*если не больше*), как и первичные решения, которые представляют целевой уровень накопленной энергии в гидрорезервуарах. *SDDP* недавно нашёл применение в других областях, включая торги на сутки вперёд для гидроаккумулирующих электростанций [3], оценку стоимости хранилищ природного газа [6], эксплуатацию молочных ферм [7], краткосрочное операционное планирование в энергосистемах [8], а также восстановление распределительных сетей [9]. Закупка энергии для крупного потребителя, расходы на электроэнергию которого составляют значительную часть его общих производственных затрат. Примерами таких потребителей являются компания по производству алюминия, корпорация по сжижению воздуха и электролитный завод. Этот крупный потребитель обеспокоен как стоимостью электроэнергии, так и ее изменчивостью. Стремясь к минимальной ожидаемой стоимости электроэнергии при ограниченной изменчивости затрат, потребитель получает электроэнергию из трех источников: путем заключения долгосрочных контрактов, покупки на сотовом рынке и собственного производства.

Долгосрочные контракты, которые может заключить потребитель для обеспечения своих потребностей в электроэнергии, включают в себя как форвардные контракты, так и опционы. Форвардный контракт позволяет потребителю покупать электроэнергию по фиксированной цене, тем самым устраняя волатильность цен. Опцион позволяет потребителю за определенную плату решить в будущем (*с меньшей неопределенностью*), использовать ли форвардный контракт для покупки электроэнергии. Спотовый рынок (*рынок на сутки вперед и рынок реального времени*) позволяет потребителю покупать электроэнергию, рискуя столкнуться с потенциальной волатильностью цен. Самостоятельное производство электроэнергии возможно, когда потребитель владеет генерирующей установкой, способной покрывать часть его потребления. Эта установка также может использоваться для торговли, то есть для продажи своей электроэнергии на сотовом рынке при достаточно высокой цене (*при условии удовлетворения спроса потребителя*).

Мы рассматриваем задачу закупки электроэнергии, которая включает три источника неопределенности: (*i*) цену электроэнергии на сотовом рынке (*как на сутки вперед, так и в режиме реального времени*), (*ii*) потребительский спрос и (*iii*) стоимость топлива для собственной установки. Неопределенность с ценой, как правило, значительно выше неопределенности, связанной как со спросом потребителей, так и со стоимостью топлива. Задача, с которой сталкивается потребитель в определенный период времени (*например, почасово в течение нескольких месяцев*), состоит в определении того, какие форвардные контракты или опционы подписать, и последующей стратегии закупки электроэнергии в случае возникновения этой неопределенности. Цель состоит в минимизации ожидаемой стоимости электроэнергии на протяжении всего периода закупок, контролируя ее изменчивость с помощью метрики риска. Описывая неопределенность через сценарии  $s$ , задачу закупок можно сформулировать как двухэтапную стохастическую. Ниже приведена задача программирования (*обратите внимание, что многоэтапные версии также могут быть легко сформулированы*):

$$\min \quad f^F(x) + \beta E_P f^S(y, z, \xi) + (1 - \beta) R_{\text{cost}} f^S(y, z, \xi) \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad h^F(x) = 0, \quad g^F(x) \leq 0, \quad (2)$$

$$h^S(y_s, z_s, \xi_s) = 0, \quad \forall s \in S, \quad (3)$$

$$g^S(y_s, z_s, \xi_s) \leq 0, \quad \forall s \in S. \quad (4)$$

Мы отмечаем, что время (*каждый час горизонта закупок, охватывающего, например, следующие три месяца*) неявно представлено в приведенной выше формуле. Переменный вектор  $x$  переменных первого этапа представляет собой решения по контрактам, охватывающие горизонт закупок, в то время как переменные векторы  $y_s$  и  $z_s$  являются решениями о сотовой торговле и

решениями о самостоятельном производстве, соответственно, для каждого сценария  $\xi_s$  и на протяжении горизонта закупок. В этой задаче стоимость первого этапа  $f F(x)$  является стоимостью контракта (*не подверженной неопределенности*), в то время как стоимость второго этапа  $f S(y_s, z_s)$  является стоимостью спотового рынка и стоимостью самостоятельного производства (*случайная величина*). Параметр  $\beta$  используется для управления компромиссом между ожидаемой стоимостью и риском потерь ( $0 \leq \beta \leq 1$ ). Уравнения (3) являются ограничениями по контрактам, в то время как (2), (4) являются ограничениями спроса и предложения (*и связанными с риском*). Для заданного  $\beta$ , взвешивающего ожидаемые затраты и изменчивость затрат, решение двухэтапной задачи стохастического программирования (1) обеспечивает оптимальную стратегию заключения контрактов  $x^*$ , оптимальное участие на спотовом рынке  $y_s^*$ ,  $s$  и оптимальное собственное производство  $z_s^*$ ,  $s$ .

Для дальнейшего изучения основополагающую работу по закупкам электроэнергии для крупных потребителей с контролем рисков [10]. Среди значительного числа соответствующих работ различных исследовательских сообществ, [11] исследует модели и анализы, аналогичные тем, что представлены в [10], но с использованием более широкого энергетического контекста и аналитической направленности. Наконец, [12] проводит практическое исследование с использованием многоэтапной модели стохастического программирования.

### **Заключение**

1) События с высоким уровнем воздействия и низкой вероятностью: В электроэнергетических системах появляется несколько новых факторов неопределенности. Значительная неопределенность связана с воздействием изменения климата на энергосистему. Соответственно, растет интерес к моделированию и смягчению последствий

экстремальных погодных явлений, таких как периоды сильной жары, холода, ураганы и повышенный риск лесных пожаров, как в процессе эксплуатации, так и при долгосрочном планировании. В то же время растущая зависимость от электроэнергии для транспорта, отопления и охлаждения также подразумевает, что последствия отключений электроэнергии и, следовательно, связанный с ними риск меняются, что стимулирует разработку моделей, интегрирующих технические аспекты с социальным контекстом, связанным с эксплуатацией энергосистемы. В качестве новых примеров можно привести модели, интегрирующие информацию о распоряжениях об эвакуации в случае ураганов или данные о риске лесных пожаров в модели экстренного реагирования. Точное моделирование последствий экстремальных погодных явлений также требует рассмотрения новых источников отключений по общему режиму (*например, волны холода, влияющие как на электроэнергетические, так и на газовые системы*), а также того, как моделировать (*и взвешивать*) последствия событий с высоким уровнем воздействия и малой вероятностью возникновения.

2) Взаимозависимые системы: В некоторых случаях риск может распространяться между электросетью и смежными системами, включая взаимодействие с системой природного газа, системами водоснабжения, киберфизическими уровнями системных операций, крупномасштабной зарядкой электромобилей и крупномасштабной вычислительной инфраструктурой. Необходимость охарактеризовать эту неопределенность и снизить связанные с ней риски, поддерживая при этом практически правдоподобные модели разумной сложности, представляет собой значительную проблему.

В некоторых ситуациях оптимизация в условиях неопределенности, которая по сути учитывает тот факт, что часть информации неизвестна, может предоставить важные инструменты для управления работой сопряженных систем с ограниченным обменом информацией.

С точки зрения структуры рынка, некоторые активы могут предоставлять услуги по повышению устойчивости всей системы к системному риску и, в крайнем случае, к потенциальным каскадным отказам. Интересно изучить, обеспечивают ли текущие рыночные продукты, например, вспомогательные услуги, достаточную компенсацию этим активам за их услуги, и если нет, необходимы ли новые рыночные продукты.

3) Ценообразование риска и неопределенности: Учет риска и неопределенности в работе системы, как правило, увеличивает номинальную стоимость эксплуатации. Более того, неблагоприятные проявления неопределенных параметров могут привести к очень высоким эксплуатационным расходам. Вопрос о том, как распределить эти возросшие расходы между участниками рынка, остается важным вопросом при проектировании энергетических рынков. Некоторые методы принятия решений в условиях неопределенности, например, робастная и распределительно робастная оптимизация, могут требовать сложных формулировок, что приводит к нелинейным задачам или добавлению вспомогательных целочисленных переменных. Это может

усложнить вывод эффективных и поддерживающих равновесие рыночных цен с использованием двойственных переменных и является важным направлением для дальнейших исследований.

## Литература

1. M. V. Pereira, "Optimal stochastic operations scheduling of large hydroelectric systems," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 11, no. 3, pp. 161–169, 1989.
2. M. V. F. Pereira and L. M. V. G. Pinto, "Multi-stage stochastic optimization applied to energy planning," *Mathematical Programming*, vol. 52, pp. 359–375, 1991.
3. N. Lo'ndorf, D. Wozabal, and S. Minner, "Optimizing trading decisions for hydro storage systems using approximate dual dynamic programming," *Operations Research*, vol. 61, no. 4, pp. 810–823, 2013.
4. R. J. Pinto, C. Borges, and M. E. P. Maceira, "An efficient parallel algorithm for large scale hydrothermal system operation planning," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, no. 4, pp. 4888–4896, 2013.
5. B. Flach, L. A. Barroso, and M. V. F. Pereira, "Long-term optimal allocation of hydro generation for a price-maker company in a competitive market: Latest developments and a stochastic dual dynamic programming approach," *IET Generation, Transmission and Distribution*, vol. 4, no. 2, pp. 299–314, 2010.
6. N. Lo'ndorf and D. Wozabal, "Gas storage valuation in incomplete markets," *European Journal of Operational Research*, vol. 288, no. 1, pp. 318–330, 2021.
7. O. Dowson, A. Philpott, A. Mason, and A. Downward, "A multi-stage stochastic optimization model of a pastoral dairy farm," *European Journal of Operational Research*, vol. 274, no. 3, pp. 1077–1089, 2019.
8. A. Papavasiliou, Y. Mou, L. Cambier, and D. Scieur, "Application of stochastic dual dynamic programming to the real-time dispatch of storage under renewable supply uncertainty," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 9, no. 2, pp. 547–558, 2018.
9. H. Yang and H. Nagarajan, "Optimal power flow in distribution networks under N-1 disruptions: A multistage stochastic programming approach," *INFORMS Journal on Computing*, vol. 34, no. 2, pp. 690–709, 2022.
10. M. Carrión, A. B. Philpott, A. J. Conejo, and J. M. Arroyo, "A stochastic programming approach to electric energy procurement for large consumers," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 22, no. 2, pp. 744–754, 2007.
11. N. Secomandi and S. Kekre, "Optimal energy procurement in spot and forward markets," *Manufacturing & Service Operations Management*, vol. 16, no. 2, pp. 270–282, 2014.
12. Q. Zhang, A. M. Bremen, I. E. Grossmann, and J. M. Pinto, "Long-term electricity procurement for large industrial consumers under uncertainty," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 57, no. 9, pp. 3333–3347, 2018.

### Xülasə

## QEYRİ-MÜƏYYƏNLİK ALTINDA ENERJİ SİSTEMLƏRİNİN OPTİMALLAŞDIRILMASI: METODLAR VƏ TƏTBİQLƏRƏ ÜMUMİ BAXIŞ

*Latipov Ş.Ş.*

Elektrik enerjisi sistemləri və onlarla qarşılıqlı əlaqədə olan şirkətlər və müştərilər bərpa olunan enerjinin istehsalı, bazarın liberallaşdırılması və iqlim dəyişikliyi kimi amillər səbəbindən artan qeyri-müəyyənlik səviyyələri ilə üzləşirlər. Bu, qeyri-müəyyənlik şəraitində optimal qərarların necə qəbul ediləcəyi ilə bağlı vacib sualı ortaya qoyur. Bu yazı qeyri-müəyyənlikdən təsirlənən problemlərin modelləşdirilməsi və optimallaşdırılması üçün mövcud metodların icmalını təqdim etmək məqsədi daşıyır, enerji sistemləri və optimallaşdırma ilə tanış olan tədqiqatçılara yönəlmişdir. Biz, həmçinin enerji sistemlərində qeyri-müəyyənlik şəraitində optimallaşdırmanın bəzi mühüm təbiiqlərini nəzərdən keçiririk və gələcək tədqiqat istiqamətlərinə baxış təqdim edirik.

**Açar sözlər.** Elektrik enerji sistemləri, qeyri-müəyyənliklər, bərpa olunan enerji, bazarın liberallaşdırılması, optimallaşdırılması.

### Summary

## OPTIMIZING POWER SYSTEMS UNDER UNCERTAINTY: AN OVERVIEW OF METHODS AND APPLICATIONS

*Latipov Sh.Sh.*

Electric power systems and the companies and customers that interact with them are experiencing increasing levels of uncertainty due to factors such as renewable energy generation, market liberalization, and climate change. This raises the important question of how to make optimal decisions under uncertainty. This paper aims to provide an overview of existing methods for modeling and optimization of problems affected by uncertainty, targeted at researchers with a familiarity with power systems and optimization. We also review some important applications of optimization under uncertainty in power systems and provide an outlook to future directions of research.

**Keywords.** Electric power systems, uncertainties, renewable energy, market liberalization, optimization.

# ALÇAQ MEXANİKİ TEZLİKLİ RƏQSLƏRİN ALINMASI ÜSULLARI

**Rəsulzadə Mehrab Şəmşir oğlu**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[mehrabresulzade059@gmail.com](mailto:mehrabresulzade059@gmail.com)

**Xülasə** Məqalədə elektrik siqnal gücləndiricilərinin və mexaniki rəqslərin öyrənilməsi sahəsindəki yanaşmalar müqayisə olunur. Ənənəvi üsulların sadəliyinə baxmayaraq, ölçmələrin dəqiqliyinin aşağı olduğu və məlumatların əl ilə toplanmasının əlavə vaxt və resurs tələb etdiyi vurğulanır. Müasir metodlar isə sensorlarla təchiz edilmiş avadanlıqlar vasitəsilə dəqiq və avtomatlaşdırılmış ölçmələrə imkan yaratsa da, bahalılığı və istifadəçinin prosesə nəzarət edə bilməməsi mənfə cəhətlər kimi qeyd olunur.

Mexaniki rəqslərin tezliyi və amplitudasının tənzimlənməsi, elektromaqnitlərin gərginliyi, cərəyanı, maqnit qüvvəsi və digər parametrlərin dəyişdirilməsi yolu ilə həyata keçirilə bilər. Vibrasiya qurğularında rezonansa uyğunlaşmaq üçün isə yayların xüsusiyyətləri, sistemin kütləsi və uzunluğu kimi parametrlər dəyişdirilə bilər. Məqalədə həmçinin elektromaqnit nüvəsinin xüsusi poladdan hazırlanmasının və bu zaman yaranan səth effekti fenomeninin nəzərə alınmasının mühüm olduğu göstərilir. Bu yanaşma, cihazın güc və tezlik diapazonunda sabit işləməsinə təmin etmək üçün əlavə nəzəri təhlillərin və hesablamaların aparılmasını zəruri edir.

**Açar sözlər:** elektrik siqnalları, mexaniki rəqslər, vibrasiya qurğusu, elektromaqnit nüvəsi, səth effekti

Elektrik siqnal gücləndiriciləri elmin və texnologiyanın müxtəlif sahələrində geniş şəkildə istifadə olunur. Bu geniş istifadənin səbəbi, müxtəlif fiziki kəmiyyətlərin çevrilməsi zamanı alınan zəif elektrik siqnallarının uyğun icra qurğularının normal işləməsinə təmin edəcək səviyyəyə qədər gücləndirilməsinə olan ehtiyacdır [1].

Mexaniki rəqslərin öyrənilməsi yenilik deyil və müasir fizikanın başlanğıcından ən sadə üsullarla həyata keçirilir. Lakin belə tədqiqatların aparılma üsulları müşahidə və məlumatların toplanması üçün yeni avadanlıqların inkişafına uyğun olaraq davamlı olaraq dəyişir. Klassik üsullar zaman ölçmək üçün saat, məsafə ölçmək üçün xətkəş və kütlə ölçmək üçün tərəzi kimi ən sadə alətlərdən istifadəni nəzərdə tutur. Bu üsul fiziki hadisələrin və ölçmə prinsiplərinin daha yaxşı müşahidə və başa düşülməsinə imkan yaradır, lakin ölçmələrin dəqiqliyi aşağıdır. Digər bir çatışmazlıq isə məlumatların əl ilə toplanması və rəqəmsal təhlil üçün kompüterə daxil edilməsinin tələb olunmasıdır.

Müasir üsullar isə müxtəlif növ sensorlardan ibarət olan mürəkkəb avadanlıqların istifadəsinə əsaslanır. Bu avadanlıqlar bir giriş və bir çıxışı olan bir növ “qara qutu” kimi qəbul edilə bilər. İstifadəçi təcrübəni başladır, avadanlıq məlumatları toplayır və emal edir və fiziki hadisələrin parametrlərini birbaşa çıxışında təqdim edir. İstifadəçi məlumatların necə toplandığını və emal edildiyini görə bilmir. Bu, böyük bir çatışmazlıqdır. Digər tərəfdən, belə avadanlıqlar bahalıdır və xüsusilə kasıb bölgələrdəki bütün təhsil icmaları üçün əlçatan deyil.

Mexaniki rəqslərin tezliyi və amplitudası aşağıdakı üsullarla tənzimlənə bilər [2]:

1. Elektromaqnitlərin sarğılarına verilən gərginliyin avtotransformator vasitəsilə tənzimlənməsi.
2. Elektromaqnitdə cərəyan şiddətinin aktiv müqavimətin azaldılması ilə dəyişdirilməsi.
3. Armatür və nüvə arasındakı hava boşluğunun tənzimlənməsi ilə elektromaqnitin dartılma qüvvəsinin dəyişdirilməsi.
4. Sarğılardakı dövrələrin sayının dəyişdirilməsi ilə maqnit axınının artırılması.
5. Kondensatorun tutumunun dəyişdirilməsi ilə faza bucağının tənzimlənməsi.

Vibrasiya söndürmə qurğusunun rezonansa uyğunlaşdırılması aşağıdakı hissə və sistem parametrlərinin dəyişdirilməsi ilə həyata keçirilə bilər:

1. Yayların kəsik sahələrinin ətalət momentləri.
2. Ötürücünün işçi uzunluğu.
3. Sisteminin kütləsi və ya ümumi ətalət momenti.
4. Yayların işlək halqalarının sayı.

Bundan əlavə, tezlik diapazonunun genişləndirilməsi və sistemin stabil işləməsinin təmin edilməsi üçün elektromaqnit nüvəsinin xüsusi poladdan hazırlanmasının daha məqsədəuyğun olduğu müəyyən edilmişdir [3].

Üçfazlı, ikivuruşlu vibrasiya qurğuları adətən “III” formasında düzülmüş üç birfazlı sarğının birləşməsindən ibarət olur. Hər bir çubuqda bir sarğı yerləşdirilir və onlar müəyyən bir sxem üzrə birləşdirilərək üçfazlı enerji şəbəkəsinə qoşulur. Bu qurğuda çubuqlar eyni müstəvidə yerləşdirilir və onun maqnit dövrəsi maqnit asimetriyasına malikdir.

Xüsusi polad lövhələrin elektromaqnit nüvəsi üçün istifadə edilməsi nəticəsində səth effekti fenomeninin yarandığı yaxşı məlumdur. Bu effekt, cihazın tələb olunan güc və tezlik diapazonunda etibarlı

işləməsinə təmin etmək üçün iki vuruşlu UEMVQ-ların parametrlərinin hesablanması üçün əlavə nəzəri təhlillərin aparılmasını və müasir metodların tətbiqini zəruri edir [4].

### **Nəticə**

Aparılan araşdırma göstərir ki, elektrik signal gücləndiriciləri və mexaniki rəqslərin öyrənilməsi sahəsində həm klassik, həm də müasir yanaşmaların üstünlükləri və çatışmazlıqları mövcuddur. Klassik metodlar fiziki hadisələrin mahiyyətini anlamaqda faydalı olsa da, müasir sensor əsaslı avadanlıqlar ölçmə dəqiqliyi və emal sürəti baxımından daha səmərəlidir. Bununla belə, müasir qurğuların yüksək qiyməti və qeyri-şəffaf işləmə prinsipləri onların geniş istifadəsini məhdudlaşdırma bilər. Mexaniki sistemlərin rezonansa uyğunlaşdırılması və vibrasiya proseslərinin idarə olunması üçün elektromaqnitin və sistemin struktur parametrlərinin düzgün seçilməsi olduqca vacibdir. Elektromaqnit nüvəsinin xüsusi poladdan hazırlanması və səth effekti fenomeninin nəzərə alınması cihazın effektiv və stabil işləməsinə mühüm töhfə verir. Bu nəticələr, həm tədris, həm də tətbiqi mühəndislik sahələrində praktik həllərin işlənilməsinə hazırlanması üçün əhəmiyyətlidir.

### **Ədəbiyyat**

1. Məmmədov F.İ., Hüseynov R.A., Yusifov R.A. Elektromaqnit vibrasiya qurğusunun nüvə materialının seçilmə meyarları. // Sumqayıt, SDU, Elmi Xəbərlər, 2008, №1, s. 86-88.
2. Məmmədov F.İ., Hüseynov R.A., Yusifov R.A. Aşağı mexaniki tezlikdə işləyən üçfazlı vibrasiya qurğusunun dartı qüvvəsinin hesablanması. // Energetika Problemləri, 2008, №4, s. 83-87.
3. Məmmədov F.İ., Hüseynov R.A., Yusifov R.A. Aşağı tezlikli üçfazlı vibrasiya qurğusunun elektromaqnit sisteminin təhlili. // Suvarma-energetika kompleksində elmi-texniki tərəqqi, Kiyev, Energetika Xəbərləri, 2008, №11, s. 28-32.
4. Rəsulov F.R., Əhmədova A.Ş., Yusifov R.A. İki vuruşlu vibrasiya zərbə qurğusu vasitəsilə neft tullantılarının emala hazırlanması. // Kimya üzrə Beynəlxalq İlə həsr olunmuş Respublika Elmi Konfransı, Sumqayıt, 29-30 iyun 2011, s. 197-199.

### **Summary**

#### **METHODS OF RECEIVING LOW-FREQUENCY OSCILLATION**

*Rasulzadeh M.Sh.*

The article compares classical and modern approaches to studying electric signal amplifiers and mechanical vibrations. While traditional methods are simple but less precise, modern techniques provide high accuracy and automation but can be expensive and lack transparency in data processing. The paper outlines ways to adjust vibration frequency and amplitude by changing parameters like electromagnetic voltage, air gap, and spring characteristics. It also highlights the importance of using special steel for the electromagnet core and considering the surface effect in performance calculations.

**Keywords:** electric signals, mechanical vibrations, vibration device, electromagnet core, surface effect

### **Резюме**

#### **МЕТОДЫ ПРИЕМА НИЗКОЧАСТОТНЫХ КАЛИБАНИЙ**

*Расулзаде М.Ш.*

В статье проводится сравнение классических и современных методов изучения электрических усилителей сигнала и механических колебаний. Традиционные методы просты, но менее точны, тогда как современные технологии обеспечивают высокую точность и автоматизацию, но зачастую являются дорогостоящими и непрозрачными в процессе измерения. Рассматриваются способы регулирования частоты и амплитуды колебаний за счёт изменения параметров электромагнита и системы. Особое внимание уделяется важности использования специальной стали для сердечника электромагнита и учёта поверхностного эффекта при расчётах.

**Ключевые слова:** электрические сигналы, механические колебания, вибрационное устройство, сердечник электромагнита, поверхностный эффект

## **ELEKTRİK TƏCHİZATI SİSTEMİNİN ETİBARLILIQ GÖSTƏRİCİLƏRİNİN MÜƏYYƏN EDİLMƏSİ METODİKASININ İŞLƏNMƏSİ**

**Cəfərxanov Əlican Coşqun oğlu**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[alican.cf@gmail.com](mailto:alican.cf@gmail.com)

Enerji təchizatı sistemlərinin etibarlılığı istehlakçıların fasiləsiz və sabit işləməsi üçün əsas şərtidir, buna görə məqalədə etibarlılıq göstəricilərinin hesablanması üçün addım-addım metodologiya (F və q) təqdim olunur. Güc axını paylama matrisi əsasında mümkün fəvqəladə hallar seçilir, asinxron mühərriklər üçün kritik gərginlik parametrləri müəyyən edilir və qəzadan sonrakı rejimlər sabit və keçid prosesləri ilə qiymətləndirilir. Etibarlılıq göstəriciləri elementlərin nasazlığı və müvafiq düsturlara uyğun olaraq

məcburi kəsilmələr nəzərə alınmaqla hesablanır. Analizin nəticələrinə əsasən paralel elementlərin əlavə edilməsi, Təcili avtomatlaşdırmanın təkmilləşdirilməsi, aktiv və reaktiv güc ehtiyatının artırılması və qoruyucu cihazların modernləşdirilməsi daxil olmaqla etibarlılığın artırılması üçün texniki tədbirlər müəyyən edilir

**Açar sözlər:** elektrik təchizati, etibarlılıq, nasazlıq, nasazlıq ehtimalı.

Elektrik təchizati sistemlərinin etibarlılığı sənaye və məişət elektrik qəbuledicilərinin dayanıqlı və fasiləsiz işləməsinin əsas şərtlərindən biridir. Müasir enerji sistemlərində elementlərin müxtəlif xarakterli nasazlıqları, qısaqapanmalar, operativ kommutasiya işləri və qəza sonrası gərginlik azalması istehlakçıların iş qabiliyyətinin pozulmasına gətirib çıxara bilər. Buna görə də etibarlılıq göstəricilərinin düzgün müəyyən edilməsi və onların artırılması üçün metodik yanaşmanın işlənməsi xüsusi əhəmiyyət daşıyır.

Bu məqalədə elektrik təchizati sisteminin etibarlılıq göstəricilərinin müəyyən edilməsi üçün mərhələli metodika təqdim olunur, hesablamalarda istifadə edilən əsas düsturlar izah edilir və etibarlılığın artırılması istiqamətləri göstərilir.

Etibarlılıq göstəricilərinin hesablanması ilk mərhələsi enerji sistemində yaranması mümkün olan vəziyyətlərin təhlili və onların təsnifatıdır. Güc axınının paylanması matrisindən istifadə etməklə əsas və əlavə kəsilmələr müəyyən edilir. Bununla, uzadılmış və birmənalı şəkildə güc itkisinə səbəb olan vəziyyətlər ümumi çoxluqdan çıxarılır.

Növbəti mərhələdə elektrik qəbuledicilər üçün gərginlik düşümünün kritik parametrləri müəyyən edilir. Asinxron mühərriklər üçün bunlara aşağıdakılar daxildir:

- kritik gərginlik,
- kritik müddət,
- minimal buraxılış gərginliyi.

Bu parametrlər qəza rejimlərində qəbuledicinin iş qabiliyyətinin itirilməsi üçün əsas meyar rolunu oynayır.

Qəza sonrası rejimlərin axtarışı güc axınının paylanması matrisindən və başlanğıc rejimdə gərginlik düşümü qiymətlərindən istifadə etməklə həyata keçirilir. Bu məqsədlə elementlərin, qovşaqların və kommutasiya zonalarının ayrılması nəticəsində formalaşan mümkün vəziyyətlər seçilir və onların hər biri üçün sabit rejim hesablanır.

Hesablamaların nəticəsinə görə qəza sonrası vəziyyətlər iki qrupa ayrılır:

1. Gərginlik kritik qiymətdən aşağıdır – elektrik qəbuledicilərin işləməsi mümkün deyil; vəziyyət güc itkisi kimi qəbul edilir.
2. Gərginlik kritikdən yuxarı, lakin minimal buraxılış gərginliyindən aşağıdır – iş qabiliyyəti əvvəlki qəza rejimindən asılıdır. Bu vəziyyətlər üçün keçid rejimlərinin ayrıca hesablanması tələb olunur.

Keçid prosesləri zamanı qısaqapanmanın təsiri fərqli olduğundan, əvvəlcə ən ağır qəzalar, sonra iki fazalı və torpağa iki fazalı qısaqapanmalar nəzərdən keçirilir.

Elektrik təchizati sisteminin etibarlılıq göstəriciləri – nasazlıqların sayı ( $\lambda$ ) və nasazlıq ehtimalı ( $q$ )– ayrı-ayrı elementlər və strukturlar üçün aşağıdakı düsturlarla müəyyən edilir.

$$\lambda = \lambda_i; q = \lambda_i t$$

Elementin sıradan çıxması zamanı:

$$\lambda = \lambda_i + \sum_{l=1}^s (\lambda_k)_l;$$

$$q = \lambda_i t_s + t_n \sum_{l=1}^s (\lambda_k)_l.$$

Əgər element digər elementin nasazlığı səbəbindən məcburi ayrılırsa:

$$\lambda = K_{OTH} \lambda_i; q = \lambda t_{III},$$

burada,

Verilən düsturlarda  $i$  indeksləri birbaşa nəzərdən keçirilən elementi,  $k$  isə nasazlığı həmin elementin məcburi dayanmasına səbəb olan elementi ifadə edir.  $s$  - belə elementlərin siyahısının ölçüsü,  $l$  isə bu siyahıda elementin sıra nömrəsidir. Element sıradan çıxdıqda, o öz iş qabiliyyətini bərpa müddəti  $t_b$  ərzində itirir; məcburi dayanma zamanı isə element operativ kommutasiya müddəti  $t_p$  qədər işləmədən qalır.

Planlı açılımlar isə elə şəkildə həyata keçirilir ki, elektrik təchizatının tam dayanmasına və ya yük şinalarında gərginliyin normadan artıq azalmasına səbəb olmasın. Buna görə də tək ayrılımların etibarlılıq hesablamalarında ayrıca nəzərə alınmasına ehtiyac yoxdur.

Hesablamaların nəticələrinə əsasən etibarlılığın yaxşılaşdırılması üçün aşağıdakı istiqamətlər seçilə bilər:

- paralel elementlərin əlavə edilməsi, rezerv qida mənbələrinin quraşdırılması, optimal təmir qrafiklərinin tərtibi ilə əsas açılımların etibarlılığının artırılması;
- qəza avtomatikasının təkmilləşdirilməsi, operativ kommutasiya müddətinin azaldılması ilə əlavə açılımların etibarlılığının artırılması;
- aktiv və reaktiv güc ehtiyatının artırılması, reaktiv güc kompensatorlarının quraşdırılması, enerji yığıma qurğuları və UPS-dən istifadə ilə qəza sonrası rejimdə etibarlılığın artırılması;
- rele mühafizəsi və açarların yenilənməsi, EAQ və ATQ qurğularının işinin sürətləndirilməsi, lazımsız mexanizmlərin qısa müddətlik açılması ilə keçid proseslərində etibarlılığın artırılması.

Elektrik təchizatı sistemlərinin etibarlılıq göstəricilərinin düzgün müəyyən edilməsi, enerji obyektlərinin planlaşdırılması, istismarı və qorunması üçün əsas şərtlərdən biridir. Məqalədə təqdim olunan metodika vəziyyətlərin ardıcıl seçilməsi, sabit və keçid rejimlərinin modelləşdirilməsi, habelə kəsimlərin nasazlıq göstəricilərinin hesablanması prinsiplərini özündə birləşdirir. Etibarlılığın artırılması üzrə tədbirlər isə aparılmış hesablamaların nəticələrinə əsaslanaraq texniki-iqtisadi cəhətdən qiymətləndirilməlidir.

## Ədəbiyyat

1. Guliyev H., Huseynov R., Yusifov R. Research of the Electromagnetical Part of Three-Phase Electromagnetic Vibrator of Low Frequency Vibrations. Advances in Science and Technology Submitted: ISSN: 1662-0356, Vol. 148, pp 187-195, doi:10.4028/p-oQWx7n © 2024 Trans Tech Publications Ltd, Switzerland.
2. Фокин Ю.А., Файницкий О.В., Алиев Р.С., Деметьев Ю.А. Эксплуатационная оценка надежности объектов электроэнергетических систем. // в сб. Надежность систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы. Н.: Наука, СО РАН, 1998.

### Summary

#### DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR DETERMINING THE RELIABILITY INDICES OF THE POWER SUPPLY SYSTEM

*Jafarxanov A.J.*

Since the reliability of power supply systems is a key condition for the continuous and stable operation of consumers, the article presents a step-by-step methodology for calculating reliability indices ( $\lambda$  and  $q$ ). Using the power-flow distribution matrix, possible fault conditions are identified, critical voltage parameters for induction motors are determined, and post-fault operating modes are evaluated in both steady-state and transient conditions. Reliability indices are calculated using formulas that account for element failures and forced outages. Based on the results, technical measures for improving reliability are proposed, including the addition of parallel elements, enhancement of emergency automation, increasing active and reactive power reserves, and modernization of protection devices.

**Keywords:** power supply, reliability, failure, failure probability

### Резюме

#### РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

*Джафарханов А.Д.*

Надёжность систем электроснабжения является основным условием бесперебойной и стабильной работы потребителей, поэтому в статье представлена поэтапная методика расчёта показателей надёжности ( $\lambda$  и  $q$ ). На основе матрицы распределения потоков мощности отбираются возможные аварийные состояния, определяются критические параметры напряжения для асинхронных двигателей, а послеаварийные режимы оцениваются по устойчивым и переходным процессам. Показатели надёжности рассчитываются с учётом отказов элементов и вынужденных отключений по соответствующим формулам. По результатам анализа определяются технические меры по повышению надёжности, включая добавление параллельных элементов, совершенствование аварийной автоматики, увеличение запаса активной и реактивной мощности и модернизацию защитных устройств.

**Ключевые слова:** электроснабжение, надёжность, отказ, вероятность отказа.

# ELEKTRİK ŞƏBƏKƏSİNDƏ GÜC KABELLƏRİNİN MÜHAFİZƏSİ

*Əlizadə C.E*

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*  
[alizadecosgun35@gmail.com](mailto:alizadecosgun35@gmail.com)

**Xülasə.** Elektrik şəbəkələrinin əsas elementi olan güc kabellərinin istismar göstəricilərinin yaxşılaşdırılması və etibarlılığın artırılması məsələsi araşdırılır. Güc kabellərinin xüsusiyyətləri, onların mexaniki və elektrik mühafizəsi üsulları – o cümlədən zirehli kabellər, kabel kanalları, avtomatik açıcılar və torpaqlama sistemləri izah edilir. Məqsəd – kabellərin zədələnməsinin və nasazlığının qarşısını almaq, təhlükəsizlik və dayanıqlılığını təmin etməkdir.

**Açar sözlər:** elektrik şəbəkəsi, kabel mühafizəsi, avtomatik açıcılar, diferensial avtomatlar, torpaqlama sistemi, izolyasiya materialları, etibarlılıq.

Elektrik şəbəkələrinin işini təmin edən güc kabellərinin istismar göstəricilərinin yaxşılaşdırılması və etibarlılığın artırılması müasir dövrümüzün aktual məsələlərindəndir. Elektrik şəbəkəsi elektrik stansiyalarını işlədicilərlə birləşdirən *elektrikötürmə xətlərindən*, yardımçı stansiyalardan və s. qurğulardan ibarət kompleksdir. Elektrik şəbəkəsi bir sıra əlamətlərə görə təsnif olunur. Əhatə etdiyi əraziyə görə yerli elektrik şəbəkəsi və energetika sistemli elektrik şəbəkəsi, işlədicilərin xarakterinə görə isə şəhər, sənaye, kənd və darta elektrik şəbəkəsi olur. Elektrik ötürmə xətlərinin konstruksiyasına görə hava və kabel elektrik şəbəkəsi var. Elektrik birləşməsi sxeminə görə açıq və qapalı şəbəkələr, təyinatına görə paylayıcı və qidalandırıcı şəbəkələr, cərəyan və gərginliyin növünə görə sabit və ya dəyişən cərəyanlı, alçaq və yüksək gərginlikli elektrik şəbəkələri var.[1]

Güc kabelləri elektrik enerjisinin mənbədən istehlakçılara ötürülməsi və paylanması üçün istifadə olunan izolyasiyalı kabellərdir. Onlar yüksək gərginlik, cərəyan gücü və mexaniki yüklənməyə davamlı olmaq üçün xüsusi materiallardan hazırlanır. Yüksək temperatur, kimyəvi təsirlər, su və mexaniki yüklənmələrə qarşı dayanıqlı olmalıdır. Kabelin etibarlılığını artırmaq üçün keyfiyyətli materiallardan istifadə edilməli, düzgün layihələndirilməli və texniki xidmət göstərilməlidir. [2]

Kabellərin zədələnməsinin və ya nasazlığının qarşısını almaq üçün onların düzgün şəkildə mühafizə olunması zəruridir. Mühafizə həm mexaniki, həm də elektriki baxımdan həyata keçirilir.[3] Mexaniki mühafizə zamanı kabellər metal və ya plastik borular (PVC, çuğun, polad) içərisində çəkilir. Bu üsul kabelləri fiziki təsirlərdən qoruyur.[4]

Kabel kanalları yəni kabel yolları xüsusilə sənaye obyektlərində istifadə olunur, kabelin səliqəli və təhlükəsiz şəkildə yerləşdirilməsini təmin edir.

Zirehli və armaturlu kabellər, xarici hissəsi metal örtüklə gücləndirilmiş kabellərdir. Torpaqaltı və ya sərt mühitlər üçün uygundur.[5]

Torpaqaltı kabellər üçün xüsusi qoruyucu lentlər və lövhələrdən istifadə olunur. Torpağa basdırılmış kabellərin üzərinə xəbərdar edici lent və beton lövhə qoyulur ki, təsadüfi qazıntılardan qorunsun.

Elektriki mühafizəsi zamanı avtomatik açıcılar yəni avtomatlar qısaqapanma və yüksək cərəyan halında dövrəni avtomatik şəkildə kəsərək kabelin zədələnməsinin qarşısını alır.[6]

Diferensial avtomatlar sızma cərəyanlarını aşkarlayaraq təhlükəli vəziyyət yaranmadan dövrəni kəsir. Kabel və avadanlıqların düzgün torpaqlanmasının, elektrik şoklarını və nasazlıqlarının qarşısını almaq üçün torpaqlama sistemindən istifadə olunur.

Yüksək keyfiyyətli izolyasiya materialları ətraf mühitin mühafizəsini, istilik, nəmişlik və kimyəvi maddələrə qarşı qorunmanı təmin edir. Havanın sirkulyasiyasına, istiliyin yayılmasına kömək məqsədilə kabellərin havalandırılmış kanalarda çəkilməsi məqsədə uyğundur.[7]

## Ədəbiyyat

1. <http://ensiklopediya.gov.az/az/terms/17499/cild/19>
2. C.Əlizadə, "Aqressiv şəraitdə istismar olunan güc kabellərinin etibarlılığı" 15.05.2025
3. J. Smith, "Electrical Power Cable Protection," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 33, no. 4, pp. 2021–2029, 2020.
4. M. K. Aliyev, "Kabel sistemlərinin təhlükəsizlik prinsipləri," Azərbaycan Texniki Universitetinin Elmi Əsərləri, №2, 2019, səh. 55–60.
5. R. Gupta, "Underground Cable Protection Techniques," International Journal of Electrical Engineering, vol. 7, no. 3, pp. 145–152, 2018.
6. G. Brown, "Short-Circuit Protection Devices in Power Systems," Journal of Electrical Systems, vol. 12, no. 1, pp. 35–42, 2019.

7.L. Chen, "Differential Protection in Modern Power Networks," Energy and Power Engineering, vol. 9, no. 2, pp. 89–97, 2020.

**Summary**  
**PROTECTION OF POWER CABLES IN ELECTRICAL NETWORKS**  
*Alizade J. E.*

This thesis investigates the improvement of operational performance and the enhancement of reliability of power cables, which are a key component of electrical networks. The characteristics of power cables and their mechanical and electrical protection methods – including armored cables, cable ducts, automatic circuit breakers, and grounding systems – are explained. The main objective is to prevent cable damage and faults, ensuring safety and durability.

**Keywords:** electrical network, cable protection, automatic circuit breakers, residual current devices, grounding system, insulation materials, reliability.

**Резюме**  
**ЗАЩИТА СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**  
*Ализаде Дж. Э.*

В данной работе рассматривается вопрос повышения эксплуатационных показателей и надёжности силовых кабелей, являющихся основным элементом электрических сетей. Описываются характеристики силовых кабелей, а также методы их механической и электрической защиты — включая бронированные кабели, кабельные каналы, автоматические выключатели и системы заземления. Основная цель — предотвращение повреждений и неисправностей кабелей, обеспечение безопасности и долговечности.

**Ключевые слова:** электрическая сеть, защита кабелей, автоматические выключатели, дифференциальные автоматы, система заземления, изоляционные материалы, надёжность.

**PAYLAYICI ELEKTRİK ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ AKTİV İSTEHLAKÇI**

**Qasımzadə Abbas Rasim**  
*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan*  
[qasimzadeabbas6634@gmail.com](mailto:qasimzadeabbas6634@gmail.com)

Təqdim olunan məqalədə, aktiv istehlakçı anlayışı və onun enerji sektoruna və iqtisadiyata təsiri araşdırılır. Aktiv istehlakçı konsepsiyası davamlı istehlak və enerjinin idarə edilməsi metodlarına əsaslanır və həm fərdi seçimləri, həm də sosial və ekoloji sistemləri nəzərə alır. Müasir iqtisadiyyatın mürəkkəbliyi və ekoloji risklərin artması istehlakçı davranışının yeni yanaşmalardan istifadə etməklə qiymətləndirilməsini tələb edir. Eyni zamanda, ekoloji dayanıqlığın artırılması və rəqəmsal həllərin istifadəsi üçün tövsiyələr verilir.

**Açar sözlər:** aktiv istehlakçı, enerji sektoru, enerji səmərəliliyi, ekoloji dayanıqlılıq, iqtisadi təsirlər

Aktiv istehlakçı diqqətini resurslardan səmərəli istifadəyə, etik istehsala, davamlı inkişafa və sosial məsuliyyətə yönəldir. Bu yanaşma şəxsi rifahı artırmaqla yanaşı, iqtisadi və ekoloji dayanıqlığın təmin edilməsinə yönəlib. Aktiv istehlakçılar yalnız məhsul və xidmətlərə tələbat yaratmır, həm də istehsal və təchizat zəncirlərinin qurulmasına, siyasətin işlənilib hazırlanmasına və ekoloji problemlərin həllinə təsir göstərir.

İstehlakçılar artıq passiv bazar iştirakçıları deyil, qlobal istehsal və ticarət şəbəkələrinə təsir edən aktiv qərar qəbul edənlərdir. Onların enerji səmərəliliyinə və ekoloji məsuliyyətə yönəlmiş seçimləri bazar dinamikasını və dövlət siyasətini dəyişən mühüm amillərdən biridir. İstehlakçılar davamlılıq prinsiplərinə əsaslanan məhsul və xidmətləri seçərək müəssisələri daha məsuliyyətli hərəkət etməyə təşviq edirlər. Bu tendensiyanı nəzərə alaraq, hökumətlər və beynəlxalq təşkilatlar istehlakçıların qərarlarının bazara təsirini artırmaq üçün müxtəlif stimullaşdırıcı mexanizmlər tətbiq edirlər.

Müasir enerjide innovativ həllərin tətbiqini sürətləndirən və davamlı inkişafın həyata keçirilməsində mühüm rol oynayan əsas amillər aktiv istehlakçılardır. Bu istehlakçılar enerji səmərəliliyini artırmaq və bərpa olunan enerji mənbələrindən daha geniş istifadə etmək üçün fəaliyyət göstərir, nəticədə həm şəxsi, həm də ümumi enerji səmərəliliyinə müsbət təsir göstərirlər. Onların fəaliyyəti yalnız texnoloji yanaşmalarla məhdudlaşmır, həm də iqtisadi aspektləri nəzərə alaraq enerji bazarlarında dəyişikliklərə gətirib çıxarır.

Enerji səmərəliliyi konsepsiyası istifadə olunan hər bir enerji vahidindən maksimum mümkün fayda əldə etməyə yönəlmişdir. Aktiv istehlakçılar qeyd edilən məqsədlərə nail olmaq üçün müxtəlif strategiyalardan faydalanırlar:

– İnvestisiyaların və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadənin genişləndirilməsi istiqamətində günəş panellərinin, külək turbinlərinin və bioyanacaq texnologiyalarının tətbiqi və fərdi enerji istehsalının artırılması;

– Ağıllı enerji idarəetmə sistemlərinin tətbiqinin genişləndirilməsi və təkmilləşdirilməsi üzrə enerji istehlakını optimallaşdıran IoT (Əşyaların İnterneti) cihazlarından və avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərindən istifadə edilməsi;

– Yüksək enerji səmərəlilik göstəricilərinə malik olan cihazlara keçid və ya “A+++” enerji istehlakı sinfinə aid məişət və sənaye avadanlıqlarının geniş tətbiqi;

– Enerji istehlakının rəqəmsallaşdırılması və optimallaşdırılması istiqamətində enerji idarəetmə platformalarından, enerji bazarında dinamik tarif modellərindən və fərdi istehlak məlumatlarının təhlili əsasında həllərdən istifadəsi.

Aktiv istehlakçılar bu kimi yanaşmalar sayəsində enerji tələbatını azaldır və davamlı istehlak vərdişlərinin formalaşmasına fayda verirlər. Digər tərəfdən, onların enerji səmərəliliyi sahəsində fəaliyyəti təkcə şəxsi qənaətlə məhdudlaşmır, həm də ümumi iqtisadi və texnoloji proseslərə əhəmiyyətli müsbət təsir göstərir.

Belə ki,

1. Yüksək enerji səmərəli avadanlıqlara keçid və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə etməklə enerji xərclərinə 35%-ə qədər qənaət mümkündür. Enerji xərclərinin azaldılmasına nail olmaq üçün,;

2. Elektrik şəbəkələrində yükün azaldılması – elektrik təchizatı sistemlərindəki pik yükləri fərdi istehsal sistemləri və intellektual idarəetmədən istifadə etməklə optimallaşdırmaq olar;

3. Enerji təhlükəsizliyinin artırılması – yerli istehsal olunan bərpa olunan enerjinin payını artırmaqla enerji idxalına ehtiyac azaldıla bilər;

4. Azaldılmış karbon emissiyaları – beynəlxalq tədqiqatlar göstərir ki, bərpa olunan enerji mənbələrindən geniş istifadə atmosferə karbon emissiyalarını 40%-ə qədər azalda bilər.

Aktiv istehlakçılar enerji sektorunda davamlı və müsbət inkişafın təmin edilməsində əsas rol oynayırlar. Bu istiqamətdə inkişafı sürətləndirmək üçün bir sıra mühüm addımların atılması məqsəddə uyğun hesab edilir. Bunlardan:

– Tənzimləyici stimulların tətbiqi – enerjiyə qənaət edən cihazlara və bərpa olunan enerji mənbələrinə keçidi təşviq edən subsidiyalar və vergi güzəştləri;

– İctimai məlumatlılığın artırılması – enerji səmərəliliyi və ekoloji məsuliyyət haqqında məlumatlılığın artırılması üçün genişmiqyaslı təhsil və maarifləndirmə proqramlarının həyata keçirilməsi;

– Texnoloji innovasiyaların təşviqi – Smart Grid sistemlərinin və süni intellektə əsaslanan enerji idarəetmə həllərinin genişləndirilməsi;

– Dövlət-özəl əməkdaşlığın gücləndirilməsi – enerji səmərəliliyi və bərpa olunan enerji texnologiyalarının inkişaf etdirmək üçün dövlət-özəl əməkdaşlıq mexanizmlərinin yaradılması.

Bu tədbirlərin həyata keçirilməsi enerji sektorunda səmərəliliyi artıracaq, ətraf mühitə təsirləri minimuma endirəcək və global dayanıqlı inkişaf məqsədlərinə nail olmağa töhfə verəcək.

Aktiv istehlakçı konsepsiyasının istənilən ölkədə tətbiqi, ekoloji dayanıqlığın artırılması, yerli enerji iqtisadiyyatının gücləndirilməsi və innovativ texnologiyaların təşviqi kimi müxtəlif makro və mikro iqtisadi təsirləri əks etdirən müasir modelə əsaslanır. Enerji səmərəliliyi və effektivliyi faydaları, Bərpa olunan enerji mənbələrinin genişmiqyaslı tətbiqinin və gələcək inkişaf perspektivlərinin potensial risklərinin dərin təhlili müvafiq strateji addımları özündə əks etdirir. Burada, Aktiv istehlakçı funksiyalarının şamil edildiyi subyektdən enerji təhlükəsizliyi prinsiplərinə qədər müşahidə edilən enerji mübadiləsi zəncirinin möhkəmləndirilməsi məqsədilə növbəti mühüm islahatların aparılması beynəlxalq təcrübə baxımından zəruri hesab edilir:

1. İnstitusional və qanunvericilik bazasının gücləndirilməsi: yaşıl istehsalın və istehlak nümunələrinin təşviqi üçün dövlət səviyyəsində normativ-hüquqi bazaların işlənilib hazırlanması və tətbiqi genişləndirilməlidir. Fərdi istehlakçıları və müəssisələri ekoloji cəhətdən dayanıqlı modellərə keçməyə təşviq etmək üçün maarifləndirmə proqramları həyata keçirilməlidir.

2. Maliyyə stimullarının yaradılması: yaşıl iqtisadiyyatın inkişafı üçün hökumət subsidiyaları, vergi güzəştləri və ekoloji innovasiyalara investisiyaların artırılması təşviq edilməlidir. Hökumət və biznes strukturları arasında ekoloji layihələrin birgə həyata keçirilməsi və yaşıl texnologiyalar sahəsində əməkdaşlığın genişləndirilməsi vacibdir.

3. İctimai davranışın dəyişdirilməsi: aktiv istehlakçılar öz təcrübələrini və uğurlarını bölüşməklə başqalarını ekoloji cəhətdən təmiz həyat tərzinə seçməyə sövq edə bilər ki, bu da insanların daha şüurlu və ətraf mühitə qarşı məsuliyyətli istehlakçılar olmasına təsir göstərə bilər.

Ölkəmizdə bu istiqamətdə, bir sıra normativ-hüquqi bazanın yaxşılaşdırılması, gələcək bərpa olunan enerji mənbələri sahiblərinin (150kVt-adək) “yaşıl güzəşt” imkanlarından daha çox yararlanması və enerji təhlükəsizliyi baxımından paylanmış generasiya mənbələrinin sayının artırılması üçün ilkin islahatlara start verilib. Növbəti mərhələdə, Aktiv İstehlakçı və Prosyumer kateqoriyalarının mərkəzləşdirilmiş enerji

idarəetmə sistemlərinə inteqrasiyası və əlverişli tarif mühitində inkişaf tendensiyalarının formalaşması nəzərdə tutulur.

## Ədəbiyyat

1. Azərbaycan Respublikası Energetika Nazirliyi. (2024). *Enerji Səmərəliliyi və Bərpa Olunan Enerji Mənbələri üzrə Strateji Yol Xəritəsi*. Bakı: Energetika Nazirliyi.
2. Bərpa Olunan Enerji Mənbələri Dövlət Agentliyi (BOEMDA). (2023). *Azərbaycan üçün Yaşıl Enerji Strategiyası*. Bakı: BOEMDA.
3. Əliyev, C., & Mikayılov, C. (2024). *Alternativ Enerji və İstehlakçı Davranışları: Regional Yanaşmalar*. Bakı: Enerji və İqtisadi İnkişaf İnstitutu.
4. International Energy Agency (IEA). (2022). *The Role of Prosumers in Energy Transitions*. Retrieved from <https://www.iea.org>
5. Rifkin, J. (2011). *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*. Palgrave Macmillan.

### Summary

#### ACTIVE CONSUMER IN DISTRIBUTION ELECTRICITY NETWORKS

*Gasumzade A.R.*

The presented article explores the concept of the active consumer and its impact on the energy sector and the economy. The concept of an active consumer is based on sustainable consumption and energy management methods and takes into account both individual choices and social and ecological systems. The complexity of the modern economy and the increase in environmental risks require the assessment of consumer behavior using new approaches. At the same time, recommendations are given for increasing environmental sustainability and the use of digital solutions.

**Keywords:** active consumer, energy sector, energy efficiency, ecological sustainability, economic impacts

### Реферат

#### АКТИВНЫЙ ПОТРЕБИТЕЛЬ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

*Касумзаде А.Р.*

В представленной статье исследуется понятие активного потребителя в его влияние на электрических сектор и экономику. Концепция активного потребителя основывается на методах устойчивого потребления и управления энергией, принимая во внимание как индивидуальные предпочтения, так и социальные и экологические системы. Сложность современной экономики и рост экологических рисков требуют оценки потребительского поведения с использованием новых подходов. Также даются рекомендации по повышению экологической устойчивости и применению цифровых решений.

**Ключевые слова:** активный потребитель, энергетический сектор, энергоэффективность, экологическая устойчивость, экономическое воздействие

## PAYLAYICI ŞƏBƏKƏNİN MODERNİZASIYASI – DAYANIQLI İNKİŞAF HƏLLƏRİ

*Beyin Mərkəzi Analitik Təkmilləşdirmə qrupu:*

**Hüseynov Təriq Elşən oğlu**

**Babayeva Zərifə Eldar qızı**

*“Azərişiq” ASC, Tədris və İnnovasiyalar Mərkəzi, Bakı, Azərbaycan*

[azerisiq.beyin.merkezi@gmail.com](mailto:azerisiq.beyin.merkezi@gmail.com)

[tariqhuseynov@yahoo.com](mailto:tariqhuseynov@yahoo.com)

[zerife.babayeva7@gmail.com](mailto:zerife.babayeva7@gmail.com)

**Xülasə.** Bu məqalədə paylayıcı şəbəkənin ənənəvi 35/10(6) – 10(6)/0,4 kV-luq üç pilləli elektrik təchizat sisteminin 35/0,4 kV-luq iki pilləli elektrik təchizat sisteminə keçid imkanları və onun enerji səmərəliliyinə təsiri araşdırılır. Təklif edilən müasir model özü ilə bərabər, digər innovativ texnologiyaların tətbiqini də təşviq edir. Bu layihə, paylayıcı şəbəkədə texniki itkilərin kəskin azalmasına, təbii qaz sərfiyyatına qənaət etməyə və CO<sub>2</sub> emissiyalarının minimuma endirilməsinə şərait yaradır. Həmçinin, qəzaların baş vermə tezliyi aşağı düşərək, SAİDİ/SAİFİ keyfiyyət göstəricilərinin və şəbəkə dayanıqlığının artmasına gətirib çıxarır, bu isə dayanıqlı enerji həllərinin tətbiqi baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır.

**Açar sözlər:** PŞ - paylayıcı şəbəkə, SAİDİ – enerji təchizatında illik ortalama fasilə müddəti, SAİFİ – enerji təchizatında illik ortalama fasilə sayı, BOEM - bərpa olunan enerji mənbələri, CO<sub>2</sub> - karbon qazı emissiyası, DGY - dərin girişli yarımstansiya, HEVX - hava elektrik veriliş xətti

Elektroenergetika sistemində paylayıcı şəbəkənin modernizasiyası prosesində əsas rol oynayan problemlərdən biri də enerji itkilərinin minimuma salınmasıdır. İstismar müddətini bitirmiş, iş görmə qabiliyyəti köhnə sistemlə həyata keçirilən elektrik avadanlıqları zamanla şəbəkənin dayanıqlığı, stabilliyinə

kəskin təsir edir. Enerji itkisi sadə məhfum deyildir, hazırda sərvətlərin azalması təhlükəsi ilə üz-üzə olduğumuzu nəzərdə tutsaq, itki, ölkəmizin təbii sərvətlərinin israf edilməsi deməkdir. Müasir tendensiyalara baxsaq, Azərbaycan respublikası da olmaqla, dünya ölkələri qlobal istiləşmənin mənfə təsirlərindən əziyyət çəkir və bu səbəbdən, ətraf mühitin qorunması üzrə müxtəlif təşviqetmə prosedurları həyat keçirilir. Bu məqsədlə, Azərbaycan 2030-cu ilə qədər qarşısına enerji istehsalında bərpa olunan enerji mənbələrinin(BOEM) payını 30%-ə qədər artırmaq, CO2 emissiyalarını isə 35%-ə qədər azaltmaq hədəfi qoymuşdur.

Mövcud üç pilləli elektrik təchizat sxemində gərginliyin aşağı səviyyədə ötürülməsi xətlərdə artıq yüklənməyə, cərəyan sıxlığının artmasına, uyğun olaraq, avadanlıqların qızmasına və nəticədə aktiv enerji itkilərinin çoxalmasına səbəb olur. Artıq yüklənmə səviyyəsinin artması şəbəkədə tez-tez qəza açılmalarına gətirib çıxarır ki, bu da SAİDİ və SAİFİ keyfiyyət göstəricilərinin pisləşməsinə gətirib çıxarır. [5] Əsasən, 10, 6 kV gərginlikli şəbəkələrə aid elektrik qurğularında baş verən artıq yüklənmələr, qısa qapanmadan qəza açılmaları şəbəkənin etibarlılığının aşağı düşməsi, gərginlik oynamaları və stabilliyin pozulması ilə nəticələnir [6]. Bu baxımdan paylayıcı şəbəkəyə mövcud üç pilləli elektrik təchizat sxemindən 35/0,4 kV-luq iki pilləli sxemin tətbiqi texniki - enerji itkilərinin azaldılması, şəbəkənin etibarlılığının artırılması və dayanıqlı enerji hədəflərinə nail olunması baxımından zəruri hesab olunur.

Müasir şəhər şəbəkələrində iri müəssisələr yerləşən ərazilərdə ənənəvi çoxpilləli təchizat sisteminlərin əvəzinə dərin girişli yarımstansiya(DGY) adlanan sistemdən istifadə edilir. Belə sxem transformasiya pillələri və aparatlarının az sayda olması, yüksək gərginlikdən birbaşa aşağı gərginliyə keçid edərək işlədicilərə maksimum yaxınlaşması ilə müəyyən olunur. Dərin giriş yarımstansiyaların xətləri işlədicilərin ərazisi boyunca keçir və budaqlanmalara ayrılaraq bu yarımstansiyalarla birləşir.[6] Bu yarımstansiyaların əsas xüsusiyyəti aralıq gərginlik pillələrinin olmamasıdır ki, bu da əsasən 10 və 6 kV gərginlikli hava elektrik veriliş xətlərinin ləğv edilməsi ilə xarakterizə olunur. Əsasən, 35/0,4 və ya 20/0,4 kV gərginlik pilləsinə uyğun DGY-lar tətbiq edilir. Quraşdırılan ənənəvi 110/35/10(6) – 10(6)/0,4 kV-luq yarımstansiyaların kapital dəyərinin artmasını, onların tutduğu torpaq sahələrinin genişliyini və bahalığını nəzərə alsaq, bu sxemdə istifadə olunan xətlərin və elektrik qurğularının ləğv edilməsi ilə böyük texniki-iqtisadi üstünlüklər əldə etmək mümkündür[7]. Paylayıcı Elektrik Şəbəkələrinin topoqrafik sxemində gərginlik pilləsinin sadələşdirilməsi nəticəsində:

1. Təmir və istismar həcmi azaldılır - 10kV gərginlik sinfi üçün tələb olunan texniki və təşkilati işlərin həcmi azalır;
2. Ağıllı şəbəkə elementlərinin tətbiqi və operativ əməliyyatların azaldılması imkanı - rəqəmsallaşmaya və intellektual idarəetmə məntəqələrinə və sistemə keçid xərcləri azalır; [1]
3. Qəzaların sayının və bərpa müddətinin azaldılması yəni, SAİDİ və SAİFİ göstəricilərinin yaxşılaşdırılması[3] - elektrik enerjisinin verilişində ümumi fasilələrin 53%-i 10 - 6 kV-luq şəbəkələrin payına düşür;
4. Şəbəkədə rejim sabitliyinin təmin edilməsi - enerjiyə tələbat və enerjinin keyfiyyətinə nəzarət iki mərhələli sxem üzrə daha çevik şəkildə həyata keçirilir;
5. Qənaət olunmuş elektrik enerjisi və yanacaq sərfinin azaldılması hesabına respublikanın qaz ixrac potensialının artırılması;
6. Karbon qazının azaldılması hesabına ekoloji mühitin yaxşılaşdırılması;
7. Təhlükəsizlik zonasının 35-20 m-dən 6 m-ə kimi düşməsi nəticəsində əlavə torpaq sahələrinin (63 min ha) xalq təsərrüfatına qaytarılması;
8. Transformator sayının 20% (6814 MVt) azalması hesabına reaktiv enerji tələbatının (əlavə itkilərin) azalması kimi üstünlüklərə malikdir.

35/0,4 kV-luq sadələşdirilmiş sxemin tətbiqi özü ilə bərabər başqa innovasiyaları da tətbiq etməyə təşviq edir ki, bunlardan biri də çılpaq naqillli hava xətlərinin mühafizəli özüdaşıyan izolyasiyalı kabellərlə(ÖİN) əvəz olunmasıdır. Azərbaycanda bu sistemin tətbiqi 10-6/0,4 kV-luq şəbəkəyə aid avadanlıqların ləğvi nəticəsində PŞ-nin xeyli sadələşməsinə səbəb olacaqdır. Belə ki, ənənəvi çılpaq naqilllərlə çəkilmiş EVX-lərdən fərqli olaraq, mühafizəli elektrik veriliş xətlərində (MEVX) istifadə olunan naqilllər bir neçə müsbət konstruktiv xüsusiyyətlərə yəni, elektrik keçirici naqilin izolyasiya təbəqəsi ilə örtülməsi, yüksək mexaniki möhkəmliyi, asma və budaqlanmalarda xüsusi aksesuarlardan istifadə edilməsinə malik olmasıdır. Ənənəvi HEVX ilə müqayisədə ÖİN – mühafizəli naqilllər bir-birinə yaxın yerləşdiyinə görə induktiv və ya reaktiv müqavimət azalır. Bu da yeni xətlərdə itkilərin daha aşağı olmasına səbəb olur ki, uyğun olaraq, enerji daşıma qabiliyyəti də artır. Mühafizəli naqilllər ətraf mühitin kəskin temperaturuna, izolyasiyası ultrabənövşəyi şüalara və ozon qatına davamlıdır. [1] Mühafizəli ÖİN kabellərinin digər üstün cəhətləri aşağıda qeyd olunmuşdur:

1. Texniki baxış həyata keçirən işçi personal sayının 2 dəfəyə qədər azalması;

2. İllik material sərfinin 25%-ə qədər azalması;
3. Texniki itkilərin 9 – 12%-dən 3,5 – 4%-ə qədər minimuma endirilməsi;
4. Elektromaqnit sahə şüalanması və ətraf mühitə təsiri aşağı səviyyədə olması;
5. Yanğın təhlükəsi yaratmaması.

İkinci müasir layihə isə mühafizəli kabelləri daşıyan kompozit əsaslı dayaqlardır. 35/0,4 kV-luq elektrik paylayıcı xətlər üçün dəmir-beton, metal konstruksiyalı dirəklər əvəzinə şüşə-lifli kompozit materialdan hazırlanmış dirəklərin tətbiqi geniş üstünlüklərə malikdir. İldırım vurmaları və cərəyanın gövdəyə sızması hallarında ənənəvi metal və dəmir-beton dirəklərdən daha yaxşı dielektrik xüsusiyyətlərə malikdir. [4] Əsasən, kənd və ucqar ərazilərdə kompozit dirəklərin istifadəsi texniki xidmət müddətini azalda və işçilərin işini yüngülləşdirə bilər. Mövcud dayaqların daha tez sıradan çıxdığı sərt iqlimlərdə kompozit materiallar infrastrukturun ömrünü uzadır, həm əməliyyat, həm də texniki xidmət xərclərini azalda bilər. [2] Kompozit əsaslı dirəklər ənənəvi metal və dəmir-beton dirəklərlə müqayisədə:

1. Yüksək dielektrik və mexaniki xüsusiyyətlərə malikdir; Korroziyaya, sərt iqlim və ərazi şəraitinə davamlıdır;
2. Yüngül olduğuna görə çətin relyefli ərazilərə rahatlıqla daşına bilər;
3. Baxım tələb olunmur və quraşdırmaq asandır;
4. Uzunömürlüdür. [4]

Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, PŞ-də mövcud 35/10(6)–10(6)/0,4 kV-luq üç pilləli elektrik təchizat sxeminin 35/0,4 kV-luq iki pilləli sxemlə əvəz olunması texniki, iqtisadi və ekoloji baxımından mühüm əhəmiyyətə və üstünlüyə malikdir. Aşağı gərginlik pillələrinin azaldılması xətlərdə və transformatorlarda aktiv enerji itkilərinin aşağı düşməsinə, avadanlıqların yüklənmə səviyyəsinin optimallaşdırılmasına və şəbəkənin etibarlılığının artmasına şərait yaradır. Bunun nəticəsində qəzaların baş vermə tezliyi azalır, SAİDİ və SAİFİ göstəriciləri yaxşılaşır və enerji təchizatının stabilliyi artır.

Eynilə, bu sxemin tətbiqi mühafizəli ÖİN kabel xətlərinin və kompozit dayaqların istifadəsini təşviq etməklə paylayıcı şəbəkənin daha təhlükəsiz, dayanıqlı və istismar baxımından səmərəli qurulmasına imkan verir. Enerji itkilərinin azalması elektrik enerjisinin istehsalı zamanı tələb olunan təbii qaz sərfiyyatını minimuma endirir və nəticədə CO<sub>2</sub> emissiya tullantılarının azalmasına töhfə verir. Beləliklə, 35/0,4 kV-luq iki pilləli şəbəkə konfigurasiyası PŞ-nin modernizasiyası, dayanıqlı enerji hədəflərinə nail olunması və ekoloji mühitin qorunması baxımından perspektivli həll kimi qiymətləndirilə bilər.

## Ədəbiyyat

1. Asian Infrastructure Investment Bank (AIIB). (2020). *West Bengal Electricity Distribution Grid Modernization Project: Project Disclosure Document*. AIIB Project Documents.
2. Hassan, M. (2021). *Degradation assessment of in-service aerial bundled cables in distribution networks*. IET Generation, Transmission & Distribution, 15(12), 2001–2012.
3. Kamel, R. M. (2024). *Enhancing the reliability and security of distribution networks through simplified voltage configurations*. Energy Reports, 10, 1456–1470.
4. Kamweru, E. (2022). *Composite electricity distribution poles: Technical and economic assessment*. RERC & JKUAT Research Reports.
5. Musaxanova G.S, Qasımzadə Ü.R, İbrahimzadə S.P, Həmidova A.M. “Azərişiq ASC-nin Bakı EŞ üzrə enerji təchizatının keyfiyyət göstəricilərinin təyin edilməsi metodikası”. Metodik vəsait., Bakı 2021.
6. Sadiqov Qalib, Orucov Nəcəf, Məmmədov Elşad. “Sənaye Elektrik Təchizatı”, Bakı 2015
7. Zöhrabov A.E. “Elektrik Sistemlərinin Rejimləri və İstismarı”, Bakı-2025, ADNSU-nin nəşri.

## Summary

### MODERNIZATION OF THE DISTRIBUTION NETWORK – SUSTAINABLE DEVELOPMENT SOLUTIONS

*Huseynov T.E., Babayeva Z.E.*

This article examines the possibilities of transitioning the traditional 35/10(6) – 10(6)/0.4 kV three-phase power supply system of the distribution network to a 35/0.4 kV two-phase power supply system and its impact on energy efficiency. The proposed modern model also encourages the application of other innovative technologies. This project creates conditions for a sharp reduction in technical losses in the distribution network, saving natural gas consumption and minimizing CO<sub>2</sub> emissions. It also leads to a decrease in the frequency of accidents, which leads to an increase in the quality indicators of SAIDI/SAIFI and network stability, which is of great importance in terms of the implementation of sustainable energy solutions.

**Key words:** DN – Distribution Network, SAIDI – System Average Interruption Duration Index, SAIFI – System Average Interruption Frequency Index, RES – Renewable Energy Sources, CO<sub>2</sub> – Carbon Dioxide Emissions, DIS – Deep-Infed Substation, OPTL – Overhead Power Transmission Line.

**Резюме**  
**МОДЕРНИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ – РЕШЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**  
*Гусейнов Т.Э., Бабаева З.Э.*

В данной статье рассматриваются возможности перехода от традиционной трехфазной системы электроснабжения распределительной сети 35/10(6) – 10(6)/0,4 кВ к двухфазной системе 35/0,4 кВ и ее влияние на энергоэффективность. Предложенная современная модель также способствует применению других инновационных технологий. Данный проект создает условия для резкого снижения технических потерь в распределительной сети, экономии потребления природного газа и минимизации выбросов CO<sub>2</sub>. Он также приводит к снижению частоты аварий, что способствует повышению показателей качества SAIDI/SAIFI и стабильности сети, что имеет большое значение с точки зрения внедрения устойчивых энергетических решений.

**Ключевые слова:** РС – Распределительная Сеть, SAIDI – Индекс средней продолжительности прерываний системы (System Average Interruption Duration Index), SAIFI – Индекс средней частоты прерываний системы (System Average Interruption Frequency Index), ВИЭ – Возобновляемые Источники Энергии, CO<sub>2</sub> – Выбросы Углекислого Газа, ПГВ – Подстанция Глубокого Ввода, ВЛЭ – Воздушная Линия Электропередачи

### III BÖLMƏ

#### BƏRPA OLUNAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİ

#### TULLANTILARIN ANAEROB QIQCIRMA PROSESİNİN BİOKATALİZATORUN İŞTİRAKI İLƏ TƏCRÜBİ TƏDQIQI

**Muradov M.M., Nəzərova M.K., Qarayeva İ.E.,  
Vəliyeva K.S., Şirinova G.S., Əliyeva L.İ.**

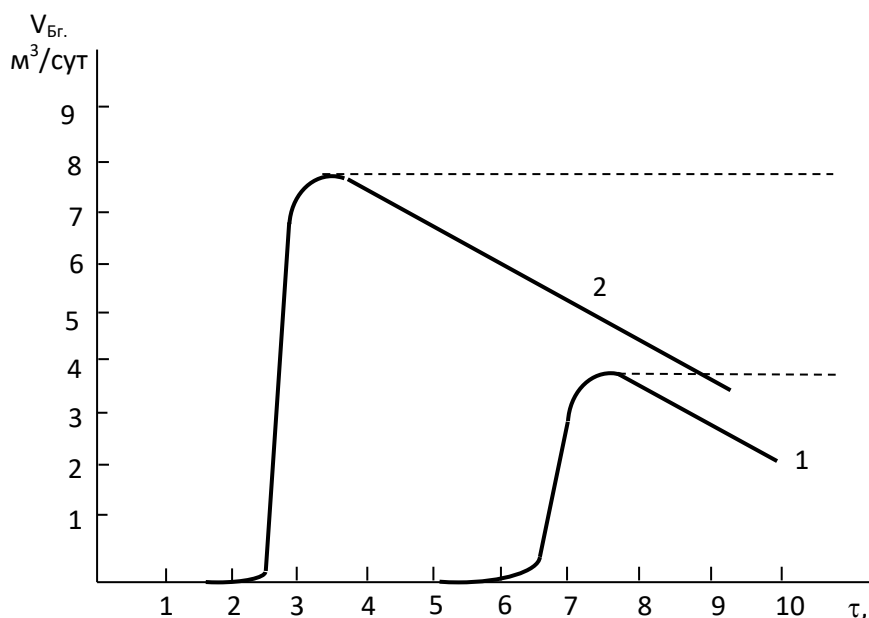
*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*  
[Mahal.Muradov@sdu.edu.az](mailto:Mahal.Muradov@sdu.edu.az), [mailoglu@mail.ru](mailto:mailoglu@mail.ru)

**Xülasə.** Tədqiqat işində qıqcırma prosesi biokatalizatorun iştirakı ilə termofil rejimdə aparılıb. Temperatur, qarışdırma rejimi və məhlulda tullantıların miqdarı analoji eksperimentdə olduğu kimi saxlanılmışdır [1, 2]. Prosesdə məhlulun həcmi 2.0-2.5 %-ni biokatalizator təşkil edib. Bu Təcrübədə bioqazın ayrılması 2,5 sutkadan sonra müşahidə olunub və 10 saat müddətində sürətli artım ilə sabit həddə ( $0,24 \text{ m}^3/\text{s}$ ) çatıb.

Təcrübələrdən alınan nəticələr göstərir ki, biokatalizator anaerob qıqcırma proseslərini, adi termofil rejimi anaerob qıqcırma prosesləri ilə müqayisədə 2,4-2,6 dəfə sürətləndirir və bioqazın ayrılma sürətini adi termofil rejimi anaerob qıqcırma prosesində olduğundan 2 dəfəyə yaxın yüksəlməsinə səbəb olur.

**Açar sözlər:** biokatalizator, bioreaktor, bioqaz, qıqcırma, bioqaz, sinqaz, heyvandarlıq tullantıları, kanalizasiya çöküntüləri.

Anaerob qıqcırma prosesini sürətləndirmək və ayrılan bioqazın çıxımını yüksəltmək üçün tərifiyimizdən yeyinti sənayesinin tullantıları əsasında, tərkibi metan əmələ gətirən bakteriyalar ilə zəngin olan biokatalizator hazırlanmışdır. Biokatalizatorun anaerob qıqcırma prosesini sürətləndirməsində və bioqazın ayrılma sürətinin yüksəlməsində rolunu müəyyən etmək üçün təcrübələr aparılmışdır [3, 4]. Təcrübələr həm biokatalizatorsuz, həm də biokatalizator iştirakı ilə termofil rejimdə həyata keçirilmişdir. Üzvi mənşəli tullantı kimi iribuynuzlu malqara peyin və şəhər kanalizasiya çöküntüsündən istifadə edilmişdir. Peyinin anaerob qıqcırılma prosesinin faydalı həcmi  $2,4 \text{ m}^3$ , şəhər kanalizasiya çöküntülərinin anaerob qıqcırılma prosesi isə  $20 \text{ m}^3$  olan bioreaktorda aparılmışdır.



**Şəkil.** Bioqazın ayrılması dinamikası.

*1 – katalizatorsuz, 2 – katalizator iştirakı ilə prosesin fasiləsiz iştirakı ilə prosesin fasiləsiz rejimdə aparılması (qırıq-qırıq xətlə göstərilir)*

Proses biokatalizatorsuz, termofil rejimdə aparılıb. Peyinin 10 %-li məhlulu (quru kütlə) faydalı həsmi  $2,4 \text{ m}^3$  olan bioreaktora doldurulur,  $48-52 \text{ }^\circ\text{C}$  –yə qədər qızdırılır və bu intervalda temperatur saxlanılır [5]. Temperaturun bütün nöqtələrdə eyni olması və məhlulun üzərində bərk ərp qatının əmələ gəlməməsi

üçün dövrü olaraq qarışdırılır. Bioqazın ayrılması 6 sutkadan sonra müşahidə olunur və 1 sutka müddətində çox aşağı artım ilə sabit həddə (0,15 m<sup>3</sup>/s) çatır. Sabit həddə (0,15 m<sup>3</sup>/s) bioqazın ayrılması 1 sutka davam edir və sonra azalmağa başlayır.

#### **Peyinin anaerob qıçırma prosesinin biokatalizatorun iştirakı ilə termofil rejimdə tədqiqi.**

Proses biokatalizatorun iştirakı ilə termofil rejimdə aparılıb. Temperatur, qarışdırma rejimində və məhlulda peyinin miqdarının anoloji təcrübədə olduğu kimidir [6, 7]. Lakin, burada məhlulun həcmnin 2 %-ni biokatalizator təşkil edir. Bu eksperimentdə bioqazın ayrılması 2,5 sutkadan sonra müşahidə olunur və 10 saat müddətində sürətli artım ilə sabit həddə (0,27 m<sup>3</sup>/s) çatır. Sabit həddə (0,27 m<sup>3</sup>/s) bioqazın ayrılması 1 sutka davam edir və sonra 1- ci eksperimentdə olduğundan daha sürətli olaraq azalmağa başlayır. Bunun səbəbi bioqazın sabit ayrılma həddinin (0,27 m<sup>3</sup>/s) 1-ci eksperimentdəki bioqazın sabit ayrılma həddindən (0,15 m<sup>3</sup>/s) 2 dəfəyə yaxın çox olmasıdır.

**Şəhər kanalizasiya çöküntülərinin anaerob qıçırma prosesinin termofil rejimdə tədqiqi edilmişdir.** Proses biokatalizatorsuz, termofil rejimdə aparılıb. Kanalizasiya çöküntüsünün 10 %-li (quru kütlə) məhlulu faydalı həcmi 20 m<sup>3</sup> olan bioreaktora doldurulur, 48-52 °C-yə qədər qızdırılır və bu intervalda temperatur saxlanılır. Bioqazın ayrılması 6,5 sutkadan sonra müşahidə olunur və 1,5 sutka müddətində çox aşağı artım ilə sabit həddə (0,13 m<sup>3</sup>/s) çatır. Sabit həcmdə bioqazın ayrılması 1 sutka davam edir və sonra azalmağa başlayır.

#### **Ədəbiyyat**

1. Ağayev Ə.Ə., Muradov M.M., Nəzərova M.K., Quliyev T.D. Alternativ yanacaqların alınma texnologiyası. Dərs vəsaiti. Sumqayıt 2019. 285 s.
2. Мурадов М.М., Велиева К.С., Агаев А.А. Получение альтернативной энергии в процессе пиролиза. Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты. Международная научно-практическая on-line конференция (Казань, 16 апреля 2024 г.). Казань 2024. с.133-137.
3. Mehraliyev Ə.Ç., Muradov M.M., Qənbərov E.S., Sadiqov Q.R. və s. Bioreaktor. Patent. Azərbaycan Respublikası Standartlaşdırma, Metrologiya və Patent Üzrə Dövlət Komitəsi. İxtira İ 2014 0012.
4. Mehmet Nihat Bilge, Ali Mehraliyev, Mahal Muradov, Behruz Amirasanov, Korkmaz Sadiqov Bioreaktörde yenilik. Patent. T.C. Türk patent Enstitüsü. Faydalı model belgesi. No: TR 2011 00764 Y Suret.
5. Кузнецова Н.В., Щукина Т.В. Повышение надежности альтернативного газоснабжения локальных потребителей//Строительство - формирование среды жизнедеятельности: сборник тезисов шестнадцатой международной межвузовской научно-практической конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых (24-26 апреля 2013 г., г. Москва); М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО «МГСУ» Москва: МГСУ, 2013. С. 243-247.
6. Muradov M.M., Nəzərova M.K., Vəliyeva K.S., Ağayev Ə.Ə. Üzvi mənşəli tullantıların piroliz prosesinin tədqiqi. Tətbiqi fizika və energetikanın aktual məsələləri II beynəlxalq elmi konfransın (12-13 noyabr) 2020. s.220-222.
7. Mehraliyev A., Muradov M., Hasanov H., Talibov A., Mursalov Sh. Reaktor pro pyrolyuzi pevneho sykneho organického odpadu. Ceska republika. urad prumysloveho vlastnictvi. osvedceni o zapisu uzitneho vzoru. 22.07.2013. Cislo dokumentu 25944.

#### **Резюме**

#### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АНАЭРОБНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ ОТХОДОВ С УЧАСТИЕМ БИОКАТАЛИЗАТОРА**

**Мурадов М.М., Назарова М.К., Гараева И.Э., Валиева К.С., Широнова Г.С., Алиева Л.И.**

В ходе исследования процесс ферментации осуществлялся в термофильном режиме с участием биокатализатора. Температура, режим перемешивания и количество отходов в растворе поддерживались, как в аналогичном эксперименте [1, 2]. При этом доля биокатализатора составляла 2,0–2,5% от объема раствора. В этом эксперименте производство биогаза наблюдалось через 2,5 дня и достигло устойчивого состояния (0,24 м<sup>3</sup>/с) с быстрым ростом в течение 10 часов.

Результаты, полученные в ходе экспериментов, показывают, что биокатализатор ускоряет процессы анаэробного брожения в 2,4-2,6 раза по сравнению с традиционными термофильными анаэробными процессами брожения и приводит к увеличению скорости выделения биогаза примерно в 2 раза по сравнению с традиционными термофильными анаэробными процессами брожения.

**Ключевые слова:** биокатализатор, биореактор, биогаз, ферментация, биогаз, синтез-газ, отходы животноводства, осадок сточных вод.

**Summary**  
**AN EXPERIMENTAL STUDY OF ANAEROBIC WASTE FERMENTATION USING A BIOCATALYST**  
**Muradov M.M., Nazarova M.K., Garaeva I.E., Valieva K.S., Shirinova G.S., Aliyeva L.I.**

During the study, the fermentation process was carried out in thermophilic mode using a biocatalyst. The temperature, stirring conditions, and amount of waste in the solution were maintained as in a similar experiment [1, 2]. The biocatalyst content was 2.0–2.5% of the solution volume. In this experiment, biogas production was observed after 2.5 days and reached a steady state (0.24 m<sup>3</sup>/s) with rapid growth within 10 hours. The results obtained during the experiments show that the biocatalyst accelerates anaerobic fermentation processes by 2.4-2.6 times compared to traditional thermophilic anaerobic fermentation processes and leads to an approximately two-fold increase in the rate of biogas production compared to traditional thermophilic anaerobic fermentation processes.

**Keywords:** biocatalyst, bioreactor, biogas, fermentation, biogas, syngas, livestock waste, sewage sludge.

**ŞƏHƏR KANALİZASIYA ÇÖKÜNTÜLƏRİNİN ANAEROB QIQCIRMA PROSESİNİN  
 BİOKATALİZATORUN İŞTİRAKI İLƏ TERMOFİL REJİMDƏ TƏDQIQI**

**M.M.Muradov, M.K.Nəzərova, İ.E.Qarayeva,  
 M.S.Pirquliyeva, K.S.Vəliyeva, S.G.Kərimova**  
*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*  
[Mahal.Muradov@sdu.edu.az](mailto:Mahal.Muradov@sdu.edu.az), [mailoglu@mail.ru](mailto:mailoglu@mail.ru)

**Xülasə.** Təqdim olunan iş şəhər kanalizasiya çöküntülərinin anaerob qıqcırma prosesinin biokatalizatorun iştiraki ilə termofil rejimdə tədqiqinə həsr edilib. Tədqiqatdan alınan nəticələr göstərir ki, biokatalizator anaerob qıqcırma proseslərini, adi termofil rejimi anaerob qıqcırma prosesləri ilə müqayisədə 2,5-3.0 dəfə sürətləndirir və bioqazın ayrılma sürətini adi termofil rejimi anaerobqıqcırma prosesində olduğundan 2 dəfədən artıq yüksəlməsinə səbəb olur.

Burada bioreaktorda katalizatorun qarışdırılması xüsusi olaraq əsas amillərdən biri olduğu müəyyən edilmişdir. Eyni zamanda heyvandarlıq tullantıları və kanalizasiya çöküntülərinin anaerob qıqcırma prosesləri üçün effektiv katalizator hazırlanmış və sınaqdan keçirilmiş, prosesin maddi balansını tərtib edilmişdir.

**Açar sözlər:** biokatalizator, bioreaktor, bioqaz, qıqcırma, bioqaz, sinqaz, heyvandarlıq tullantıları, kanalizasiya çöküntüləri.

Tədqiqat proses biokatalizatorun iştiraki ilə termofil rejimdə aparılıb. Prosesin temperaturu, qarışdırma rejimi və məhlulda kanalizasiya çöküntüsünün miqdarı analoji [1, 2] təcrübədə olduğu kimi saxlanılır. Lakin, burada məhlulun həcmnin 2 %-ni biokatalizator təşkil edir. Bu eksperimentdə bioqazın ayrılması 2,5 sutkadan sonra müşahidə olunur və 10 saat müddətində sürətli artım ilə sabit həddə (0,24 m<sup>3</sup>/s) çatır. Sabit həddə (0,24 m<sup>3</sup>/s) bioqazın ayrılması 1 sutka davam edir və sonra sürətli azalmağa başlayır. Bunun səbəbi bioqazın ayrılma sürətinin 1-ci eksperimentdəki bioqazın ayrılma sürətindən 2 dəfəyə yaxın yüksək olmasıdır.

Eksperimentlərdən alınan nəticələr göstərir ki, biokatalizator anaerob qıqcırma proseslərini, adi termofil rejimi anaerob qıqcırma prosesləri ilə müqayisədə 2,4-2,6 dəfə sürətləndirir və bioqazın ayrılma sürətini adi termofil rejimi anaerobqıqcırma prosesində olduğundan 2 dəfəyə yaxın yüksəlməsinə səbəb olur.

Bir çox ədəbiyyatlarda [2-4] bioreaktordan çıxarılan qıqcırılmış və oraya əlavə olunan yeni məhlulun faydalı həcmi 15%-ni keçə bilməməsi qeyd olunur. Lakin, bizim işləyib hazırladığımız biokatalizatorun iştiraki ilə aparılan eksperimentlərdən alınan nəticələr göstərir ki, bioreaktordan gündəlik çıxarılaçaq qıqcırılmış və oraya əlavə olunacaq yeni məhlulu faydalı həcmi 30 %-nə qədər artırmaq olar [5]. Bu da, nəticədə bioqazın və biogübrənin çıxımını yüksəldəcək. Biokatalizator itkisi olmaması üçün üzvi mənşəli tullantının (peyin, kanalizasiya çöküntüsü) bioreaktordan çıxarılmış və qıqcırılmış kütləsi ayrılmış məhlulda hazırlanması məqsədə uyğundur.

Əmələ gəlmiş qıqcırılmış kütlədən götürülmüş nümunələr üzərində AMEA «Torpaqşünaslıq və Aqrokimya» İnstitutunda təhlillər aparılmış və aşağıdakı nəticələr alınmışdır:

Ph	Azot, mq/kq		Fosfor P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , mq/kq	Kalium K <sub>2</sub> O, mq/kq
	N/NH <sub>3</sub>	N / NO <sub>3</sub>		
6,9	261,9	2,26	41,25	96,40

Kanalizasiya çöküntülərində qıqcırılması zamanı bioqaz və qiymətli biogübrənin alınması ilə yanaşı kanalizasiya sularının zərərsəzləşdirilməsinə də nail olunmuşdur. Kanalizasiya sularından götürülən nümunə birbaşa və zərərsizləşdirildikdən sonra fərqi müəyyən etmək üçün Bakı şəhəri Nəsimi Rayon GEM-nin rayonlararası «Bakteroloji» laboratoriyasında bakteroloji təhlildən keçirilmiş və aşağıdakı nəticələr alınmışdır:

Kanalizasiyadan götürülən nümunə:

1. Patoqen olmayan bağırsağ çöpləri Endo mühitində – hesabsız (çox)
2. Ploskirev mühitində - hesabsız (çox)
3. Sari duz həlimi mühitində – hesabsız (çox)
4. Sabiro mühitində –3 kolon
5. Vismut mühitində – sulfid həlimi – hesabsız (çox)

Zərərsizləşdirildikdən sonra :

1. Endo mühitində - 30 kolon
2. Ploskirev mühitində – 52 kolon
3. Sari duz həlimi mühitində – 25 kolon
4. Sabiro mühitində – inkişaf yoxdur
5. Vismut mühitində-sulfid həlimi – inkişaf yoxdur.

**Bioqaz qurğularının material balansı.** Qıvcırma prosesində 2 növ üzvi mənşəli tullantıdan, peyin və şəhər kanalizasiya çöküntüsündən istifadə olunub. Peynin qıvcırdılması faydalı həcmi (ümumi həcm 80%-i)  $2,4 \text{ m}^3$ , kanalizasiya çöküntülərinin qıvcırdılması isə faydalı həcmi  $20 \text{ m}^3$  olan bioreaktorda aparılıb. Aşağıda, xammal peyin olan faydalı həcmi  $2,4 \text{ m}^3$  bioreaktorlu bioqaz qurğusunun gündəlik material balansının hesablanması qeyd edilir. Xammal peyin olan faydalı həcmi  $5, 10, 20 \text{ m}^3$  bioreaktorlu bioqaz qurğularının gündəlik material balansının hesablanması qaydası, faydalı həcmi  $2,4 \text{ m}^3$  bioreaktorlu bioqaz qurğusunda olduğu kimidir. Çünki, burada xammal peyin olduğu üçün qaz tərkibi dəyişmiş, bu da eyni zamanda bioqazın sıxlığının dəyişməsinə səbəb olur. Xammal şəhər kanalizasiya çöküntüsü olan  $20 \text{ m}^3$  bioreaktorlu bioqaz qurğusunun material balansının hesablanması ayrı olaraq qeyd edəcəyik. Çünki, şəhər kanalizasiya çöküntülərinin qıvcırması zamanı əmələ gələn bioqazın qaz tərkibi fərqlənir, bu da bioqazın sıxlığının dəyişməsinə səbəb olur. Bundan başqa bu 2 növ tullantının qıvcırdılması zamanı bioqazın çıxımı da fərqlidir. Xammal peyin olan bioqaz qurğularında bioqazın çıxımı bioreaktorun faydalı həcminin hər  $\text{m}^3$ -nə  $2,5 \text{ m}^3$ , xammal kanalizasiya çöküntüsü olan bioqaz qurğularında isə  $2,4 \text{ m}^3$  təşkil edib. Bunu qurğunun maddi balansını tərtib etməklə daha aydın göstərmək olar

**Faydalı həcmi  $20 \text{ m}^3$  bioreaktorlu bioqaz qurğusunun günlük material balansının hesablanması.**

Üzvi mənşəli tullantı: Kanalizasiya çöküntüsü

Bioqazın tərkibi : metan ( $\text{CH}_4$ ) = 62%, karbon qazı ( $\text{CO}_2$ ) – 33%, etan, propan, butan, hidrogen – 35 %, hidrogen-sulfid ( $\text{H}_2\text{S}$ ) – 1,5 %.

Bioreaktorun ümumi həcmi:

$$V_{\text{bior.üm.}} = \frac{100\% \cdot 20}{80\%} = 25 \text{ m}^3$$

$20 \text{ m}^3$  – faydalı həcm.

Boqazın gündəlik çıxımı:

$$V_{\text{bioqaz.gün.}} = V_{\text{bior.fay.həcm}} \cdot 2,4 \text{ m}^3 = 20 \cdot 2,4 = 48 \text{ m}^3$$

Bioqazın gündəlik çıxımında qazların həcm ilə miqdarı:

$$V_{(\text{CH}_4)} = \frac{V_{\text{bioqaz.gün.}} \cdot 62\%}{100\%} = \frac{48 \cdot 62\%}{100\%} = 29,76 \text{ m}^3$$

$$V_{(\text{CO}_2)} = \frac{V_{\text{bioqaz.gün.}} \cdot 33\%}{100\%} = \frac{48 \cdot 33\%}{100\%} = 15,84 \text{ m}^3$$

$$V_{(\text{J}_2\text{-J}_4), \text{H}_2} = \frac{V_{\text{bioqaz.gün.}} \cdot 3,5\%}{100\%} = \frac{48 \cdot 3,5\%}{100\%} = 1,68 \text{ m}^3$$

$$V_{(\text{H}_2\text{S})} = \frac{V_{\text{bioqaz.gün.}} \cdot 1,5\%}{100\%} = \frac{48 \cdot 1,5\%}{100\%} = 0,72 \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{CH}_4} = 0,71 \text{ q/l}, \quad \rho_{\text{CO}_2} = 1,964 \text{ q/l}, \quad \rho_{\text{H}_2\text{S}} = 1,517 \text{ q/l}, \quad \rho_{\text{J}_2\text{H}_6} = 1,339 \text{ q/l},$$

Bioqazın sıxlığı:

$$\rho_{\text{bioqaz}} = X_1 \cdot \rho_{\text{CH}_4} + X_2 \cdot \rho_{\text{CO}_2} + X_3 \cdot \rho_{\text{J}_2\text{H}_6} + X_4 \cdot \rho_{\text{H}_2\text{S}} = 0,62 \cdot 0,714 + 0,33 \cdot 1,964 + 0,035 \cdot 1,339 + 0,015 \cdot 1,517 = 0,44268 + 0,64812 + 0,046865 + 0,022755 = 1,16 \text{ q/l}$$

Биогазın gündəlik чıxımında газларın күтлə ilə miqdarı:

$$m_{\text{CH}_4} = V \cdot \rho = 29,76 \cdot 0,714 \text{ q/m}^3 = 21,25 \text{ kq}$$

$$m_{\text{CH}_4} = V \cdot \rho = 15,84 \cdot 1964 \text{ q/m}^3 = 31,1 \text{ kq}$$

$$m_{\text{J}_2\text{H}_6} = V \cdot \rho = 1,68 \cdot 1339 \text{ q/m}^3 = 2,25 \text{ kq}$$

$$m_{\text{H}_2\text{S}} = V \cdot \rho = 0,72 \cdot 1517 \text{ q/m}^3 = 1,1 \text{ kq}$$

Биогазın gündəlik чıxımının күтлəsi:

$$m_{\text{bioqaz.gün.}} = \rho_{\text{bioqaz}} \cdot V_{\text{bioqaz.gün.}} = 1160 \text{ q/m}^3 \cdot 48 = 55,68 \text{ kq}$$

Гүндəlik чıxарılan мəhlулун һəcmi :

$$V_{\text{ч.мəh.}} = \frac{20 \text{ m}^3 \cdot 10\%}{100\%} = 2 \text{ m}^3$$

Нəzəri һesablamaya гөрə чıxарılan мəhlулун 10%-i yəni 200 kq-ı қıcқıрmış күтлə olmalıdır. Qazın ayırılmasını нəzərə alсақ, гүндəlik əмələ гələn қıcқıрmış күтлə (quru halda) :

$$m_{\text{қ.күтл.гүн.}} = m_{\text{қ.күт.нəzəri}} - m_{\text{bioqaz}} = 200 - 55,68 = 144,32 \text{ kq olar}$$

Қıcқıрmış күтлəni гүбрə kimi istifadə etmək үчүн 45 %-li рүтүбətli hala гətirildikdə:

$$M_{\text{күтл(45\%-li рүт.)}} = \frac{144,32 \cdot 100\%}{55\%} = 262,4 \text{ kq olar.}$$

Қıcқıрmış күтлə чıxарıldıқдан sonra bioreктору 10 %-li 2 m<sup>3</sup> мəhlул əlavə olunur. Мəhlулда қıcқıрдылацақ күтлə 200 kq (duru halda) тəşkil edir.

### Ədəbiyyat

1. Ağayev Ə.Ə., Muradov M.M., Nəzərova M.K., Quliyev T.D. Alternativ yanacaqların alınma texnologiyası. Dərs vəsaiti. Sumqayıt 2019. 285 s.
2. Манелис Г.Б., Полианчик Е.В., Фурсов В.П.// Химия в интересах устойчивого развития. 2000. №4, С.537-545.
3. Волков Г.А., Выжол Ю.А., Жирнов А.А. И ДР. Способ получения горючих газов из твердого углеродосодержащего топлива: Патент РФ № 1761777.
4. Гайфулин И.Х., Зиганшин Б.Г., Шорников А.В., Иванов Б.Л., Зинатулина А.Н. Техника и технологии в животноводстве. 2024. Т. 14. №1. с. 90-95.
5. Мурадов М.М., Велиева К.С., Агаев А.А. Получение альтернативной энергии в процессе пиролиза. Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты. Международная научно-практическая on-line конференция (Казань, 16 апреля 2024 г.). Казань 2024. с.133-137.

### Summary

#### STUDY OF THE ANAEROBIC ACTIVATION PROCESS OF DOMESTIC WASTEWATER SLUDGE UNDER THERMOPHILIC CONDITIONS WITH THE PARTICIPATION OF A BIOCATALYST *Muradov M.M., Nazarova M.K., Garaeva I.E., Pirgulyeva M.S., Valiyeva K.S., Karimova S.G.*

The research results show that the biocatalyst accelerates anaerobic fermentation processes by 2.5–3.0 times compared to traditional thermophilic anaerobic fermentation processes and leads to an increase in the biogas production rate by more than 2 times compared to conventional thermophilic anaerobic fermentation processes. It was established that mixing the catalyst in the bioreactor is one of the key factors. At the same time, an effective catalyst for anaerobic fermentation processes of livestock waste and wastewater sludge was developed and tested.

**Keywords:** biocatalyst, bioreactor, biogas, fermentation, synthesis gas, livestock waste, wastewater sludge

### Резюме

#### ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА АНАЭРОБНОЙ АКТИВАЦИИ ОСАДКОВ БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД В ТЕРМОФИЛЬНОМ РЕЖИМЕ С УЧАСТИЕМ БИОКАТАЛИЗАТОРА

*Мурадов М.М., Назарова М.К., Гараева И.Э., Пиргулиева М.С., Велиева К.С., Каримова С.Г.*

Результаты исследования показывают, что биокатализатор ускоряет процессы анаэробного брожения в 2,5-3,0 раза по сравнению с традиционными термофильными анаэробными процессами брожения и приводит к увеличению скорости выделения биогаза более чем в 2 раза по сравнению с традиционными термофильными анаэробными процессами брожения.

Здесь было установлено, что перемешивание катализатора в биореакторе является одним из ключевых факторов. Одновременно был подготовлен и испытан эффективный катализатор для анаэробных процессов ферментации животноводческих отходов и осадков сточных вод.

**Ключевые слова:** биокатализатор, биореактор, биогаз, ферментация, биогаз, синтез-газ, отходы животноводства, осадок сточных вод.

## FOTOELEKTRİK SİSTEMLƏRİN XÜSUSİYYƏTLƏRİNİN TƏDQIQI

**Abdulova Nafisə Abdulfəs qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan,*

[abdulovanafise@gmail.com](mailto:abdulovanafise@gmail.com)

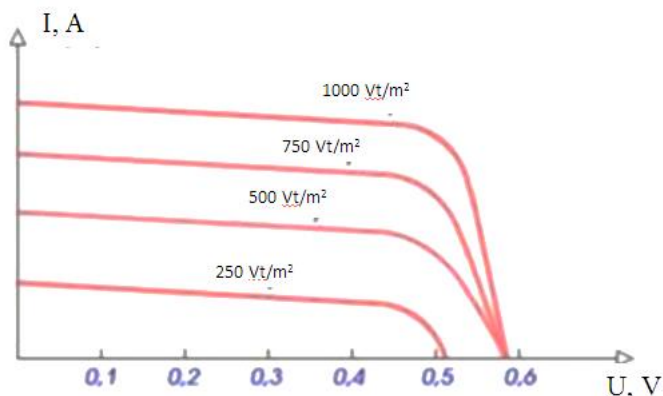
**Xülasə.** Fotoelektrik sistemlərin qurulmasının ümumi prinsipləri və günəş batareyalarının iş prinsipi araşdırılıb, fotoelektrik sistemlərin yerləşdirilməsinin ümumi iş prinsiplərinin, layihələndirilməsinin, coğrafi və iqlim şəraitinin öyrənilmişdir. Küçə işıqlandırma sistemlər üçün əsas tələbləri araşdırılmış, küçə işıqlandırması və onların xüsusiyyətlərini analiz edilmişdir. Müxtəlif temperaturlarda volt-ampere xarakteristikaları, elementin gücünün və cərəyanın günəş batareyasının gərginliyindən asılılığı qurulmuşdur

**Açar sözlər:** gərginlik, fotoelektrik, intensivlik, günəş elementi, tənzimləyici

Günəş batareyalarının istifadəsi digər elektrik mənbələrinin istifadəsi ilə eynidir, lakin onlardan fərqli olaraq, günəş panelləri onların səthinə düşən işığın miqdarından asılıdır. Məsələn, buludlu havada buludlar fotovoltaiq panelin çıxış gücünü əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər, 50%-ə qədər. Həmçinin, günəş elementlərindəki kiçik bir qüsurlar belə eyni partiyadan olan panellər üçün səmərəliliyi azalda bilər. Buna görə də, istənilən gücü təmin etmək üçün elementləri çıxış cərəyanına görə çeşidləmək lazımdır. Nümunə olaraq, kifayət qədər böyük diametrlə bir su borusuna daha kiçik diametrlə bir boru daxil etməyə çalışsanız, su axımının daha kiçik olacağı təbii. Parametrləri eyni deyilsə, günəş elementlərinin zəncirlərində də eyni şey baş verir.

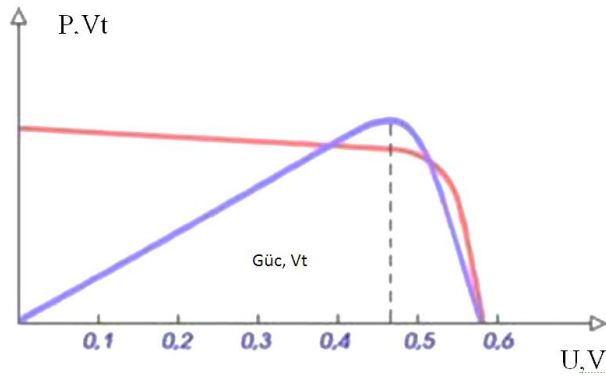
Silikon günəş elementləri qeyri-xətti element olduğu üçün sadə Om qanunu ilə təsvir edilə bilməz. Bunun əvəzinə elementin xüsusiyyətlərini izah etmək üçün bir neçə sadə asılılıqdan istifadə edə bilərsiniz - cari gərginlik xüsusiyyətləri (CVC) (Şəkil 1).

Bir element tərəfindən yaradılan açıq dövrə gərginliyi bir partiyada bir elementdən digərinə və bir istehsalçıdan digərinə keçərkən bir qədər dəyişir və təxminən 0,6 V-dir. Bu dəyər elementin ölçüsündən asılı deyil. Cari ilə vəziyyət fərqlidir. İşığın intensivliyindən və onun səth sahəsinə aid olan elementin ölçüsündən asılıdır. Ölçüsü 100x100 mm olan element 10x10 mm ölçülü elementdən 100 dəfə böyükdür və buna görə də eyni işıqlandırma altında o, 100 dəfə böyük cərəyan verəcəkdir [4].



**Şəkil 1.** Günəş batareyasının tipik VAX-si

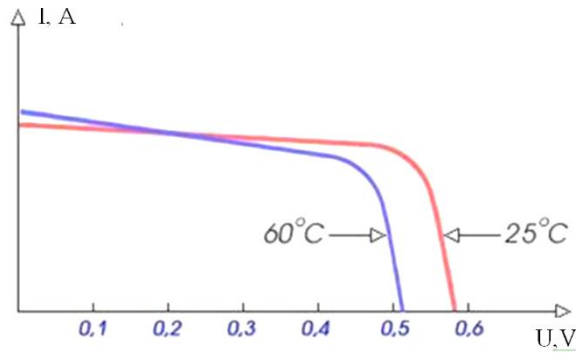
Beləliklə, günəş elementi tədricən yüklənsə, Şəkil 2-də göstərilədiyi kimi güc və cərəyanın gərginliyə qarşı tipik qrafiki əldə edilə bilər.



**Şəkil 2.** Elementin gücünün və cərəyanın günəş batareyasının gərginliyindən asılılığı

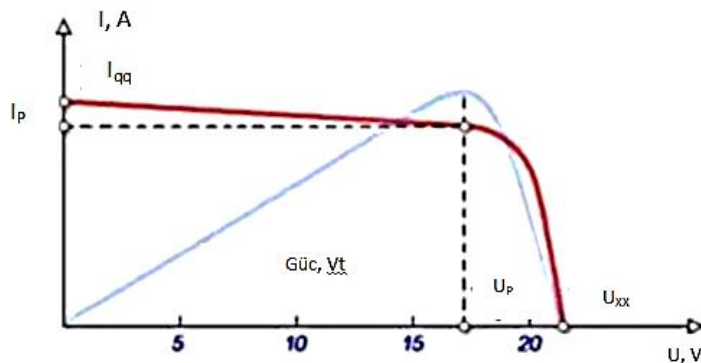
Maksimum güc təxminən 0,47 V gərginliyə uyğundur. Beləliklə, günəş batareyasının keyfiyyətini düzgün qiymətləndirmək üçün, həmçinin eyni şəraitdə ELEMENTləri bir-biri ilə müqayisə etmək üçün onu yükləmək lazımdır ki, çıxış gərginliyi 0,47 V olsun. Günəş elementləri quraşdırıldıqdan sonra əməliyyat üçün seçilmiş, onlar lehirlənməlidir. Serial elementləri onlara keçiricilərin lehirlənməsi üçün nəzərdə tutulmuş cərəyan toplayan torlarla təchiz edilmişdir [3].

Günəş batareyasının işləməsinin vacib aspektlərindən biri onun temperaturudur. Beləliklə, bir element normadan yalnız bir dərəcə yuxarı qızdırıldıqda ( $25^{\circ}\text{C}$ ), o, təxminən 0,002 V gərginlik itirə bilər, yəni. 0,4%/dərəcə. Şəkil 3-də  $25^{\circ}\text{C}$  və  $60^{\circ}\text{C}$  temperaturlar üçün CVC əyrisi göstərilir.



**Şəkil 3.** Müxtəlif temperaturlarda VAX

Kifayət qədər günəşli bir gündə müxtəlif elementlər  $60-70^{\circ}\text{C}$ -ə qədər qızdırıla bilər və hər biri 0,07-0,09 V itirə bilər. Bu səbəb gərginliyin düşməsinin və nəticədə günəş batareyasının səmərəliliyinin azalmasının əsas səbəblərindən biridir. Günəş batareyasının elektrik parametrləri, eləcə də ayrı bir günəş elementi standart şəraitdə (StandartTestConditions), yəni  $1000\text{ Vt/m}^2$  günəş radiasiyası,  $-25^{\circ}$  temperaturda cərəyan gərginliyi əyrisi şəklində təqdim olunur.  $C$  və  $50^{\circ}$  enində günəş spektri [2].



**Şəkil 4.** Maksimum gücün nöqtələri

Əyrinin gərginlik oxu ilə kəsişdiyi nöqtə yüksüz gərginlik -  $U_0$ , cərəyan oxu ilə kəsişmə nöqtəsi - qısaqapanma cərəyanı  $I_0$  adlanır (Şəkil 4). Maksimum güc reytingi STC (Standart Test Şərtləri) standartlarına uyğun olaraq müəyyən edilir. Gərginlik, maksimum gücdə, maksimum güc gərginliyidir (və ya iş gərginliyi - Yuxarı), bu nöqtəyə uyğun gələn cərəyan isə maksimum güc cərəyanıdır (və ya iş cərəyanı -  $I_p$ ).

36 elementdən ibarət olan modulun işləmə gərginliyi üçün orta qiymət standart 25 °C temperaturda təxminən 16-17 V olacaqdır.

Qeyd etmək lazımdır ki, modulun açıq dövrə gərginliyi işıqlandırmadan çox asılı deyil, qısaqapanma cərəyanı və müvafiq olaraq iş cərəyanı işıqlandırma ilə düz mütənasibdir.

Beləliklə, real iş şəraitində qızdırıldıqda modullar 60-70 °C temperatura qədər qızdırılır ki, bu da iş gərginliyi nöqtəsinin yerdəyişməsinə uyğundur, məsələn, 17 V işləmə gərginliyi olan modul üçün dəyəri 17 V-dan 13,7-14,4 V-a qədər (hər element üçün 0,38-0,4 V).

Yuxarıda göstərilənlərin hamısına əsaslanaraq, mini-SES-in günəş panellərinin və digər elementlərinin sayının hesablanması metodologiyasını müəyyən etmək mümkündür.

Hesablama modulların nominal gücünün, onların sayının, əlaqə sxeminin, batareyaların növünün, iş şəraitinin və tutumunun seçilməsi, şarj tənzimləyicisinin gücü və birləşdirici parametrlərin təyin edilməsinə aiddir [1].

## Ədəbiyyat

1. Виды уличного освещения [Электронный ресурс] - Режим доступа. - URL: <http://www.osvet.ru/articles/s10/>.
2. Солнечный модуль TopRaySolar 100M [Электронный ресурс] - Режим доступа. - URL: <http://solarcrown.ru/magazin2/product/solnechnyy-modul-topraysolar-100m>.
3. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки М. Энергоатомиздат 1991.
4. Solnechnye.ru Интернет-магазин [Электронный ресурс] - Режим доступа.- [URL: http://www.solnechnye.ru/batareya/vybor-solnechnoy-batarey.htm](http://www.solnechnye.ru/batareya/vybor-solnechnoy-batarey.htm).

## Summary

### RESEARCH OF THE PROPERTIES OF PHOTOELECTRIC SYSTEMS

*Abdulova N.A.*

The general principles of photovoltaic systems construction and the working principle of solar cells were investigated, the general working principles of photovoltaic systems placement, design, geographical and climatic conditions were studied. The main requirements for street lighting systems were investigated, street lighting and their characteristics were analyzed. Volt-ampere characteristics at different temperatures, the dependence of the element power and current on the voltage of the solar cell were established

**Keywords:** *voltage, photoelectric, intensity, solar cell, regulator*

## Резюме

### ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Абдулова Н.А.*

Были исследованы общие принципы построения фотоэлектрических систем и принцип работы солнечных элементов, изучены общие принципы размещения фотоэлектрических систем, их конструкция, географические и климатические условия. Рассмотрены основные требования к системам уличного освещения, проведен анализ уличного освещения и его характеристик. Установлены вольт-амперные характеристики при различных температурах, зависимость мощности элемента и тока от напряжения солнечной батареи.

**Ключевые слова:** *напряжение, фотоэлектрический, интенсивность, солнечный элемент, регулятор*

## GÜNƏŞ ELEKTRİK STANSİYASINDAN ƏLAVƏ ENERJİ MƏNBƏYİ KİMİ İSTİFADƏ ETMƏKLƏ ÇOXMƏNZİLLİ YAŞAYIŞ KOMPLEKSİNİN ENERJİ SƏMƏRƏLİLİYİNİN ARTIRILMASI

**Harunov A.T., Əliquliyeva X.V., Bobojanov M.Q., Makhmutkhonov S.K., Ömərov S.A.**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt şəhəri, Azərbaycan*

[asim.harunov@sdu.edu.az](mailto:asim.harunov@sdu.edu.az), [mahmutkhonov.sultonkhoja.93@gmail.com](mailto:mahmutkhonov.sultonkhoja.93@gmail.com)

**Xülasə.** Bu məqalədə elektrik sistemlərinin, işıqlandırma avadanlıqlarının modernləşdirilməsi və günəş elektrik stansiyalarının (SPS) inteqrasiyası yolu ilə çoxmənzilli yaşayış komplekslərinin (ÇYK) enerji səmərəliliyinin artırılmasının əsas aspektləri araşdırılır. Binaların ehtiyaclarını ödəmək, enerji xərclərini azaltmaq və istixana qazı tullantılarını azaltmaq üçün günəş enerjisinin potensialının təhlilinə xüsusi diqqət yetirilir. İqlim şəraiti və binanın istiqaməti nəzərə alınmaqla, həm damda, həm də binanın fasadında quraşdırılmış Kanada Günəş modullarına əsaslanan günəş elektrik stansiyasının quraşdırılmış gücünün hesablanması təqdim olunur. Məqalədə davamlı inkişaf kontekstində müasir yaşayış binaları üçün enerji təchizatı dizaynına sistem yanaşmasının vacibliyi vurğulanır.

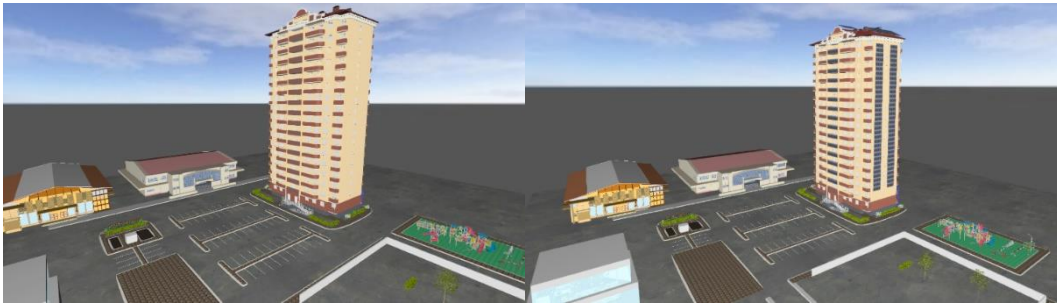
**Açar sözlər:** Günəş enerjisi, enerji səmərəliliyi, yaşayış kompleksi, fotoelektrik modullar, dayanıqlı inkişaf, LED işıqlandırma.

Binaların enerji səmərəliliyinin artırılması və əhalinin həyat şəraitinin yaxşılaşdırılması strategiyasının mühüm aspektlərindən biri, mənzil-kommunal təsərrüfatı sahəsində elektrik sistemlərinin və işıqlandırma avadanlıqlarının modernləşdirilməsinin səmərəliliyinin qiymətləndirilməsidir. Işıqlandırma sahəsində qabaqcıl həllərin, o cümlədən işıq-diod (LED) texnologiyalarının və ağıllı idarəetmə sistemlərinin tətbiqi, enerji istehlakının əhəmiyyətli dərəcədə azalmasına və karbon emissiyalarının azaldılmasına səbəb olur.

Bundan əlavə, köhnəlmiş elektrik texniki komponentlərinin – transformatorların, paylayıcı panellərin və avtomatlaşdırılmış komplekslərin – dəyişdirilməsi elektrik enerjisi təchizatının etibarlılığını və dayanıqlığını artırır. İstismara yararsız avadanlıqların sistemli monitorinqi və diaqnostikasi, mümkün nasazlıqları əvvəlcədən müəyyən etməyə və onların mənfi nəticələrinin riskini azaltmağa imkan verir [1].

Müasir dünyada dayanıqlı inkişaf və enerjiyə qənaət məsələləri getdikcə daha çox əhəmiyyət qazandıqından, yaşayış binalarının enerji səmərəliliyini artırmaq üçün innovativ həllərin axtarışı prioritet vəzifəyə çevrilmişdir. Ümidverici istiqamətlərdən biri günəş elektrik stansiyalarının (GES) çoxmənzilli yaşayış komplekslərinin (ÇMYK) enerji təminatı sisteminə inteqrasiyasıdır. Günəş enerjisindən əlavə enerji mənbəyi kimi istifadə edilməsi, ənənəvi enerji şəbəkələrindən asılılığı əhəmiyyətli dərəcədə azaltmağa, istixana qazı emissiyalarını azaltmağa və maliyyə resurslarına qənaət etməyə imkan verir.

GES-lərin ÇMYK-larda tətbiq perspektivləri bir neçə amillə müəyyən olunur. Birincisi, müasir günəş paneli istehsal texnologiyaları onları daha əlçatan və effektiv edir. İkincisi, binaların damlarında və ya yaxın ərazilərdə GES-lərin quraşdırılması, torpaq ehtiyacını minimuma endirərək və elektrik enerjisinin daşınması xərclərini azaldaraq günəş enerjisindən maksimum istifadə etməyə imkan verir. Üçüncüsü, istehsal olunan günəş enerjisi ümumi istifadədə olan sahələrin işıqlandırılması, liflərin işlədilməsi, isitmə və isti su təchizatı kimi kompleksin müxtəlif ehtiyaclarını ödəmək üçün istifadə oluna bilər [2].



*Şəkil. DIALUX evo programında çoxmənzilli yaşayış kompleksinin vizual təsviri*

Lakin, günəş elektrik stansiyalarının (GES) tətbiqi diqqətli analiz və planlaşdırma tələb edir. Regionun iqlim xüsusiyyətləri, binanın oriyentasiyası, panellərin quraşdırılması üçün mövcud səth sahəsi və kompleksin enerji istehlakı kimi faktorlar nəzərə alınmalıdır. GES-in effektiv fəaliyyəti üçün, günəş aktivliyinin yüksək olduğu dövrlərdə istehsal olunan artıq elektrik enerjisinin toplanmasını və günəş şüalanmasının azalması və ya gecə vaxtlarında istifadəsini təmin edən enerji saxlama sistemi nəzərdə tutulmalıdır [3].

Binanın yerləşməsi cənub-qərbə yönəlib, bu da damda yerləşdirilən günəş panelləri üçün 30 dərəcə optimal meyli bucağına nail olmağa imkan verir. Bu bucaqla, panellərin cənuba yönəldilməsilə müqayisədə elektrik enerjisi generasiyasının azalması 5%-dən çox olmur. Bu bucağın seçilməsi, GES-in enerji istehsalını yaz bərabərlik günündən (22 mart) payız bərabərlik gününə (23 sentyabr) qədər olan müddətdə maksimum səviyyəyə çatdırır. Qış aylarında (dekabr-yanvar) enerji istehsalı əhəmiyyətli dərəcədə azalır [4].

Binanın damında 100 ədəd, fasadında isə şaquli şəkildə yerləşdirilmiş 283 ədəd günəş paneli quraşdırılmışdır. Aylar üzrə modullar tərəfindən istehlakçıya verilən enerji miqdarı  $E_v$  aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$E_v = W_{ay} \cdot S_1 \cdot P_{nom} \cdot n_{modul.s} \cdot \eta_{modul} \cdot \eta_{invertor}$$

burada:  $W_{ay}$  – aylıq günəş şüalanma səviyyəsi,  $kVt/(m^2 \cdot ay)$ ;  $S_1$  – bir modulun sahəsi,  $m^2$ ;  $P_{nom}$  – bir modulun nominal gücü,  $Vt$ ;  $n_{modul.s}$  – modul sayı, ədəd;  $\eta_{modul}$  – seçilmiş modulun faydalı iş əmsalı (% olaraq, 20.5%);  $\eta_{invertor}$  – seçilmiş invertorun faydalı iş əmsalı (% olaraq, 85%).

Hesablamalar üçün Canadian Solar modullarından istifadə olunur [5] [6]. Modul sayı aşağıdakı düsturlar əsasında müəyyən edilir:

$$n_{modul} = \frac{S_{səth}}{S_1} = \frac{164}{1.635} = 100 \text{ modul,}$$

$$n_{modul} = \frac{S_{səth}}{S_1} = \frac{471}{1.635} = 288 \text{ modul},$$

Fotoelektrik sistemin paneldən asılı olaraq aylara görə insolyasiya qiymətləri cədvəl 1 – də göstərilib.

**Cədvəl 1.**

*FES-in hesablanması üçün insolyasiya səviyyələri*

Panel Tipi / Ay	yan	fev	mart	apr	may	iyun	iyul	avq	sen	okt	noy	dek	il
Üfüqi panel	44	66	113	158	188	215	210	188	158	108	68	48	1574
Şaquli panel	95	105	112	122	128	122	115	110	105	95	90	85	1344
Panelin meyli – 35.0°	73	92	138	178	205	225	220	195	165	125	88	68	1777
Qütb oxu ətrafında fırlanma	93	117	158	207	240	255	250	225	185	135	97	78	2040

Bir Canadian Solar modulunun gücünü təyin edək:

$$P = A \cdot G \cdot \eta = 1.635 \cdot 1000 \cdot 0.205 = 335.175 \approx 335 \text{ Vt}$$

«İndi bu düsturdan istifadə edərək dam (100 modul) üçün “Ay üzrə istehlakçıya verilən enerji” sütununu yenidən hesablayacağıq.»

Yanvar ayı üzrə istehlakçıya verilən enerji miqdarını hesablayaq:

$$E_v = W_{ay} \cdot S_1 \cdot P_{nom} \cdot n_{modul.s} \cdot \eta_{modul} \cdot \eta_{inverter} = 28.83 \cdot 1.634 \cdot 0.335 \cdot 100 \cdot 0.205 \cdot 0.85$$

$$\approx 270.42 \frac{kVt}{m^2 \cdot ay},$$

где:  $P$  — modulun gücü (Vt),  $A$  — modulun sahəsi ( $m^2$ ),  $G$  — standart şəraitdə günəş şüalanması (adətən  $1000 \text{ Vt}/m^2$ ),  $\eta$  — modulun faydalı iş əmsalı (adətən müasir panellər üçün 18–22%, burada 0.205, yəni 20.5% — Canadian Solar modelləri üçün orta göstəricidir).

Eyni qaydada müxtəlif aylarda istehlakçıya verilən enerji miqdarını cədvəl 2 də göstərilmişdir.

**Cədvəl 2.**

*Müxtəlif aylarda istehlakçıya verilən enerji miqdarı*

Ay	Orta aylıq insolyasiya $W_{ay}$	İstehlakçı üçün aylıq enerji (kVt·saat)
Yanvar	28.83	270.42
Fevral	48.72	457.03
Mart	90.21	846.65
Aprəl	117	1,097.79
May	158.1	1,482.34
İyun	155.4	1,457.24

Beləliklə, günəş elektrik stansiyasının ümumi quraşdırılmış elektrik gücü 128 kVt təşkil edir (damda 33 kVt və fasadda 95 kVt) [7].

Günəş elektrik stansiyasının sistemi aşağıdakı əsas komponentlərdən ibarətdir: günəş panelləri və inverterlər.

Damda quraşdırılmış günəş panelləri PV-1F günəş kabeli ilə ardıcıl şəkildə birləşdirilərək hər birində 20 panel olmaqla 5 blok əmələ gətirir. Fasad panelləri də oxşar şəkildə birləşdirilərək 9 blokda 20 panel və 6 blokda 18 panel təşkil edir. Hər bir blok inverterin MPPT-kontrollerinin ayrıca girişinə qoşulur.

Inverterlərin çıxışları güc paylayıcı qalxana qoşulur, o isə öz növbəsində binanın mühəndis avadanlıqlarını enerji ilə təmin edən əsas paylayıcı qurğuya (VRU2) birləşdirilir. VRU2-də istehsal olunan və inverterlər tərəfindən sərf edilən elektrik enerjisinin kommersiya uçotu üçün ikitərəfli saygac quraşdırılıb.

İstifadə olunan inverterlər ildırım boşalmalarına və induksiya edilmiş impuls gərginliklərinə qarşı inteqrasiya olunmuş (və ya xarici) kompleks qoruma sistemləri ilə təchiz olunub [8]. Günəş panellərinin metal çərçivə elementləri ildırımdan mühafizə sisteminin toruna birləşdirilir [9].

Çoxmənzilli yaşayış komplekslərində günəş elektrik stansiyalarının tətbiqi — bu gələcəyə yönümlü bir investisiyadır. O, ekoloji təhlükəsizliyi, iqtisadi səmərəliliyi və yaşayış rahatlığını təmin edir. Bu yanaşma müasir cəmiyyətin tələblərinə cavab verən dayanıqlı və enerjiyə qənaət edən şəhər mühitinin formalaşmasına töhfə verir.

Çoxmənzilli yaşayış komplekslərinin enerji təminatı sistemində günəş elektrik stansiyalarının inteqrasiyası enerji müstəqilliyini artırmaq, istismar xərclərini azaltmaq və şəhər mühitinin ekoloji göstəricilərini yaxşılaşdırmaq üçün səmərəli bir həll yoludur.

Aparılan hesablamalar ümumi gücü 128 kVt olan, həm dam, həm də fasadı əhatə edən GES-in quraşdırılmasının texniki cəhətdən mümkün olduğunu göstərir. Avadanlıqların düzgün seçimi, rəşional birləşmə sxemi və iqlim xüsusiyyətlərinin nəzərə alınması sistemin stabil işləməsini və yüksək enerji səmərəliliyini təmin edir. Təqdim olunan yanaşma müasir enerji səmərəliliyi və ekoloji standartlara cavab verən dayanıqlı, resurslara qənaət edən və rahat yaşayış mühitinin yaradılmasına xidmət edir.

## Ədəbiyyat

1. A. T. Harunov, "Mənzil-kommunal təsərrüfatında elektrik avadanlıqlarının və işıqlandırmanın yenilənməsində effektivliyin təhlili," mənbə: *Yaşıl dünya naminə həmrəylik ilinə həsr olunmuş doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXVII respublika elmi konfransı (NASCO XXVII)*, Sumgayit, 2024.
2. A. A. Хохрякова и А. А. Сурков, «Применение солнечных электростанций в энергоснабжении,» в *Ресурсосбережение и энергоминимизация / Пермский национальный исследовательский политехнический университет*, Пермь, 2014.
3. А. Т. Гарунов, «Применение энергосберегающих технологий в электроснабжении селитебных территорий,» в *Статья в сборнике. Межвузовский международный конгресс. Высшая школа: научные исследования.*, Москва – С. 232 – 235, 2023.
4. А. А. Савенко, М. Г. Ковтуненко и В. С. Кальченко, «Анализ методов и материалов повышения энергоэффективности здания,» в *Деволюмент и инновации в строительстве: сборник статей международного научного конгресса*, Краснодар, 2018.
5. "Аккумулятор Delta GEL 12-85 (12В/85А · ч). – Режим доступа: <https://akkamulik.by/catalog/promyshlennye-akkumulyatory/delta-gel-12-85-12v-85a-ch/>."
6. "Солнечная батарея 275Вт Canadian Solar-Канада. – Режим доступа: <https://deal.by/p87128522-solnechnaya-batareya-275vt.html?&primelead=NjAw>."
7. С. А. Савицкая, «Перспективы применения солнечных панелей в жилых зданиях,» в *Энергообеспечение, энергосбережение и эффективное использование энергии*, Беларусь.
8. Г. Б. Осадчий, Энергосбережение и возможности установок и систем малой энергетики на базе солнечного соляного пруда, Омск: Аналитика и вопросы энергосбережения Проект «Альтернативная энергетика», 2012.
9. "<https://globalsolaratlas.info/map?c=11.523088,8.173828,3>".

## Summary

**IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF A MULTI-APARTMENT RESIDENTIAL COMPLEX THROUGH THE USE OF A SOLAR POWER PLANT AS AN ADDITIONAL ENERGY SOURCE**  
*Harunov A.T., Aliguliyeva X.V., Bobojanov M.G., Makhmutkhonov S.K., Omarov S.A.*

This paper examines the key aspects of improving the energy efficiency of multi-apartment residential complexes (MRC) through the modernization of electrical systems, lighting equipment, and the integration of solar power plants (SPP). Particular attention is given to the analysis of the potential use of solar energy to meet building needs, reduce energy consumption, and lower greenhouse gas emissions. The study presents a calculation of the installed capacity of the SPP based on Canadian Solar modules installed on both the roof and the facade of the building, taking into account climatic conditions and building orientation. The work emphasizes the importance of a systematic approach to the design of power supply systems for modern residential buildings in the context of sustainable development.

**Keywords:** Solar energy, energy efficiency, residential complex, photovoltaic modules, sustainable development, LED lighting

## Резюме

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА ЗА СЧЁТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В КАЧЕСТВЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ**

*Харунов А.Т., Алигулиева Х.В., Бободжанов М.Г., Махмутхонов С.К., Омаров С.А.*

В данной работе рассматриваются ключевые аспекты повышения энергетической эффективности многоквартирных жилых комплексов (МЖК) посредством модернизации электрических систем, осветительного оборудования и интеграции солнечных электростанций (СЭС). Особое внимание уделено анализу потенциала использования солнечной энергии для обеспечения потребностей зданий, снижению энергозатрат и выбросов парниковых газов. Представлен расчёт установленной мощности СЭС на основе модулей Canadian Solar, установленных как на крыше, так и на фасаде здания, с учётом климатических условий и ориентации здания. Работа подчёркивает значимость системного подхода к проектированию энергоснабжения современных жилых зданий в контексте устойчивого развития.

**Ключевые слова:** Солнечная энергия, энергоэффективность, жилой комплекс, фотоэлектрические модули, устойчивое развитие, светодиодное освещение

## GƏMİLƏRDƏ BƏRPA OLUNAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİNİN TƏTBİQİNİN YANACAQ SƏRFİYYATINA TƏSİRİ

<sup>1</sup>Muradəliyev Aydın Zurab oğlu

<sup>2</sup>Hüseynov Kənan Şəhrud oğlu

1 - Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış Energetika İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

2 - Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası PHŞ, Bakı, Azərbaycan

[aydin\\_murad@yahoo.com](mailto:aydin_murad@yahoo.com) , [kenanhuseyn2606@gmail.com](mailto:kenanhuseyn2606@gmail.com)

**Xülasə.** Bu məqalədə bərpa olunan enerji mənbələrinin gəmiçilik sahəsində tətbiqi və bu texnologiyaların yanacaq sərfiyyatına olan təsiri araşdırılmışdır. Külək və günəş enerjisi əsasında işləyən texnologiyalar təhlil olunmuş, müasir dünya təcrübələrinə əsaslanaraq onların effektivlik göstəriciləri müqayisə edilmişdi. Nəticələr göstərmişdir ki, bu texnologiyalar ənənəvi enerji mənbələrini tam olaraq əvəz etməsə də, yanacaq sərfiyyatını əhəmiyyətli dərəcədə azaldmaq imkanına malikdir.

**Açar sözlər:** bərpa olunan enerji, külək turbinləri, günəş panelləri, yanacaq sərfiyyatı, karbon emissiyası, gəmiqayıрма

### Giriş

Hal-hazırda dünyada enerji tələbatı getdikcə artır və bu artımın davamlılığı ənənəvi enerji resurslarının- neft,qaz və kömür kimi fosil yanacaqların tükənməsinə və ətraf mühitə olan mənfi təsirlərin güclənməsinə səbəb olur. Atmosferə buraxılan karbon qazı və digər istixana qazları iqlim dəyişikliyi və qlobal istiləşmə kimi ciddi ekoloji problemləri daha da kəskinləşdirir. BU baxımdan enerji sektorunun, xüsusilə nəqliyyat və gəmiçilik sahəsinin alternativ və daha təmiz enerji mənbələrinə keçidi strateji əhəmiyyət kəsb edir. [1]

Gəmiçilik sənayesi dünya ticarətinin təxminən 90%-ni təşkil edir və bu sahədə istifadə olunan dizel yanacaqları əhəmiyyətli miqdarda tullantıların atmosferə buraxılmasına səbəb olur. Ənənəvi dizel mühərrikləri, xüsusilə də uzaq məsafələrə yük daşıyan iri gəmilər istismar zamanı böyük həcmdə yanacaq sərf edir.Buna görə gəmiçilik sahəsində enerji səmərəliliyi və ekoloji təmizlik məsələləri aktualıq qazanmışdır. [2]

Bu məqalədə külək və günəş kimi bərpa olunan enerji mənbələrinin gəmi texnologiyalarına inteqrasiyası həm yanacaq sərfiyyatını azaltmaq, həm də ekoloji təsirləri minimuma endirmək məqsədi daşıyır. Bu texnologiyalar xüsusilə gəmi göyərtələrində boş sahələrin günəş panelləri ilə təchiz olunması və hibrid sistemlərə külək turbinlərinin əlavə edilməsi yolu ilə həyata keçirilə bilər. Məqalədə bu tətbiq imkanları və onların iqtisadi enerji səmərəliliyi baxımından əhəmiyyətli təhlil edilmişdir.

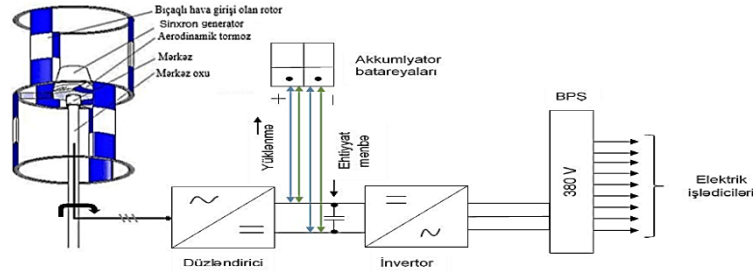
Külək enerjisi tarixən gəmiçilikdə istifadə olunan ilk təbii enerji mənbələrindən biri olmuşdur. Ənənəvi yelkənli gəmilər qədim dövrlərdən bu yana dəniz nəqliyyatında geniş istifadə olunmuş, lakin sənaye inqilabından sonra yerini mühərrikli gəmilərə vermişdir. Müasir texnologiyalar külək enerjisinin yenidən gəmi sistemlərinə inteqrasiyasını mümkün etmişdir.Artıq bir sıra gəmilərdə külək turbinləri, rotor sistemləri və paraşüt tipli yelkənlər tətbiq edilməyə başlanılıb.

Rotorlu sistemlər digər sistemlərə nisbətən öz aktuallığını saxlamışdır. Bu sistemlərdə “FLETTNER” rotorları adlanan, dik vəziyyətdə quraşdırılmış silindirik qurğular küləyin təsirindən yaranan maqnums effekti nəticəsində əlavə hərəkət gücü yaradır. Almaniyanın “E-Ship 1” adlı gəmisi bu texnologiyanın uğurlu nümunəsidir. Bu gəmi 4 ədəd 27 m-lik FLETTNER rotoru ilə təchiz olunmuşdur və 15%-ə qədər yanacaq qənaətinə nail olmuşdur. Bu nəticələr onun dizel mühərriklərinə dəstək olaraq külək enerjisindən səmərəli istifadə etdiyini göstərir. [3].



**Şəkil 1.** 4 ədəd 27 m-lik FLETTNER rotoru ilə təchiz olunmuş Almaniyanın “E-ship 1” adlı gəmisi

Bundan başqa “Beluga Sky Sail S” konteyner gəmisi paraşüt tipli böyük yelkən (kitesail) ilə təchiz olunaraq alternativ hərəkət gücü qazanmışdır. Bu sistem küləyin yüksək atmosfer qatlarındakı sabit və güclü axınları istifadə edərək gəminin ön istiqamətdə hərəkətini təmin edir. İstismar nəticəsində 10-12% yanacaq qənaəti əldə olunmuş və təkmilləşdirilməsi halında bu rəqəmin 30%-ə çatacağı proqnozlaşdırılır.



Şəkil 2. Külək turbininin gəmilərdə tətbiqinin sadələşdirilmiş sxemi

Bu texnologiyalar hələlik geniş yayılmasa da onların potensialı yüksəkdir. Əlavə üstünlükəri sırasında emissiyaların azaldılması, ekoloji təsirlərin minimuma endirilməsi və uzun müddətli istismar dövründə iqtisadi fayda əldə edilməsi göstərilə bilər. Əsas məhdudiyyətlərinə isə hava şəraitindən asılılıq və sistemlərin quraşdırma və texniki baxım xərclərinin yüksəkliyi daxildir.

Bu nümunələr göstərir ki, külək enerjisi əsas mühərriklərə yardımçı rol oynamaqla yanacaq sərfiyyatının azaldılmasına imkan verir. Bu sistemlərin istismar müddəti quraşdırma keyfiyyəti, istifadə intensivliyi və texniki baxım səviyyəsindən də asılıdır. Külək enerjisi ilə işləyən sistemlərin (məsələn, müasir yelkənlər, rotor yelkənlər və ya paraşüt tipli yelkənlər) istismar müddəti aşağıdakı kimidir:[5]

1. **Adi yelkənlər (klassik dəniz yelkənləri)** – materialından asılı olaraq **5-15 il** (müəmmadi texniki qulluqla daha uzun istismar müddəti əldə etmək olar)
2. **Rotor sail sistemləri (FLETTNER rotorları)** – **20-25 il** istismar müddəti var, metal konstruksiyalıdır və aşağı texniki qulluq tələb edir.
3. **Kite sail (uçan paraşüt yelkənləri)** – parça və mexaniki sistemlərdən ibarət olduğundan **5-10 il**, lakin hava və dəniz şəraitindən asılı olaraq dəyişə bilər.

Gəmilərdəki geniş və istifadəsiz göyortə sahələri günəş panellərinin yerləşdirilməsi üçün əlverişlidir. Gəmilər üzrə günəş panellərinin növündən və yerləşdiyi coğrafi zonadan asılı olaraq, bu sistemlər müxtəlif miqdarda enerji istehsal edə bilər. Gəmilər üçün uyğun panel seçimi onun struktur xüsusiyyətlərindən, səfər marşrutundan, iqlim zonasından və göyortə sahəsinin ölçüsündən asılıdır.

Günəş panelləri ən çox günəşli bölgələrdə fəaliyyət göstərən trayektoriya üzrə hərəkət edən gəmilər üçün effektivdir. Bununla yanaşı bu sistemlər bəzi texniki çətinliklərlə (günəşli günlərin sayının az olması, enerji saxlama qabiliyyətinin məhdudluğu və panellərin mexaniki təsirlərə qarşı dayanıqlılığı) qarşılaşmışdır.

Günəş panelləri texnoloji xüsusiyyətlərinə görə müxtəlif növlərə bölünür:[4]

- ✓ **Monokristal panellər** - yüksək enerji çevirmə effektivliyinə ( təxminən 22%) malikdir, uzunömürlüdür, lakin istehsalı bahalıdır.
- ✓ **Polikristal panellər** - daha az effektivdir (18%), lakin ucuz başa gəlir və geniş istifadə olunur.
- ✓ **Amorf (nazik təbəqəli) panellər** – zəif günəş işığında da işləyə bilər, elastikdir, lakin enerji çevirmə səviyyəsi 5-7 % aşağıdır.
- ✓ **Kadmium tellurid və selenid əsaslı panellər** – yüksək işıq udma qabiliyyətinə malikdir və bəzi hallarda sərfəli alternativ sayılır.
- ✓ **Polimer panellər** – yüngül, nazik və əyilə bilər, gəmi səthlərinə uyğunlaşdırmaq asandır, lakin effektivliyi aşağıdır.

Günəş panellərinin gəmilərdə tətbiqi yanacaq sərfiyyatını azaltmağa kömək edir, çünki panellər yardımçı sistemlərin (ışığılandırma, naviqasiya, kommunikasiya, soyutma və s.) enerji tələbatını qarşılamaqla dizel generatorlarının iş yükünü azaldır. Bu texnologiya gəminin növü və panel sisteminin gücündən asılı olaraq yanacaq sərfiyyatında gündəlik 5- 10%, bəzi hibrid sistemlərdə isə illik 20-30% -ə qədər qənaət təmin edə bilər. Beləliklə günəş enerjisi təkcə əməliyyat xərclərini deyil, həm də karbon emissiyalarını azaltmaq baxımından əhəmiyyətli rol oynayır.

Təkcə günəş və külək enerjisi ilə işləyən sistemlər hava şəraitindən asılı olduğundan daim yüksək məhsuldarlıq vermir Belə sistemlər real vaxtda külək və günəş məlumatlarını analiz edərək enerji istehsalını tənzimləyir. Bu yanacaq sərfiyyatını azaldır, dizel generatorlarının ömrünü uzadır və ümumi istismar xərclərini aşağı salır.

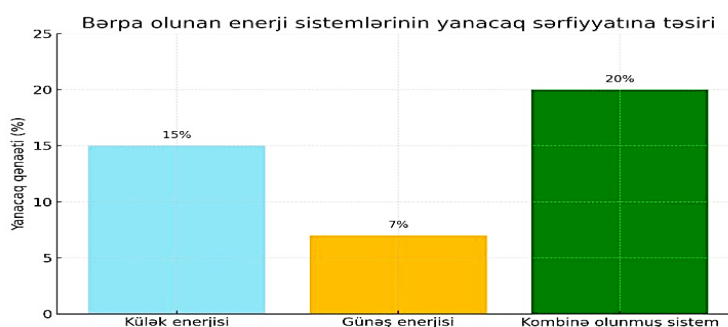
Bu cür sistemlər daha çox avtonom rejimdə işləyən, uzaq məsafələrə səfər edən və enerji təminatında dayanıqlılıq tələb olunan gəmilər üçün uyğundur. Kombinə olunmuş enerji sistemlərinin aşağıdakı növləri mövcuddur:[6]

**a) Günəş + Külək sistemləri** – Ən geniş yayılmış hibrid modelidir. Günəş paneli gün ərzində işləyir, külək turbinləri isə gecə və ya buludlu hava şəraitində. Bu sistemlər bir-birini tamamlayır və enerji davamlılığını artırır.

**b) Günəş + Bioenerji sistemləri** – Günəş paneli gündüz enerji verir, bioenerji (məsələn, biokütlə və ya bioqaz) isə gecə və ya qış aylarında istifadə olunur.

**c) Günəş + batareya+dizel ehtiyatı** – Günəş əsas enerji mənbəyidir, batareyalar gündüz toplanan enerjini saxlayır. Uzunmüddətli buludlu havalarda və ya fəvqəladə hallarda dizel generator ehtiyat kimi işləyir.

Bu sistemlərin əsas üstünlükləri davamlı enerji təchizatı, tullantıların minimuma endirilməsi ekoloji təhlükəsizliyi, dizel və fosil yanacaqlardan asılılığın azaldılması, enerji səmərəliliyinin artırılmasının mümkünlüyüdür. Aşağıdakı qrafikdə nəticə olaraq bərpa olunan enerji mənbələrinin tətbiqinin yanacaq sərfiyyatına təsirinin qrafiki verilmişdir



**Şəkil 3.** Bərpa olunan enerji sistemlərinin yanacaq sərfiyyatına təsirinin qrafiki

### Nəticə

Aparılan araşdırmalar göstərir ki, bərpa olunan enerji mənbələrinin – xüsusilə günəş və külək enerjisinin gəmiçilik sahəsində tətbiqi mühüm potensiala malikdir. Bu texnologiyalar gəminin müstəqil enerji təminatını təmin etməsə də mövcud dizel mühərriklərinə yardımçı enerji mənbəyi kimi fəaliyyət göstərərək yanacaq sərfiyyatını əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər.

Gələcəkdə texnologiyaların təkmilləşdirilməsi ilə bu göstəricilərin daha da yaxşılaşması gözlənilir və belə sistemlərin daha geniş tətbiqi gəmiçilik sektorunda ekoloji transformasiyanı sürətləndirə bilər.

### Ədəbiyyat

1. Əmrəliyev A.B., Abdulova N.A., Abdullayeva S.C., Məmmədova Ş.T. “Azərbaycanda qeyri- ənənəvi enerji mənbələri və onların istifadəsi imkanları” // “Energetikanın Problemləri”. Bakı: 2012, №2. s.79-86.
2. Sultanov E.F., İsmayılov S.S. “Gəmilərdə alternativ enerji mənbələrindən istifadə imkanlarının araşdırılması”/ ADDA Elmi əsərlər №2, Bak; 2021, səh. 151-157.
3. Yiğit, K., Acarkan, B. (2018). “The Importance of Ships in the Next-Generation Electric Power Systems” Book Chapter in Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions, 167-178. Правила технической эксплуатации судовых технических средств и конструкций. РД 31.21.30-97- М.: МОРКНИГА, 2016, 214 с.
4. SOLAS 74, Санкт-Петербург, АО “ЦНИИМФ” 2015.
5. Mark Z. Jacobson, Mark A. Delucchi Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials // Energy Policy. - No 39, 2011. - P. 1154–1169
6. Радченко Р.В. Водород в энергетике: учеб.пособие / Р.В. Радченко, А.С. Мокрушин, В.В.Тюльпа. – Екатеринбург: Изд-во Урал.ун-та, 2014. – 229 с.

**Summary**  
**IMPACT OF THE APPLICATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES ON FUEL CONSUMPTION IN SHIPS**  
*Muradaliyev A.Z., Huseynov K.Sh.*

This article examines the application of renewable energy sources in shipbuilding and the impact of these technologies on fuel consumption. Wind and solar technologies are analyzed, and their efficiency indicators are compared based on current world experience. The results show that these technologies, although not completely replacing traditional energy sources, can significantly reduce fuel consumption.

**Key words:** *renewable energy, wind turbines, solar panels, fuel consumption, carbon emissions, shipbuilding*

**Резюме**  
**ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА РАСХОД ТОПЛИВА НА СУДАХ**  
*Мурадалиев А.З., Гусейнов К.Ш.*

В статье рассматривается применение возобновляемых источников энергии в судостроении и влияние этих технологий на расход топлива. Проведен анализ технологий ветро- и солнечной энергетики, а также сравнение показателей их эффективности с учетом современной мировой практики. Результаты показывают, что, хотя эти технологии не могут полностью заменить традиционные источники энергии, они могут значительно сократить расход топлива.

**Ключевые слова:** *возобновляемая энергия, ветряные турбины, солнечные панели, потребление топлива, выбросы углерода, судостроение*

**BİNALARDA GÜNƏŞ ENERJİSİ SİSTEMLƏRİNİN İNKİŞAFI VƏ SIFIR KARBON EMİSSİYALI TİKİNTİ KONSEPSİYASI: MODELƏŞDİRMƏ, MONİTORİNG VƏ ENERJİ OPTİMİZASİYASI**

<sup>1,2</sup>**Harunov Asim Teyrun oğlu**  
<sup>1,3</sup>**Əliquliyeva Xəyalə Vaqif qızı**  
<sup>1</sup>**Baxışlı Nicat Valeh oğlu**  
<sup>4</sup>**Atajiyev S.M.**

<sup>1</sup>*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

<sup>2</sup>*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan*

<sup>3</sup>*Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan*

<sup>4</sup>*Tashkent Dpvlət Texniki Universiteti, Tashkent, Uzbekistan*

[asim.harunov@sdu.edu.az](mailto:asim.harunov@sdu.edu.az), [xayala.aliquliyeva@sdu.edu.az](mailto:xayala.aliquliyeva@sdu.edu.az), [nicatbaxisli647@gmail.com](mailto:nicatbaxisli647@gmail.com)

**Xülasə** son illərdə binalarda günəş enerjisi sistemlərinin inteqrasiyası həm akademik, həm də praktiki tədqiqatlarda prioritet sahəyə çevrilmişdir. Bu işdə binalarda günəş istilik və fotoelektrik texnologiyalarının tətbiqi, performansın optimallaşdırılması və modelləşdirilməsi araşdırılmışdır. Binaların enerji göstəricilərinin yüksək dəqiqliklə modelləşdirilməsi enerji istehlakını və karbon emissiyalarını azaltmağa, daxili məkanların komfortunu artırmağa, eyni zamanda tikinti sektorunda innovasiya və texnoloji inkişafı təşviq etməyə imkan verir. Tədqiqat çərçivəsində TRNSYS, EnergyPlus və IDA ICE kimi modelləşdirmə proqramlarının üstünlükləri və məhdudiyyətləri qiymətləndirilmiş, FDM / PCM və hibrid istilik nasosu sistemləri ilə bağlı eksperimental və ədədi analizlər aparılmışdır. Həmçinin, binalara inteqrasiya olunmuş fotoelektrik (BİFE) sistemlərinin göstəricisi, hava şəraitindən asılılıq, kölgələnmə və enerji yığıma sistemləri ilə optimallaşdırma imkanları təhlil edilmişdir. Süni neyron şəbəkələrinə əsaslanan real vaxt monitorinq sistemləri və simsiz sensor şəbəkələrinin tətbiqi fotoelektrik panellərin etibarlılığını və enerji istehsalının stabilliyini artırır.

**Açar sözlər:** *bərpa olunan enerji mənbələri, günəş enerjisi sistemləri, yaşayış binaları, enerji səmərəliliyi, günəş istilik sistemləri, yaşıl texnologiyalar.*

### **Giriş**

Son illərdə dəyişən bərpa olunan enerji mənbələri (BOEM) bütün dünyada təcrid olunmuş və mərkəzi ölkə enerji sistemləri üçün gəlirli və ekoloji təmiz alternativə çevrilmişdir. Lakin onların kəsikli, dəyişkən, stoxastik, idarə oluna bilməyən xarakteri səbəbindən enerji sisteminə müəyyən həcmdə enerji təchizatından başqa bir sıra əlavə və məcburi xidmətlər təqdim edə bilmirlər. BOEM-lərin enerji sistemlərinə inteqrasiyasının səviyyəsini səmərəli şəkildə artırmaq yollarını öyrənmək üçün onların əsasını təşkil edən modellərinin davranışı və elektrik enerjisi istehsalının dinamikasının daha dərin anlaşılması zəruridir. Bu baxımdan son illərdə bir çox tədqiqat BOEM-lərin şəbəkəyə inteqrasiyası məsələlərinə yönəlmişdir.

İqlim dəyişikliyi, ətraf mühitə potensial təsiri və insan həyatı üçün mənfi nəticələri səbəbindən son illərdə əsas problemlərdən birinə çevrilmiş və bu da təmiz və bərpa olunan enerji mənbələrinin istifadəsinin artmasına səbəb olmuşdur. İDÜHP (İqlim Dəyişikliyi üzrə Hökumətlərarası Panel) İPCC, 2050-ci ilə qədər qlobal miqyasda sıfır xalis karbon qazı (CO<sub>2</sub>) tullantılarına nail olmağı tələb edən 1,5°C hədəfi təklif etdi. Tikinti sektorunun qlobal istiləşmənin yumşaldılması üçün əhəmiyyətli potensiala malik olduğu hesab olunur. Avropa İttifaqının (Aİ) məlumatlarına görə, şəhər əhalisi artmaqda davam edəcək və 2050-ci ilə

qədər dünya əhalisinin 66%-i şəhərlərdə yaşayacaq. Bu, davamlı şəhər inkişafı üçün əhəmiyyətli problemlər və imkanlar yaradır. Başqa sözlə, BMT-nin İqlim Dəyişikliyinə Çərçivə Konvensiyası üzrə 26-cı Tərəflər Konfransı (COP26) ölkələrdən 2050-ci ilə qədər qlobal temperatur artımının 1,5 dərəcə Selsi dərəcəsində məhdudlaşdırılmasını tələb edir. Sazişi qəbul edib imzalamaqla, bütün ölkələr, onların inkişaf səviyyəsindən asılı olmayaraq, CO<sub>2</sub> emissiyalarını iqtisadi və demografik meyllərdən ayırmaq üçün tədbirlər görmək öhdəliyi götürdülər.

Bu öhdəliklərin yerinə yetirilməsi isə qlobal iqlim gündəliyində sonrakı konfranslarda daha da dəqiqləşdirilmiş, xüsusən də maliyyə mexanizmləri, enerji keçidi və şəhərdə dayanıqlığı üzrə yeni tələblərlə möhkəmləndirilmişdir. Bu baxımdan, iqlim diplomatiyası üçün növbəti həlledici mərhələ COP29 olmuşdur.

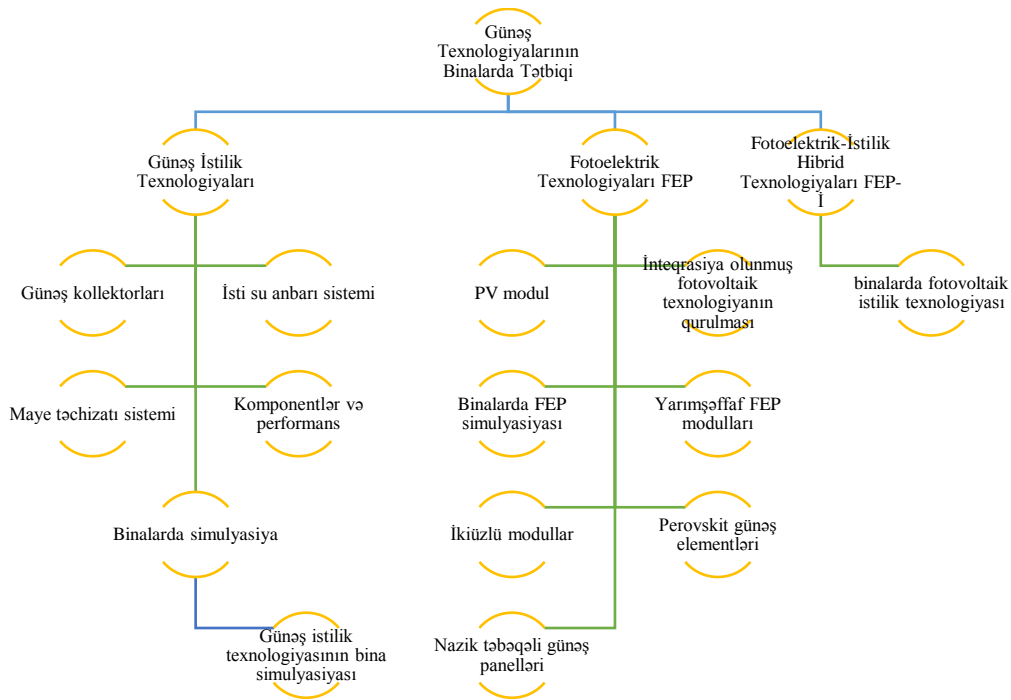
COP29-un Bakı şəhərində keçirilməsi, bir tərəfdən Azərbaycanı beynəlxalq iqlim siyasətinin mərkəzinə çıxarmış, digər tərəfdən isə qlobal iqlim öhdəliklərinin icrası üçün yeni danışıqlar çərçivəsi yaratmışdır. Konfransın əsas məqsədi 2025-ci ildən sonra qüvvəyə minəcək yeni qlobal iqlim maliyyələşdirmə hədəfini (New Collective Quantified Goal on Climate Finance – NCQG) müəyyənləşdirmək və inkişaf etməkdə olan ölkələrin iqlim adaptasiyası, emissiyaların azaldılması və davamlı şəhər transformasiyası üçün daha səmərəli maliyyə axınlarını təmin etməkdir. COP29-da şəhərləşmənin sürətlənməsi fonunda iqlim risklərinin idarə olunması xüsusi prioritet kimi vurğulanmışdır. Şəhərlərin enerji istehlakı, nəqliyyat emissiyaları və infrastrukturun dayanıqlığı iqlim dəyişməsinin əsas təsir sahələri hesab olunur və buna görə də konfrans çərçivəsində ağıllı şəhərlər (smart cities), yaşıl enerji sistemləri, dayanıqlı mobilite və karbon neytrallığına keçid üzrə yeni təşəbbüslər müzakirə edilmişdir.

Beləliklə, COP29 yalnız qlobal iqlim öhdəliklərinin yenilənməsi baxımından deyil, həm də urbanizasiya meyllərinin yaratdığı çağırışların həlli üçün beynəlxalq əməkdaşlığın gücləndirilməsi baxımından xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu konfrans şəhərlərin enerji və ekoloji planlaşdırılmasının gələcək inkişaf istiqamətlərini formalaşdıran əsas platformalardan birinə çevrilmişdir. COP29 qlobal iqlim diplomatiyasında yeni mərhələnin başlanğıcını qoymuş, maliyyələşdirmə, enerji keçidi və urban dayanıqlığı üzrə yeni çərçivələr formalaşdırmışdır. Konfransın mərkəzi nailiyyəti 2025-ci ildən etibarən tətbiq olunacaq NCQG maliyyələşdirmə mexanizminin qəbuludur, bu da inkişaf etmiş ölkələrin öhdəliklərini aydınlaşdırır, inkişaf etməkdə olan ölkələrin adaptasiya və emissiya azaldılması üçün maliyyəyə çıxışını təmin edir, proqnozlaşdırıla bilən maliyyə axınları və iqlim risklərinə davamlı şəhər infrastrukturunu üçün mexanizmlər yaradır. Bakı Bəyannaməsi ölkələrin 1,5°C məqsədinə sadıqlığını təsdiqləyir, urban dayanıqlığı, binaların karbon neytrallığı, yaşıl texnologiyalar və bərpa olunan enerji inteqrasiyasını dəstəkləyir, şəhərlərin resurs səmərəliliyini artıraraq davamlı inkişafın əsaslarını gücləndirir.

COP29 çərçivəsində əldə olunan razılaşmalar şəhərlərin, xüsusilə də tikinti sektorunun iqlim hədəflərinə uyğunlaşdırılmasının nə qədər vacib olduğunu bir daha göstərdi. Urban mühitdə enerji səmərəliliyinin artırılması, binaların iqlim risklərinə qarşı daha davamlı formaya gətirilməsi və karbon emissiyalarının azaldılması üzrə qəbul edilən öhdəliklər tikinti mühitində transformasiya prosesini sürətləndirməyi zəruri edir. Məhz bu kontekstdə, qlobal miqyasda binaların enerji istehlakı və emissiyalarındakı payı nəzərə alınaraq, sıfır emissiyalı tikinti konsepsiyalarının tətbiqi gələcək iqlim strategiyalarının ayrılmaz hissəsinə çevrilir.

Binalar dünyada enerji ilə əlaqəli ümumi birbaşa və dolaylı karbon emissiyalarının təxminən üçdə birinə səbəb olduğundan, "Sıfır Karbon Emissiyalı Bina" anlayışı 2050-ci ilə qədər tikinti mühitində sıfır emissiya hədəfinə çatmaq üçün tətbiq edilə bilən innovativ enerji qənaət modeli təmsil edir. Bu, enerji istehlakında minimal və ya sıfır karbon emissiyasına malik olan binalar haqqındadır. Bərpa olunan enerji mənbələrinin inteqrasiyası, enerjiyə qənaət dizaynı və enerji istehlakının azaldılması sayəsində belə binalar xalis sıfır karbon emissiyası olan binalar statusuna çatırlar.

Son onillikdə günəş enerjisinin binalarda tətbiqi sahəsində tədqiqatların irəliləyişini əks etdirən ədəbiyyat nəzərdən keçirilir, əsas diqqət etibarlılıq, məhsuldarlıq, xərc və estetika üzərində cəmlənir. Məqalənin sonrakı bölmələrində günəş fotoelektrik və istilik texnologiyalarının memarlıq sahəsində etibarlılığının təmin edilməsi və məhsuldarlığının artırılması üsulları, testlərin optimallaşdırılması və gəlirli həllərin axtarışı vasitəsilə günəş enerjisinin tikinti tətbiqlərində böyük potensialı nümayiş etdirilir. Bu iş həmçinin tanışlıq üçün dəqiq və rahat modelləşdirmə üsullarını ümumiləşdirir. Sonra hibrid fotoelektrik və günəş istilik texnologiyalarının inkişafı izah olunur, onların binaların istismar və estetik xüsusiyyətlərinə təsiri araşdırılır. Bundan əlavə, innovativ və qabaqcıl texnologiyalardan istifadə edərək estetik aspektə diqqət yetirilir. Əldə edilmiş nəticələr günəş enerjisinin tətbiqinin inkişafının daha da stimullaşdırılmasına kömək edə bilər və tədqiqatçılara ən son texnologiyaların tələblərini daha yaxşı anlamağa kömək edə bilər. Şəkil 1-də bu məqalənin əsas məzmunu təqdim olunur.



**Şəkil 1.** Binalarda Günəş Enerjisi Texnologiyalarının Tətbiqi və Modelləşdirilməsinin Təsnifat Diaqramı

### Binalarda Günəş İstilik Texnologiyalarının Tətbiqi və Modelləşdirilməsi

Günəş istilik texnologiyalarının binalarda inteqrasiyası davamlı inkişaf və memarlıqda enerji səmərəliliyi istiqamətində mühüm sahədir. Bu, binalar üçün təmiz və bərpa olunan enerji alternativini təqdim edir, ənənəvi enerji mənbələrindən asılılığı əhəmiyyətli dərəcədə azaldır və ətraf mühitə təsiri minimuma endirir. Texnologiyanın inkişafı ilə günəş istilik energetikası memarlıq sahəsində gətirdikə daha mühüm rol oynayacaq.

Binaların enerji göstəricilərinin yüksək səmərəliliklə modelləşdirilməsi enerji istehlakının və karbon emissiyalarının azalmasına, daxili məkanların keyfiyyətinin və məhsuldarlığının yüksəlməsinə, eyni zamanda tikinti sektorunda innovasiyaların və texnoloji inkişafın təşviqinə şərait yaradır. Dəyər və zaman baxımından səmərəlilik, parametrlərin optimallaşdırılması, etnik xüsusiyyətlər və təhlükəsizlik kimi amillər binaların enerji istehlakının modelləşdirilməsini proqnozlaşdırma və qiymətləndirmə prosesində mühüm vasitəyə çevirir. Yeni texnologiyalara əsaslanan modellərin maraqlı tərəflər arasında geniş tətbiqi isə yalnız bu modellərin etibarlılığı və dəqiqliyinin təmin olunması ilə mümkündür. Akademik tədqiqatlarda modelləşdirmənin rolu müasir texnoloji nailiyyətlər nəticəsində daha da genişlənmişdir. Cədvəl 1-də (əlavələr) əvvəlki tədqiqatlar üzrə simulyasiya sınaqlarında istilik səmərəliliyinin ədədi göstəricilərinə dair qısa müqayisə təqdim edilir.

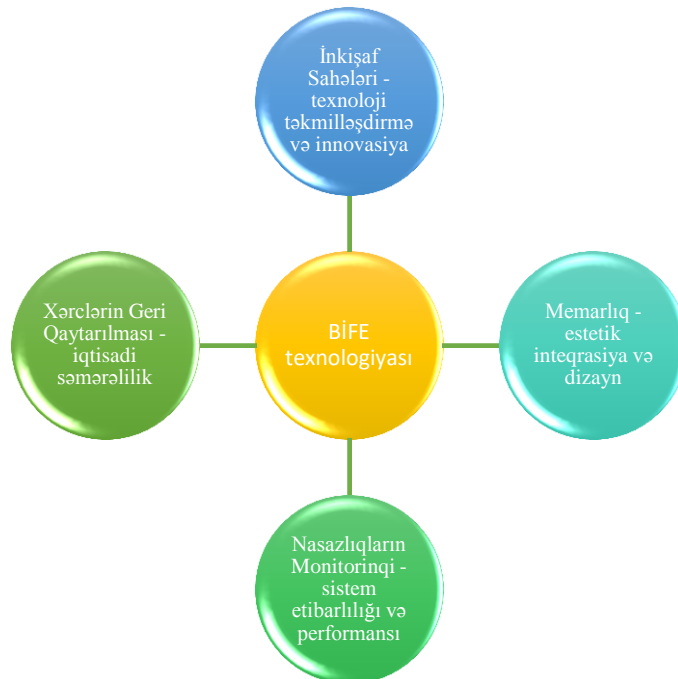
Araşdırmalar göstərir ki, bina enerji səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi üçün tətbiq olunan TRNSYS, EnergyPlus və IDA ICE kimi modelləşdirmə alətləri fəza dəyişdirən materiallar istifadə olunmadığı halda yüksək dəqiqlik nümayiş etdirir, PCM tətbiqi zamanı isə daha etibarlı nəticələrə görə IDA ICE üstünlük təşkil edir. Modelləşdirmə məhdudiyyətlərini azaltmaq üçün BES (EnergyPlus) və CFD (Ansys Fluent) inteqrasiyasına əsaslanan birgə simulyasiya çərçivəsi hazırlanmış və ənənəvi BES alətləri ilə müqayisədə daha dəqiq proqnozlar əldə edilmişdir. İqtisadi optimallaşdırma məqsədilə TRNSYS əsasında günəş-hava istilik nasosu sistemi layihələndirilmiş, daha sonra MATLAB süni neyron şəbəkələri və GenOpt alətləri ilə optimal günəş payı dəyərləri müəyyən edilmişdir. İkiölçülü ədədi modellər və eksperimental yoxlamalar əsasında PCM-də istilik yığılması və “günəş kollektor–torpaq istilik nasosu” hibrid sisteminin səmərəliliyi qiymətləndirilmiş, optimallaşdırılmış istismarın enerji qənaəti yaratdığı təsdiqlənmişdir. Eyni zamanda birbaşa genişlənməli günəşlə dəstəklənən istilik nasosu sistemləri üçün axın rejimi xəritələri, PCM-də histerezis effektini nəzərə alan istilik modelləri və dolaylı günəşlə dəstəklənən sistemlər üçün dinamik su qızdırma modelləri işlənmişdir. Ümumilikdə, modelləşdirmə layihələndiricilərə tikinti komponentləri və enerji sistemlərinin səmərəliliyini qiymətləndirməyə, optimallaşdırma imkanlarını müəyyənəlməyə və daha davamlı, resurs səmərəli bina həlləri tətbiq etməyə imkan verir.

## Binalara İntegrasiya Olunan Fotoelektrik Sistemlərin Problemləri və Optimallaşdırılmış Həllər

Araşdırmalar göstərir ki, binalara inteqrasiya olunmuş fotoelektrik (FE) sistemlər yaşayış məntəqələrində bərpa olunan enerji istifadəsinin genişlənməsində mühüm rol oynasa da, onların əsas məhdudiyyəti hava şəraitindən asılı kəsikli iş rejimidir. FE sistemlərinin səmərəliliyi külək generasiyası, qazıntı yanacağına əsaslanan elektrik stansiyaları və enerji yığım sistemləri ilə hibridləşdirmə yolu ilə artırıla bilər. Xərclərin miqyas effekti hesabına azalması və silikon fotoelektrik texnologiyalarda passivləşdirici kontaktların inkişafı nəticəsində FE enerji payının artacağı proqnozlaşdırılır. Təklif-tələb uyğunsuzluğunu azaltmaq üçün batareya enerji yığım sistemləri aşağı tələb dövrlərində enerjini saxlamağa və pik yük vaxtı şəbəkəyə qaytarmağa imkan verir; bu prosesin optimallaşdırılması isə genetik alqoritmlər və parça sürü optimallaşdırma üsulları ilə həyata keçirilir və gərginlik düşgülləri, güc itkiləri və maksimal yüklənmə ilə bağlı xərclərin azaldılmasına şərait yaradır. Fotovoltaik (PV) texnologiyasının digər bir nəzərəcarpacaq çatışmazlığı bərpa olunan enerjinin 80%-dən çoxunun istiliyə çevrilməsidir. Bu istilik enerjisi kollektorda düzgün şəkildə saxlanılmazsa, PV elementlərinə potensial zərər verə bilər.

### Binalarda İnteqrasiya Olunmuş Fotoelektrik Sistem Texnologiyaları

BİFE sistemlərinin sürətli inkişafı günəş kollektorları və modullarının səmərəliliyinin artması, istehsal xərclərinin azalması və rəqabətli enerji istehsalı dəyərində nail olunması ilə əlaqələndirilir. Araşdırmalar göstərir ki, BİFE sistemləri son illərdə həm binanın enerji istehsalı, həm də istilik rahatlığının təmin edilməsi baxımından xüsusi diqqət cəlb etmişdir. Texnoloji sərhədlərin təhlili üç əsas inkişaf istiqamətini müəyyən etmişdir: yüngül, elastik və estetik cəhətdən uyğun modul daşıyıcıları; təkmilləşdirilmiş BİFE komponentləri; və sosial şəbəkə analizi ilə mətn klasterləşməsinə əsaslanan ağıllı idarəetmə sistemləri. Eyni zamanda, BİFE tətbiqlərinin sosial və ekoloji təsirləri araşdırılmış, ekoloji, sağlamlıq, dizayn və sosial amillərlə bağlı üstünlüklər və məhdudiyyətlər müəyyən edilmişdir. Fotoelektrik sistemlərin real şəraitdə müxtəlif nasazlıq rejimlərinə məruz qala bilməsi erkən xəbərdarlıq imkanlarına malik səmərəli monitorinq sistemlərinin vacibliyini artırır. Ənənəvi kabel əsaslı monitorinqin yüksək xərc və ekoloji mənfi təsirlərinə qarşılıq, müasir simsiz monitorinq texnologiyaları məhdudiyyətləri əhəmiyyətli dərəcədə azaldaraq real vaxtda qərar qəbulətməni asanlaşdırır. Süni neyron şəbəkələrinə əsaslanan kölgə salma və digər nasazlıqların aşkarlanması üzrə inkişaf etmiş monitorinq yanaşmaları, eləcə də simsiz sensor şəbəkəsi ilə inteqrasiya olunmuş qeyri-xətti maksimum güc nöqtəsi izləmə nəzarətçiləri artıq mövcuddur.



Şəkil 2. Binalarda İnteqrasiya Olunmuş Fotoelektrik (BİFE) Sisteminin Ümumi Strukturu

Enerji istehsalındakı dəyişkənliklər adətən ətraf mühit şəraitinin dəyişməsi, kölgələnmə və ya nasazlıqlarla əlaqədar olduğundan, fotoelektrik panellərin vəziyyətinin müəyyən edilməsi üçün intellektual monitorinq sistemə ehtiyac duyulur. Bu məqsədlə, ucuz aparat platformalarında işləyə bilən, kompakt, lakin yüksək effektivliyə malik süni neyron şəbəkəsi arxitekturasına əsaslanan yeni real vaxt monitorinq

sistemi təqdim olunur. Təklif edilən sistem fotoelektrik panellərdə qəza rejimləri nəticəsində yaranan deqradasiya dəyişikliklərini müəyyən etməyə qadirdir. Şəkil 2-də Bu BİFE (Binalarda İnteqrasiya Olunmuş Fotoelektrik) sisteminin hərtərəfli baxışını göstərən diaqram təqdim edilir.

### **Binalarda Fotoelektrik Sistemlərin Modelləşdirilməsi**

Binalarda fotoelektrik sistemlərin modelləşdirilməsi günəş enerjisi istehsalının müxtəlif iş şəraitlərində davranışını, elektrik çıxışını, istilik rejimlərini və enerji qəbulu ilə əlaqəli riskləri qiymətləndirməyə imkan verən mühüm analitik yanaşmadır. Modelləşdirmə vasitəsilə fotoelektrik panellərin şüalanma intensivliyinə, temperatur dəyişikliklərinə, kölgələnmə hallarına və panel konfigurasiyasına verdiyi reaksiyalar dəqiq təhlil olunur, bu isə enerji istehsalının optimallaşdırılması, güc itkilərinin azaldılması və sistem etibarlılığının artırılması üçün əsas baza yaradır. Həmçinin, fotovoltaiq sistemlərin binanın elektrik şəbəkəsi, enerji yığım qurğuları və hibrid generasiya mənbələri ilə inteqrasiyası simulyasiya edilərək həm texniki, həm də iqtisadi baxımdan optimal layihə həllərinin müəyyən edilməsi təmin edilir. Bu modelləşdirmə yanaşmaları binanın ümumi enerji performansının yüksəldilməsinə və daha dayanıqlı enerji idarəetmə strategiyalarının hazırlanmasına şərait yaradır.

Qeyd etmək lazımdır ki, yeni texnologiyaların və materialların tətbiqi ilə geniş istifadə olunan modelləşdirmə proqram təminatı əhəmiyyətli xətalər göstərə bilər. Məsələn, EnergyPlus-un sadələşdirilmiş modelləri yarımşəffaf FE modul tipləri arasındakı fərqləri kifayət qədər dəqiq nəzərə ala bilməz, bu da binaların enerji göstəriciləri üçün modelləşdirmə alətlərinin daimi təkmilləşdirilməsi ehtiyacını göstərir.

Günəş enerjisi dəyişkən mənbədir, çünki onun mövcudluğu hava və coğrafi amillərdən asılıdır. Günəş enerjisinin buludlu günlərdə və ya gecə vaxtı istifadəsi üçün yığılması çətin vəzifə olaraq qalır. Bərabərsiz xarakteri kompensasiya etmək üçün tədqiqatçılar enerji yığım qurğuları üzərində aktiv şəkildə işləməklə birlikdə, bir çox aspektlər əlavə təkmilləşdirmə tələb edir.

Günəş energetika sistemlərinin dəyərinin azalmasına baxmayaraq, onlar ənənəvi enerji mənbələri ilə müqayisədə nisbətən bahalı olaraq qalır, bu da onların geniş yayılmasının qarşısını alır. Dövlət dəstəyinin və müvafiq siyasətin olmaması da günəş texnologiyalarının təşviqini və tətbiqini məhdudlaşdırır. Bundan əlavə, daha geniş yayılmasına və davamlı inkişafına nail olmaq üçün texniki qulluq və avadanlıqların utilizasiyası məsələləri nəzərə alınmalıdır.

### **Nəticə**

Binalarda günəş istilik və fotoelektrik sistemlərin inteqrasiyası enerji səmərəliliyinin artırılması, karbon emissiyalarının azalması və daxili məkanların komfortunun yüksəldilməsi baxımından mühüm potensiala malikdir. Modelləşdirmə və simulyasiya alətləri — TRNSYS, EnergyPlus, IDA ICE, CFD və digər optimallaşdırma metodları — binaların istilik və elektrik performansının dəqiq qiymətləndirilməsinə imkan verir, sistemlərin etibarlılığını və enerji qənaətini artırır. Faza dəyişdirən materiallar (FDM/PCM) ilə istilik yığım panellərin performansını optimallaşdırır və sistemlərin dəyişkən iş rejimlərində səmərəliliyini artırır. Binalara inteqrasiya olunmuş fotoelektrik sistemlər, xüsusilə müasir süni neyron şəbəkəsi və simsiz monitorinq texnologiyaları ilə birləşdirildikdə, enerji istehsalında dayanıqlılıq və qəza hallarının erkən aşkarlanmasını təmin edir. Hibrid sistemlərin və optimallaşdırılmış layihə yanaşmalarının tətbiqi həm texniki, həm də iqtisadi baxımdan davamlı və səmərəli həllər təqdim edir. Ümumilikdə, günəş energetikasının binalarda tətbiqi yalnız enerji qənaəti və karbon azaldılması deyil, həm də urbanizasiya və iqlim dəyişməsinə qarşı dayanıqlı bina texnologiyalarının inkişafı üçün mühüm bazadır.

### **Ədəbiyyat**

1. Harunov, A. (2025). *Improving the Energy Efficiency of a Multi-Apartment Residential Complex through the Use of a Solar Power Plant as an Additional Energy Source*. *Znanstvena misel*, № 103, c. 63–65. DOI: 10.5281/zenodo.15773572. [zenodo.org](https://zenodo.org)
2. Wei, Y.-M.; Han, R.; Liang, Q.-M.; Yu, B.-Y.; Yao, Y.-F.; Xue, M.-M.; Zhang, K.; Liu, L.-J.; Peng, J.; Yang, P.; et al. An integrated assessment of INDCs under Shared Socioeconomic Pathways: An implementation of C3IAM. *Nat. Hazards* 2018, 92, 585–618. [CrossRef]
3. Pathak, M., Slade, R., Pichs-Madruga, R., Ürge-Vorsatz, D., Shukla, P. R., Skea, J., Abdulla, A., Al Khouradajie, A., Babiker, M., & Bai, Q. (2022). *Working Group III Contribution to the IPCC Sixth Assessment Report (AR6): Technical Summary*. Retrieved January 24, 2024, from [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_TechnicalSummary.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_TechnicalSummary.pdf)
4. Newell, P., & Simms, A. (2022). *Reflections on COP26: International Diplomacy, Global Justice and the Greening of Capitalism*. *Znanstvena misel*, (103), 63–65. DOI: 10.5281/zenodo.15773572. <https://zenodo.org/>

5. Wang, N., Phelan, P. E., Harris, C., Langevin, J., Nelson, B., & Sawyer, K. (2018). Past visions, current trends, and future context: A review of building energy, carbon, and sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 976–993. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.066>
6. Twinn, R., Desai, K., & Box, P. (2019). Net Zero Carbon Buildings: A Framework Definition. UK Green Building Council. <https://www.ukgbc.org/wp-content/uploads/2019/04/Net-Zero-Carbon-Buildings-A-framework-definition.pdf>
7. Wilson, G. M., Al-Jassim, M., Metzger, W. K., Glunz, S. W., Verlinden, P., Xiong, G., Mansfield, L. M., Stanbery, B. J., Zhu, K., & Yan, Y. (2020). The 2020 photovoltaic technologies roadmap. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 53(49), 493001. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/aba1c0>
8. Hensen, J. L. M., & Lamberts, R. (2012). *Building Performance Simulation for Design and Operation*. Routledge. [https://build-up.ec.europa.eu/sites/default/files/content/Building\\_Performance\\_Simulation%20book\\_general\\_information.pdf](https://build-up.ec.europa.eu/sites/default/files/content/Building_Performance_Simulation%20book_general_information.pdf)
9. Chong, A., Gu, Y., & Jia, H. (2021). Calibrating building energy simulation models: A review of the basics to guide future work. *Energy and Buildings*, 253, 111533. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111533>
10. Abojela, Z. R. K., Desa, M. K. M., & Sabry, A. H. (2023). Current prospects of building-integrated solar PV systems and the application of bifacial PVs. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1164494. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1164494>
11. [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Masterdeck--COP29-Webinar-Series--Climate-Finance.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Masterdeck--COP29-Webinar-Series--Climate-Finance.pdf?utm_source=chatgpt.com)
12. COP29 sədri Muxtar Babayev “Bakı–Belém Yol Xəritəsi” ilə 2035-ci ilə qədər ildə 1,3 trilyon ABŞ dolları iqlim maliyyəsi cəlb etmək məqsədini irəli sürüb. [Apa.az+2Report.az+2](https://www.woodwellclimate.org/project/woodwell-climate-cop-29/)
13. <https://www.woodwellclimate.org/project/woodwell-climate-cop-29/>
14. Hub Climate Governance. (2025). *Baku Dialogue on Water for Climate Action*. Retrieved from <https://hub.climate-governance.org>
15. Mazzeo, D., Matera, N., Cornaro, C., Oliveti, G., Romagnoni, P., & De Santoli, L. (2020). *EnergyPlus, IDA ICE and TRNSYS predictive simulation accuracy for building thermal behaviour evaluation by using an experimental campaign in solar test boxes with and without a PCM module*. *Energy and Buildings*, 212, 109812. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109812>
16. Bastos, H. M. C., Torres, P. J. G., & Álvarez, C. E. C. (2018). Numerical simulation and experimental validation of a solar-assisted heat pump system for heating residential water. *International Journal of Refrigeration*, 86, 28–39. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.11.003>
17. Pavlakis, S., Teo, P., & Jayasuriya, S. (2022). The social and environmental impact of building integrated photovoltaics technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1064/1/012012>
18. Martin, A.D., Cano, J.M., Medina-Garcia, J., Gomez-Galan, J.A., & Vazquez, J.R. (2020). Centralized MPPT controller system of PV modules by a wireless sensor network. *IEEE Access*, 8, 71694–71707. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2986936>
19. Mun, S.-H., Kang, J., Kwak, Y., Jeong, Y.-S., Lee, S.-M., & Huh, J.-H. (2020). Limitations of EnergyPlus in analyzing energy performance of semi-transparent photovoltaic modules. *Case Studies in Thermal Engineering*, 22, 100765. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100765>
20. Miglioli, A., Aste, N., Del Pero, C., & Leonforte, F. (2023). Photovoltaic-thermal solar-assisted heat pump systems for building applications: Integration and design methods. *Energy, Built Environment*, 4, 39–56. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2023.01.004>

## Əlavələr

**Cədvəl 1. Simulyasiya testlərində istilik səmərəliliyinin ədədi dəyərlərinə dair əvvəlki tədqiqatların qısa müqayisəsi**

№	Mənbə (il) — jurnal	İstifadə olunan metod/program	Şərtlər və model parametrləri	İstilik səmərəliliyi (%)	Qısa nəticə
1	S. Lv et al., 2023 — (ScienceDirect). <a href="https://www.sciencedirect.com">ScienceDirect</a>	ANSYS Fluent (transient CFD)	PCM ilə günəş paneli arasında unsteady (vaxtla dəyişən) istilik mübadiləsi; transient analiz	72–81 (model və PCM növünə görə)	PCM-in daxil edilməsi panellərin orta istilik səmərəliliyini artırır, transient davranış vacib rol oynayır. <a href="https://www.sciencedirect.com">ScienceDirect</a>

2	S.E. Sofyan et al., 2024 — Results in Engineering. ( <a href="#">ScienceDirect</a> )	ANSYS Fluent (CFD)	Earth-air heat exchanger (EAHE): seriyalı və paralel konfigurasiyalar, turbulent rejim	68–76 (konfigurasiya görə)	Seriyalı/paralel bağlantı istilik ötürmə və səmərəliliyi fərqləndirir; axın düzülüşü mühüm parametrdir. ( <a href="#">ScienceDirect</a> )
3	M. Kim, 2021 — (Computational heat transfer study). ( <a href="#">ScienceDirect</a> )	CFD ( müxtəlif solverlər ) / Emperical validation	İki fazalı termosifon və yüksək temperatur fərqləri; təcrübi müqayisə	74–83	Konveksiya və iki fazalı axının rolu böyükdür; model seçimləri nəticələrə təsir edir. ( <a href="#">ScienceDirect</a> )
4	R. Wang, 2024 — multi-scale simulation (Elsevier). ( <a href="#">ScienceDirect</a> )	Multi-scale FVM/CFD + optimizasiya	Sistem səviyyəli termal idarəetmə ilə ara bağlantılar; orta və lokal skala	75–84	Multi-scale yanaşma istilik performansını və optimallaşdırmanı yaxşılaşdırır; sistem inteqrasiyası vacibdir. ( <a href="#">ScienceDirect</a> )
5	Z. Jiang, 2025 — MDPI / Water (numerical heat-exchanger study). ( <a href="#">MDPI</a> )	Global flow-field / CFD (ANSYS/yanlışıqlar yoxlanılıb)	Multi-tube heat exchanger nümunəsi; real əməliyyat şəraitinə tətbiq	77–86	Boru düzülüşü və lokal axın strukturları termal səmərəliliyə əhəmiyyətli təsir göstərir. ( <a href="#">MDPI</a> )

*Mənbə: Müəllif tərəfindən araşdırılıb*

### Məqalədəki qısaltmalar

TRNSYS – *Transient System Simulation Program*

(Keçid sistemlərinin davranışını simulyasiya etmək üçün proqram paketi)

EnergyPlus (BES) – *Building Energy Simulation*

(Binaların enerji istehlakını və HVAC sistemlərini modelləşdirən proqram; BES – bina enerji simulyasiyası)

IDA ICE – *IDA Indoor Climate and Energy*

(Binaların enerji istehlakı, daxili iqlim və istilik rahatlığının detallı modelləşdirilməsi üçün proqram)

FDM / PCM – *Phase Change Material*

(Faza dəyişdirən material)

CFD – *Computational Fluid Dynamics*

(Hesablama axın dinamikası; maye axını, istilik ötürülməsi və əlaqəli proseslərin modelləşdirilməsi)

Ansys Fluent – CFD əsaslı çoxsaxəli axın və istilik prosesləri simulyasiya proqramı

BES – *Building Energy Simulation*

(EnergyPlus proqramı vasitəsilə binaların enerji göstəricisinin simulyasiyası)

MATLAB ANN – *Artificial Neural Networks*

(MATLAB mühitində Süni Neyron Şəbəkələri)

GenOpt – *Generic Optimization Program*

(Mürəkkəb sistemlərin optimallaşdırılması üçün universal optimizasiya proqramı)

### Summary

#### DEVELOPMENT OF SOLAR ENERGY SYSTEMS IN BUILDINGS AND THE ZERO-CARBON BUILDING CONCEPT: MODELING, MONITORING, AND ENERGY OPTIMIZATION

*Harunov A.T., Aliguliyeva Kh.V., Bakhishli N.V., Atajiyev S.M.*

In recent years, the integration of solar energy systems in buildings has become a priority area in both academic and practical research. This study investigates the application, performance optimization, and modeling of solar thermal and photovoltaic technologies in buildings. High-accuracy modeling of building energy performance enables the reduction of energy consumption and carbon emissions, enhances indoor comfort, and simultaneously promotes innovation and technological development in the construction sector. Within the study, the advantages and limitations of simulation software such as TRNSYS, EnergyPlus, and IDA ICE were evaluated, and experimental and numerical analyses were conducted for FDM/PCM and hybrid heat pump systems. Additionally, the performance of building-integrated photovoltaic (BIPV) systems, their dependence on weather conditions, shading effects, and optimization possibilities with energy storage systems were analyzed. The implementation of real-time monitoring systems based on artificial neural networks and wireless sensor networks improves the reliability of photovoltaic panels and stabilizes energy production.

**Keywords:** renewable energy sources, solar energy systems, residential buildings, energy efficiency, solar thermal systems, green technologies.

## Резюме

### РАЗВИТИЕ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ЗДАНИЯХ И КОНЦЕПЦИЯ НУЛЕВОГО УГЛЕРОДНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА: МОДЕЛИРОВАНИЕ, МОНИТОРИНГ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГИИ

*Гарунов А.Т., Алигулиева Х.В., Бахышлы Н.В., Атаджиев С.М.*

В последние годы интеграция солнечных энергетических систем в здания стала приоритетной областью как академических, так и практических исследований. В данной работе исследуются применение, оптимизация производительности и моделирование солнечных тепловых и фотоэлектрических технологий в зданиях. Высокоточное моделирование энергетических характеристик зданий позволяет снижать потребление энергии и выбросы углерода, повышать комфорт внутри помещений, а также стимулировать инновации и технологическое развитие в строительном секторе. В рамках исследования были оценены преимущества и ограничения программ моделирования, таких как TRNSYS, EnergyPlus и IDA ICE, а также проведены экспериментальные и численные анализы систем PCM и гибридных тепловых насосов. Дополнительно проанализирована эффективность встроенных фотоэлектрических систем (BIPV), их зависимость от погодных условий, эффект затенения и возможности оптимизации с использованием систем накопления энергии. Применение систем мониторинга в реальном времени на основе искусственных нейронных сетей и беспроводных сенсорных сетей повышает надежность фотоэлектрических панелей и стабилизирует выработку энергии.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, солнечные энергетические системы, жилые здания, энергоэффективность, солнечные тепловые системы, зеленые технологии

### IMPACT OF SILICON CARBIDE TECHNOLOGY ON EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY IN SOLAR ENERGY SYSTEMS

**Mahmudova Telkhanim Suleyman**

*SABAH Groups Faculty, Baku State University, Baku, Azerbaijan*

[telxanim2002@gmail.com](mailto:telxanim2002@gmail.com)

**Summary** Silicon carbide (SiC) provides high efficiency and durability in solar energy systems. Its wide band gap, high thermal conductivity, and radiation resistance make it an ideal semiconductor. SiC reduces losses in energy conversion, operates efficiently at high power and frequencies. These properties increase the efficiency of solar panels and power converters and enable the miniaturization of energy systems.

**Keywords:** Silicon carbide, solar energy, efficiency, durability, wide band gap, energy conversion, thermal conductivity

#### Introduction

The rapid development of solar technologies in recent years has paved the way for the development of more sustainable energy sources in the future. Solar energy is a clean and abundant source of energy that is captured from the Sun and converted into heat or electricity. This energy can be obtained in various ways, such as photovoltaic systems and solar thermal technologies. Solar power plants can be built as small grids that deliver energy to individual consumers, central plants close to renewable sources, and large-scale plants that feed energy into the electricity grid. Although the amount of energy reaching the Earth from the Sun is very high, the full use of this energy is limited by factors such as scattering, absorption, reflection, and climate. In addition, the efficiency of currently used silicon-based solar panels varies between 15%-17%, which hinders efficient energy conversion. Modern multilayer and focused photovoltaic cells can achieve higher efficiencies, but their high cost limits their wide application possibilities[4].

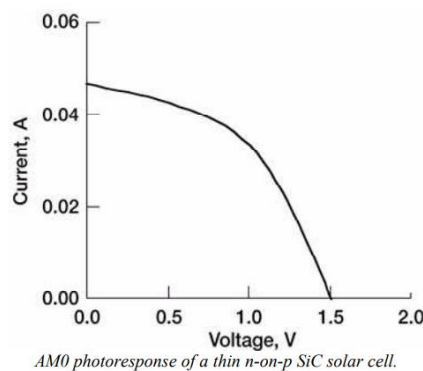
#### Physical Properties of Silicon Carbide and Its Application in Solar Energy Systems

The discovery of a new production method at the end of the nineteenth century led to its use as a ceramic material. SiC is the most stable of the carbides due to the protective layer of silicon formed on its surface. The global production market has shown that it is used primarily as an abrasive, high-temperature, and wear-resistant product, as well as in metallurgy. SiC is the only carbide used as a ceramic material. SiC is also found in meteoroids in nature. In 1891, a chemist named Edward Goodrich Acheson tried to make diamonds by passing an electric current through clay using a carbon rod. The hard crystal he produced was not diamond, but carborundum, or SiC. Edward Goodrich thought this material would be useful, created the Acheson furnace, and began producing abrasive products from SiC. To obtain SiC, low-sulfur petroleum coke was used as carbon, and sand with a very high purity (99.4%) was used as silicon. The reaction between silicon and carbon begins when the temperature reaches 1400 °C. When the temperature reaches 1800°C, the cubic form of SiC ( $\beta$ -SiC) is obtained, and when the temperature is above 1800 °C, its hexagonal form ( $\alpha$ -SiC) is obtained[2].

The theoretical efficiency of silicon-based cells is calculated to be between 31%-40%. However, in real conditions, this figure varies between 15%-30%. In solar power plants that are being built, the efficiency is usually below 30%. In concentrated solar power plants, this figure can be higher. The demand for solar energy continues to increase over the years, and strong development is predicted in this area. However, the

conversion of solar energy into electricity with high efficiency and low cost remains a significant technological challenge. Innovative approaches to this end include the use of lead and selenium-based nanocrystals, new technologies that reduce manufacturing costs, nanorod-structured cells, and methods such as combining titanium dioxide with dye molecules[4].

SiC is a semiconductor material with a wide bandgap, which is widely used in optical applications. The bandgap of SiC is approximately 3.2 eV (for 4H-SiC) and 3.0 eV (for 6H-SiC), making it an ideal material for use in high-temperature and high-voltage applications. The optical properties of SiC are closely related to its bandgap, as SiC has a wide bandgap, which allows it to transmit light with low loss in the visible and infrared spectral ranges and provides high optical transmittance. In polytypes of SiC (e.g., 4H, 6H, 3C), the bandgap width varies depending on the polytype structure, which directly affects the optical properties of the material. Polytypes with a wide band gap transmit light better at shorter wavelengths (e.g., blue and ultraviolet) (reduced transparency). The wide band gap of SiC minimizes the number of electron-hole pairs created, which reduces light absorption and makes the material useful in optical devices (e.g., LEDs, lasers, detectors). The thermal conductivity of SiC is higher than that of other materials with a wide band gap (e.g., GaN), which allows for better thermal management of optical components. SiC is highly radiation resistant, which makes it widely used in optical applications[1].



This image shows the AMO (Air Mass Zero) photoresponse of a thin n-on-p SiC solar cell. The graph depicts the relationship between current (A) and voltage (V). The wide energy bandgap and high thermal conductivity of SiC material help to increase the efficiency of solar power systems. These properties make SiC a better choice for higher performance and lower power loss than traditional silicon-based components. As mentioned in the article, SiC power switches are ideal for use in high-power applications, such as solar inverters and electric vehicle charging systems. The photoresponse curve in the image demonstrates how a SiC-based solar cell can control the current as the voltage changes[3].

The role of renewable energy sources is rapidly increasing as a result of the energy revolution taking place around the world. According to the International Energy Agency, by 2026, more than 95 percent of the growth in energy capacity will be in this area, and more than half of this will be solar energy. In such a situation, it has become important to make energy conversion systems operate with higher efficiency, take up less space, and increase reliability. To meet these needs, SiC material is widely used and opens up new opportunities in the field of renewable energy. SiC has several advantages compared to traditional power converters. Its low electrical resistance and capacitance reduce energy loss and increase conversion efficiency. This means that solar panels and energy storage systems can produce more energy. Since SiC has a higher switching speed, losses during energy conversion are reduced, which increases the overall energy output. In addition, this material allows for the development of smaller and denser devices, as it can operate at higher temperatures, which ensures more efficient energy management. There are important points to consider when working with SiC. Since these power switches require high voltage and current, suitable gate drivers are needed to control them. Inappropriate drivers can cause power losses and component damage. SiC elements are less tolerant to short circuits, so additional protection mechanisms must be implemented. There are drivers on the market that have functions such as short circuit and temperature control already built into them. This both increases safety and simplifies design. The graph below shows at which frequency and power levels different power switches work most effectively. Traditional silicon-based components are used at lower power and frequencies. Super junction silicon can operate over a wider range. IGBT and GTO technologies are designed for high-power applications, but their frequency range is limited. Gallium nitride material is mainly suitable for very high frequencies, but the power level is relatively low. SiC is a very

suitable material for power conversion systems, as it can be widely used at both high power and high frequencies.

Considering all these properties, the use of SiC in renewable energy systems not only increases efficiency but also makes the system more durable and compact. This makes its application in solar energy systems, energy storage devices, and charging infrastructure for electric vehicles even more attractive[5].

### Conclusion

The rapid development of solar technologies in recent years has led to significant progress in achieving more efficient and sustainable energy generation. The integration of SiC into solar energy systems is one of the main technological pillars of this progress. The stable operation of this material at high temperatures and voltages, low energy loss, wide band gap, and high thermal conductivity enables it to be widely used in both energy conversion systems and optical devices. SiC structures, which offer higher efficiency compared to classic silicon-based panels, are candidates to play a greater role in the future of solar cells. At the same time, the advantages of devices made based on this material in terms of durability, radiation tolerance, and miniaturization will allow for a wider application of solar technologies in the future. The data presented in this study show that SiC can play a key role in the more efficient use of solar energy and that its technological potential has not yet been fully exhausted.

### References

1. Choyke, W. J., Matsunami, H., & Pensl, G. (2005). *Silicon Carbide* [electronic resource]: Recent major advances.
2. Matsunami, H. (2001). Chemical vapor epitaxy of silicon carbide. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, 1192-1197.
3. NASA. (2005). *Download: 20050201668*. Retrieved from <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20050201668/downloads/20050201668.pdf>
4. Pushpakaran, B. N., Subburaj, A. S., Bayne, S. B., & Mookken, J. (2016). Impact of silicon carbide semiconductor technology in photovoltaic energy system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 971-989.
5. Texas Instruments. (2025). *Silicon carbide in energy systems*. Retrieved from <https://www.ti.com/lit/pdf/ssztcy2>

### Xülasə

#### SILIKON KARBID TEXNOLOGİYASININ GÜNƏŞ ENERJISI SİSTEMLƏRİNDƏ SƏMƏRƏLİLİK VƏ DAVAMLILIĞA TƏSİRİ

*Mahmudova T.S.*

Silisiyum karbid (SiC) günəş enerjisi sistemlərində yüksək səmərəlilik və davamlılıq təmin edir. Geniş zolaq boşluğu, yüksək istilik keçiriciliyi və radiasiya müqaviməti onu ideal yarımkeçirici edir. SiC enerjinin çevrilməsində itkiləri azaldır, yüksək güc və tezliklərdə səmərəli işləyir. Bu xüsusiyyətlər günəş panellərinin və enerji çeviricilərinin səmərəliliyini artırır və enerji sistemlərinin miniatürləşdirilməsinə imkan verir.

**Açar sözlər:** Silisiyum karbid, günəş enerjisi, səmərəlilik, davamlılıq, geniş bant boşluğu, enerji çevrilməsi, istilik keçiriciliyi

### Резюме

#### ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КАРБИДА КРЕМНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ В СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*Махмудова Т.С.*

Карбид кремния (SiC) обеспечивает высокую эффективность и долговечность в солнечных энергетических системах. Его широкая запрещенная зона, высокая теплопроводность и радиационная стойкость делают его идеальным полупроводником. SiC снижает потери при преобразовании энергии, эффективно работает при высокой мощности и частотах. Эти свойства повышают эффективность солнечных панелей и преобразователей энергии и позволяют миниатюризировать энергетические системы.

**Ключевые слова:** Карбид кремния, солнечная энергия, эффективность, долговечность, широкая запрещенная зона, преобразование энергии, теплопроводность

# GÜNƏŞ DAVAMLILIK İNKİŞAF VƏ ENERJİ TƏHLÜKƏSİZLİYİNİN AÇARIDIR

**Quliyeva Aidə İsmayıl qızı**  
**Camalxanova İradə Seyfulla qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*  
[quliyeva.aide57@mail.ru](mailto:quliyeva.aide57@mail.ru), [camalxanovairade@mail.ru](mailto:camalxanovairade@mail.ru)

**Xülasə.** Günəş enerjisi bəşəriyyətin enerji ehtiyaclarını ekoloji cəhətdən təmiz, davamlı və iqtisadi baxımdan sərfəli şəkildə ödəməyə qadir olan alternativ enerji mənbələrindən biridir; günəş radiasiyasının yüksək olduğu regionlarda, xüsusilə Azərbaycanda bu enerji növünün tətbiqi enerji təhlükəsizliyinin təmin olunmasına və ətraf mühitin qorunmasına mühüm töhfə verə bilər.

**Açar sözlər:** global, enerji, ənənəvi, panel, elektrik

Son onilliklərdə dünyanın enerji tələbatı sürətlə artmaqda, ənənəvi enerji mənbələri isə tədricən tükənməkdədir. Eyni zamanda, fosil yanacaqların istifadəsi nəticəsində yaranan ekoloji problemlər – atmosferin çirklənməsi, global istiləşmə və iqlim dəyişiklikləri – insanlığın gələcəyi üçün ciddi təhdidlər yaradır. Bu səbəbdən, bəşəriyyət enerjiyə olan ehtiyacını qarşılayarkən alternativ və ekoloji cəhətdən təmiz enerji mənbələrinə üstünlük verməyə başlamışdır. Alternativ enerji növləri arasında günəş enerjisi öz geniş yayılma potensialı, texnoloji inkişafı və davamlılığı ilə xüsusi yer tutur. Məqalənin məqsədi günəş enerjisinin üstünlüklərini, texnologiyalarını və xüsusilə Azərbaycanın bu sahədəki potensialını təhlil etməkdir.

Günəş enerjisi – günəşdən gələn elektromaqnit radiasiyasının müxtəlif texnologiyalar vasitəsilə elektrik və ya istilik enerjisinə çevrilməsi prosesidir. Bu proses əsasən iki üsulla həyata keçirilir: fotovoltaiq (PV) panellər vasitəsilə birbaşa elektrik enerjisi əldə etmək və ya günəş termal sistemləri vasitəsilə istilik enerjisi istehsal etmək. Fotovoltaiq panellər günəş şüalarını udaraq elektrik cərəyanı yaradır, günəş termal sistemləri isə günəş işığını toplayaraq suyu və ya digər mayeləri qızdırır.

Günəş enerjisi tükənməyən və ekoloji cəhətdən təmiz bir mənbədir. Onun istifadəsi karbon qazı emissiyalarını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır və atmosferin çirklənməsinin qarşısını alır. Günəş enerjisi həm də uzunmüddətli iqtisadi fayda verir: ilkin sərmayə yüksək olsa da, işləmə və saxlanma xərcləri azdır. Bundan əlavə, günəş panelləri kiçik və böyük miqyasda quraşdırıla bildiyi üçün fərdi evlərdən tutmuş sənaye müəssisələrinə qədər geniş tətbiq sahəsinə malikdir.

Günəş enerjisinin əldə olunması üçün istifadə edilən əsas texnologiyalar fotovoltaiq panellər və günəş termal sistemləridir. Fotovoltaiq sistemlər daha çox elektrik enerjisi istehsalına yönəldilsə də, termal sistemlər isti su təminatı və isitmə məqsədləri üçün istifadə olunur. Bəzi ölkələrdə günəş enerjisi ilə çalışan böyük miqyaslı elektrik stansiyaları da mövcuddur. Günəş enerjisinin akkumulyatorlar vasitəsilə saxlanması və gecə saatlarında da istifadəsi bu texnologiyanın effektivliyini artırır.

Azərbaycan coğrafi mövqeyinə görə günəş enerjisinin inkişafı üçün əlverişli ölkələrdən biridir. Ölkənin əksər bölgələrində illik günəşli saatların sayı 2,400-3,000 arasında dəyişir. Bu, günəş enerjisi texnologiyalarının tətbiqi üçün geniş imkanlar yaradır. Naxçıvan Muxtar Respublikasında artıq bir neçə günəş elektrik stansiyası fəaliyyət göstərir və bu sahədə uğurlu nəticələr əldə olunub. Eyni zamanda, dövlət səviyyəsində alternativ enerji sahəsinə investisiyaların cəlb olunması və bu istiqamətdə qanunvericiliyin təkmilləşdirilməsi prosesi davam edir.

Günəş enerjisinin geniş tətbiqinə baxmayaraq, müəyyən çətinliklər də mövcuddur. İlk növbədə, texnologiyanın qurulması üçün tələb olunan başlanğıc sərmayə yüksəkdir. Bundan əlavə, günəş panellərinin və digər texniki avadanlıqların yerli istehsalının azlığı idxaldan asılılığı artırır. Texniki bilik və təcrübəyə malik mütəxəssislərin çatışmazlığı, eləcə də ictimai maarifləndirmə səviyyəsinin aşağı olması bu sahənin inkişafını yavaşladan amillərdəndir.

**Nəticə.** Günəş enerjisi dünyanın enerji gələcəyində mühüm rol oynayacaq alternativlərdən biridir. Onun tükənməz, ekoloji təmiz və iqtisadi cəhətdən sərfəli olması, bu mənbənin daha geniş tətbiqinə stimül yaradır. Azərbaycan kimi günəşli iqlimə malik ölkələr üçün bu sahənin inkişafı həm enerji təhlükəsizliyini təmin etmək, həm də ətraf mühiti qorumaq baxımından böyük əhəmiyyət kəsb edir. Dövlət dəstəyi, texnoloji yeniliklər və ictimai maarifləndirmə ilə bu sahədə daha böyük uğurlar əldə etmək mümkündür. Günəş enerjisi yalnız bir enerji mənbəyi deyil, həm də davamlı inkişafın və yaşıl gələcəyin açarıdır.

## Ədəbiyyat

1. Abdullayev K.M., Lətifov Y.İ., Abdullayeva G.K. Enerji ehtiyatları, elektrik enerjisinin istehsalı və ətraf mühit. I cild, Bakı, 2005 439 s.

**Summary**  
**SUN IS THE KEY TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ENERGY SECURITY**  
*Guliyeva A.I., Jamalxanova I.S.*

Solar energy is one of the alternative energy sources capable of meeting humanity's energy needs in an environmentally friendly, sustainable and economically viable manner; in regions with high solar radiation, especially in Azerbaijan, the application of this type of energy can make a significant contribution to ensuring energy security and protecting the environment.

In recent decades, the world's energy demand has been growing rapidly, while traditional energy sources are gradually being depleted. At the same time, environmental problems resulting from the use of fossil fuels - atmospheric pollution, global warming and climate change - pose serious threats to the future of humanity. For this reason, humanity has begun to give preference to alternative and environmentally friendly energy sources when meeting its energy needs. Among alternative energy types, solar energy occupies a special place with its wide distribution potential, technological development and sustainability. The aim of the article is to analyze the advantages of solar energy, its technologies and, in particular, the potential of Azerbaijan in this field.

**Keywords:** global, energy, traditional, panel, electricity

**Резюме**  
**СОЛНЦЕ – КЛЮЧ К УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**  
*Гулиева А.И., Джамалханова И.С.*

Солнечная энергия является одним из альтернативных источников энергии, способных удовлетворить энергетические потребности человечества экологически безопасным, устойчивым и экономически выгодным способом; в регионах с высокой солнечной радиацией, особенно в Азербайджане, применение этого вида энергии может внести значительный вклад в обеспечение энергетической безопасности и защиту окружающей среды.

В последние десятилетия мировой спрос на энергию стремительно растет, в то время как традиционные источники энергии постепенно истощаются. В то же время экологические проблемы, возникающие в результате использования ископаемого топлива — загрязнение атмосферы, глобальное потепление и изменение климата — представляют серьезную угрозу будущему человечества. По этой причине человечество стало отдавать предпочтение альтернативным и экологически чистым источникам энергии при удовлетворении своих энергетических потребностей. Среди альтернативных источников энергии солнечная энергия занимает особое место благодаря своему широкому потенциалу распространения, технологическому развитию и устойчивости. Целью статьи является анализ преимуществ и технологий солнечной энергетики, а также особенно потенциала Азербайджана в этой области.

**Ключевые слова:** глобальный, энергия, традиционный, панель, электричество

**BƏRPA OLUNAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİNİN MÖVCUD VƏZİYYƏTİ VƏ İNKİŞAF  
PERSPEKTİVLƏRİ**

**Cəfərova Sevinc Nizam qızı,  
Məmmədov Aydın Əkrəm oğlu,  
Allahverdiyeva Simuzər Nizam qızı**  
*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan,  
Y.H.Məmmədaliyev adına Neft- Kimya Prosesləri İnstitutu, Bakı, Azərbaycan  
Polimer Materiallar İnstitutu, Sumqayıt, Azərbaycan*  
[sevinc.cafarova@sdu.edu.az](mailto:sevinc.cafarova@sdu.edu.az), [aydin.mamedov.a@gmail.com](mailto:aydin.mamedov.a@gmail.com),  
[simuzerallahverdiyeva80@gmail.com](mailto:simuzerallahverdiyeva80@gmail.com)

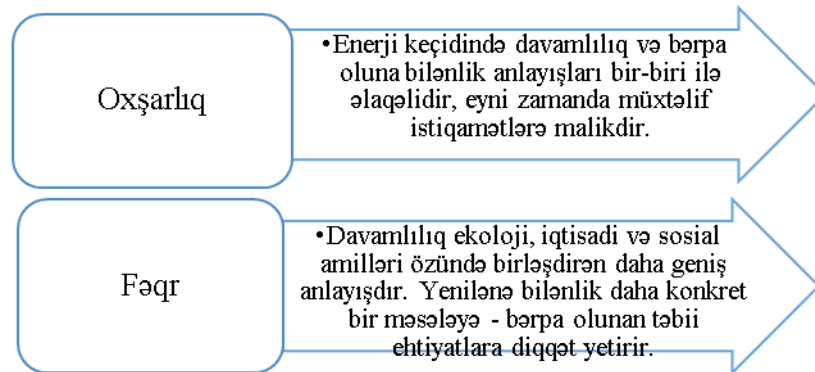
**Xülasə** Ətraf mühitə minimum təsirli dayanıqlı enerji mənbələrinin inkişafı məsələsi qlobal enerji siyasətinin əsas prioritetlərindəndir. Bütün dünyada artan enerji tələbatı, karbon emissiyası, iqlim dəyişikliyinə maksimuma çatması bərpa olunan enerji mənbələrinin təxirəsalınmazlığını vacib edir. Respublikamız neft- qaz ehtiyatları ilə zəngindir. Lakin enerji təhlükəsizliyininin dayanıqlı olması üçün “yaşıl enerji” siyasətinə əhəmiyyət verir ki, bu da yaşadığımız dövrün vacib məsələlərindəndir. Bu məqsədlə Azərbaycanda bərpa olunan enerji mənbələrinin (günəş, külək, hidro və bioenerji) inkişaf potensialı bu sahədə görülən işlər və qarşıda duran imkanlar təhlil edilir.

**Açar sözlər:** ətraf mühit, yaşıl enerji, bərpa olunan enerji, külək enerjisi, aşağı karbonlu texnologiyalar

Dünyanın enerji ehtiyaclarının artması və ətraf mühitin çirklənməsi probleminin dərinləşməsi fonunda bərpa olunan enerji mənbələrinin əhəmiyyəti daha da artmaqdadır. Neft, qaz və kömür kimi yanacaqlar bir tərəfdən tükənən resurslar olduğu halda, digər tərəfdən atmosfərə buraxılan karbon qazı ilə iqlim dəyişikliyinə səbəb olur. Bu vəziyyət dünya ölkələrini alternativ, ekoloji baxımdan təmiz enerji mənbələrinə yönəldir. Bərpa olunan enerji- günəş, külək, hidro, biokütlə və geotermal mənbələr- müasir dövrdə enerji təhlükəsizliyininin təmin olunmasında və iqlim dəyişikliyi ilə mübarizədə əsas rol oynayır[1]. Normal şəraitdə bərpa olunan enerji mənbələrinin tükənmə riski yoxdur. Bu cür enerji mənbələri təbii ehtiyatların qorunması, ətraf mühitə təsirin azaldılması və insanların enerji ehtiyaclarının ödənilməsi

məqsədi ilə hazırlanır. Başqa sözlə, dayanıqlı enerjiyə həm bərpa olunan mənbələrdən alınan enerji, həm də enerji səmərəliliyi və enerjiyə qənaət kimi üsullar daxildir. Beləliklə, bərpa olunan enerji təbiətdən davamlı olaraq yenilənə bilən bərpa olunan mənbələrdən əldə edilən enerjiyə, davamlı enerji isə ekoloji və iqtisadi davamlılıq prinsipinə uyğun gələn enerji növlərinə aiddir.

Enerji keçidində davamlılıq və bərpa olunma- fərqlər və oxşarlıqlar aşağıdakı şəkildə göstərilmişdir:



Davamlılıq enerjinin istehsalı və istehlakı, eləcə də resursların idarə edilməsi, ətraf mühitə təsirlər, iqtisadi dayanıqlıq və cəmiyyətə təsir kimi enerji keçidini əhatə edir, bərpa olunma isə yalnız enerji resurslarının səmərəli təkrar istehsalına diqqət yetirir.

Ümumiyyətlə, bərpa olunan enerji mənbələrinə maraq son zamanlarda xüsusilə artmışdır. Dünyada xüsusilə Avropa İttifaqı ölkələri, Çin və ABŞ bərpa olunan enerjiyə keçidi sürətləndirir. Məsələn, Almaniya enerji qarışıqının təxminən 50%-ni bərpa olunan mənbələrdən təmin edir. Çin isə günəş panellərinin istehsalında liderdir.

Avropa İttifaqı bərpa olunan enerji sektorunda ilk mövqelərdədir, bu sahədə innovativ texnologiyaları dəstəkləyir və bu istiqamətdə layihələr həyata keçirir. Bu sıradan Almaniya, İspaniya və Danimarka ölkələri günəş və külək enerjisi sahəsində irəliləyişlərə nail olmuşdur.

Dünyada bərpa olunan enerji texnologiyalarının istehsalında lider ölkə Çindir. Bu ölkədə günəş enerjisinin istehsalına görə ilk yeri tutur. Bərpa olunan enerji sahəsində texnoloji yeniliklərə imza atmışdır.

Bərpa olunan enerji istehsalı son illərdə ABŞ-da da artmışdır.

Ölkəmizdə neft, qaz ehtiyatına rəğmən bərpa olunan enerji sahəsi də inkişaf etməkdədir. Cənub və qərb bölgələrində külək enerjisi layihələri öz uğurlu tətbiqini tapır.

Son illərdə Azərbaycan BP, Masdar, ACWA Power, China Gezhouba Group Overseas Investment, Fortescue Future Industries, Total Energies, A-Z Czech Engineering, Baltech və Nobel Energy ilə bərpa olunan enerji sahəsində bir sıra layihələrin inkişafı və əməkdaşlıq sazişləri imzalamışdır [2].

Xızı və Siyazən bölgələri külək enerjisi potensialı baxımından, Naxçıvan və Lənkəran bölgələri isə günəş enerjisi üçün əlverişlidir.

Respublikada bərpa olunan enerjinin SWOT təhlilini aparmaqla gələcək perspektivləri müəyyən etmək olar:

Güclü tərəflərə dövlətin siyasi iradəsi və dəstəyi, təbii resursların bolluğu, ətraf mühitə minimal təsir və qlobal tendensiyalara uyğunluğu, zəif tərəflərə infrastrukturun məhdudluğu, texnoloji asılılıq, kədr çatışmazlığı və təlim ehtiyacı, enerji saxlama texnologiyalarının yetərsizliyini aid etmək olar.

İmkanlara xarici investisiyaların cəlbi, regional enerji ixrac potensialı, yerli texnologiya istehsalının inkişafı, təhlükələrə isə iqlim dəyişkənliyi, qlobal bazardakı qiymətləndirmə səviyyəsinin aşağı olması ola bilər.

Azərbaycanın enerji təhlükəsizliyi, ətraf mühitin qorunması və dayanıqlı iqtisadi inkişaf baxımından bərpa olunan enerji strateji əhəmiyyətə malikdir və bu sahədə daha sürətli addımlar atmaq üçün aşağıdakı tövsiyələr irəli sürülə bilər:

1. Maarifləndirmə proqramlarını təşkil etmək olar ki, ictimaiyyətin və xüsusilə gənclərin bu sahədə məlumatlandırılması baş versin.
2. Tədqiqat və innovasiya dəstəyi baxımından yerli universitet və tədqiqat mərkəzlərinin texnoloji yeniliklərə töhfə verməsi imkanları genişlənsin.
3. Kədr hazırlığı istiqamətində peşəkar mühəndis və texniklərin yetişdirilməsi artsın.
4. Sosial və ekoloji layihələrin həyata keçirilməsi əhəmiyyətli dərəcədə sosial inkişafı təmin edəcək.

Nəticə olaraq qeyd etmək olar ki, bərpa olunan enerji mənbələrinin istifadəsinin artırılması, həm global miqyasda, həm də respublikanın enerji gələcəyini dayanıqlı və potensiallı edəcək və enerji ixracatında yeni bir mərhələyə qədəm qoyacaq.

### **Ədəbiyyat**

1. IRENA. Renewable Energy Statics. 2023. <https://www.reportlinker.com/market-report/Renewable-Energy/6441/Renewable-Energy>
2. <https://www.caspianlegalcenter.az/az/what-we-do/renewable-energy>

### **Summary**

#### **CURRENT STATUS AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF RENEWABLE ENERGY SOURCES**

**Jafarova S.N., Mammadov A.A., Allahverdiyeva S.N.**

The development of sustainable energy sources with minimal environmental impact is one of the main priorities of global energy policy. The increasing energy demand worldwide, carbon emissions, and the maximum climate change make the development of renewable energy sources urgent. Our republic is rich in oil and gas reserves. However, in order to ensure sustainable energy security, it attaches importance to the “green energy” policy, which is one of the important issues of the time we live in. For this purpose, the development potential of renewable energy sources (solar, wind, hydro and bioenergy) in Azerbaijan, the work done in this area, and the opportunities ahead are analyzed.

**Keywords:** environment, green energy, renewable energy, wind energy, low-carbon technologies

### **Резюме**

#### **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

**Джафарова С.Н., Мамедов А.А., Аллахвердиева С.Н.**

Развитие устойчивых источников энергии с минимальным воздействием на окружающую среду является одним из главных приоритетов мировой энергетической политики. Растущий спрос на энергию, выбросы углерода и изменение климата, достигающие своего пика во всем мире, делают возобновляемые источники энергии настоятельной необходимостью. Наша республика богата запасами нефти и газа. Однако он придает большое значение политике «зеленой энергетики» для обеспечения устойчивой энергетической безопасности, что является одним из важных вопросов нашего времени. С этой целью анализируется потенциал развития возобновляемых источников энергии (солнечной, ветровой, гидро- и биоэнергии) в Азербайджане, проделанная в этой области работа и предстоящие возможности.

**Ключевые слова:** окружающая среда, зеленая энергия, возобновляемая энергия, ветроэнергетика, низкоуглеродные технологии

## **AQRAR SEKTORDA GÜNƏŞ ENERJISİNİN TƏTBİQİ**

**Nadirov Nazim Abbas oğlu**

**Bayramova Aysel Sərvər qızı**

*Azərbaycan Dövlət Aqrar Universiteti, Gəncə, Azərbaycan*

[nadirovnazim@gmail.com](mailto:nadirovnazim@gmail.com), [ayselkva97@gmail.com](mailto:ayselkva97@gmail.com)

**Xülasə** Kənd təsərrüfatı global iqtisadiyyatın əsas sektorlarından biri olaraq qalır, bu sahə dünyada milyonlarla insanın ərzaq təhlükəsizliyini və məşğulluğunu təmin edir. Bununla belə, dünya əhalisinin artması və təbii ehtiyatların məhdud olması səbəbindən ənənəvi əkinçilik üsulları ciddi problemlərlə üzləşir. İqlim dəyişikliyi, torpaq - su resurslarının azalması və onların keyfiyyətinin pisləşməsi, atmosfərə zərərli emissiyaların azaldılması ehtiyacı kənd təsərrüfatı istehsalına yeni, daha dayanıqlı və səmərəli yanaşmaların axtarışını tələb edir.

Bu kontekstdə günəş enerjisi ən perspektivli həllərdən biridir. Məqalədə günəş enerjisinin aqrar sektoru necə dəyişdirə biləcəyini, onu daha dayanıqlı və səmərəli edə biləcəyi araşdırılır.

**Açar sözlər:** aqrar sahə, günəş enerjisi, günəş kollektorları, fotovoltaiq sistemlər

### **Aqrar sektor üçün mövcud günəş texnologiyalarına ümumi baxış**

Əlçatanlığı, bərpa olunan təbiəti və ətraf mühitə uyğunluğu sayəsində günəş enerjisi yaşıl kənd təsərrüfatının yeni nəslinin inkişafı üçün əsas olmaq potensialına malikdir. Kənd təsərrüfatı sektorunda günəş texnologiyalarından istifadə tək-cə enerji xərclərini və karbon emissiyalarını azaltmağa kömək etmir, həm də kənd təsərrüfatı müəssisələrinin enerji qiymətlərindəki dalğalanmalara davamlılığını artırır və bununla da ərzaq təhlükəsizliyini gücləndirir.

Aqrar sektor üçün mövcud olan günəş texnologiyalarına, o cümlədən fotovoltaiq və aqro-fotovoltaiq sistemlərə, günəş enerjisi ilə işləyən su, hava qızdırıcılarına və suvarma üçün günəş nasoslarına daha yaxından nəzər salmaq. Bu texnologiyalar kənd təsərrüfatı istehsalının səmərəliliyini və dayanıqlılığını əhəmiyyətli dərəcədə artırma bilən innovativ həlləri təmsil edir [1,2].

1. Fotovoltaiq sistemlər

Günəş panelləri olaraq da bildiyimiz fotovoltaiik (PV) sistemlər günəş enerjisini birbaşa elektrik enerjisinə çevirir. PV sistemləri binanın damlarında, yerə quraşdırılmış və səmərəliliyi artırmaq üçün hətta günəşin hərəkətini izləyən günəş izləyiciləri şəklində quraşdırıla bilər.

Aqrar sektorda fotovoltaiik sistemlərdən təsərrüfat binaları, köməkçi tikililər, bitkilər üçün süni işıqlandırma sistemləri və enerjiyə nəzarət, monitoring və suvarma sistemləri üçün enerji təmin etmək üçün istifadə edilə bilər [3]. Ənənəvi enerji mənbələrindən asılılığı azaltmaq və istismar xərclərini minimuma endirmək potensialına görə, PV sistemləri kənd təsərrüfatında getdikcə populyarlaşır.

## 2. Su isidən günəş kollektorları

Günəş enerjisi ilə işləyən su qızdırıcıları suyu qızdırmaq üçün günəş enerjisindən istifadə edir, sonradan suvarma, heyvanlara qulluq və yerin isitilməsi də daxil olmaqla müxtəlif kənd təsərrüfatı məqsədləri üçün istifadə oluna bilər. Bu sistemlər adətən günəş radiasiyasını udan günəş kollektorlarından və qızdırılan suyu saxlamaq üçün çəndən ibarətdir. Aktiv və passiv su isitmə sistemləri var: aktiv olanlar suyun kollektorlar vasitəsilə dövriyyəsi üçün nasoslardan istifadə edir, passiv olanlar isə təbii konveksiyaya əsaslanır [4].

Günəş enerjisi ilə işləyən su qızdırıcıları, xüsusilə günəş enerjisinin yüksək olduğu ərazilərdə suyun istidilməsi xərclərini əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər. Onlar həmçinin kənd təsərrüfatı müəssisələrinin karbon emissiyasını azaltmağa kömək edir.

## 3. Suvarma üçün günəş nasoslari

Günəş suvarma nasoslari kənd təsərrüfatı torpaqlarını su ilə təmin etmək üçün yüksək effektiv həll yoludur. Bu sistemlər fotovoltaiik panellər tərəfindən yaradılan elektrik enerjisi ilə işləyir və quyulardan, çaylardan və ya su anbarlarından su çəkmək üçün istifadə edilə bilər. Günəş nasoslari mərkəzi elektrik şəbəkəsinə qoşulmanın çətin və ya qeyri-mümkün olduğu uzaq və ya təcrid olunmuş ərazilərdə xüsusilə effektivdir[5].

Günəş nasoslardan istifadənin üstünlükləri arasında aşağı əməliyyat xərcləri daxildir, çünki onlar yanacaq işlətmir, elektrik enerjisi üçün ödəniş tələb etmir və ətraf mühitə daha az təsir göstərir. Bundan əlavə, bu sistemlər çox vaxt modul quruluşa malikdir, bu da təsərrüfat ehtiyaclarından asılı olaraq onları asanlıqla miqyaslandırmağa imkan verir.

## 4. Kənd təsərrüfatı məhsullarının qurudulması

Məhsulların (meyvə, pambıq, taxıl, ot, tütün, barama, çay və s.) qurudulması kimi fasiləsiz iş rejimi tələb etməyən proseslərin yerinə yetirilməsində enerji yığan (akkumulyator) qurğuya ehtiyac olmadığından belə sahələr günəş enerjisinin tətbiqi üçün olduqca məqsədəuyğun və səmərəlidir. Digər tərəfdən məhsul yığımını əsasən yay aylarına, yəni günəş enerjisinin bol olduğu vaxtla təsadüf etdiyindən bu sahə günəş enerjisinin tətbiqi üçün ideal sahə hesab edilir.

## 5. Aqrifotovoltaiika

Kənd təsərrüfatı sahəsində inkişafın digər aspektləri ilə yanaşı, yeni enerji və resursa qənaət edən texnologiyaların, ilk növbədə, aqrifotovoltaiiklərin tətqiqi və inkişafı sahəsi də kənd təsərrüfatı tətqiqatçıların da diqqət mərkəzindədir.

Bu məqsədlə torpaqdan istifadənin iki mümkün variantı götürülür - ya kənd təsərrüfatı bitkilərinin becərilməsi, ya da günəş modullarının quraşdırılması. Sonra bu fəaliyyətlər kənd təsərrüfatı maşınlarının işləməsinə imkan verən günəş modullarının quraşdırılması üçün xüsusi montaj strukturlarından istifadə etməklə birləşdirilir. Nəticədə torpaq iki məhsul verir: günəş enerjisi və kənd təsərrüfatı məhsulları.

ABŞ, Almaniya, Yaponiya, Çin və digər ölkələrin universitetlərinin alimləri çoxsaylı araşdırmalarla sübut ediblər ki, bu texnologiya quraq rayonlar üçün yüksək tələbatdır. Günəş enerjisi istehsalı və kənd təsərrüfatının birləşməsi təkcə Azərbaycan kimi əhalinin sıx məskunlaşdığı ölkələrdə fotovoltaiik layihələr üçün mövcud torpaq çatışmazlığının həllini təklif etmir, həm də bəzi bitkilərin məhsuldarlığının artırılmasına kömək edə bilər[6].

### ***Kənd təsərrüfatında günəş enerjisindən istifadənin üstünlükləri***

Kənd təsərrüfatında günəş enerjisindən istifadə kənd təsərrüfatı sektorunun davamlılığına və iqtisadi səmərəliliyinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərə biləcək bir çox üstünlüklər təklif edir.

#### 1. Elektrik enerji xərclərinin azaldılması

Günəş enerjisindən istifadənin ən nəzərə çarpan faydalarından biri elektrik enerjisi xərclərinin azalmasıdır. Fotovoltaiik sistemlər və digər günəş texnologiyaları aqrifotəsərrüfatlara öz yerində elektrik enerjisi istehsal etməyə imkan verir, kənar mənbələrdən elektrik enerjisi almaq ehtiyacını azaldır və ya aradan qaldırır. Bu, elektrik enerjisinə yüksək tələbat dövründə, elektrik enerjisinin dəyəri əhəmiyyətli dərəcədə arta biləcəyi dövrlərdə xüsusilə aktualdır. Bundan əlavə, bəzi ölkələrdə artıq enerjini yenidən şəbəkəyə satmaq mümkündür, bu isə fermerlər üçün əlavə gəlir mənbəyi yaratmağa imkan verir. i

#### 2. Karbon izininin azaldılması

Günəş enerjisinə keçid kənd təsərrüfatı sektorunun karbon izinin azaldılmasında əsas rol oynayır. Ənənəvi yanacaqlar, məsələn karbohidrogen mənşəli enerji yandırıldıqda çoxlu miqdarda karbon qazı və digər istixana qazlarını atmosfərə buraxaraq qlobal istiləşməyə töhfə verir. Bunun əksinə olaraq, günəş enerjisi təmiz və bərpa olunan bir mənbədir və elektrik enerjisi istehsalı zamanı heç bir emissiya yaratmır. Bu, günəş texnologiyasını daha ekoloji cəhətdən təmiz və davamlı məhsullar istehsal etmək istəyən kənd təsərrüfatı müəssisələri üçün ideal seçimdir.

### 3. Enerjinin qiymətlərindəki dəyişkənliyə qarşı davamlılığın və müstəqilliyin artırılması

Enerji müstəqilliyi və enerji qiymətlərindəki artımlara davamlılıq kənd təsərrüfatında günəş enerjisindən istifadənin digər mühüm üstünlüyüdür. Ənənəvi yanacaq və enerji qiymətləri siyasi, iqtisadi və təbii amillərə görə geniş şəkildə dəyişə bilər, bu da təsərrüfatlar üçün maliyyə qeyri-müəyyənliyi yaradır. Günəş texnologiyalarının tətbiqi sabit və proqnozlaşdırıla bilən enerji mənbəyi təmin etməklə bu asılılığı azaltmağa kömək edir. Bundan əlavə, günəş enerjisi kənd təsərrüfatı müəssisələrinin enerji böhranlarına və elektrik enerjisinin kəsilməsinə davamlılığını artırmağa, davamlı istehsalı təmin etməyə və məhsul itkisini azaltmağa kömək edir.

Kənd təsərrüfatında günəş enerjisindən istifadənin faydalarına təkə iqtisadi faydalar və ekoloji davamlılıq deyil, həm də aqrar sahə üçün artan müstəqillik və təhlükəsizlik daxildir. Günəş texnologiyalarına keçid gələcəkdə ərzaq təhlükəsizliyinin və davamlı kənd təsərrüfatının inkişafının təmin edilməsində əsas amil ola bilər.

### *Aqrar sektorda günəş enerjisi tətbiqlərinin iqtisadi faydası və xərclərin geri qaytarılma müddəti*

Aqrar sektorda günəş enerjisi tətbiqlərinin iqtisadi faydalarının və geri qaytarılmasının təhlili bərpa olunan enerji mənbələrinə keçidi nəzərdən keçirərkən əsas aspektdir. Bu təhlil kənd təsərrüfatı istehsalında xərclərin azaldılması və səmərəliliyin artırılması baxımından günəş texnologiyalarına investisiyaların nə dərəcədə faydalı olacağını müəyyən etməyə kömək edir.

#### 1. Quraşdırma dəyəri və ilkin investisiya

Günəş sistemlərinin quraşdırılmasının ilkin xərcləri əhəmiyyətli ola bilər və bunlara günəş panelləri, çeviricilər, montaj sistemləri, quraşdırma və naqillərin çəkilməsi xərcləri daxildir. Bununla belə, bir çox təchizatçı və istehsalçı avadanlıqların alınmasını asanlaşdıran rahat kredit və lizinq sistemləri təklif edir.

#### 2. İstismar xərcləri və qənaət

Günəş texnologiyalarının əsas üstünlüklərindən biri onların nisbətən aşağı əməliyyat xərcləridir. Günəş sistemləri quraşdırıldıqdan sonra texniki xidmət və təmir xərcləri, xüsusən də ənənəvi enerji mənbələri ilə müqayisədə adətən minimal olur. Xərclərə qənaət xarici mənbələrdən elektrik enerjisi almaq ehtiyacının azaldılması, eləcə də əlavə gəlir təmin edə bilən artıq enerjinin şəbəkəyə satılması ilə əldə edilir.

#### 3. Xərcin geri qaytarılma müddəti

Günəş texnologiyalarında xərclərin geri qaytarılma müddəti quraşdırma xərcləri, cari elektrik tarifləri, coğrafi yer və günəş enerjisinin mövcudluğu və dövlət dəstəyinin mövcudluğu da daxil olmaqla bir çox amillərdən asılıdır. Orta hesabla, günəş sistemləri 5-10 il ərzində özünü ödəyir, bundan sonra onlar xalis qənaət yaratmağa başlayırlar. Yüksək insolyasiya və yüksək elektrik tarifləri olan bölgələrdə geri ödəmə müddəti daha qısa ola bilər.

#### 4. Enerji qiymətlərinin dəyişməsinə davamlılıq

Günəş enerjisi texnologiyalarına sərmayə qoymaq həm də aqrar sahədə enerji qiymətlərinin dəyişkənliyinə məruz qalmalarını azaltmağa imkan verir, uzun müddət ərzində daha çox maliyyə sabitliyi və enerji xərclərinin proqnozlaşdırılmasını təmin edir.

#### 5. Əmlak dəyərlərinə təsir

Günəş sistemlərinin quraşdırılması enerji səmərəliliyini və davamlılığını yaxşılaşdırmaqla kənd təsərrüfatı obyektlərinin dəyərini artırır. Bu, günəş enerjisinə investisiyanı yalnız enerji xərclərinə qənaət baxımından sərfəli deyil, həm də aktivlərin dəyərinin artırılması baxımından dəyərli edir.

Aqrar sektor üçün günəş enerjisi həllərinin iqtisadi faydalarının və xərclərin geri qaytarılmasının təhlili onların xərcləri azaltmaq, maliyyə dayanıqlığını artırmaq və kənd təsərrüfatı daşınmaz əmlakının dəyərini artırmaq potensialını vurğulayır. İlkin investisiyaya baxmayaraq, uzunmüddətli qənaət və əlavə gəlir günəş texnologiyasını aqrar sahə üçün sərfəli investisiya halına gətirir.

### *Kənd təsərrüfatı üçün günəş enerjisi sahəsində tədqiqat və inkişaf*

Kənd təsərrüfatı üçün günəş enerjisi sahəsində tədqiqat və təkmilləşdirmələr aqrar sektorda bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadənin optimallaşdırılması və genişləndirilməsində əsas rol oynayır. Bu sözlər səmərəliliyin artırılmasına, xərclərin azaldılmasına və texniki və iqtisadi maneələrin aradan qaldırılmasına yönəlib.

Aqrar sahə üçün günəş enerjisi tədqiqatlarında mövcud tendensiyalar:

#### 1. Günəş enerjisinin kənd təsərrüfatı prosesləri ilə inteqrasiyası

Aparıcı tendensiyalardan biri günəş enerjisini kənd təsərrüfatı proseslərinə birbaşa inteqrasiya edən sistemlərin hazırlanması və tətbiqidir. Bura suvarma avadanlığını, istixana ventilyasiyasını və iqlimə nəzarət sistemlərini birbaşa enerji ilə təmin etmək üçün fotovoltaiq sistemlərdən istifadə daxildir.

#### 2. Çevik və çap olunmuş günəş panellərinin hazırlanması

Xüsusi montaj sistemləri tələb olunmadan fermalarda, o cümlədən istixanalarda və kənd təsərrüfatı avadanlıqlarında müxtəlif səthlərə asanlıqla inteqrasiya oluna bilən elastik və çap olunmuş fotovoltaiq materiallar kimi yeni günəş panelləri növləri tədqiq və inkişaf etdirilir.

#### 3. Səmərəliliyi artırmaq və xərcləri azaltmaq

Fotovoltaiq elementlərin səmərəliliyinin artırılması və onların istehsal xərclərinin azaldılması istiqamətində işlər davam etdirilir. Perovskitlər və üzvi fotovoltaiqlər kimi yeni materiallar və texnologiyalar tədqiq edilir ki, bu da günəş enerjisinin elektrik enerjisinə çevrilməsində daha az xərc və daha yüksək səmərəlilik vəd edir.

#### 4. Enerji saxlama sistemləri

Artıq günəş enerjisini gecə və ya aşağı insolyasiya dövrlərində istifadə etmək üçün saxlamağa imkan verən enerji saxlama sistemlərinin inkişafı və inteqrasiyasına da diqqət yetirilir. Bu, kənd təsərrüfatı ehtiyacları üçün daha sabit və etibarlı enerji təchizatını təmin edir.

### **Nəticə**

Bərpa olunan enerjiyə keçid təkcə əməliyyat xərclərini azaltmağa və təsərrüfatların karbon izini azaltmağa kömək etmir, həm də onların enerji qiymətlərinin dəyişməsinə davamlılığını artırır və enerji müstəqilliyini gücləndirir.

Günəş enerjisi sahəsində müasir tədqiqatlar və inkişaf kənd təsərrüfatı üçün yeni imkanlar açır, günəş enerjisindən istifadəni daha da əlçatan və səmərəli edən innovativ həllər təklif edir. Mövcud çağırışlara və maneələrə baxmayaraq, texnologiyaların daimi inkişafı və dövlət və beynəlxalq səviyyədə dəstək siyasəti bu maneələri dəf etməyə kömək edir.

Kənd təsərrüfatında günəş enerjisinin tətbiqi ilkin investisiya və öhdəlik tələb edir, lakin uzunmüddətli faydalar ilkin xərclərdən qat-qat üstündür.

Kənd təsərrüfatının gələcəyi davamlı inkişaf və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə ilə ayrılmaz şəkildə bağlıdır. Günəş enerjisi bu prosesin əsas elementidir, müasir dünyanın çağırışları ilə üzləşməyə və dünya əhalisinin ərzaq təhlükəsizliyini təmin etməyə qadir olan daha yaşıl, daha səmərəli və dayanıqlı kənd təsərrüfatı sektorunun yaradılmasına kömək edir.

### **Ədəbiyyat**

1. <https://ru.pv-mounting.com/info/how-is-solar-energy-used-in-agriculture>
2. <https://sigmaearth.com/ru/solar-agriculture-concept-and-scope/>
3. [https://www.irena-istra.hr/uploads/media/Photovoltaic\\_systems.pdf](https://www.irena-istra.hr/uploads/media/Photovoltaic_systems.pdf)
4. <https://www.energy.gov/energysaver/solar-water-heaters>
5. <https://arka360.com/ros/solar-energy-in-agriculture-and-irrigation>
6. <https://www.statkraft.com/newsroom/explained/agrivoltaics-combining-solar-panels-and-agriculture/>

### **Summary**

#### **APPLICATION OF SOLAR ENERGY IN THE AGRICULTURAL SECTOR**

*Nadirov N.A., Bayramova A.S.*

Agriculture remains one of the key sectors of the global economy, providing food security and employment for millions of people around the world. However, due to the growth of the world population and the limited availability of natural resources, traditional farming methods are facing serious challenges. Climate change, the depletion of soil and water resources and their deterioration, and the need to reduce harmful emissions into the atmosphere require the search for new, more sustainable and efficient approaches to agricultural production. In this context, solar energy is one of the most promising solutions. The article examines how solar energy can transform the agricultural sector, making it more sustainable and efficient.

**Keywords:** agriculture, solar energy, solar collectors, photovoltaic systems

### **Резюме**

#### **ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

*Надилов Н.А., Байрамова А.С.*

Сельское хозяйство остается одним из ключевых секторов мировой экономики, обеспечивая продовольственную безопасность и занятость для миллионов людей во всем мире. Однако из-за роста населения мира и ограниченности природных ресурсов традиционные методы ведения сельского хозяйства сталкиваются с серьезными проблемами. Изменение климата, сокращение и ухудшение состояния почвенных и водных ресурсов, необходимость сокращения вредных выбросов в атмосферу требуют поиска новых, более устойчивых и эффективных подходов к сельскохозяйственному производству.

В этом контексте солнечная энергетика является одним из наиболее перспективных решений. В статье рассматривается, как солнечная энергия может преобразовать сельскохозяйственный сектор, сделав его более устойчивым и эффективным.

**Ключевые слова:** сельское хозяйство, солнечная энергия, солнечные коллекторы, фотоэлектрические системы

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНГИЦИДНОЙ АКТИВНОСТИ ЦИКЛОПРОПАНСОДЕРЖАЩИХ ЭФИРОВ

<sup>1</sup>Шахназарли Р.З., <sup>1</sup>Назаралиев Х.Г., <sup>2</sup>Гараева Ш.Г.

<sup>1</sup>Институт полимерных материалов, Сумгаит, Азербайджан

<sup>2</sup>Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан

e-mail: [ipoma@science.az](mailto:ipoma@science.az); [shahnazarli@mail.ru](mailto:shahnazarli@mail.ru)

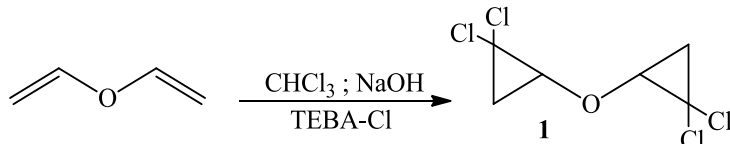
**Резюме.** Синтезирован ряд циклопропансодержащих эфиров с различными заместителями у трехчленного цикла. В структуре соединений имеются две циклопропановые группы, что придает им выраженную биологическую активность. Выявлен ряд их потенциальных биологических активностей с применением компьютерной программы PASS Online. Исследована фунгицидная активность соединений по отношению к патогенным грибам рода *Penicillium* и *Aspergillus niger*. Выявлено, что синтезированные соединения обладают достаточно высоким токсическим действием на колонии плесневых грибов.

**Ключевые слова:** циклопропансодержащие эфиры, биологическая активность, фунгицид, гербицид, инсектицид, регулятор роста растений.

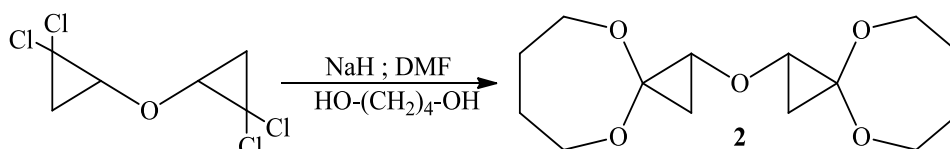
Известно, что производные циклопропана существуют во многих природных и синтетических продуктах. Фрагменты циклопропана присутствуют в структурах многих биологически активных веществ, таких как противораковые и противогрибковые препараты, антибиотики, инсектициды, регуляторы роста растений и созревания плодов и т.д. [1,3]. Циклопропановый фрагмент, являясь одним из напряженных колец, привлекает особое внимание исследователей благодаря своей высокой реакционной способности. Циклопропановые соединения широко используются в органическом синтезе в качестве исходных реагентов и строительных блоков для получения более сложных производных циклопропана различного назначения [2,4]. В качестве примера природного биоактивного циклопропана можно привести *транс*-хризантемовую кислоту *Chrysanthemum cinerariaefolium*. Выделенная из этого цветка 2-винилциклопропанкарбоновая структурная единица использована для разработки других синтетических циклопропановых пиретринов, инсектицидов и фунгицидов. Многие производные циклопропана обладают противогрибковой активностью, что позволяет применять их как в сельском хозяйстве, так и для антимикробной защиты изделий из пластмасс [4,5]. Так, например, синтезированные недавно соединения – афидопиропен и ципрофланилид, содержащие фрагменты циклопропана, были использованы в качестве эффективных агрохимикатов.

В представленной работе сообщается о синтезе новых соединений с циклопропановыми фрагментами и различными заместителями у цикла, проведены исследования их фунгицидной активности по отношению к патогенным грибам рода *Penicillium* и *Aspergillus niger*.

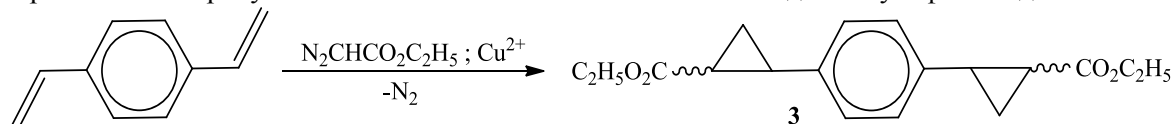
Соединения 1-3 получены циклопропанированием двойных связей карбенами, генерированными из хлороформа и этилдиазоацетата. Соединение **1** получено циклопропанированием двух двойных связей дивинилового эфира карбеном, генерированным из хлороформа в присутствии 40%-ного раствора NaOH с участием межфазного катализатора ТЭБА:



Полученный бис-*гем*-дихлорциклопропиловый эфир взаимодействием с 1,4-бутандиолом в присутствии гидроксида натрия превращен в спироциклическое соединение **2** по приведенной ниже схеме:



Соединение **3** синтезировано взаимодействием *para*-дивинилбензола с этилдиазоацетатом в растворе бензола в присутствии каталитического количества безводного сульфата меди по схеме:



Структура синтезированных соединений подтверждена данными ИК и ПМР спектроскопии. Синтезированные соединения содержат в своей структуре по две циклопропановые группы с различными заместителями: *гем*-дихлорными, спироциклическими и сложноэфирными группами. Наличие циклопропановой группы в структуре этих соединений придает им выраженную биологическую активность. С помощью веб-ресурса PASS Online, выявлен ряд потенциальных биологических активностей циклопропансодержащих соединений **1-3** [6,7]. В дальнейшем синтезированные соединения были использованы в ПВХ-композициях в качестве биоцидных пластификаторов [8,9].

Осуществлен первичный скрининг фунгицидной активности соединений 1-3 в лабораторных условиях. Исследование проведено на плесневых грибах, вызывающих гниение растений, *Penicillium* и *Aspergillus niger* путем культивирования грибов на поверхности агаровой питательной среды, содержащей определенные концентрации соединений **1-3**. Чувствительность патогенных грибов к соединениям оценивали по концентрации  $C_{50}$ , вызывающей торможение роста грибов на 50%.

Вид грибов	$C_{50}$ , мкг/мл		
	Соединение 1	Соединение 2	Соединение 3
<i>Penicillium</i>	25	270	160
<i>Aspergillus niger</i>	40	350	190

Как видно из данных таблицы, наибольшим токсическим действием на колонии плесневых грибов обладает соединение **1** – бис-*гем*-дихлорциклопропиловый эфир, наименьшим – соединение **2** – бис-4,9-диоксапиро-[2,6,0]-нонан.

Синтезированные соединения близки по структуре к *транс*-хризантемовой кислоте и ее производным. Подобные соединения, как известно, являются сильными пиретроидами и применяются в сельском хозяйстве в борьбе с насекомыми-вредителями. В настоящее время продолжаются исследования в области синтеза пиретроидных инсектицидов с высокой эффективностью и низкой экологической нагрузкой от их применения. Синтезированные соединения **1-3** могут обладать также инсектицидной активностью и служить в качестве регуляторов роста растений, что требует дополнительных исследований в этом направлении.

## Литература

1. Salaon J., Baird M.S. Biologically Active Cyclopropanes and Cyclopropenes. // Current Medicinal Chemistry, 1995. Vol.2, Is.1, p.511-542
2. Ben N.Hamidi, Guesmi A. [Synthesis of New Spiro-Cyclopropanes Prepared by Non-Stabilized Diazoalkane Exhibiting an Extremely High Insecticidal Activity](https://doi.org/10.3390/molecules27082470). // Molecules. 2022, Vol.27, Is.8, 2470. doi.org/10.3390/molecules27082470
3. Li-Jing Min, Zhong-Hua Shen, J.Bajsa-Hirschel, Ch.L.Cantrell, Liang Han, Xue-Wen Hua, Xing-Hai Liu, S.O.Duke. Synthesis, crystal structure, herbicidal activity and mode of action of new cyclopropane-1,1-dicarboxylic acid analogues. // Pestic. Biochem. Physiol. 2022. Vol. 188, 105228228. doi:10.1016/j.pestbp.2022.105228
4. [Sheng-Xin Sun, Jing-Hua Yan, Jiang-Tao Zuo, Xiao-Bin Wang, Min Chen, Ai-Min Lu, Chun-Long Yang, Guo-Hua Li. Design, synthesis, antifungal evaluation, and molecular docking of novel 1,2,4-triazole derivatives containing oxime ether and cyclopropyl moieties as potential sterol demethylase inhibitors](https://doi.org/10.1039/D1NJ03578A). // New J. Chem. 2021, Vol.45, p.18898-18907. doi.org/10.1039/D1NJ03578A
5. [Mei Huang, Min Huang, Xiu Wang, Wen-Gui Duan, Gui-Shan Lin, Fu-Hou Lei. Synthesis, antifungal activity and 3D-QSAR study of novel acyl thiourea compounds containing gem-dimethylcyclopropane ring](https://doi.org/10.1007/s11030-020-10163-6). // Mol. Divers. 2022. Vol. 26, p.125–136. https://doi.org/10.1007/s11030-020-10163-6
6. Шахназарли Р.З., Гараева Ш.Г. Компьютерное прогнозирование спектров биологической активности циклопропансодержащих виниловых эфиров. / Nizami Gəncəvinin anadan olmasının 880 illiyinə həsr olunan «Kimyanın müasir problemləri» Respublika Elmi Konfransı. Sumqayıt. 15-16 aprel 2021-ci il, s.321-324

7. Nazaraliyev Kh.G., Ismayilov I.Ə., Ramazanov E.Ə., Fəttayeva C.I. *Para-di-(2-etoksikarboniltsiklopropil)benzol*, YYPE və təbii mineral doldurucu əsasında bakteresid xassəli kompozisiyaların alınması. / COP-29 «Qərb regionun sənaye tullantıları və ətraf mühit» Respubl. Elmi konfrans. 2024. s.73-75
8. Nazaraliyev Kh.G., Shahnazarli R.Z., Ramazanov E.A., Nurullayeva D.R., Abdurahmanova M.A. Synthesis and properties of *para-di-(2-ethoxycarbonylcyclopropyl) benzene* as a new biologically active plasticizer. // Processes of Petrochemistry and Oil Refining (PPOR). 2024, Vol.25, No 4, pp.1178-1186
9. Shahnazarli R.Z. Adducts of substituted vinyloxycyclopropanes with thiols as thermostabilizers of PVC. // Chemical Problems, 2021, No 3 (19), p.186-195

**Xülasə.**

**TSİKLOPROPANTƏRKİBLİ EFİRLƏRİN SİNTEZİ VƏ ONLARIN FUNGİSİD AKTİVLİKLƏRİNİN TƏDQIQI**

*Şahnazarli R.Z., Nəzarəliyev X.Q., Qarayeva Ş.H.*

Müxtəlif əvəzləyicilərə malik tsiklopropantərkibli efirlər sintez olunmuşdur. Sintez olunmuş birləşmələrin tərkibində 2 tsiklopropanəvəzli qrupların olması onlara bioloji aktivlik verir. PASS Online kompyuter proqramından istifadə edərək onların potensial bioloji aktivlikləri müəyyən edilmişdir. Sintez olunmuş tsiklopropantərkibli efirlərin *Penicillium* və *Aspergillus niger* törəməli göbələklər əleyhinə funqisid aktivlikləri tədqiq edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, sintez edilmiş birləşmələr kif göbələkləri əleyhinə daha yüksək toksiki aktivlik göstərir.

**Açar sözlər:** tsiklopropantərkibli efirlər, bioloji aktivlik, funqisid, herbisid, inseksisid, bitkilərin böyatması tənzimləyicisi

**Summary**

**SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF FUNGICIDAL ACTIVITY OF CYCLOPROPANE-CONTAINING ESTERS**

*Shahnazarli R.Z., Nazaraliyev Kh.G., Garayeva Sh.G.*

Cyclopropane-containing esters with various substituents have been synthesized. The availability of 2 cyclopropane substituted groups in the synthesized compounds gives them biological activity. Their potential biological activity has been determined using the PASS Online computer program. The fungicidal activity of the synthesized cyclopropane-containing esters against fungi of the genus *Penicillium* və *Aspergillus niger* has been investigated. It has been established that the synthesized compounds show higher toxic activity against mold fungi.

**Key words:** cyclopropane-containing esters, biological activity, fungicide, herbicide, insecticide, plant growth regulator.

**NƏQLİYYAT VASİTƏLƏRİNİN İSTİSMARINDA TORMOZLANMADA YARANAN MEXANİKİ ENERJİNİN NƏQLİ, TOPLANMASI VƏ ELEKTROMEXANİKİ ÇEVİRMƏ PROSESİNDƏ YARANAN İTKİLƏR**

**Balayeva Əfilə Həsənbala qızı**

**Şirinova Aynur Yaşar qızı**

**Abdullayeva Ülkər Rəhim qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan Respublikası*

[balayeva.efile@mail.ru](mailto:balayeva.efile@mail.ru)

**Xülasə.** Məqalədə qoyulmuş məsələdə bəşəriyyətin narahatçılığına səbəb olan ekoloji problemlərin həlli yollarından olan atmosferə atılan karbon emissiyalarının qarşısının alınması, enerjiyə qənaət məsələlərində yaranmış problemlər və onların aradan qaldırılması məsələləri, şəhər sərnişin daşıma nəqliyyat vasitələrinin istismarı zamanı tormozlanma prosesində yaranan yanacaq itkilərinin təhlili verilmişdir. Nəqliyyat vasitələrinin istismarında tormozlanmada təkər konstruksiyasında yaranan mexaniki enerjinin nəqli, toplanılması, 70% qədər elektromexaniki çevrilməsinə nail olunması və istehsal olunmuş elektrik enerjisinin toplanılması üçün qurğunun tətbiqi məsələlərinə baxılmışdır. Qurğunun istismarı zamanı onun konstruktiv elementləri, ötürmə mexanizmləri və elektrik generatorunda yaranan mexaniki, elektriki itkilərin yaranma səbəblərinin araşdırılması və qurğunun faydalı iş əmsalının təyin edilmə məsələləri həll edilmişdir.

**Açar sözlər:** tormoz diski, elektrogenerator, mexaniki enerji toplayıcısı, dişli çarxlar kompleksi, konstruktiv element, kinematik bəndlər, akkumulyator.

**Məsələnin qoyuluşu.** Son zamanlar korbhidrogen yanacaqların, təbii sərvətlərin tükənməsi ilə əlaqədar yanacağa və enerjiyə qənaət olunması, dünyanı qlobal istiləşməyə aparan problemləri yaradan amillərin yaranması, insan ölüm faktorlarına səbəb olan ekoloji problemlər və s. məsələlər dünya mütəxəssislərini narahat edən qlobal problemlərdir. Təsədüfi deyildir ki, 13 noyabr 2024-cü ildə BMT-nin İqlim Dəyişikliyi üzrə Çərçivə Konsepsiyasının Tərəflər Konfransı COP29-un həyata keçirilməsilə iqlim böhranının həlli yollarının müzakirə edilməsi və bu tədbirə ev sahibliyi edən Azərbaycan Respublikasının təşəbbüslərindən biri də ölkənin 2050 - ci ilə qədər istixana qazı emissiyalarının 40% azaltmaq, gələcəkdə ölkəmizin alternativ və bərpaulunan enerji potensialı ilə zəngin olmasını nəzərə

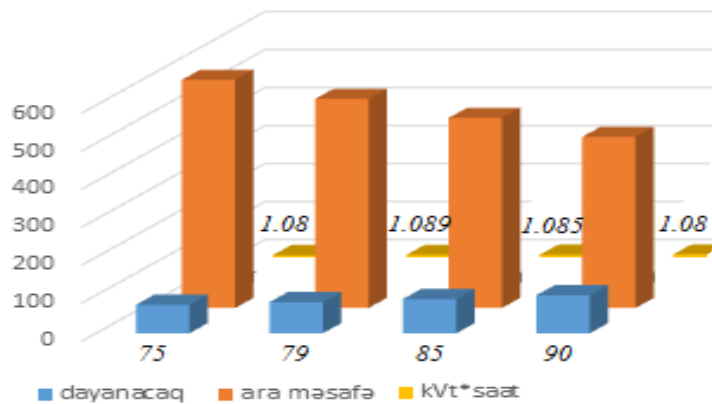
almaqla, qlobal iqlim dəyişməsinin təsirini azaldılması problemlərinin həlli və ətraf mühitə təsiri azaldacaq texnoloji yeniliklərdən istifadə, xüsusilə “Ağıllı şəhər” texnologiyalarını və “Ağıllı nəqliyyat” sistemlərinin və müasir texnologiyalarını tətbiq və inkişaf etdirmək prioritet məsələlərdən biridir.

Bəşəriyyəti narahat edən bu problemlərə nəzərən deyə bilərik ki, iri, meqapolis şəhərlərdə şəhər sərnişin daşınma nəqliyyatı olan avtobusların da dayanacaqlarda məcburi dayanmalara məruz qalması atmosferin qlobal istiləşmə, ekoloji çirklənmə amillərinin yaranması ilə yanaşı yüksək miqdarda yanacaq və enerji itkilərinin yaranmasına da səbəb olur.

Dünyanın aparıcı dəmir yol Şirkəti Alstom enerji səmərəliliyinin artırılmasında metro, tramvay və şəhəratrafi dəmir yolu əməliyyatlarında sərf olunan enerjini optimallaşdıran və Hesop yarımstansiyalarının tormoz enerjisindən istifadə etməklə şəbəkəyə gərginliyin verilməsi layihəsi, MDB dövlətlərində, Yaponiyada və s. ölkələrdə çox saylı alimlər və mütəxəssislər tərəfindən elektromobollərdə və velosipedlərdə və s. nəqliyyat vasitələrində rekuperasiya prosesində enerji xərclərinin kompensasiyası, sürət azalması müddətində mühərrikin generator rejiminə keçməsi metodlarının işlənməsi, sürət azalması prosesində enerjinin saxlanma qurğularında toplanılması ilə nəqliyyat vasitələrinin səmərəliliyinin artırılması və yanacağa qənaət məqsədilə müxtəlif növ nəqliyyat vasitələrində texniki rekonstruksiya işləri, qeyri - ənənəvi elektrik enerjisi istehsal edən layihələri və məsələləri qarşıya qoyularaq həll olunması məsələlərinə baxılmışdır [4;6]. Lakin, qarşıya qoyulmuş məsələnin işlənməsi bu tip layihələrin və qurğuların şəhərdaxili sərnişin daşıyan nəqliyyat vasitəsi olan avtobuslarda geniş tətbiq olunmaması, tormozlanma prosesində kəskin yanacaq itkisinin aradan qaldırılması problemi bu sistemdə cərəyan edən kinematik, dinamik və energetik proseslərin kompleks şəkildə araşdırılması qarşıda duran məsələlərdən biridir [3;5].

**Qoyulmuş məsələnin nəzəri analizi.** Şəhərlərdə nəqliyyatın, avtobusların sayının çox olması, sürətin optimaldan tez-tez aşağı düşməsi və tormozlanmanın intensivliyi yanacaq itkisinə səbəb olur. Nəzərə alsaq ki, şəhər sərnişin daşıma avtobus nəqliyyatı təyin edilmiş marşrut üzrə t zaman kəsiyində verilmiş məsafəni qət etməlidir. Lakin, tez- tez dayanmalara məruz qalması ilə əlaqədar olaraq baş verən tormozlanmalar səbəbindən o, verilmiş məsafəni  $t+\Delta t$  müddətində qət edir.  $\Delta t$  müddətində isə sərf olunan yanacağın itkiyə sərf olunmasıdır və bu itkinin hər hansı bir enerji formasında geri qaytarılması yanacağa qənaət edilməsidir[10;11].

Yaranmış bu problemin həlli yolları üçün təklif olunan elektromexaniki çevirmə qurğusunun tətbiqi ilə şəhər sərnişin daşıma nəqliyyatı - avtobus nəqliyyatının istismarında tormozlanmada yaranmış mexaniki enerjinin təkər konstruksiyasından xaric olunaraq, mexaniki enerji toplayıcısında toplanaraq onun 60 -70% - nin elektrik enerjisinə çevrilməsinə nail olunur[3;5]. Şəhər sərnişin daşıma avtobus nəqliyyatının dayanacaqlarda dayanmaların sayından asılı olaraq tətbiq olunan elektromexaniki çevirmə qurğusu vasitəsilə təkər konstruksiyasında yaranan mexaniki enerjinin toplanaraq, elektrik enerjisinə çevrilməsi həmçinin, dayanacaqların sayından və dayanacaq arası məsafədən asılı olaraq istehsal olunan elektrik enerjisinin akkumulyatora doldurulması və həcmnin təyin edilməsi diaqramda göstərilmişdir (şəkil 1).



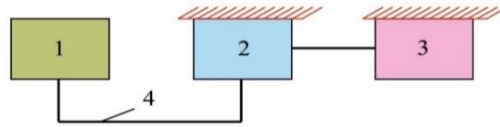
**Şəkil 1.** Marşrut xarakteristikalarına görə avtobusun akkumulyatoruna doldurulan elektrik enerjisinin həcmnin təyini

Elektromexaniki çevirmə qurğusunun iş prinsipi nəqliyyat vasitəsinin dayanacaqlarda dayanması və ya sürətinin azaldılması üçün icra olunan funksiyalarla əlaqədardır. Bu proses də tormozlanma zamanı yaranan mexaniki enerji tormozlanma diskinə verilir. Müasir texnologiyalara əsasən tormozlayıcı disk nəqliyyat vasitəsinin gövdəsinə bərkidilmişdir. Təqdim edilən qurğunun konstruksiyasında tormozlayıcı disk arxa təkər körpüsünün oxu boyunca  $\pi/2$  bucaq qədər dönə bilmə xüsusiyyəti olan konstruksiyaya malikdir

Mexaniki enerjinin həcmi  $P_{mex.}$  nəqliyyat vasitəsinin sürətinin  $t=0$  anında tormoz diskinin dönmə bucağından asılıdır. Tormoz diskinin dönmə bucağı isə aşağıdakı amillərdən asılıdır [10;11]:

- ictimai nəqliyyat vasitəsinin tutumundan;
- ictimai nəqliyyat vasitəsinin sürətindən;
- ictimai nəqliyyat vasitəsinin tormozlanma intensivliyindən;
- mexaniki enerji toplayıcısında real toplanan enerjinin həcmindən və s.

Nəqliyyat vasitələrinin istismarında tormozlanma nəticəsində yaranmış mexaniki enerjinin toplanması və elektromexaniki çevrilməsi üçün elektromexaniki çevirmə sisteminin struktur sxemi şəkil 2 - də göstərilmişdir [10;11].



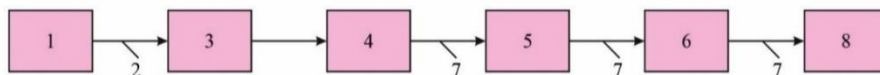
**Şəkil 2.** Elektromexaniki çevirmə sisteminin struktur sxemi

1-nəqliyyat vasitələrinin təkər qurğusu; 2-mexaniki enerji toplayıcısı; 3-elektrogenerator; 4 -tros.

Elektromexaniki çevirmə sisteminin konstruksiyasında mexaniki enerji toplayıcısı və elektrik generatoru ilə yanaşı bir sıra birləşdirici və kinematik bəndlərdən, ötürücü mexanizmlərdən də istifadə olunur [1;7]. Lakin, nəqliyyat vasitələrində tormozlanma nəticəsində təkər konstruksiyası ilə tormozlayıcı disk arasında yaranan mexaniki enerjinin ötürülməsi və elektromexaniki çevirmə prosesi zamanı itkilərə məruz qalaraq, qurğuda tətbiq edilən mexanizmlərdə və birləşmələrdə yaranan bu itkilər qurğunun faydalı iş əmsalının azalmasına səbəb olur. Mexaniki enerjinin toplanılması, ötürülməsi və elektromexaniki çevirmə prosesində yaranmış elektriki və mexaniki itkiləri araşdırsaq görərik ki, adətən, mexanizmlərdə, birləşmələrdə itkilərin yaranması, onların sürtünməyə, yeyilməyə məruz qalması və deformasiyaya uğraya bilməsi müxtəlif amillərdən əmələ gələ bilər, belə ki, sürtünən hissələrə təsir edən yükün miqdarından, tormozlanmanın nisbi sürətindən, konstruksiyanın materiallarının fiziki - kimyəvi xüsusiyyəti, materialların istilik keçiriciliyindən və s. səbəblərdən yarana bilər [7;8;9]. Nəzərə alsaq ki, konstruksiyada istifadə olunan hər bir mexanizmin f.i.ə.

$$\eta = 1 - \varphi \text{ olur.}$$

burada  $\varphi$  – mexanizmdə itki əmsalıdır və f.i.ə. sıfır ilə vahid arasında olmaqla uyğun hədd daxilində  $0 \leq \eta < 1$  olmaqla dəyişir[2]. Sistemdə tətbiq olunan mexanizmlərin qoşulma ardıcılığına baxaq:



**Şəkil 3.** Elektromexaniki çevirmə qurğusunun mexanizmlərinin birləşmə sxemi

1 - nəqliyyat vasitəsinin təkər sistemi; 2- tros; 3 - mexaniki enerji toplayıcısı; 4- dişli sürüngəc; 5 - sərbəst hərəkət muftası; 6- dişli çarx ötürməsi; 7- val; 8- elektrik generatoru.

Tormozlanmada yaranan mexaniki enerjinin nəqli, toplanılması və elektrik enerjisinə çevrilməsi prosesində yaranmış itkiləri nəzərə almaqla, konstruksiyada tətbiq edilən ayrı-ayrı mexanizmlərin və elektrik generatorunun f.i.ə. - nı təyin etməklə [1;8;9], qurğunun ümumi f.i.ə.

$$\eta_{\text{üm}} = \eta_t \cdot \eta_y \cdot \eta_{d.s} \cdot \eta_{s.h.m} \cdot \eta_{d.ç.ö} \cdot \eta_{v.d} \cdot \eta_{gen} = 0,98 \cdot 0,93 \cdot 0,98 \cdot 0,97 \cdot 0,98 \cdot 0,995^3 \cdot 0,83 = 0,6941 \text{ təyin edilmişdir.}$$

**Nəticə.** Tədqiqatda riyazi hesablamaların nəticəsi eksperiment təcrübələr və sınaq nəticəsində alınmış qiymətləri təsdiqləyir. Qurğunun müəyyən edilmiş itkiləri nəzərə almaqla, tormozlanmada

yaranan mexaniki enerjinin 70% -ə qədər elektromexaniki çevrilməsinə, yanacaq qənaət olunması və istehsal olunan enerjinin akkumulyatorlara toplanılaraq nəqliyyatın idarə olunması və АЕМ - kimi istifadəsinə nail olmaq olur.

## ƏDƏBİYYAT

1. Ануриев В.И. Справочник конструктора – машиностроителя / в 3 т. – 9 – е изд., перераб. и доп. - М.: - Машиностроение, - 2006.
2. Аркуша, А.И. Техническая механика: Теоретическая механика и сопротивление материалов / А.И. Аркуша. - М.: -Ленанд, - 2016. - 352 с.
3. Балаева А.Г. Разработка пружинного накопителя бортового рекуператора энергии торможения транспортных средств // ISSAEE - Международный научный журнал: Альтернативная энергия и экология, Россия, г.Саров: -2022, - №1, - с.103-114.
4. Bayrueva L.S. Electric traction: urban land transport / Bayrueva L.S., Shevchenko V.V., Moscow: - Transport, - 2016,- p.206.
5. Balayeva, A. H., Use of mechanical braking energy in vehicles as electricity and hydrogen energy // International Journal of Hydrogen Energy, -Amerika, Florida, - Miami: -vol. 48, Issue 80, - 2023, - p. 31023-31039.
6. Балакина Е.В., Репин А.А. Колесо и устойчивость движения автомобиля в режиме торможения: монография / Волгодонск: - Волг. - ГТУ, - 2004, - 30 с.
7. Батанов М.В., Петров Н.В. Пружины. Изд.2, Машиностроение, - М., - 1998, - 216 с.
8. Иванов - Смоленский, А.В. Электрические машины / А.В. Иванов - Смоленский. Учебник для вузов, - Москва: - Энергия, - 2004. - 532 с.
9. Ильющин А.А. Механическая часть электрических машин. - М.: - 2008, -345с.
10. Мусаев З.Н., Балаева А.Г. Альтернативная энергия при торможении городских транспортных средств // Актуальные проблемы науки и техники. X международная научно-практическая конференция молодых ученых, Том 1, Уфа :- 2017,- с. 293-294.
11. Мусаев З.Н., Балаева А.Г. Возврат потерянной механической энергии в тормозной системе транспорта // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве / Материалы IV Национальной научно-практической конференции, Том 2, Казанский государственный энергетический университет, Казань: - 2019, - с. 251- 255.

### Резюме

#### ТРАНСПОРТИРОВКА, СБОР И ПОТЕРИ В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ В ДВИЖЕНИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*Балаева А.Х., Ширинова А.Я., Абдуллаева У.Р.*

В статье представлен анализ мер по предотвращению выбросов углерода в атмосферу, которые относятся к решениям экологических проблем, вызывающих беспокойство у человечества, проблем, возникших в вопросах энергосбережения и их устранения, а также потерь топлива, которые возникают в процессе торможения при эксплуатации городского пассажирского транспорта. Рассмотрены вопросы транспортировки и накопления механической энергии, вырабатываемой в конструкции колеса при торможении в процессе эксплуатации транспортных средств, достижения электромеханического преобразования до 70%, а также применения устройства для сбора вырабатываемой электрической энергии. Решены вопросы исследования причин возникновения механических и электрических потерь в элементах конструкции, передаточных механизмах и электрогенераторе устройства в процессе его работы и определения коэффициента полезной работы устройства.

**Ключевые слова:** тормозной диск, электрогенератор, накопитель механической энергии, зубчатый комплекс, конструктивный элемент, кинематические связи, аккумулятор.

### Summary

#### TRANSPORTATION, COLLECTION AND LOSSES IN THE PROCESS OF ELECTROMECHANICAL CONVERSION OF MECHANICAL ENERGY OCCURRING DURING BRAKING IN THE OPERATION OF VEHICLES

*Balayeva A.H., Shirinova A.Y., Abdullayeva U.R.*

The article presents the problems of preventing carbon emissions into the atmosphere, which are among the solutions to the environmental problems that cause concern to humanity, the problems that have arisen in energy saving issues and their elimination, and the analysis of fuel losses during the braking process during the operation of urban passenger transport vehicles. The issues of transporting, accumulating, achieving up to 70% electromechanical conversion of mechanical energy generated in the wheel construction during braking during the operation of vehicles and the application of the device for collecting the generated electrical energy were considered. The issues of investigating the causes of mechanical and electrical losses in the

structural elements, transmission mechanisms, and electric generator of the device during its operation and determining the useful work coefficient of the device were resolved.

**Keywords:** brake disc, electric generator, mechanical energy accumulator, gear complex, structural element, kinematic joints, accumulator.

## ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

<sup>1</sup>Гаджибалаев Надир Мирзабала, <sup>2</sup>Гамидов Мустафа Гамид,  
<sup>3</sup>Гамидова Гюлнар Мустафа, <sup>4</sup>Джаббарова Самира Мохуббат

1, 4 - Сумгаитский государственный университет, г. Сумгаит, Азербайджан.

2,3 – Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,  
Баку, Азербайджан

[nadir.hacibalalayev@sdu.edu.az](mailto:nadir.hacibalalayev@sdu.edu.az), [hemidov1946@mail.ru](mailto:hemidov1946@mail.ru), [samira.cabbarova@sdu.edu.az](mailto:samira.cabbarova@sdu.edu.az)

**Резюме** В статье рассматриваются вопросы развития электроэнергетики на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Как было установлено, что сети с возобновляемыми источниками энергии с экономической точки зрения наиболее оптимальными и применяемыми. Требуется отметить, что системная интеграция дает возможность расширения производства ВИЭ, а также позволяет выполнять точное моделирование и симуляцию. По результатам проведенных исследований сделано вывод, что переход на не традиционные и возобновляемые источники энергии дает возможность создания более устойчивой и безопасной электроэнергии.

**Ключевые слова:** источники энергии, возобновляемые источники энергии, безопасность энергетики, устойчивая энергия, моделирование и симуляция.

По результатам последнее исследование к 2025 году расход природного топлива в производстве электрической энергии возрастают с 5800 мил. тон до 9000 мил. тон условной топливной единицы (у.е.)

В производстве электрической энергии в качестве начального топлива используются до 33 % - каменный уголь, до 20 % - в возобновляемые источники энергии и 7 % - в мазут.

По результатам статическим результатом электрическая энергия в настоящее время производится в основном на основании органических источников, что обуславливают их будущее истечения.

Поэтому выявление и создание новых неорганических источников энергии является актуальной задачей, состоящей перед современными энергетиками. Последнее время исследование гибридных станций очень эффективно.

Гибридные электростанции на основе возобновляемых источников энергии используют для производства электрической энергии солнечным светом и слом ветра.

В сочетании с газодизельными генераторами это дает возможность обеспечить не прерывную подачу энергии потребителям независимо от силы ветра, погодных условий и других факторов. Гибридная электрическая станция состоит из нескольких звеньев; модули ветровой электрической станции, модули солнечных электрических станции, генераторы на биологическом топливе, аккумуляторные батареи, дизельные или газовые генераторы, которые играют роль резервного питания.

Непрерывный рост численности населения земного шара и темпы научно – технического прогресса неразрывно связаны с увеличением энергопотребления. Интенсивное потребление органического топлива привело к существенному истощению природных ресурсов. А это, в свою очередь, привело к тому, что перед человечеством стала задача разработки более эффективных источников энергии. В связи с этим возникла необходимость в исследовании, разработке и дальнейшего внедрения альтернативных или иначе возобновляемых источников энергии.

Альтернативные источники энергии – это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих в окружающей среде естественных источников энергии. К АИЭ относятся следующие виды энергии: солнечная энергия, энергия ветра, энергия мирового океана, геотермальная энергия и др.

Энергетический потенциал большинства из вышеперечисленных АИЭ во много раз превышает современный уровень энергопотребления. По расчету экспертов потенциал АИЭ в настоящее время составляет 30 млрд. тонн условного топлива в год, что в два раза больше, чем объем годовой добычи всех видов органического топлива. Основное преимущество возобновляемых источников энергии – это экологическая чистота.

Эти качества и послужили причиной бурного развития возобновляемой энергетики и весьма оптимистических прогнозов ее развития в ближайшем будущем.

К недостатку АИЭ относятся: невысокая плотность энергетических потоков, их непостоянство во времени и необходимость финансовых затрат на оборудование, обеспечивающее сбор, аккумулирование и преобразование энергии. Вместе с тем совершенствование технологий использования АИЭ приводит к значительному снижению их стоимости [1].

Можно выделить следующие основные причины целесообразности дальнейшего развития энергетике на базе АИЭ:

- обеспечение энергетической безопасности;
- охрана окружающей среды и обеспечение экологической безопасности;
- завоевание мировых рынков АИЭ, особенно в развивающихся странах;
- сохранение запасов собственных энергоресурсов для бедующих поколений.

Практическое применение солнечной энергии подразделяется на два направления: преобразование солнечной энергии в электрическую и тепло. Постепенно расширяется область применения солнечной энергии для нужд теплоснабжения.

При проектировании систем солнечного теплоснабжения необходимо исходить из того, что экономически целесообразно покрывать за счет солнечной энергии лишь определенную долю годовой тепловой нагрузки –  $F_{\text{год}}$  а остальную ее часть  $Q_{\text{н.год}} = (1 - F_{\text{год}})$  должен обеспечивать резервный источник энергии.

Месячная доля солнечной энергии в покрытии тепловой нагрузки теплоснабжения определяется по формуле:

$$F = \frac{Q_{\text{с.м}}}{Q_{\text{д.м}}} = \frac{(Q_{\text{н.м}} - Q_{\text{д.м}})}{Q_{\text{н.м}}} = 1 - \frac{Q_{\text{д.м}}}{Q_{\text{н.м}}} \quad (1)$$

где  $Q_{\text{н.м}}$  – месячная величина тепловой нагрузки,  $Q_{\text{д.м}}$  – месячное количество теплоты, обеспечиваемое установкой дополнительных источников энергии.

Тогда годовая доля солнечной энергии в покрытии нагрузки определяется как:

$$F_{\text{год}} = \frac{\sum F Q_{\text{н.м}}}{\sum Q_{\text{н.м}}} \quad (2)$$

Большое преимущество, как экологически чистый и безопасный источник энергии, имеет энергия ветра. Известны схемы ветроэнергетических установок (ВЭУ), работающих совместно с каскадом ГЭС, расположенных по руслу одной реки. Совместная работа ВЭУ в ГЭС дает возможность повысить установленную мощность ГЭС при неизменном стоке реки.

Для насосного ветрогенератора с гидроаккумулятором уравнение баланса объемов воды, подаваемой и потребляемой за расчетный период будет:

$$V_t = V_0 + \int_0^t Q dt - \int_0^t B_{\text{сут}} dt \quad (3)$$

где  $V_0$  и  $V_t$  – объем воды, содержащийся в баке соответственно в начальный момент времени  $t_0$  и в некоторый момент  $t$ ;  $\int_0^t Q dt$  – суммарная водопотребление за время  $t$ -  $t_0$ .

В общем виде энергия с гидроаккумулирующим устройством будет:

$$E_t = E_{\text{акум}} + \int_0^t E_{\text{нас}} dt - \int_0^t E_{\text{ном}} dt \quad (4)$$

Энергобезопасность – это основа мировой безопасности. Прежде всего, к энергобезопасности относится экономия природных ресурсов, а вопросом мировой экономики [2]. В результате неравномерного распределения мировых источников энергии, возникают некоторые проблемы, для решения которых требуется новые исследования и передовые разработки в области энергетики.

С экономической точки зрения энергобезопасность характеризуется:

- существующими экономическими условиями;
- энергобезопасность имеет государственное значение;
- энергобезопасность гарантирует стабильные экономические условия для граждан региона;
- энергобезопасность определяет, как внутреннее, так и внешнее положение региона [3].

Поскольку в современном мире понятие энергобезопасности весьма актуально, то развитие почти всех отраслей экономики зависит именно от этого фактора. Для обеспечения энергобезопасности необходимо полное изучение существующих ресурсов.

Основным показателем энергобезопасности считается уровень энергоресурсов региона, который определяется по следующей формуле:

$$E_{\text{э.об}} = \frac{E_{\text{пр}}}{E_{\text{исп}}} \quad (5)$$

где  $E_{\text{э.об}}$  - коэффициент энергоснабжения;  $E_{\text{пр}}$  – производство энергии;  $E_{\text{исп}}$  – использование энергии.

В основном в гибридных системах распределенной генерации с возобновляемыми источниками энергии считается наиболее целесообразным использование энергии солнца и ветра.

Рассматривая основные тенденции развития энергосистем, с учетом таких аспектов как энергопотенциал и энергобезопасность, следует отметить следующие основные направления: безопасность топлива, адекватность, устойчивость окружающей среды, киберзащиты, и изменение чувствительности (аварийные отключения). Современные направления развития энергосистем требуют расширить рамки энергобезопасности, которая в свою очередь с экономической точки зрения обеспечивает наиболее выгодное и надежное получение энергии. Предполагается, что к 2040 году энергия, получаемая от использования возобновляемых источников энергии, достигнет 45% от общего количества производимой энергии.

Для усиления энергобезопасности требуется, в свою очередь, усиление кибербезопасности, что означает: увеличение различных энергоресурсов, расширение рамок возможных кибератак и создание вероятности возможных кибератак.

Как было отмечено выше, энергобезопасность связано с безопасностью экономики государства, для чего требуется в первую очередь исследование дешевых источников энергии, что гарантирует государству защиту от нежелательных последствий.

Для усиления роли источников возобновляемой энергии с точки зрения энергобезопасности необходимы ниже перечисленные условия:

- ускоренное расширение использование возобновляемых источников энергии;
- реконструкция городских сетей;
- усовершенствование производства и передачи электроэнергии;
- изменение структуры экономики для обеспечения электроснабжения;
- строгий контроль над использованием электроэнергии.

Ниже приводится предполагаемая схема оплаты расхода электроэнергии.  $W_{п.р}$  – полезный расход определяется как:

$$W_{п.р} = W_{в.р} - \Delta W_{потери}$$

где  $W_{в.р}$  – расход электроэнергии в районной сети;  $\Delta W_{потери}$  – потери электроэнергии.

Оплата в процентном соотношении определяется следующей формуле:

$$Q_{\%} = \left( \frac{W_{оп}}{W_{п.р}} \right) \cdot 100\% \quad (6)$$

Полезный расход определяется как:

$$W_{п.р} = W_{в.р} - \Delta W \quad (7)$$

где  $W_{в.р}$  - количество электроэнергии данной районной сети;  $\Delta W$  - потери электроэнергии.

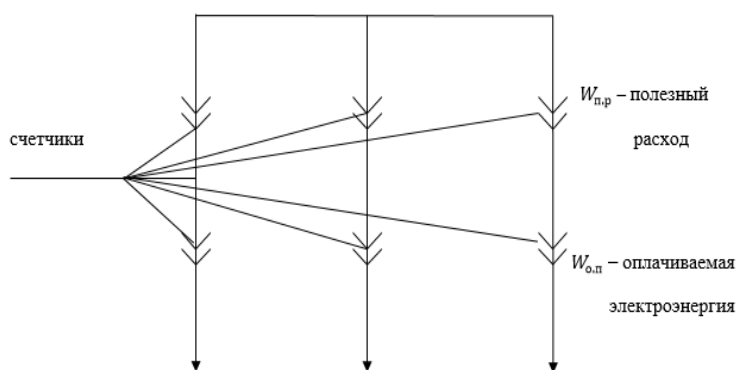


Рис. 1. Схема оплаты расхода электроэнергии.

## Литература

1. А.Гусейнов, Э.Н.Гусейнов. Альтернативные источники энергии., Баку – 2011. 252 стр.
2. Д. Ж. Твайдел, Ф. Уэйр. Возобновляемые источники энергии., М.: Энергоатомиздат, 1990. 390 стр.
3. Т.Д.Джафаров. Источники возобновляемой энергии и их интеграция в энергетических системах., Баку – 2013. 95 стр.

*Xülasə*  
**BƏRPA OLAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİ ƏSASINDA ENERJİ TƏHLÜKƏSİZLİĞİ**  
*Hacıbalayev N.M., Həmidov M.H., Həmidova G.M., Cabbarova S.M.*

Məqalədə bərpa olunan enerji mənbələrinə (RES) əsaslanan elektrik enerjisi sənayesinin inkişafı araşdırılır. Müəyyən edilmişdir ki, bərpa olunan enerji mənbələri olan şəbəkələr iqtisadi baxımdan ən optimal və tətbiq oluna biləndir. Qeyd etmək lazımdır ki, sistem inteqrasiyası bərpa olunan enerji istehsalını genişləndirmək imkanı verir və həmçinin dəqiq modelləşdirmə və simulyasiya etməyə imkan verir. Aparılan tədqiqatların nəticələrinə əsasən belə qənaətə gəlinib ki, qeyri-ənənəvi və bərpa olunan enerji mənbələrinə keçid daha dayanıqlı və təhlükəsiz elektrik enerjisi yaratmağa imkan verir.

**Açar sözlər:** enerji mənbələri, bərpa olunan enerji mənbələri, enerji təhlükəsizliyi, davamlı enerji, modelləşdirmə və simulyasiya

**Summary**  
**ENERGY SECURITY BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES**  
*Hajibalayev N.M., Hamidov M.H., Gamidova G.M., Jabbarova S.M.*

The article raises questions on the feasibility of development of energy based on alternative energy sources. As it was found, networks with renewable energy sources are the most optimal from an economic point of view. It should be noted that system integration makes it possible to expand the production of RES, and also allows you to perform accurate modeling and simulation. According to the results of the studies, it can be conducted that the transition to non-traditional and renewable energy sources makes it possible to create a more sustainable and safe energy.

**Keywords:** energy sources, energy security, alternative energy courses, renewable energy sources, sustainable energy.

**INTEGRATING THE CONCEPT OF ALTERNATIVE ENERGY INTO THE EDUCATION OF THE YOUNGER GENERATION**

**Latifova Sevil Seyfulla, Mammadov Murad Mardan,  
Novruzova Rahida Emin, Abdulova Izzat Najmaddin**  
*Sumgait State University, Sumgait, Azerbaijan*  
[letifovasevil1968@gmail.com](mailto:letifovasevil1968@gmail.com), [mammedowmurad@gmail.com](mailto:mammedowmurad@gmail.com),  
[rahidanovruz@gmail.com](mailto:rahidanovruz@gmail.com), [izzet.abdulova@mail.ru](mailto:izzet.abdulova@mail.ru)

**Summary.** The depletion of traditional energy sources and the environmental threats they create increase the importance of alternative energy resources in the modern era. Integrating knowledge about solar, wind, hydro, biomass, and geothermal energy into education helps develop ecological responsibility and energy-saving awareness among youth. Project-based learning, experiments, and digital simulations strengthen practical skills, while the STEAM model enhances innovative and critical thinking abilities. This approach contributes to the expansion of ecological culture and improved energy efficiency in line with sustainable development goals and is considered essential for the future of society.

**Keywords:** alternative energy, ecological education, sustainable development, energy in STEAM, energy efficiency, youth ecological awareness

**The Necessity of Integrating Alternative Energy into Education**

Alternative energy is not only a field of technical knowledge but also an important means of shaping ecological responsibility and environmental culture. In the modern era, the depletion of energy resources, climate change, and global warming pose serious threats to the future of humanity[3]. Therefore, the study and application of alternative energy sources (solar, wind, biomass, hydro, and geothermal energy) should become one of the main directions not only in engineering and technology but also in general education.

Integrating the concept of alternative energy into the education system from early years directly influences the culture of energy consumption and ecological values of future citizens[11]. Integrating alternative energy topics into education is an indispensable tool for raising environmentally aware young people, fostering responsible behavior toward nature, and developing innovative thinking. This integration must be reflected in curricula as well as extracurricular activities and should be implemented using practical and research-oriented methods.

**The main reasons for integrating alternative energy into education are as follows:**

- Environmental awareness: Students develop a more responsible attitude toward nature by learning about the environmental impact of energy sources[7]. For this purpose, the scope of alternative energy topics in the physics curriculum should be expanded and supported with real-life examples and experiments. For example, by studying the operating principles of solar cells in laboratory settings, students gain a deeper understanding of the ecological consequences of energy production. Additionally, within “Green School” initiatives, concepts such as energy saving, waste management, and environmental protection can be combined with practical activities.

- **Innovative thinking:** The topic of alternative energy increases students' creative thinking and interest in technology. Innovative technologies in the field of energy production and use such as solar panels, smart energy systems, and energy storage devices enhance students' interest in the STEAM field. As a result, modern pedagogical approaches such as critical thinking, problem solving, and project-based learning naturally develop in the teaching process.

- **Sustainable development:** Future engineers, scientists, and policymakers must make decisions that take energy efficiency into account. Therefore, the concept of the Sustainable Development Goals (SDGs) must be widely promoted within the education system. In particular, the UN's seventh goal, "clean and affordable energy for all," should be incorporated into students' worldview. Forming an integrative approach among economics, environmental sciences, and social sciences in the teaching process creates a foundation for equipping future decision-makers with the ability to guide energy policies in the right direction.

- **Applied skills:** Through school projects, students can create simple models of solar panels and wind turbines. These activities not only reinforce theoretical knowledge but also develop practical skills[4]. For instance, in physics classes, assembling small solar-powered car models, constructing miniature versions of wind turbines, and conducting experiments on energy measurements increase students' interest in research and enhance their engineering thinking. Thus, students adopt the principle of "learning by creating" and acquire the ability to apply their knowledge to real-life problems.

#### Methods of Implementation in the Educational Process

Integrating the concept of alternative energy into the educational process not only shapes students' ability to apply scientific knowledge in real life but also develops their creative and critical thinking skills. This process requires not only enriching the curriculum but also combining modern pedagogical methods project-based learning, experimentation, digital simulation, and ecological initiatives within a unified system. Below are the main methods of implementation:

1. **Integration into Physics Lessons:** Physics is the most suitable scientific platform for teaching alternative energy concepts. This integration must be reflected in both the content of educational programs and teaching methods.

Explaining alternative sources within the topic of energy transformations: When explaining the process of converting one form of energy into another, special emphasis should be placed on the role of solar, wind, hydro, and biomass as alternative energy sources. Along with the laws of energy exchange, classroom discussions should also address the ecological consequences of efficient natural resource use. For example, while explaining the working principle of solar panels, their mechanism of converting light energy into electrical energy can be demonstrated using practical models.

Practical examples related to energy efficiency in heat and mechanics: Topics such as thermal insulation, mechanical energy loss, and friction should be taught in relation to daily life. For example, students can test the selection of materials to reduce heat transfer and work on building an "energy-efficient house model."

2. **The STEAM Approach:** The STEAM model (Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics) provides a multidisciplinary framework for teaching alternative energy topics[1]. Through preparing projects on alternative energy, students develop both technical and creative skills. They not only learn the principles of energy production but also integrate design, aesthetics, and functionality to create innovative projects. For example, some students construct solar powered car models, while others build models using wind turbines. Thus, they bring together engineering thinking and artistic creativity.

3. **Laboratory Work and Experiments:** Experiments conducted in laboratory settings develop students' scientific research skills and ensure the practical application of theoretical knowledge.

Preparing models of solar panels and wind turbines in the laboratory improves students' ability to draw scientific conclusions and solve real-world problems [8]. Students can create small-scale energy systems using various materials and observe both the mechanical structure and the process of electrical energy generation.

Experiments on energy production from waste: During biomass energy experiments, students learn the principles of generating energy from organic waste (plant residues, food waste, etc.). This increases their ecological and economic sense of responsibility.

4. **Digital Technologies:** Integrating digital technologies into education is one of the core requirements of the 21st-century learning environment.

Modeling energy production and consumption using computer simulations: Students can analyze the functioning of energy systems using programmed models and evaluate the results. Programs such as *PhET Simulation* and *Energy3D* allow the observation of energy flow, changes in solar angles, and efficiency factors. Learning the working principles of alternative energy stations through virtual reality: Through VR

technologies, students can take a “virtual tour” inside solar and wind power plants and explore real processes interactively. This significantly enhances learning motivation and retention.

5. Ecological Projects and Volunteering: The social dimension of alternative energy is closely related to ecological responsibility and civic engagement. Misconceptions about the concept of energy are often resolved through projects and experiments[9].

Organizing “Green Energy Day” events: Students present their projects, posters, and models, raising awareness among their peers about energy efficiency. Such events strengthen the promotion of ecological values within the learning environment. Participation in community-based ecological projects: In cooperation with environmental organizations, students can participate in tree-planting campaigns, waste-separation initiatives, and renewable energy projects[6]. These activities help shape social responsibility and develop ecological leadership.

#### Forming an Alternative Energy Mindset Among the Younger Generation

Shaping the concept of alternative energy in the worldview of the younger generation is one of the most important directions of modern education. This approach involves integrating not only technological knowledge but also social responsibility, ecological ethics, and global citizenship values into the educational system. The energy crisis and climate change key challenges of the 21st century require not only strengthening scientific literacy but also transforming values and behavioral models.

Key directions for forming an alternative energy culture among youth include:

- Values: integrating values such as frugality, responsibility, and respect for nature

Education related to alternative energy should not only convey knowledge but also aim to form a harmonious relationship between humans and nature. Therefore, incorporating moral and ecological values such as conservation, responsibility, and respect for nature into the teaching process is essential. For example, organizing discussions on the consequences of energy waste, the impact of increased waste on the climate, and the importance of renewable energy sources can fundamentally transform students’ attitudes toward nature. The unity of moral and social values with scientific knowledge forms the basis of ecological citizenship.

- Motivation: presenting examples of successful youth in alternative energy projects

Motivation strengthens young people’s scientific curiosity, creative potential, and willingness to learn. Presenting examples of local and international youth who have succeeded in alternative energy projects fosters a “I can do it too” mindset among students. For instance, sharing the success stories of participants in international programs such as *Young Innovators for Renewable Energy* and *Green Skills for Youth* can inspire students to join similar initiatives. Additionally, school-level events such as “Energy Saving Week” or “Green Ideas Competition” help transform motivation into practical action[10].

- Studying local problems: analyzing regional energy consumption, waste recycling, and green technologies

Studying local issues strengthens students’ connection to their environment and encourages research-oriented thinking. Analyzing regional energy consumption, managing and recycling waste, and applying green technologies suitable for local conditions give students opportunities for practical learning. For example, building simple biomass energy models in rural schools or conducting energy-monitoring projects in urban schools is valuable both in terms of experience and ecological responsibility. These activities help students become not only consumers but also active participants in energy production and management.

- Career orientation: increasing interest in alternative energy engineering, ecotechnologies, and scientific research

Alternative energy is one of the fastest-growing professional fields of the 21st century. Therefore, it is necessary to implement career-oriented awareness programs in schools and universities. Organizing seminars on “green careers,” promoting specializations in alternative energy engineering, ecotechnologies, and energy management guide young people’s future career planning[2]. Furthermore, laboratory practice, fieldwork, start-up projects, and university-industry cooperation strengthen students’ interest through practical engagement.

#### Conclusion

Integrating the concept of alternative energy into the education of the younger generation is an important step toward forming ecological awareness, applying innovative technologies, and achieving sustainable development goals. If educational institutions work systematically in this direction, young people will develop a culture based on energy efficiency and ecological values. This will contribute to sustainable development in both the economy and societal behavior. Applying alternative energy technologies in the teaching of physics fosters the development of environmentally responsible and socially conscious citizens[5].

## References

1. Azerbaijan Republic Ministry of Education. (2021). *Ümumtəhsil məktəbləri üçün fizika fənni kurikulumu*. Bakı.
2. Filho, W. L. (Ed.). (2019). *Integrating sustainability into the curriculum*. Springer.
3. IPCC. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press.
4. İsmayılov, Ə., & Həsənov, T. (2018). *Fizika fənninin tədrisində ekoloji problemlərin inteqrasiyası*. Bakı: ADPU nəşriyyatı.
5. Malavoloneque, G., & Costa, N. (2022). Physics education and sustainable development: A study of energy in a glocal perspective in an Angolan initial teacher education school. *Frontiers in Education*, 6, Article 639388. <https://doi.org/10.3389/feduc.2021.639388>
6. Məmmədov, R. (2019). *Alternativ enerji mənbələri və onların Azərbaycanda tətbiqi imkanları*. Bakı: Azərbaycan Texniki Universiteti Nəşriyyatı.
7. Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1513–1524.
8. Siqueira, R., & Lameira, J. (2020). Renewable energies as experimental practices in physics teaching of youth and adult education. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 7(10), 300–304. <https://doi.org/10.22161/ijaers.710.33>
9. Takaoğlu, Z. B. (2018). Energy concept understanding of high school students: A cross-grade study. *Universal Journal of Educational Research*, 6(4), 653–660. <https://doi.org/10.13189/ujer.2018.060409>
10. UNESCO. (2017). *Education for Sustainable Development Goals: Learning objectives*. UNESCO Publishing.
11. UNESCO. (2020). *Education for sustainable development: A roadmap*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

### Xülasə

#### ALTERNATIV ENERJİ KONSEPSİYASININ GƏNC NƏSİLİN TƏHSİLİNƏ INTEQRASIYASI Lətifova S.S., Məmmədov M.M., Novruzova R.E., Abdulova İ.N.

Müasir dövrdə ənənəvi enerji mənbələrinin tükənməsi və yaratdığı ekoloji təhlükələr alternativ enerji resurslarının əhəmiyyətini artırır. Günəş, külək, su, biokütlə və geotermal enerji barədə biliklərin təhsilə inteqrasiyası gənclərdə ekoloji məsuliyyət və enerji qənaəti düşüncəsini formalaşdırır. Layihəəsaslı öyrənmə, eksperiment və rəqəmsal simulyasiyalar praktiki bacarıqları gücləndirir, STEAM modeli isə innovativ və tənqidi düşüncə qabiliyyətini inkişaf etdirir. Bu yanaşma dayanıqlı inkişaf məqsədlərinə uyğun olaraq ekoloji mədəniyyətin genişlənməsinə və enerji səmərəliliyinin artırılmasına töhfə verir, cəmiyyətin gələcəyi üçün vacibdir sayılır.

**Açar sözlər:** alternativ enerji, ekoloji təhsil, dayanıqlı inkişaf, STEAM-də enerji, enerji səmərəliliyi, gənclərdə ekoloji şüur

### Резюме

#### ИНТЕГРАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГИИ В ОБРАЗОВАНИЕ МОЛОДОГО ПОКОЛЕНИЯ Латифова С.С., Мамедов М.М., Новрузова Р.Э., Абдулова И.Н.

Истощение традиционных источников энергии и вызываемые ими экологические угрозы повышают значение альтернативных энергетических ресурсов в современную эпоху. Интеграция знаний о солнечной, ветровой, водной, биомассовой и геотермальной энергии в образование формирует у молодежи экологическую ответственность и культуру энергосбережения. Проектное обучение, эксперименты и цифровые симуляции усиливают практические навыки, а модель STEAM развивает инновационное и критическое мышление. Такой подход способствует расширению экологической культуры и повышению энергоэффективности в соответствии с целями устойчивого развития и считается важным для будущего общества.

**Ключевые слова:** альтернативная энергия, экологическое образование, устойчивое развитие, энергия в STEAM, энергоэффективность, экологическое сознание молодежи

## BƏRPA OLUNAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİ

Asifli Maqsd Rafis oğlu

Nizami Tibb Mərkəzi PHŞ, Bakı, Azərbaycan

[maqsud.asifli@bk.ru](mailto:maqsud.asifli@bk.ru)

### *Bərpa Olunan Enerji Mənbələri: Qlobal Perspektiv və Azərbaycanın İmkanları*

Bərpa olunan enerji mənbələri (BÖEM) müasir dövrdə enerji təhlükəsizliyi, ətraf mühitin mühafizəsi və iqtisadi inkişaf baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Ənənəvi enerji mənbələrinin tükənməsi və ətraf mühitə mənfi təsirləri, alternativ enerji mənbələrinə keçidi zəruri edir.

## **Bərpa Olunan Enerji Mənbələrinin Növləri və Üstünlükləri**

Bərpa olunan enerji mənbələri təbii proseslər nəticəsində davamlı olaraq yenilənən enerji mənbələridir. Əsas növləri aşağıdakıları misal çəkmək olar:

**Günəş enerjisi:** Günəş radiasiyasından əldə olunan enerji, panellər və günəş kollektorları vasitəsilə elektrik və istilik enerjisinə çevrilir.

**Külək enerjisi:** Küləyin kinetik enerjisi külək turbinləri vasitəsilə elektrik enerjisinə çevrilir.

**Hidroenerji:** Çaylar və su anbarlarından əldə olunan suyun potensial və kinetik enerjisi Su Elektrik Stansiyaları (SES) vasitəsilə elektrik enerjisinə çevrilir.

**Bioenerji:** Bitki və heyvan mənşəli orqanik maddələrin (biokütlə) yandırılması və ya fermentasiyası nəticəsində enerji əldə olunur.

**Geotermal enerji:** Yer qabığının dərinliklərindəki istilik enerjisi, geotermal stansiyalar vasitəsilə elektrik və istilik enerjisinə çevrilir.

**Dalğa və qabarma-çəkilmə enerjisi:** Dəniz və okeanlarda yaranan dalğalar və qabarma- çəkilmə hadisələri nəticəsində əldə olunan enerji.

Bu enerji mənbələrinin əsas üstünlükləri arasında tükənməz olmaları, ətraf mühitə minimum təsir göstərmələri və enerji təhlükəsizliyini təmin etmələri qeyd oluna bilər.

## **Dünyada Bərpa Olunan Enerji Mənbələrinin İnkişafı**

Son illərdə dünya üzrə bərpa olunan enerji mənbələrinin istifadəsi sürətlə artır. Beynəlxalq Bərpa Olunan Enerji Agentliyinin (IRENA) məlumatına görə, 2018-ci ildə dünyada bərpa olunan enerji mənbələri üzrə quraşdırılmış güc 2350,756 GVt-ə çatmışdır. Bu gücün 70 faizi Çin, ABŞ, Braziliya, Almaniya, Hindistan, Kanada, Yaponiya, İtaliya, Rusiya və Fransanın payına düşüb.

Ən çox istifadə olunan bərpa olunan enerji mənbələri arasında hidroenergetika, külək və günəş enerjisi ön sıralarda yer alır. Hidroenergetika dünya üzrə gücü 1295 GVt-ə çatmışdır. Dünyada bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişafı üçün müxtəlif ölkələrdə böyük investisiyalar qoyulur. Məsələn, 2014-cü ildə günəş enerjisi hasilatı sahəsinə yatırılan investisiyalar 149,5 milyard dollara, külək enerjisi üçün isə 99,5 milyard dollara çatıb.

## **Azərbaycanda Bərpa Olunan Enerji Mənbələri Mövcud Potensial**

Azərbaycan bərpa olunan enerji mənbələri üzrə yüksək potensiala malik olan ölkələrdəndir. Ölkəmizin bərpa olunan enerji mənbələrinin texniki potensialı quruda 135 QVt, dənizdə 157 QVt-ə çatır. Bərpa olunan enerji mənbələrinin iqtisadi potensialı 27 QVt, o cümlədən, külək enerjisi üzrə 3 000 MVt, günəş enerjisi üzrə 23 000 MVt, bioenerji potensialı 380 MVt, dağ çaylarının potensialı 520 MVt həcmində qiymətləndirilir.

## **Dövlət Siyasəti və Hüquqi Çərçivə**

Azərbaycan hökuməti bərpa olunan enerji sahəsində bir sıra lazımi addımlar atmışdır. 2004-cü ildə “Azərbaycan Respublikasında alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə olunması üzrə Dövlət Proqramı” qəbul edilmişdir. 2020-ci ildə Energetika Nazirliyi yanında Bərpa Olunan Enerji Mənbələri Dövlət Agentliyi yaradılmışdır. 2021-ci ildə isə “Elektrik enerjisi istehsalında bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə haqqında” Qanun qəbul edilmişdir.

Azərbaycan Paris Sazişinə əsasən, 2030-cu ilədək istixana effekti yaradan qaz emissiyalarının 35% azaldılmasını hədəfləyir. Bu məqsədlə, Energetika Nazirliyi tərəfindən 2030-cu ilə qədər ölkənin ümumi enerji balansında bərpa olunan enerji üzrə qoyuluş gücü payının 30%-ə çatdırılması əsas hədəf kimi müəyyən edilmişdir.

Son illərdə Azərbaycanda bir sıra mühüm bərpa olunan enerji layihələri həyata keçirilmişdir. Məsələn, 2023-cü ilin oktyabr ayında BƏƏ-nin “Masdar” şirkəti ilə əməkdaşlıq çərçivəsində 230 MVt gücündə “Qaradağ Günəş Elektrik Stansiyası” istifadəyə verilmişdir. Bu stansiya ildə 500 milyon kVt-st elektrik enerjisi istehsal etməklə 110 milyon kubmetr həcmində təbii qaza qənaət edəcək və atmosfərə atılan karbon emissiyasını 200 min ton azaldacaq.

İşğaldan azad edilmiş Qarabağ bölgəsi və Naxçıvan Muxtar Respublikası bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişafı üçün böyük potensiala malikdir. Bu bölgələrdə günəş, külək və hidroenerji mənbələri geniş yayılmışdır. Mütəxəssislər bu sahədə müxtəlif layihələr və təkliflər irəli sürmüşlər.

## **Ədəbiyyat**

1. Əliyev, Ə.Ə. (2013). Alternativ enerji mənbələri və onların istifadə perspektivləri. Bakı: BDU nəşriyyatı.
2. Əlizadə, Ə.Ə., Həsənov, R.H. (2012). Azərbaycanın enerji ehtiyatları və enerji təhlükəsizliyi məsələləri. Bakı: “Elm”.
3. Əsədov, H.Ə. (2014). Külək və günəş enerjisinin texnologiyası. Bakı: AzTU nəşriyyatı.

4. Babayev, Q.Ə. (2018). Ekoloji problemlər və alternativ enerji mənbələri. Bakı: Təhsil.
5. Hacıyev, M.H. (2017). Energetika və ətraf mühit. Bakı: AzTU nəşriyyatı.
6. Hüseynov, T.M. (2020). Bərpa olunan enerji mənbələri: nəzəri və praktiki əsaslar. Naxçıvan: NDU nəşriyyatı.
7. İsmayılov, S.Ş. (2019). Azərbaycanın bərpa olunan enerji potensialı. Bakı: Təknur.
8. Məmmədov, M.C. (2015). Alternativ enerji mənbələri və onların tətbiqi. Bakı: Azərbaycan Texniki Universiteti.
9. Quliyev, S.A. (2011). Energetika və enerji siyasəti. Bakı: “Nurlar”.
10. Azərbaycan Respublikası Energetika Nazirliyi. (2024). Rəsmi veb sayt: <https://minenergy.gov.az>

**Xarici Mənbələr:**

- IRENA (2023). Renewable Capacity Statistics 2023. International Renewable Energy Agency. [www.irena.org](http://www.irena.org)  
 Boyle, G. (2012). Renewable Energy: Power for a Sustainable Future. Oxford University Press.

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ДИАГНОСТИКИ ИНВЕРТОРОВ В КРУПНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

**Рахмонов Икромжон Усмонович<sup>1</sup>**  
**Реймов Камал Мамбеткаримович<sup>2</sup>**  
**Расулов Абдулхай Норходжаевич<sup>1</sup>**

*1-Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент, Узбекистан*

*2-Каракалпакский государственный университет, г. Нукус, Узбекистан*

[ilider1987@yandex.com](mailto:ilider1987@yandex.com)

***Резюме** В статье рассматриваются вопросы надежности централизованных инверторов в крупных солнечных электростанциях Узбекистана. Предложены интеллектуальные методы анализа и диагностики с использованием IoT-сенсоров и цифровых платформ для мониторинга в реальном времени. Разработанный алгоритм динамического контроля позволяет выявлять аномалии, прогнозировать отказы и повышать устойчивость работы энергетической системы, что способствует эффективной эксплуатации и снижению рисков.*

***Ключевые слова.** солнечные электростанции, централизованные инверторы, IoT-сенсоры, цифровой мониторинг, диагностика, динамический алгоритм, надежность.*

Рост мирового и национального спроса на электроэнергию делает всё более актуальным вопрос перехода на возобновляемые источники энергии. Для Республики Узбекистан, обладающей значительным природным потенциалом в этой сфере, развитие «зелёной» генерации рассматривается не только как инструмент снижения углеродного следа, но и как стратегический фактор обеспечения энергетической безопасности, диверсификации источников энергоснабжения и повышения устойчивости экономики в условиях глобальных климатических вызовов.

Согласно принятым государственным программам и прогнозам, к 2030 году страна намерена увеличить установленную мощность возобновляемых источников энергии до 27 ГВт. Такой шаг позволит не только довести долю «зелёной» энергии в общем объёме производства электроэнергии до 40% и выше, но и сократить выбросы вредных веществ в атмосферу на 34 миллиона тонн, что является серьёзным вкладом в выполнение международных климатических обязательств. При этом исключительно за счёт солнечных электростанций планируется достичь мощности 8,6 ГВт, что станет важнейшей вехой на пути масштабной трансформации национальной энергетики [1].

Дальнейшие планы ещё более амбициозны: к 2035 году в Республике Узбекистан общая установленная мощность энергосистемы должна составить 57,1 ГВт, из которых 42,9 ГВт, или более 75%, будут приходиться на возобновляемые источники. В структуре этих мощностей значительную долю займут:

- ветровые электростанции — около 21,1 ГВт, которые будут сосредоточены в регионах с наиболее благоприятными ветровыми условиями (Каракалпакстан, Навоийская, Бухарская области и др.);
- солнечные электростанции — около 18,5 ГВт, размещённые в районах с высоким уровнем солнечной радиации, что позволит использовать природные особенности климата страны максимально эффективно;
- накопительные системы (аккумуляторы) — около 3,3 ГВт, которые обеспечат балансирование нагрузки, сглаживание пиков генерации и повышение надёжности

энергоснабжения.

Внедрение такого масштаба возобновляемых источников коренным образом изменит энергетический баланс Узбекистана. Традиционные углеводородные ресурсы будут постепенно вытесняться, сохраняясь преимущественно для регулирующих мощностей и экспортных поставок. В то же время развитие ВИЭ будет сопровождаться цифровизацией управления энергосистемой, внедрением интеллектуальных сетей (Smart Grid), а также систем накопления энергии, что позволит сделать энергетику более гибкой, устойчивой и ориентированной на долгосрочные экологические приоритеты.

Таким образом, планируемое к 2030–2035 годам расширение мощностей возобновляемых источников энергии в Узбекистане свидетельствует о формировании новой модели энергетического развития страны. Эта модель базируется на принципах устойчивости, энергоэффективности и технологических инноваций, что делает её не только важным фактором внутренней энергетической независимости, но и значимым вкладом в глобальные усилия по переходу к низкоуглеродной экономике (см. Рис. 1).

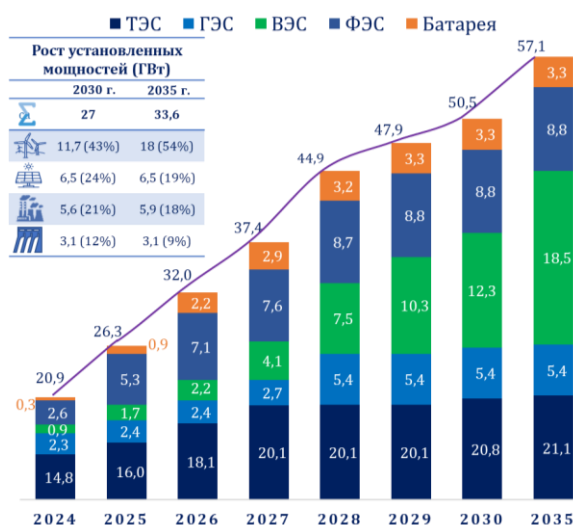
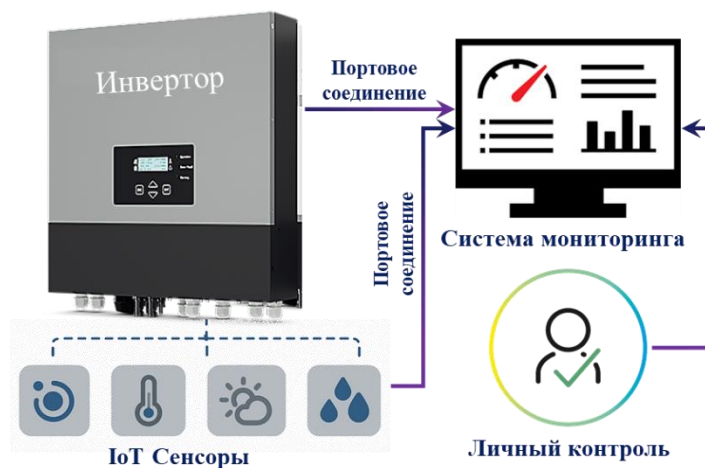


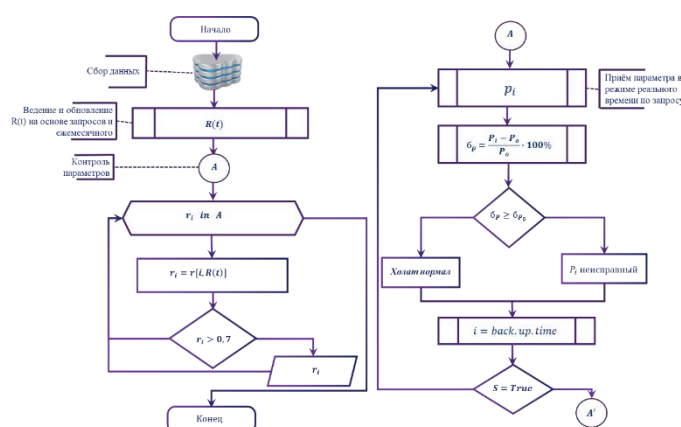
Рис. 1. Рост установленных мощностей в Узбекистане (ГВт)

Широкомасштабное развитие солнечных электростанций предъявляет повышенные требования к стабильности, надежности и эффективности энергетических систем. Особенно это актуально для централизованных инверторов, которые являются ключевыми технологическими компонентами крупных солнечных электростанций. Они выполняют преобразование постоянного тока (DC), вырабатываемого солнечными панелями, в переменный ток (AC) для подачи в электрическую сеть. Однако долговечность и надежность работы инверторов оказывают прямое влияние на общую эффективность солнечной электростанции.

Для обеспечения надежной и стабильной работы инверторов в составе крупномасштабных солнечных электростанций требуется комплексный подход к мониторингу их технического состояния. В условиях переменной генерации и влияния внешних факторов (температуры, влажности, пылевой нагрузки) инверторы подвержены ускоренному старению и риску отказов. Эффективным решением данной проблемы является использование цифровых систем диагностики, интегрированных с IoT-сенсорами и централизованными платформами мониторинга. Такая архитектура позволяет в режиме реального времени отслеживать ключевые эксплуатационные параметры, своевременно выявлять аномалии и предотвращать аварийные ситуации. Схематичное представление данной архитектуры показано на рисунке 2.



**Рис. 2.** Блок-схема динамического анализа факторов, влияющих на надёжность инверторов в крупномасштабных солнечных электростанциях



**Рис. 3.** Алгоритм динамического мониторинга и анализа факторов, влияющих на надёжность инверторов в крупномасштабных солнечных электростанциях

На рисунке 3 представлена блок-схема динамического анализа факторов, влияющих на надёжность инверторов в крупномасштабных солнечных электростанциях. В центре системы расположен инвертор, выполняющий преобразование постоянного тока, вырабатываемого фотоэлектрическими модулями, в переменный ток, подаваемый в сеть. Для обеспечения стабильности его работы применяются IoT-сенсоры, которые фиксируют ключевые эксплуатационные параметры: электрические характеристики, температуру, влажность и климатические условия. Собранные данные поступают через портовое соединение в систему мониторинга, где они обрабатываются, визуализируются и сопоставляются с нормативными критериями. Система мониторинга позволяет отслеживать текущие параметры работы, выявлять аномалии и прогнозировать возможные отказы, что значительно повышает эффективность эксплуатации оборудования. Завершающим элементом архитектуры выступает личный контроль оператора, который на основе полученных данных принимает управленческие решения и корректирует режимы эксплуатации. Таким образом, блок-схема иллюстрирует замкнутый контур управления надёжностью инвертора, основанный на интеграции цифрового мониторинга, интеллектуальных сенсоров и человеческого контроля, что обеспечивает высокую устойчивость и надёжность функционирования солнечных электростанций.

Алгоритм динамического мониторинга и анализа факторов, влияющих на надёжность инверторов, начинается со сбора данных от сенсоров. На основе полученной информации формируется показатель надёжности, который отражает текущее состояние оборудования во времени. Далее определяется набор контролируемых параметров, и каждый из них последовательно анализируется. Для каждого параметра рассчитывается индекс состояния. Если его значение выше установленного порогового уровня, параметр считается исправным, и проверка продолжается. Если же индекс оказывается ниже порога, система фиксирует потенциальную

неисправность и формирует предупреждение о необходимости технического обслуживания. Таким образом обеспечивается плановый контроль за состоянием оборудования.

Вторая часть алгоритма работает в режиме реального времени. Для каждого параметра фиксируется текущее значение и оценивается его отклонение от нормы. Если отклонение находится в допустимых пределах, система продолжает функционировать без изменений. При превышении допустимых границ принимаются корректирующие меры — либо система сохраняет рабочий режим с ограничениями, либо включаются механизмы компенсации, например, перераспределение мощности или использование резервных ресурсов. Дополнительно оценивается запас времени работы оборудования в текущем состоянии. Если резерв достаточен, параметры пересчитываются и система обновляется в новом рабочем режиме. Если же ресурса недостаточно, формируется аварийное уведомление и инвертор переводится в безопасный режим.

Таким образом, алгоритм объединяет два уровня управления: плановую оценку надёжности и оперативное реагирование на критические изменения. Такой подход позволяет своевременно выявлять аномалии, предупреждать отказы и повышать общую устойчивость работы солнечных электростанций.

Выполненное исследование показало, что устойчивое развитие возобновляемой энергетики в Узбекистане напрямую связано с внедрением современных технологий мониторинга и управления. Масштабное строительство солнечных и ветровых электростанций требует особого внимания к надёжности ключевых элементов энергетической инфраструктуры, прежде всего инверторов.

Разработанная архитектура мониторинга с применением IoT-сенсоров и цифровых платформ позволяет в режиме реального времени фиксировать критически важные эксплуатационные параметры, своевременно выявлять аномалии и предотвращать потенциальные отказы. Введение алгоритма динамического анализа обеспечивает сочетание плановой оценки надёжности и оперативного реагирования на критические изменения, что создаёт условия для повышения эффективности эксплуатации, продления срока службы оборудования и снижения эксплуатационных рисков.

Таким образом, интеграция технологий цифрового мониторинга, интеллектуальной диагностики и человеко-машинного контроля формирует многоуровневую систему управления надёжностью инверторов в крупных солнечных электростанциях. Это способствует повышению устойчивости энергосистемы, обеспечивает её соответствие современным требованиям энергоэффективности и создаёт основу для долгосрочного развития низкоуглеродной энергетики в Республике Узбекистан.

## Литература

1. Kaplani E., Roinila T. Reliability and performance degradation modeling of grid-connected photovoltaic inverters // *Solar Energy*. 2020. Vol. 207. Pp. 392–401. doi:10.1016/j.solener.2020.06.067
2. Wang J., Rakhmonov I.U., Atajiyev Sh.M. Long-term performance analysis of centralized inverters and key factors influencing their reliability // *Problems of Energy and Resource Saving*. 2025. Special Issue No. 88. Pp. 224–229.
3. Rakhmonov I.U., Wang J. Current status analysis of monitoring and reliability enhancement of centralized inverters in utility scale solar // *Proceedings of the Republican Scientific-Technical Conference "Development of Modern Electric Machines and Drives for Green Economy"*, 15–16 May 2025, Tashkent, Uzbekistan. Tashkent, 2025. Pp. 123–126.
4. Wang J., Rakhmonov I.U., Wang G. Analysis of the long-term operational efficiency of centralized inverters and identification of factors affecting their reliability improvement // *Proceedings of the Republican Scientific-Technical Conference "Development of Modern Electric Machines and Drives for Green Economy"*, 15–16 May 2025, Tashkent, Uzbekistan. Tashkent, 2025. Pp. 413–416.
5. Rakhmonov I.U., Reymov K.M., Shayumova Z.M. The role information in power management tasks // *E3S Web Conf. Volume 139, 2019. Rudenko International Conference "Methodological problems in reliability study of large energy systems"* (RSES 2019) 01080. 1-3 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901080>.
6. Rakhmonov I.U., Nematov L.A., Niyozov N.N., Reymov K.M., Yuldoshev T.M. Power consumption management from the positions of the general system theory // *Journal of Physics: Conference Series. ICMSIT-2020*. 1515 (2020) 022054 doi:10.1088/1742-6596/1515/2/022054.

7. Уколова Е.В., Воропай Н.И. Развитие метода backward/forward для исследования гибкости систем электроснабжения // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. № 2 (46). С. 24-35.
8. Герасимов Д.О., Суслов К.В. Системы имитационного моделирования мультиэнергетических объектов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. № 4 (48). С. 11-19.
9. Капанский А.А. Методы решения задач оценки и прогнозирования энергетической эффективности // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019. № 2 (42). С. 103-115.
10. Performance analysis of grid-connected PV systems // Proceedings of the 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference. – Dresden, Germany, 2006. – P. 4–8.
11. Li T., Tao T. S., Zhang R., Liu Z., Ma L., Sun J., Sun Y. Reliability evaluation of photovoltaic system considering inverter thermal characteristics // Electronics. – 2021. – Vol. 10. – Art. 1763. – DOI: 10.3390/electronics10151763

#### Xülasə

### BÖYÜK GÜNƏŞ ELEKTRİK STANSİYALARINDA INVERTORLARIN ANALIZI VƏ DIAQNOSTİKASI ÜÇÜN AĞILLI METODLAR

*Raxmonov I.U., Reymov K.M., Rasulov A.N.*

Məqalədə Özbəkistandakı iri günəş elektrik stansiyalarında mərkəzləşdirilmiş inverterlərin etibarlılığı məsələləri araşdırılır. Real vaxt rejimində monitorinq üçün IoT sensorlarına və rəqəmsal platformalara əsaslanan intellektual analiz və diaqnostika üsulları təklif olunur. Hazırlanmış dinamik monitorinq algoritmi nasazlıqları əvvəlcədən aşkarlamağa, qəza risklərini proqnozlaşdırmağa və enerji sisteminin sabitliyini artırmağa imkan verir.

**Açar sözlər.** günəş elektrik stansiyaları, mərkəzləşdirilmiş inverterlər, IoT sensorları, rəqəmsal monitorinq, diaqnostika, dinamik alqoritm, etibarlılıq.

#### Summary

### INTELLIGENT METHODS FOR ANALYZING AND DIAGNOSING INVERTERS IN LARGE SOLAR POWER PLANTS

*Rakhmonov I.U., Reimov K.M., Rasulov A.N.*

This paper addresses the reliability challenges of centralized inverters in large-scale solar power plants in Uzbekistan. Intelligent methods of analysis and diagnostics based on IoT sensors and digital platforms are proposed for real-time monitoring. The developed dynamic monitoring algorithm enables early anomaly detection, failure prediction, and improved system stability, ensuring efficient operation and reducing risks for sustainable energy development.

**Keywords.** solar power plants, centralized inverters, IoT sensors, digital monitoring, diagnostics, dynamic algorithm, reliability.

## КОМПЛЕКСНЫЕ МЕТОДЫ МОЛНИЕЗАЩИТЫ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГРОЗОВЫХ РИСКОВ В ВЕТРОЭНЕРГЕТИКЕ

**Курбонов Нурбек Нурулло оглу**  
**Узаков Навруз Чорийор оглу**

*Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент, Узбекистан*  
[nurbek.kurbonov.96@gmail.com](mailto:nurbek.kurbonov.96@gmail.com)

**Резюме.** В статье рассматриваются комплексные методы молниезащиты и прогнозирования грозовых рисков в ветроэнергетике. Предлагается интеграция спутниковых данных, наземных IoT-сенсоров и систем LIDAR/ПАДАР для мониторинга атмосферы и раннего выявления опасных метеоусловий. Разработаны модели расчета плотности облаков, радиационной нагрузки и вероятности молний. Использование статистических данных и алгоритмов анализа повышает надежность ветроустановок, снижает эксплуатационные риски и способствует устойчивому развитию ветроэнергетики

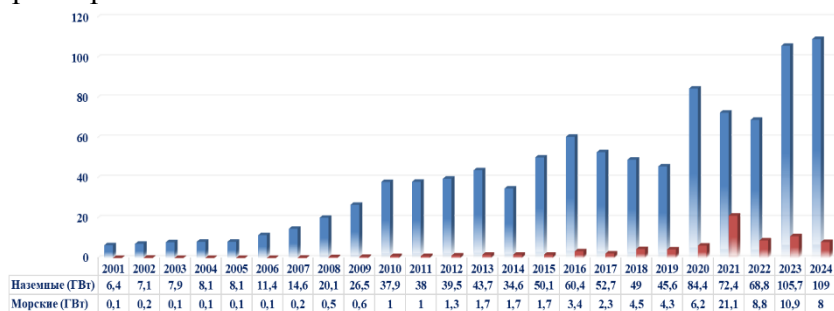
**Ключевые слова:** ветроэнергетика, молниезащита, IoT-сенсоры, прогнозирование гроз, LIDAR/ПАДАР, спутниковый мониторинг, надежность.

Потребность мировой экономики в энергии продолжает расти, и всё более весомую роль в её обеспечении играют возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Данный тренд обусловлен не только необходимостью снижения выбросов парниковых газов и выполнения международных климатических обязательств, но и стремлением к энергетической независимости, диверсификации топливно-энергетического баланса и

снижению зависимости от ископаемого топлива. Наиболее интенсивное развитие демонстрирует ветроэнергетика, которая за последние десятилетия превратилась в один из ключевых сегментов глобальной энергетики.

В 2024 году был зафиксирован рекордный прирост установленных мощностей ветроэнергетики — 117 ГВт, что является наибольшим показателем за всю историю развития этой отрасли. При этом на долю Китая пришлось 68,2% новых мощностей, что подтверждает его лидерство на мировом рынке ветроэнергетики. Благодаря столь стремительному росту совокупная установленная мощность ветровых электростанций в мире достигла 1,14 ТВт, что сопоставимо с уровнем генерации традиционных крупных энергетических комплексов.

Следует отметить, что рост касался в первую очередь наземных (onshore) ветроустановок, в то время как развитие морской (offshore) ветроэнергетики показало некоторый спад. В 2024 году прирост оффшорных установок составил лишь 8 ГВт, что ниже уровня предыдущего года. Данное сокращение связано с рядом факторов: высокой капиталоемкостью строительства, необходимостью сложных инженерных решений в условиях морской среды, логистическими трудностями и удорожанием проектов на фоне глобальной инфляции. Тем не менее, несмотря на временный спад, морская ветроэнергетика сохраняет стратегическую значимость, так как позволяет использовать устойчивый ветровой потенциал прибрежных регионов и обеспечивает более стабильную генерацию электроэнергии.



*Рис. 1. Историческое развитие новых установок ветроэнергетики в мире (2001–2024 гг.)*

Согласно прогнозам международных энергетических агентств и отраслевых ассоциаций, в последующие годы мировой рынок ветроэнергетики будет продолжать демонстрировать динамичный рост. К 2030 году ожидается, что ежегодное увеличение мощностей достигнет 194,1 ГВт (Рис. 1), что практически вдвое превысит рекордные показатели 2024 года. Этот рост будет обусловлен сочетанием факторов: государственной поддержкой проектов «зелёной» энергетики, развитием технологий хранения энергии, снижением себестоимости производства ветротурбин, а также повышением эффективности систем интеграции ВИЭ в энергосистемы.

Таким образом, ветроэнергетика постепенно превращается в один из ключевых драйверов глобальной энергетической трансформации. Рекордный прирост мощностей в 2024 году подтверждает её стратегическое значение для мировой экономики, а ожидаемое ускорение темпов строительства ветровых электростанций в ближайшие годы станет важным шагом на пути к формированию устойчивой и низкоуглеродной энергетики будущего [1,2].

При подготовке данной статьи были использованы следующие понятия, материалы и величины. Спутниковые метеорологические данные — такие как плотность облаков, интенсивность радиации, количество и местоположение молний, а также глобальные метеокарты — играют ключевую роль в повышении эффективности молниезащиты на ветроэлектростанциях. Каждый из этих параметров позволяет выявлять определенные метеопасности, своевременно прогнозировать риски и активировать автоматизированные системы защиты. Плотность облаков (Cloud Density) определяется с использованием

спутников MODIS (NASA) и EUMETSAT, данные которых доступны через открытые API и обновляются каждые 3–6 часов. Плотность рассчитывается по формуле [3]:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

где  $\rho$  — плотность облаков ( $\text{г/м}^3$ ),  $m$  — масса водяного пара или льда,  $V$  — объем облака.

Спутники (например, MODIS) определяют данную информацию на основе обратного отражения радиации в инфракрасном спектре (cloud optical thickness) и температуры верхней границы облаков. В некоторых случаях для оценки количества воды в облаках применяется параметр жидкое водное содержание (liquid water content, LWC), который рассчитывается по следующей формуле:

$$LWC = \frac{4}{3}\pi r^3 \cdot N \cdot \rho_w$$

где,  $r$  — радиус капель воды (м),  $N$  — число капель в единице объема ( $1/\text{м}^3$ ),  $\rho_w$  — плотность воды ( $\approx 1000 \text{ кг/м}^3$ ).

Повышенная плотность указывает на высокую конвективную активность и возможную электрическую зарядку, что способствует возникновению молний. Это позволяет заранее определить потенциальную грозовую активность вблизи ВЭС. Интенсивность радиации (Radiation Intensity) измеряется с помощью спутников MODIS и Copernicus, обновляется 1–2 раза в день и рассчитывается по формуле [4-6]:

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

где  $E$  — плотность потока излучения ( $\text{Вт/м}^2$ ),  $\Phi$  — поток энергии,  $A$  — площадь поверхности. Высокая радиационная нагрузка приводит к перегреву инверторов, сенсоров и других электронных компонентов турбины, что увеличивает риск отказов и требует активации тепловых защит. Местоположение и количество молний (Lightning Strikes) определяются с помощью систем GLM (GOES) и LIS (ISS), обновляющихся каждые 15 минут. Используется метод TOA (Time of Arrival), где координаты молнии рассчитываются на основе разницы во времени поступления сигнала на несколько сенсоров [15,16]:

$$f(x, y) = f(t_1, t_2, t_3, \dots)$$

Это позволяет точно определить расстояние до эпицентра разряда и запустить автоматическое отключение турбины или переключение в безопасный режим.

Глобальные метеокарты (Weather Maps), предоставляемые моделями GFS и ECMWF, обновляются каждые 1–3 часа. Они отображают макроатмосферные процессы — давление, температуру, влажность, направления воздушных потоков — и позволяют прогнозировать приближение циклонов, фронтов и зон конвекции. Это критически важно для оперативного реагирования на ухудшение погодных условий в зоне ВЭС.

Итак, интегрированное использование этих параметров обеспечивает точную оценку молниевой опасности, эффективное управление рисками и повышение общей надежности и безопасности ветроэнергетических установок.

Наземные сенсорные метеорологические данные — температура, давление, влажность, скорость и направление ветра, количество осадков и наличие заряженных частиц — измеряются в реальном времени с помощью IoT-датчиков (BME280, DHT22, YL-83, VEML6075, анемометры от SparkFun и Adafruit), совместимых с платформой Raspberry Pi 5. Температура ( $T$ ), давление ( $P$ ) и относительная влажность ( $RH$ ) определяются по следующей формуле:

$$RH = \frac{e}{e_s} \cdot 100\%$$

где  $e$  — парциальное давление водяного пара,  $e_s$  — давление насыщения. Скорость ветра может быть рассчитана через кинетическую энергию воздуха по формуле:

$$v = \sqrt{\frac{2E}{\rho}}$$

или измеряется напрямую с помощью датчиков. Концентрация заряженных частиц определяется через напряжённость электрического поля  $E$  в мВ/м. Мониторинг этих параметров критически важен для молниезащиты ВЭС, поскольку: 1) температура, давление и влажность позволяют прогнозировать условия, способствующие электризации облаков и разрядам; 2) скорость и направление ветра дают информацию о потенциальной турбулентности и нагрузках на конструкцию; 3) осадки и град указывают на вероятность механических повреждений; 4) электрическое поле свидетельствует о росте электростатической активности и приближении грозы. Совокупный анализ этих данных обеспечивает автоматическую активацию защитных систем и перевод турбины в безопасный режим [7,8].

Системы LIDAR и РАДАР-наблюдения обеспечивают измерение ключевых параметров, таких как движение электрических зарядов в облаках, вертикальные потоки воздуха, структура и высота облаков, а также вероятность грозовой активности в атмосфере. Движение зарядов определяется по напряжённости электрического поля по формуле:

$$E = \frac{V}{d}$$

где  $E$  — напряжённость (кВ/м),  $V$  — разность потенциалов,  $d$  — расстояние. Эти данные получают с помощью измерителей электрического поля (прототипы Open Source) и обновляются каждые 1–5 минут. Вертикальные потоки воздуха определяются в реальном времени с помощью ультразвуковых датчиков и позволяют оценить наличие сильной конвекции. Структура и высота облаков фиксируются профессиональными LIDAR-устройствами (ceilometers) каждые 10 минут – 1 час и позволяют определить тип и плотность облачного слоя. Вероятность молний в атмосфере рассчитывается на основе динамики напряжённости электрического поля, влажности и температуры по формуле:

$$P(\text{молнии}) = f(E, RH, T)$$

и обновляется каждые 5–10 минут. Мониторинг этих параметров критически важен для молниезащиты ВЭС, так как позволяет выявить ранние признаки развития грозовых процессов, запустить систему оповещения и перевести турбины в безопасный режим. Каждый параметр выполняет отдельную функцию: накопление зарядов — определяет риск разрядов, вертикальные потоки — указывают на потенциальные грозовые ячейки, высота облаков — оценивает мощность облачной массы, а вероятность молнии — определяет прямую угрозу ударов.

Специализированный мониторинг молний включает в себя оценку силы и продолжительности разрядов, статистику мест ударов молнии, а также мониторинг электромагнитных волн. Эти параметры играют важнейшую роль в обеспечении надежной защиты ветроэлектростанций от грозовых разрядов. Сила тока и длительность молнии измеряются с помощью профессионального детектора LD-250 с частотой обновления 1 минута. Мгновенный ток молнии  $I(t)$  может быть представлен экспоненциальной моделью:

$$I(t) = I_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

где  $I_0$  — максимальный ток (кА),  $\alpha$  — коэффициент затухания,  $t$  — время. Этот параметр позволяет определить потенциальный ущерб от разряда и активировать защитные механизмы.

Статистика ударов молнии собирается ежегодно из открытых баз данных, API как правило отсутствует. Данные используются для картирования наиболее опасных зон и планирования расположения оборудования. Мониторинг электромагнитных волн осуществляется в реальном времени с помощью EMF-сенсоров, совместимых с Raspberry Pi. Мощность сигнала оценивается по формуле:

$$P = 10 \log_{10} \left( \frac{E^2}{R} \right)$$

где  $P$  — мощность сигнала (μВ/м),  $E$  — напряжённость электрического поля,  $R$  — опорное сопротивление. Этот параметр позволяет фиксировать всплески электростатической активности и предсказывать грозовую опасность до появления молний. Совместный анализ

этих данных позволяет своевременно отключать турбины, переходить в безопасный режим и минимизировать ущерб от атмосферных разрядов.

Исторические и статистические метеоданные — такие как количество грозовых дней в году, история аварий и эффективность системы молниезащиты — играют ключевую роль в оценке долгосрочной устойчивости ветроэлектростанций к грозовым рискам.

Количество грозовых дней в году ( $N_g$ ) берется из открытых статистических баз данных и обновляется один раз в год. Если значение превышает два дня ( $N_g > 2$ ), территория считается опасной согласно стандарту IEC 62305:

$$N_g = \text{Количество грозовых дней в году}$$

Этот показатель позволяет определить уровень грозовой опасности в конкретном районе. История аварий анализируется ежемесячно на основе внутренних архивов, выявляя причины отказов оборудования и уязвимые элементы системы при воздействии молний.

Эффективность системы молниезащиты рассчитывается ежеквартально по ручным отчетам по следующей формуле [13,17]:

$$PE = \left(1 - \frac{N_f}{N_t}\right) \cdot 100\%$$

где  $N_f$  — количество отказов, вызванных ударами молнии,  $N_t$  — общее количество зафиксированных ударов. Этот параметр позволяет количественно оценить работоспособность и надежность установленных защитных решений. Комплексный анализ этих данных необходим для оптимизации стратегии защиты, корректировки проектных решений и обоснования модернизации оборудования.

В результате проведенного исследования установлено, что обеспечение надёжности и устойчивости работы крупных ветроэнергетических установок невозможно без комплексного подхода к мониторингу и защите от неблагоприятных атмосферных воздействий. Особое значение имеет молниезащита, так как грозовые процессы представляют собой один из ключевых факторов риска для ветротурбин и сопутствующего электрооборудования.

1. Показано, что использование спутниковых данных (MODIS, EUMETSAT, Copernicus, GLM, LIS) позволяет своевременно выявлять облачные структуры, грозовую активность, интенсивность радиации и количество молний, что даёт возможность прогнозировать опасные метеоусловия.

2. Доказана эффективность применения наземных IoT-сенсоров (температура, давление, влажность, скорость ветра, электрическое поле), интегрированных в цифровые платформы (Raspberry Pi, SCADA), которые обеспечивают детальный контроль параметров в режиме реального времени и автоматическую активацию защитных алгоритмов.

3. Продемонстрировано, что применение LIDAR- и РАДАР-систем для анализа вертикальных потоков, структуры облаков и вероятности грозовых процессов повышает точность прогнозов и способствует раннему предупреждению аварийных ситуаций.

4. Разработанные модели расчёта (LWC, RH, вероятность молний  $P(E,RH,T)$ , экспоненциальные зависимости тока разряда  $I(t)$ , индекс эффективности PE) позволяют количественно оценить уровень угрозы и надежность установленных защитных решений.

5. Исторические и статистические данные (число грозовых дней, архив аварий, эффективность молниезащиты) доказали свою значимость для долгосрочного планирования модернизации оборудования и выбора оптимальных площадок для размещения ВЭС.

Таким образом, интеграция спутникового мониторинга, IoT-сенсорных систем и методов статистического анализа обеспечивает создание многоуровневой архитектуры защиты ветроэнергетических установок. Это позволяет не только повысить надёжность и безопасность работы турбин, но и существенно снизить эксплуатационные риски, продлить срок службы оборудования и обеспечить устойчивое развитие ветроэнергетики в условиях растущих требований к энергетической безопасности и экологической устойчивости.

## Литература

1. Balkan Green Energy News. Gwec: рекордные 117 ГВт ветровой энергии установлены в 2024 году. 2024. Доступно по: <https://balkangreenenergynews.com/gwec-record-wind-power-capacity-was-installed-globally-in-2024/>. Дата обращения: 25.05.2025.
2. International Energy Agency. Официальный сайт. Доступно по: <https://www.iea.org/>. Дата обращения: 25.05.2025.
3. Ministry of Energy. Официальный портал. Доступно по: <https://www.minenergy.com/>. Дата обращения: 25.05.2025.
4. Patil A., Pathak S., Alduse B. Обзор рисков природных опасностей для ветроэлектростанций // *Energies*. 2023. Т. 16, №3. С. 1207. <https://doi.org/10.3390/en16031207>
5. Ferrareto A.J., Mazzilli E.N.C., França L.S.R. Колебания высотных зданий, вызванные ветром: обзор критериев комфортности // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2015. Т. 142. С. 26–42. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2015.03.001>
6. Genter E. Повреждение турбины Vineyard Wind после удара молнии // *Vineyard Gazette*. 2 марта 2025. Доступно по: <https://vineyardgazette.com/news/2025/03/02/broken-vineyard-wind-turbine-struck-lightning>
7. Zhang L., Kurbonov N.N., Khoshimov F.A. A comprehensive approach to integrating and optimizing meteorological data from diverse sources // *Problems of Energy and Resource Saving*. 2025. Special Issue No. 88. Pp. 243–249.
8. Kurbonov N.N., Zhang L., Rafikova G.R. Advanced data-driven models and AI algorithms for monitoring and fault diagnosis in large-scale wind power plants // *Proceedings of the Republican Scientific-Technical Conference "Development of Modern Electric Machines and Drives for Green Economy"*, 15–16 May 2025, Tashkent, Uzbekistan. Tashkent, 2025. Pp. 346–348.

### Summary

#### INTEGRATED METHODS OF LIGHTNING PROTECTION AND LIGHTNING RISK FORECASTING IN WIND ENERGY

*Kurbonov N.N., Uzakov N.Ch.*

This paper presents comprehensive methods for lightning protection and thunderstorm risk forecasting in wind energy systems. It highlights the integration of satellite data, ground-based IoT sensors, and LIDAR/RADAR technologies for atmospheric monitoring and early detection of hazardous weather conditions. Models for cloud density, radiation intensity, and lightning probability are proposed. The use of statistical data and analytical algorithms improves wind turbine reliability, reduces operational risks, and supports the sustainable development of wind energy.

**Keywords:** wind energy, lightning protection, IoT sensors, thunderstorm forecasting, LIDAR/RADAR, satellite monitoring, reliability.

### Xülasə

#### KÜLƏK ENERJETİKASINDA İNTEQRASIYA OLUNMUŞ İLDIRIMDAN QORUNMA VƏ İLDIRIM RISKİNİN PROQNOZLAŞDIRILMASI METODLARI

*Kurbonov N.N., Uzakov N.Ç.*

Məqalədə külək energetikasında ildırımdan qorunma və ildırım risklərinin proqnozlaşdırılması üçün kompleks üsullar təqdim olunur. Atmosferin monitorinqi və təhlükəli hava şəraitinin erkən aşkarlanması üçün peyk məlumatlarının, yerüstü IoT sensorlarının və LIDAR/RADAR texnologiyalarının inteqrasiyası vurğulanır. Bulud sıxlığı, radiasiya yükü və ildırım ehtimalının hesablanması modelləri işlənmişdir. Statistik məlumatların və analitik alqoritmlərin istifadəsi külək turbinlərinin etibarlılığını artırır, istismar risklərini azaldır və külək energetikasının dayanıqlı inkişafını dəstəkləyir.

**Açar sözlər:** külək energetikası, ildırımdan qorunma, IoT sensorları, ildırım proqnozlaşdırılması, LIDAR/RADAR, peyk monitorinqi, etibarlılıq.

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ

Жураев Санжар Рашидович  
Джураев Курбон Салиджанович

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова,  
Ташкент, Узбекистан  
[r.juraev.sanjar@gmail.com](mailto:r.juraev.sanjar@gmail.com)

**Резюме** В статье представлено технико-экономическое обоснование новой конструкции гидроаккумулирующей установки (ГАУ), в которой используется система каскадно соединённых гидравлических таранов. Предложенная схема позволяет повысить эффективность аккумулирования энергии за счёт безмашинной подачи воды в верхний резервуар без использования электричества. Рассмотрены конструктивные особенности и принцип работы установки, проведено сравнение экономических показателей с традиционной схемой ГАУ. Расчёты показывают, что использование трёх гидравлических таранов обеспечивает до 78% возврата воды в верхний бак и позволяет сократить потребление электроэнергии на 113 730 кВт·ч в год, что делает предложенное решение энергоэффективным и экономически целесообразным.

**Ключевые слова.** Гидроаккумулирующая установка, возобновляемая энергия, гидравлический таран, энергоэффективность, аккумулирование энергии, экономия электроэнергии, водоподъёмная система, насосный агрегат.

Для широкого использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) необходимо решение вопроса эффективного перераспределения получаемой от них энергии во времени. Известно, что приход энергии ВИЭ является весьма неравномерным и зависящим от многих факторов. Одновременно и процесс потребления или графики нагрузки также неравномерен в зависимости от ритма жизни человека, характера потребления энергии и т.д. Для согласования этих процессов возможно использование следующих режимов работы установки на ВИЭ [1]:

- 1) работа в энергосистеме параллельно с сетью в режиме максимума выработки;
- 2) недоиспользование энергии возобновляемых источников путем диссипации лишней энергии;
- 3) подстраивание процесса потребления под процесс производства;
- 4) комбинированное использование нескольких источников возобновляемой энергия, обеспечивающих требуемый режим потребления;
- 5) накопление излишков энергия в периоды максимум прихода ВИЭ и отдача в периоды минимумов, т.е. аккумулирование.

Однако следует признать, что даже комплексное использование ВИЭ не освобождает от необходимости аккумулирование пусть и сравнительно небольшой части энергии. Поэтому проблема аккумулирования является одной из ключевых при использовании ВИЭ. При этом приходится сталкиваться чаще всего с необходимостью аккумулировании механической, тепловой и электрической энергии и для этого используются следующие виды аккумулирующих систем:

- гидравлические;
- пневматические;
- инерционные; емкостные (тепловые);
- фазопереходные;
- емкостные (электрические);
- электромагнитные;
- электрохимические;
- водородные.

Диапазон мощности, наиболее часто используемый для этих систем, и удельные показатели приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Удельная стоимость аккумулирующих систем различных типов

Тип АС	Диапазон мощности, МВт	Удельная стоимость, долл./кВт
Гидравлические	05,-3500	400-1000
Пневматические	5,0-150,0	500-1200
Инерционные	0,5-60,0	400-700
Емкостные	0,01-0,2	400-1500
Электромагнитные	10,0-500	3000-100
Электрохимические	0,001-0,01	170-250
Водородные	0,001-0,1	450-1500

Гидравлическое аккумулирование энергии – это процесс преобразования одного вида в потенциальную энергию массы жидкости, которую в требуемые временные интервалы можно преобразовать в необходимый вид энергии. Исходя из этого определения, в принципе, с помощью известных технических средств можно обеспечить гидравлическое аккумулирование тепловой, механической, электрической можно обеспечить гидравлическое аккумулирование тепловой, механической, электрической и лучистой энергии.

Неравномерность графиков потребления электрической энергии требует применения более гибкой системы управления производством и распределением энергии.

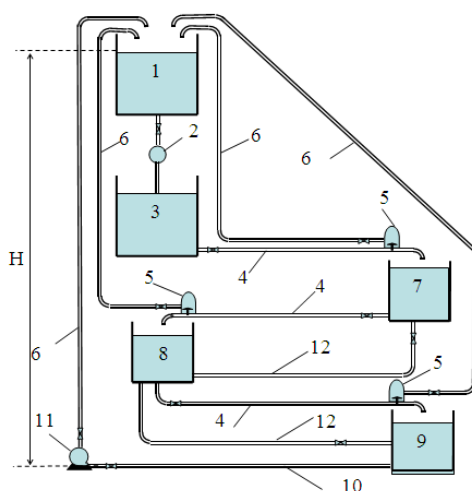
Достижение эффективности перераспределения произведенной энергии во времени, возможно лишь путем применения аккумулирующих систем, позволяющих накопить излишки энергии в периоды минимального потребления энергии и отдавать их в периоды прохождения пиковых нагрузок.

Широко применяемые в настоящее время способы аккумулирования энергии предусматривают сохранение конечного продукта, т.е. электрической или другой энергии. Однако, более экономичным является аккумулирование первичного ресурса энергии, так как в этом случае не теряется энергия на перетоки и трансформацию. Такими аккумуляторами могут быть емкости, баки, бассейны, водоемы и водохранилища, а сам способ аккумулирования энергии называется гидравлическим.

Способ гидравлического аккумулирования энергии выгодно отличается такими преимуществами, как несложность строительства и эксплуатации устройства (сооружений), возможность аккумулирования большого объема энергии, сравнительно приемлемые затраты и другие.

Эксплуатационные показатели гидроаккумулирующих установок (ГАУ) прежде всего зависят от размеров затрат на подачу использованной воды из нижнего водоема в верхний. Обычно для этой цели используются насосные агрегаты, у которых линия всасывания соединена с нижним водоемом (баком), а линия нагнетания - с верхним водоемом (баком). При этом насосные агрегаты потребляют не 18-38% больше вырабатываемой турбинами ГАУ энергии [1,2,3]. Из этого ясно, что уменьшение затрат на подачу воды в верхний бассейн бесспорно повышает эффективность функционирования ГАУ.

Для этой цели, на наш взгляд, использование гидравлических таранов для подачи воды в верхний водоём, несомненно, является выгодным способом. Гидравлический таран – это водоподъемная установка, использующая силу гидравлического удара потока воды, движущегося в трубе для её подъема на высоту. Таран может работать автоматически без осмотра, а течение длительного времени, используя мощность водной энергии. Принцип действия и некоторые конструкции гидравлических таранов приведены в работе [4,5,6].



**Рис. 1.** Схема комплекса ГАУ с гидравлическими таранами

1 – верхний бак; 2 – турбина; 3 – нижний бак; 4 – водопроводящая труба;  
5 – гидравлические тараны; 6 – напорные трубы; 7 – питающий бак 2 – тарана; 8 – питающий бак 3 тарана; 9 – питающий бак насоса; 10 – всасывающая труба; 11 – насос; 12 – аварийные трубы.

Одним из основных недостатков гидравлического тарана является то, что более половины подаваемой воды истекает из отверстия ударного клапана в атмосферу. При самых удачных конструкциях около 40% воды, забираемой из водоисточника, поступает в верхний бак. Это связано с тем, что скорость истечения воды из трубы в атмосферу должна увеличиться до такой величины, при которой сопутствующее гидродинамическое давление, снизу-вверх на ударный клапан, превысит вес клапана, и он должен резко закрыться. До этого мгновения вода вытекает через отверстие ударного клапана в атмосферу.

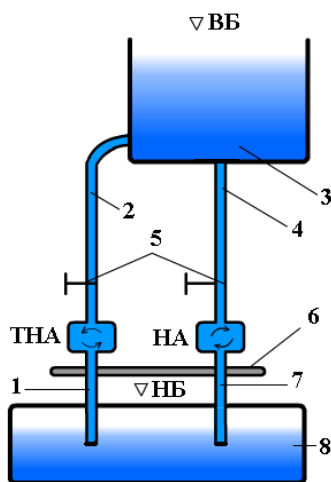
Для повышения эффективности работы гидравлического тарана, работающего в составе ГАУ, на наш взгляд, целесообразно использовать следующую систему. Струю сбрасываемой через ударный клапан воды необходимо направлять в специальный бак, который служит источником для следующего гидравлического тарана, перекачивающего очередной, объем воды в верхний бак. При этом точно в таком же порядке вытекающую из этого тарана воду можно использовать для следующей ступени совместной работы таранов. В связи с тем, что напор воды в нижнем (питающем) баке может иметь величину 0,8-1,0 м и больше а таран может развивать этот напор в десятикратную величину, в составе системы можно иметь несколько работающих в каскадном порядке таранов. Схема такого комплекса, в составе которого действуют три гидравлических тарана, приведена на рисунок 1 [7, 8].

Предлагаемый комплекс работает следующим образом. Поток воды с верхнего бака 1 через турбину 2, генерируя электрическую энергию, поступает в нижний бак 3, откуда с помощью водоподводящей трубы 4 подаётся в гидравлический таран 5, который обеспечивает перекачку поступающей из бака 3 воды в верхний бак 1 при помощи напорной трубы 6 (Объём воды, перекачиваемой в верхний бак, принимается приблизительно равным 40%).

В баке 7 скапливается около 60% вытекающей из тарана 5 воды, которая в свою очередь подаётся в следующий гидравлический таран, обеспечивающий перекачку в верхний бак 1 очередной порций воды в объёме 40% от бака 7.

Таким образом, при работе обоих таранов с 40% водоподачей в баке 8 останется 36% от объёма воды бака 3, который можно подавать в следующую ступень комплекса с третьим гидравлическим тарном. При этом вновь можно иметь выигрыш с 40% ным объёмом воды, подаваемым в верхний бак 1, а остающаяся часть воды третьего тарана в баке 9 перекачивается насосным агрегатом 11 в верхний бак 1. В случае временной неработоспособности и ремонта таранов приводятся в действие аварийные трубы 12.

Из вышеприведенного следует, что при использовании трех гидравлических таранов примерно 78% от объёма воды нижнего бака 3 подаётся в верхний бак 1 без использования электрической энергии.



**Рис. 2.** Традиционная схема ГАУ.

*НА* – насосный агрегат; *ТНА* – турбинно-насосный агрегат;

*1* – всасывающая труба *НА*; *2* – напорный трубопровод *НА*; *3* – напорный бак; *4* – напорный трубопровод *ТНА*; *5* – задвижка; *6* – опорная рама для агрегатов; *7* – отсасывающая труба *ТНА*; *8* – водоприёмный бак.

В таком же порядке число гидравлических таранов можно увеличивать, например, до четырех. При этом объем безмашинной водоподачи с помощью гидравлических таранов составляет

87%. Однако, при увеличении число таранов увеличивается общий напор, что приводит к снижению надежности комплекса, повышению затрат на возведение сооружения и расхода на электроэнергию, потребляемую насосным агрегатом 11.

Это предлагаемая схема позволяет сэкономить потребляемую электроэнергию сравнительна с традиционной схемой ГАУ (рисунок 2) для аккумулирования воды на верхнее бак, а также с экономическое точки зрения является эффективным [3,8].

В таблице 2 приведена сравнения экономических показателей при одинаковых мощностях традиционное схемы ГАУ с предлагаемое схемой при различных числа гидравлических таранов (ГТН).

**Таблица 2.**

*Сравнения экономических показателей при одинаковых мощностях традиционное схемы ГАУ с предлагаемое схемой при различных числа ГТН*

Параметры	Единица измерения	По обычной схеме	По предлагаемой схеме		
			1 ГТН	2 ГТН	3 ГТН
Мощность в ТР	кВт	100	100	100	100
Напор в ТР	м	5	5	5	5
Расход воды в ТР	м <sup>3</sup> /сек	2,4	2,4	2,4	2,4
Напор в НР	м	5,5	8	11	15
Расход воды в НР	м <sup>3</sup> /сек	1,7	1,7	1,4	1,2
Объем верхнего резервуара	м <sup>3</sup>	34 560	34 560	34560	34560
Объем нижнего резервуара	м <sup>3</sup>	34 560	20750	12450	7500
Суточное время работы в ТР	час	4	4	4	4
Суточное время работы НР	час	6	3,4	2,46	1,72
Мощность в НР	кВт	115	167	189	220
Годовая выработка электроэнергии	кВт·час	146 000	146 000	146 000	146 000
Годовая потребленная электроэнергия	кВт·час	251 850	207 250	169 700	138 120
Сэкономленная электроэнергия	кВт·час	-	44 600	82 150	113 730
Годовая прибыль*	долл. США	-	1 561	2 875	3 980

\* цена 1 кВт·час электроэнергии 0,05 долл. США

Из таблицы 2 видно, что предлагаемая схема ГАУ, не зависимо от числа используемых гидравлических таранов, намного эффективнее, чем ГАЭУ традиционного типа.

#### **Заключение**

Так, при использовании предлагаемой конструкции ГАУ для аккумулирования воды в верхнем баке сравнительно с традиционной схемой ГАЭУ за год:

- с одним гидравлическим тараном можно сэкономить 44 600 кВт·час электроэнергии и получить прибыль 1 561 долл. США;
- с двумя гидравлическими таранами можно сэкономить 82 150 кВт·час электроэнергии и получить прибыль 2 875 долл. США;
- с тремя гидравлическими таранами можно сэкономить 113 730 кВт·час электроэнергии и получить прибыль 3 980 долл. США.

#### **Литература**

1. Елистратов В.В., Кудряшева И.Г. Режимы работы установок и энергокомплексов на основе возобновляемых видов энергии. // – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – 157 с.
2. Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У. Гидроаккумулирующие электрические станции: Монография/ Т.: Фан ва технология, 2018. – 212 с.
3. Сангинов А.А., Мухаммадиев М.М., Джураев К.С. Выбор и обоснование параметров гидроаккумулирующих электростанций. Монография.–Т.: «Фан ва технология», 2023. -154 с.
4. Галинкер Э.В. Идеальный Гидротаран // Альтернативная энергетика и экология. 2011, №11(103) – С.69-71.
5. Саплин Л.А., Пташкина-Гирина О.С., Волкова О.С. Сравнительный обзор и оценка российских и зарубежных гидротаранных установок. //Вестник КрасСГАУ. Технические науки, 2015. №3, С. 40-44.
6. Hussin N.S.M., Gamil S.A., Amin N.A.M. et. al. Design and analysis of hydraulic ram water pumping system. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 908, 2017.

7. Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У., Джураев К.С., Жураев С.Р., Хидиров А.А., Бейтуллаева Р.Х., Темиров Э.Г. Гидроаккумулирующая электростанция. Патент на полезную модель № FAP 01018, 15.06.2015// Официальный вестник, 2015. - № 7(171).
8. Mukhammadiev M.M., Dzhuraev K.S., Klychev I.Sh. Capabilities of Hydroelectric Pumped-Storage Stand-Alone Power Plants// Applied Solar Energy, 49(4), New York (USA), 2013. -pp.267-271.

**Xülasə**  
**NASOSLU SAXLAMA QURĞUSUNUN YENI DIZAYNININ MÜMKÜNLÜYÜ**  
*Juraev S.R., Juraev K.S.*

Məqalədə hidravlik tapanlardan ibarət kaskad sistemə əsaslanan yeni tipli hidroakkumulyasiya qurğusunun texniki-iqtisadi əsaslandırılması təqdim olunur. Təklif olunan sxem elektrik enerjisi istifadə etmədən suyu yuxarı çənə qaldırmaqla enerji yığıcı prosesinin səmərəliliyini artırmağa imkan verir. Qurğunun iş prinsipi və konstruktiv xüsusiyyətləri təhlil olunur, ənənəvi hidroakkumulyasiya stansiyası ilə iqtisadi göstəriciləri müqayisə edilir. Hesablamalar göstərir ki, üç hidravlik tapanın istifadəsi suyun 78%-ə qədərini yuxarı çənə qaytarmağa və ildə 113 730 kVt-s elektrik enerjisinə qənaət etməyə imkan verir. Bu da təklif olunan qurğunu enerji baxımından səmərəli və iqtisadi cəhətdən məqsədəuyğun edir.

**Açar sözlər.** Hidroakkumulyasiya qurğusu, bərpa olunan enerji, hidravlik tapan, enerjiyə qənaət, enerji yığıcı, elektrik enerjisinə qənaət, su qaldırıcı sistem, nasos aqreqatı.

**Summary**  
**FEASIBILITY STUDY OF A NEW DESIGN OF A PUMPED STORAGE UNIT**  
*Juraev S.R., Juraev K.S.*

The article presents the technical and economic justification of a new design for a pumped-storage plant (PSP) using a cascade system of hydraulic rams. The proposed scheme increases energy storage efficiency by lifting water to the upper reservoir without consuming electrical energy. The design features and operation principles are described, and the economic performance is compared with that of conventional PSPs. Calculations show that using three hydraulic rams allows up to 78% of the lower reservoir water to be returned to the upper tank and saves approximately 113,730 kWh of electricity per year, making the proposed design both energy-efficient and economically advantageous.

**Keywords.** pumped-storage plant, renewable energy, hydraulic ram, energy efficiency, energy storage, electricity saving, water lifting system, pump unit.

**INVESTIGATION OF BIODEGRADABLE ADSORBENTS AND THEIR MODIFIED DERIVATIVES**

**Gubadova Rugiyya Bahruz**  
**Nazarova Roya Zakir**  
*Baku Engineering University, Baku, Azerbaijan*  
[rqubadova@std.beu.edu.az](mailto:rqubadova@std.beu.edu.az)

**Summary.** A biodegradable polymer made from sea algae, sodium alginate is a great option for medication administration because of its high level of environmental safety and biocompatibility. When paired with sodium alginate's non-toxic and biodegradable qualities, the medicinal qualities of naturally occurring curcumin provide substantial benefits for controlled drug release systems. Curcumin's conjugation with sodium alginate extends the compound's bioactivity in vivo and enables targeted distribution. This combination was used to create a drug delivery system, which was then thoroughly tested at different concentrations to determine its stability and effectiveness.

Introduction

**Keywords:** Biodegradable adsorbents, curcumin, sodium alginate, adsorption, drug delivery systems

One of the most important areas of study in pharmaceutical sciences and biomedical engineering nowadays is the creation of safe and effective drug delivery systems [7]. Traditional medication administration techniques frequently encounter issues such low bioavailability, quick degradation, and untargeted distribution, which reduce therapeutic effectiveness and may result in unfavorable side effects [8]. Because of their biocompatibility, environmental safety, and capacity for regulated and targeted drug release, biodegradable polymers generated from natural sources have garnered a lot of attention as a means of overcoming these constraints [4].

One substance that shows promise in this area is sodium alginate, a naturally occurring polysaccharide that is mostly derived from marine algae [5]. It is a great option for creating drug delivery systems because of its special qualities, which include biodegradability, non-toxicity, and outstanding biocompatibility [6]. Furthermore, a variety of bioactive chemicals may be encapsulated and released under regulated conditions thanks to its gel-forming property when divalent cations are present [1]. One possible

tactic to improve curcumin's stability, bioavailability, and targeted distribution is to combine it with sodium alginate-based carriers [9].

In this work, a new drug delivery system based on the conjugation of sodium alginate with curcumin, which is derived from turmeric, is synthesized and characterized. To maximize the system's stability and effectiveness, a variety of extraction techniques and compositions were studied. The main objective is to create a safe, efficient, and biodegradable platform for regulated medication administration that will enhance therapeutic results and lessen adverse effects [3].

#### Modification Techniques

Sodium alginate and other biodegradable adsorbents need to be modified in order to enhance their mechanical strength, controlled release behavior, drug loading efficiency, and physicochemical characteristics. These parameters are optimized using a number of tried-and-true methods for efficient medication delivery applications.

##### 1. Crosslinking of chemicals

Chemical crosslinking is frequently used to improve sodium alginate hydrogels' mechanical and stability characteristics. The most popular technique is ionic crosslinking with calcium ions ( $\text{Ca}^{2+}$ ), which creates a three-dimensional network that enhances encapsulation effectiveness and regulates drug release rates [1,2]. To alter mechanical strength and degradation rates, additional crosslinkers as genipin or glutaraldehyde are also employed [3].

##### 2. Composite Formation and Physical Blending

The characteristics of the composite are improved by physically mixing sodium alginate with other natural or artificial polymers like chitosan, gelatin, or polyethylene glycol (PEG). Better drug delivery performance can be facilitated by these blends by enhancing the curcumin-alginate formulations' solubility, stability, and mucoadhesive properties [4,5].

##### 3. Surface Alteration

Alginate-based carriers' selectivity and biocompatibility are improved by surface functionalization methods such as PEGylation and grafting with targeted ligands. For targeted drug delivery systems, surface charge alteration is essential because it enhances interaction with biological membranes and encourages cellular absorption [6,7].

##### 4. Formation of Nanoparticles

When sodium alginate-curcumin nanoparticles are produced via ionic gelation or emulsification techniques, the curcumin is protected from early degradation, has a larger surface area, and is more bioavailable. By enabling targeted distribution and controlled release, nanoparticles increase the effectiveness of treatments [8,9].

##### 5. Techniques for Encapsulation

Curcumin bioactivity is preserved and a longer shelf life is provided by stable alginate-based microparticles or nanoparticles produced by encapsulation using freeze-drying or spray-drying. Particle size and release kinetics may also be precisely controlled using these techniques [1].

We changed sodium alginate in our work utilizing the ionic crosslinking method, a practical and biocompatible technology, to enhance its structural properties for potential functional purposes.

#### Application areas

In contemporary drug delivery systems, biodegradable adsorbents like sodium alginate and its modified derivatives have garnered a lot of interest because of their functional versatility, biocompatibility, and biodegradability. Numerous application options in regulated, targeted, and effective medicinal delivery are provided by these materials.

##### Sustained and Regulated Drug Release

The matrix structures offered by biodegradable carriers allow for slow and prolonged drug release, which lowers the frequency of dosage and helps to maintain therapeutic concentrations over time [3, 4].

##### Targeted Administration of Medicines

In order to facilitate site-specific delivery and reduce off-target effects, surface-functionalized adsorbents can be designed to identify certain biological targets, such as tumor receptors or inflammatory tissues [1].

##### Enhancement of Bioavailability via Nanoformulations

Hydrophobic medications, such as curcumin, are encapsulated in nanoparticles made of modified polysaccharide-based adsorbents like alginate, which improve solubility, stability, and bioavailability while maintaining therapeutic effectiveness [2, 8].

##### Transdermal and Oral Administration

These materials are frequently used in oral and transdermal administration systems because of their mucoadhesive and gel-forming qualities. They facilitate skin absorption in transdermal systems and safeguard medications in the gastrointestinal tract [3, 9].

#### Combining Regenerative Medicine with Integration

Biodegradable hydrogels serve as scaffolds in tissue engineering, delivering therapeutic agents including anti-inflammatory chemicals along with structural support, promoting healing and regeneration [4, 6].

#### Multipurpose Systems in the Environment and Cosmetics

These compounds are employed in cosmetic formulations and environmental detoxification, despite their primary usage in medicines [5, 6].

#### Experimental Procedure

In this work, sodium alginate, a naturally occurring biopolymer obtained from seaweed, was combined with curcumin and calcium chloride-mediated ionic cross-linking to create a biodegradable hydrogel with improved adsorption capabilities. To create a uniform viscous solution, six grams of sodium alginate were dissolved in 200 milliliters of distilled water while being stirred magnetically for 30 to 40 minutes at room temperature.

After that, 100 mL of curcumin solution was added. This solution was made by dissolving curcumin in a tiny amount of ethanol and then diluting it with distilled water. To guarantee that curcumin was evenly distributed throughout the alginate matrix, the mixture was agitated for 80 minutes at 700 rpm. The pH was then gradually raised to 5 by adding 1 M NaOH, which improved cross-linking by ionizing functional groups.

In order to start ionic cross-linking and create hydrogel beads using "egg-box" structures, the curcumin-alginate solution was then put dropwise into a 2% calcium chloride solution while being constantly stirred. For sixty minutes, the cross-linking process was let to continue.

Following a 72-hour aging period at room temperature to improve ion transport and structural integrity, the hydrogels were filtered and dried in an oven set at 40°C until they reached a consistent weight of 7.751g, indicating hydrogel stability. A magnetic stirrer, pH meter, vacuum filtration unit, drying oven, ultrasonic bath, and centrifuge were among the tools utilized to guarantee accuracy and effectiveness during the synthesis.

#### Conclusion

This work used ionic cross-linking with calcium chloride to effectively create a biodegradable hydrogel system based on sodium alginate and curcumin. Curcumin's uniform dispersion and successful absorption into the alginate matrix were guaranteed by the meticulous preparation process, which included pH adjustment, regulated stirring, and dropwise addition. Infrared (IR) spectroscopy, which showed clear spectrum changes indicating effective chemical interaction and alteration, validated the hydrogel's desired physicochemical characteristics and structural stability.

The improved hydrogel's potential for oral drug delivery applications was confirmed by further testing in simulated gastrointestinal fluids (SGF, SIF, and SCF), which showed that it retained structural integrity throughout a range of physiological settings. The material's promise as a viable option for targeted and sustained drug release systems is highlighted by its biocompatibility, environmental safety, and capacity to encapsulate and shield hydrophobic molecules like curcumin. These results highlight the use of modified biodegradable adsorbents in pharmaceutical and biomedical domains, especially in the creation of secure and effective drug delivery systems.

#### References

- 1.Chen, Y., et al. (2023). Development of Biodegradable Drug Delivery Systems. *Journal of Controlled Release*, 345, 123-134.
- 2.Kumar, P., & Singh, R. (2018). Biodegradable Polymers for Drug Delivery. *Materials Science & Engineering C*, 92, 987-1001.
- 3.Lee, K.Y., & Mooney, D.J. (2012). Alginate: Properties and Biomedical Applications. *Progress in Polymer Science*, 37(1), 106-126.
- 4.Mortimer, J.C., et al. (2022). Sodium Alginate in Controlled Release Drug Delivery. *Biomacromolecules*, 23(2), 456-470.
- 5.Mulyasari, D., et al. (2022). Applications of Alginate in Environmental Technology and Drug Delivery. *Environmental Science & Technology*, 56(4), 2100-2112.
- 6.Shitrit, O., et al. (2023). Sodium Alginate-Based Formulations in Cosmetics and Pharmaceuticals. *Cosmetics*, 10(2), 50.

- 7.Smith, J., & Brown, L. (2020). Advances in Drug Delivery Systems. Journal of Pharmaceutical Sciences, 109(4), 1200-1215.
- 8.Zhang, L., et al. (2020). Enhancing Curcumin Delivery via Alginate-Based Carriers. International Journal of Pharmaceutics, 589, 119845.
- 9.Zhao, X., et al. (2021). Gel-Forming Properties of Alginate in Drug Delivery. Carbohydrate Polymers, 250, 116914.

#### Xülasə

### BIOPARLANAN ADSORBENTLƏRİN VƏ ONLARIN DƏYİŞİLƏN TƏRƏVVƏLƏRİNİN TƏDQIQI

*Qubadova R.B., Nəzərova R.Z.*

Bioloji parçalanabilən adsorbentlərdən olan natrium alginat ətraf mühitə, həmçinin insan orqanizminə zərərsizdir. Dəniz yosunlarından alınan polisaxarid olan natrium alginatın bu xüsusiyyəti onun dərman daşıma sistemlərində istifadəsini unikal edir. Təbii mənşəli kurkuminin terapevtik faydaları və natrium alqinatın orqanizmə zərərsizliyi dərman daşıma sistemləri üçün üstünlük təşkil edir. Kurkumin natrium alqinat kimi bioparçalanən və zərərsiz polimerlərlə modifikasiya olunduqda hədəf toxumaya çatdırılması asanlaşır. Bu həm də orqanizmdə daha uzun müddət aktiv qala bilməsini təmin edir. Kurkumin və natrium alqinatın kombinasiyası əsasında dərman daşıma sistemi sintez edilərək müxtəlif möhtəviyyatlarda tədqiq edilmişdir.

**Açar sözlər:** Bioloji parçalanabilən adsorbentlər, kurkumin, natrium alginat, adsorbsiya, dərman daşıma sistemləri

#### Резюме

### ИССЛЕДОВАНИЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ АДСОРБЕНТОВ И ИХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ

*Губадова Р.Б., Назарова Р.З.*

Благодаря своей экологической безопасности и биосовместимости биodeградируемый полимер натрия альгинат, полученный из морских водорослей, является отличным вариантом для доставки лекарственных средств. Терапевтические свойства природного куркумина в сочетании с нетоксичными и биоразлагаемыми свойствами натрия альгината обеспечивают значительные преимущества для систем контролируемого высвобождения лекарств. Конъюгация куркумина с натрием альгинатом улучшает действие соединения in vivo и обеспечивает его целенаправленное распространение. Для оценки эффективности и стабильности этой комбинации была разработана система доставки лекарств, которая была тщательно протестирована при различных концентрациях.

**Ключевые слова:** Биodeградируемые адсорбенты, куркумин, альгинат натрия адсорбция, системы доставки лекарств

## TÜRK DÜNYASINDA GÜNƏŞ ENERJİSİ POTENSİALI VƏ GƏLƏCƏK ƏMƏKDAŞLIQ İMKANLARI

**Məhərrəmov Ə.F.**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[alimhrrmy14012003@gmail.com](mailto:alimhrrmy14012003@gmail.com)

**Xülasə.** Türk dünyası ölkələri yüksək günəş enerjisi potensialına malikdir və son 5 ildə bu sahədə ciddi inkişaf göstərmişdir. Türkiyə, Azərbaycan, Qazaxıstan, Özbəkistan, Türkmənistan, Macarıstan və Şimali Kipr Türk Cümhuriyyəti kimi ölkələrdə günəş enerjisi istehsalı artmaqdadır. Regional əməkdaşlıq layihələri və texnologiya mübadiləsi enerji sektorunun gücləndirilməsində mühüm rol oynaya bilər. Günəş enerjisi, həm enerji təhlükəsizliyi, həm də Türk dünyasında birlik üçün strateji əhəmiyyət daşıyır.

**Açar sözlər:** Günəş enerjisi, Türk dünyası, Enerji potensialı, Bərpa olunan enerji, Enerji əməkdaşlığı, Regional inkişaf, Enerji təhlükəsizliyi

21-ci əsrdə enerji təhlükəsizliyi, ekoloji davamlılıq və iqtisadi inkişaf arasında balans yaratmaq ölkələrin əsas prioritetlərindən birinə çevrilmişdir. Bu kontekstdə günəş enerjisi bərpa olunan və ətraf mühitə zərər verməyən alternativ kimi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.[1] Türk dünyası ölkələri :Türkiyə, Azərbaycan, Qazaxıstan, Özbəkistan, Türkmənistan, Qırğızıstan və Şimali Kipr Türk Cümhuriyyəti (ŞKTC) yüksək günəş radiasiyası və əlverişli iqlim şəraitinə malik olaraq bu sahədə böyük potensiala sahibdirlər. Bundan başqa, Türk dünyasının Avropadakı qapısı olan Macarıstan da bərpa olunan enerji sahəsində, xüsusilə günəş enerjisində sürətlə inkişaf edir və regional əməkdaşlıq üçün perspektivli tərəfdaşdır.[2]

Son 5 ilin göstəriciləri göstərir ki, bu ölkələrdə günəş enerjisinə maraq kəskin şəkildə artmışdır. Türkiyə 2019-cu ildə 5.063 MVt olan günəş elektrik gücünü 2024-cü ildə 12.100 MVt-a çatdıraraq regional liderliyini qoruyur.[3] Qazaxıstan 270 MVt-dan 1.600 MVt-a, [5] Özbəkistan isə cəmi 4 MVt-dan 1.000 MVt-a yüksələrək bu sahədə ciddi irəliləyiş göstərmişdir.[6] Azərbaycan 80 MVt,[4] Türkmənistan 100 MVt, Qırğızıstan isə təxminən 20 MVt gücə çatmışdır. Şimali Kipr Türk Cümhuriyyəti də 2019-cu ildən bəri günəş enerjisinə keçidə önəm vermiş, hazırda təxminən 15 MVt gücündə sistemlər qurmuşdur. ŞKTC-də ildə 3000 saatdan çox günəş işığı olması bu keçidi sürətləndirmək üçün mühüm fürsətdir.[8] Macarıstan isə 2019-

cu ildən bəri son 5 ildə günəş enerjisində illik orta artım sürəti 15%-ə çataraq Avropa ölkələri arasında aparıcı mövqeyə yüksəlib.[9]

Bütün bu ölkələr arasında günəş enerjisi sahəsində əməkdaşlıq üçün geniş imkanlar mövcuddur. Ortaq layihələr, texnologiya və təcrübə mübadiləsi, birgə elmi-tədqiqat mərkəzləri və regional investisiya fondları bu sahənin inkişafında mühüm rol oynaya bilər. Türk Dövlətləri Təşkilatı çərçivəsində enerji əməkdaşlığı üzrə ortaq strategiyanın hazırlanması, enerji diplomatiyasının gücləndirilməsi və təlim proqramlarının təşkili bu prosesi daha da sürətləndirə bilər.[7]

Nəticə olaraq, günəş enerjisi təkcə enerji mənbəyi deyil, həm də Türk dünyasında birlik və ortaqlıq üçün strateji körpü rolunu oynayacaq. Bu potensialın reallaşdırılması üçün koordinasiyalı yanaşma və siyasi iradə vacibdir. Və təməlləri 30 oktyabr 1992-ci ildə atılan və 3 oktyabr 2009-cu ildə Naxçıvanda keçirilən zirvə toplantısında dahada qüdrətlənən Türk Konseyi və 12 noyabr 2021-ci ildə İstanbulda keçirilən zirvə toplantısında adı Türk Dövlətləri Təşkilatı olaraq dəyişdirilən təşkilat çərçivəsində gələcəkdə rəsmi olaraq qurulacaq olan Türk Dünyası Enerji Birliyi təşkilatı vasitəsilə dünya daha təmiz, daha dayanıqlı və kəsilməz enerji ilə təmin ediləcək.

## Ədəbiyyat

1. International Renewable Energy Agency (IRENA) – Beynəlxalq Bərpa Olunan Enerji Agentliyi - <https://www.irena.org>
2. BP Statistical Review of World Energy – 2024 Beynəlxalq enerji statistikasısı və regional inkişaf göstəriciləri-2024
3. Türkiyə Enerji və Təbii Sərvətlər Nazirliyi –<https://enerji.gov.tr>
4. Azərbaycan Energetika Nazirliyi –<https://minenergy.gov.az>
5. Qazaxıstan Energetika Nazirliyi və KEGOC hesabatları- <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo?lang=kk>
6. Özbəkistan Energetika Nazirliyinin rəsmi hesabatları- <https://minenergy.uz/>
7. Türk Dövlətləri Təşkilatının rəsmi sənədləri və enerji sahəsində əməkdaşlıq sənədləri <https://www.turkicstates.org/tr>
8. Şimali Kipr Türk Cümhuriyyəti Enerji Nazirliyi açıqlamaları və media resursları
9. Macarıstanın Milli Enerji Agentliyi (MEKH) və Avropa İttifaqının enerji statistikaları <https://www.mekh.hu>  
<https://ec.europa.eu/energy>

## Summary

### SOLAR ENERGY POTENTIAL AND FUTURE COOPERATION OPPORTUNITIES IN THE TURKISH WORLD

*Maharramov A.F.*

Turkic world countries have high solar energy potential and have shown significant development in this field in the last 5 years. Solar energy production is increasing in countries such as Turkey, Azerbaijan, Kazakhstan, Uzbekistan, Turkmenistan, Hungary and the Turkish Republic of Northern Cyprus. Regional cooperation projects and technology exchange can play an important role in strengthening the energy sector. Solar energy is of strategic importance for both energy security and unity in the Turkic world.

**Keywords:** Solar energy, Turkish world, Energy potential, Renewable energy, Energy cooperation, Regional development, Energy security

## Резюме

### ПОТЕНЦИАЛ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ И БУДУЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОТРУДНИЧЕСТВА В ТУРЕЦКОМ МИРЕ

*Махаррамов А.Ф.*

Страны тюркского мира обладают высоким потенциалом солнечной энергии и за последние 5 лет продемонстрировали значительное развитие в этой области. Производство солнечной энергии растет в таких странах, как Турция, Азербайджан, Казахстан, Узбекистан, Туркменистан, Венгрия и Турецкая Республика Северного Кипра. Региональные проекты сотрудничества и обмен технологиями могут сыграть важную роль в укреплении энергетического сектора. Солнечная энергия имеет стратегическое значение как для энергетической безопасности, так и для единства тюркского мира.

**Ключевые слова:** Солнечная энергия, Турецкий мир, Энергетический потенциал, Возобновляемая энергия, Энергетическое сотрудничество, Региональное развитие, Энергетическая безопасность

# GÜNƏŞ PV SİSTEMLƏRİ ÜÇÜN MAKSİMUM GÜC NÖQTƏSİNİN İZLƏMƏ (MPPT) ALQORİTMLƏRİNİN DİZAYN VƏ SİMULYASIYASI

**Məmmədov Allahşükür Əli**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[allahsukur929@gmail.com](mailto:allahsukur929@gmail.com)

Bu dissertasiyada günəş fotovoltaiq (PV) sistemləri üçün MPPT alqoritmləri araşdırılır. Ənənəvi metodlar (P&O, IC) ilə müasir yanaşmalar (PSO, GWO, Fuzzy Logic) müqayisə olunur. MATLAB/Simulink simulyasiyaları göstərir ki, süni intellekt əsaslı üsullar daha yüksək enerji səmərəliliyi və çeviklik təmin edir. Hibrid MPPT metodlarının tətbiqi sistemin məhsuldarlığını artırmaq üçün tövsiyə olunur və gələcək tədqiqatlar üçün əsas istiqamət sayılır.

**Açar sözlər:** Günəş sistemi, Maksimum güc nöqtəsinin izlənməsi, MPPT alqoritmləri, Simulyasiya, Enerji səmərəliliyi, Süni intellekt, Perturb və Observe metodu

## I. Giriş və Ədəbiyyat Araşdırması

Qlobal iqlim dəyişikliyi və enerji təhlükəsizliyi çağırışları bərpa olunan enerji mənbələrinin tətbiqini zəruri etmişdir. Günəş enerjisi, istismar sadəliyi, ekoloji təmizliyi və geniş yayılma potensialına görə bu sahədə aparıcı mövqeyə sahibdir. Günəş fotovoltaiq (PV) sistemlərinin məhsuldarlığı, günəş şüalarının intensivliyi, temperatur, kölgələnmə və digər ətraf mühit faktorları ilə dəyişir. Bu səbəbdən PV sistemlərində maksimum güc nöqtəsinin izlənməsi (MPPT) texnologiyası tətbiq olunur ki, bu da sistemin çıxış gücünü real vaxtda optimallaşdırmağa imkan verir [1]. Ənənəvi MPPT alqoritmləri sadə struktura və tətbiq asanlığına malik olub, PV sistemlərdə geniş istifadə olunur. Bunlardan ikisi – Perturb and Observe (P&O) və Incremental Conductance (IC) alqoritmləridir. P&O alqoritmisi sistemin çıxış gücündəki dəyişikliklərə əsaslanaraq növbəti addımı təyin edir. Bu metod sabit şəraitdə osilasiya yaradır və dəyişkən hava şəraitində qeyri-dəqiq nəticələr verir [1]. Bunun əksinə olaraq, IC alqoritmisi güc-gərginlik münasibətinin diferensial təhlilinə əsaslanır. Daha yüksək dəqiqliyə malik olsa da, onun riyazi mürəkkəbliyi və hesablama yükü real vaxt sistemlərində tətbiqini çətinləşdirir [2].

## II. Müasir Yanaşmalar və Simulyasiya Əsaslı Təhlil

Son illərdə süni intellekt metodlarının tətbiqi ilə MPPT texnologiyasında əhəmiyyətli irəliləyişlər əldə olunmuşdur. Bulanıq məntiq sistemləri (Fuzzy Logic), süni neyron şəbəkələri (ANN) və təbiətə əsaslanan optimallaşdırma alqoritmləri (məsələn, Particle Swarm Optimization – PSO, Grey Wolf Optimizer – GWO) real vaxtlı və qeyri-xətti sistemlər üçün əlverişlidir [3]. Məsələn, PSO alqoritmisi hissəciklərin koordinasiya axtarışı əsasında qlobal maksimumu tapmağa çalışır. Bu metod lokal maksimumlarda ilişib qalma problemini həll edə və dinamik dəyişikliklərə daha tez uyğunlaşa bilər [4]. GWO isə predator davranışlarına əsaslanaraq çevik və sürətli nəticələr əldə etməyə imkan verir [4]. Bu cür metodlar kölgələnmə şəraitində də dəqiq işləyə bilər. MPPT alqoritmlərinin performansını qiymətləndirmək üçün MATLAB/Simulink proqram mühitində müxtəlif ssenarilər üzrə simulyasiya aparılır. Bu simulyasiyalar nəticəsində hər bir alqoritmisi izləmə sürəti (transient response), sabitlik (steady-state performance), enerji əldə etmə effektivliyi və ətraf mühit dəyişikliklərinə uyğunlaşma qabiliyyəti öyrənilir [3]. Məsələn, [3] nömrəli mənbəyə əsasən PSO əsaslı MPPT sistemi, P&O ilə müqayisədə 14–18% daha çox enerji əldə etmişdir.

## III. Nəticə və Gələcək Tədqiqat İstiqamətləri

MPPT alqoritmlərinin optimallaşdırılması günəş PV sistemlərinin səmərəliliyini artırmaq üçün mühüm vasitədir. Ənənəvi metodların sadəliyi onların tətbiqini asanlaşdırsa da, müasir metodlar dəqiqlik, çeviklik və adaptasiya baxımından daha üstün nəticələr verir. Gələcək tədqiqatlar aşağıdakı istiqamətlərdə davam etdirilə bilər: Hibrid MPPT alqoritmlərinin yaradılması (məsələn, PSO + Fuzzy Logic), aşağı hesablama yükü ilə yüksək dəqiqlikli alqoritmlər, real vaxtlı sistemlər üçün inteqrasiya edilmiş MPPT kontrollerləri, həmçinin Hardware-in-the-loop (HIL) simulyasiya və test metodlarının tətbiqi. Bu yanaşmalar həm elmi, həm də sənaye baxımından yeni imkanlar yaradacaq.

## Ədəbiyyat

1. S. Senthilkumar, R. Deepa, K. Santhosh Kumar. *A Review on MPPT Algorithms for Solar PV Systems*. International Journal of Research – Granthaalayah, vol. 11, no. 3, 2023, pp. 25–64.
2. H. Patel, V. Agarwal. *MPPT for PV Applications Using DC–DC Converters*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 55, no. 7, 2008.
3. Y. E. Anbes, H. M. Mitiku. *Design and Simulation of the PV Solar System with MPPT using PI Controller*. Scientific African, 2024.

4. V. Loganathan, N. J. Swaroopan. *MPPT of Solar PV Systems Using PSO Memetic Algorithm*. Scientific Reports, vol. 15, no. 1, 2025, p. 7818

#### Summary

### DESIGN AND SIMULATION OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) ALGORITHMS FOR SOLAR PV SYSTEMS

*Mammadov A.A.*

This dissertation analyzes MPPT algorithms for solar PV systems. Traditional methods (P&O, IC) are compared with modern AI-based techniques (PSO, GWO, Fuzzy Logic). Simulations in MATLAB/Simulink show that modern methods improve energy efficiency and adaptability. Hybrid MPPT strategies are recommended for better performance and are considered a key direction for future photovoltaic system research and practical implementation.

**Keywords:** Solar photovoltaic system, Maximum Power Point Tracking (MPPT), MPPT algorithms, Simulation, Energy efficiency, Artificial intelligence, Perturb and Observe method

#### Резюме

### РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ТОЧКИ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ (MPPT) ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Мамедов А.А.*

Диссертация посвящена анализу MPPT-алгоритмов для солнечных PV-систем. Сравняются традиционные методы (P&O, IC) и современные подходы (PSO, GWO, нечеткая логика). Моделирование в MATLAB/Simulink показывает, что современные методы обеспечивают лучшую энергоэффективность и адаптивность. Рекомендуется использовать гибридные MPPT-решения для повышения производительности и как перспективное направление будущих исследований.

**Ключевые слова:** Солнечная фотоэлектрическая система, Отслеживание точки максимальной мощности (MPPT), Алгоритмы MPPT, Симуляция, Энергоэффективность, Искусственный интеллект, Метод возмущения и наблюдения

### GREEN HYDROGEN THROUGH ADVANCED ELECTROLYZER MODELING: A PATHWAY TOWARD SUSTAINABLE ENERGY SYSTEMS AND GLOBAL ENERGY SECURITY

**Iftikhar Ahmad**

*Sumgayit State University, Sumgayit, Azerbaijan*

[iftikharahmed4551@gmail.com](mailto:iftikharahmed4551@gmail.com)

**Acknowledgements:** The author gratefully acknowledges the supervision, academic leadership, and continuous mentorship of Assoc.prof. Khayala Aliguliyeva, whose guidance has been fundamental throughout the research and preparation of this work. The author also extends sincere appreciation to Sir Asim Harunov for his dedicated academic support, insightful supervision, and constructive recommendations on both the technical structure and written presentation of the Summary His professional direction played an essential role in refining the clarity, coherence, and scholarly quality of this submission.

**Summary** Green hydrogen produced through water electrolysis using renewable electricity is a promising vector for decarbonization and strengthening national energy security. This extended Summary presents a control-ready, real-time multiphysics model of a Proton Exchange Membrane (PEM) electrolyzer implemented in the Typhoon HIL environment. The model couples three core subsystems electrical polarization, thermal dynamics, and hydrogen production kinetics and is integrated with a buck DC/DC converter and a variable renewable source model (PV/wind profiles). Lookup-table representations of polarization curves and temperature-dependent parameterizations preserve nonlinear fidelity while enabling deterministic HIL execution. The platform is explicitly prepared for Model Predictive Control (MPC) integration to optimize hydrogen production under fluctuating renewable inputs. Validation planning and initial model checks indicate physical consistency across electrical and thermal domains and suitability for controller-in-the-loop experiments that aim to increase renewable utilization, reduce curtailment, and support resilient energy systems.

**Keywords:** green hydrogen, electrolyzer modeling, Typhoon HIL, model predictive control, renewable integration, energy security

#### 1. Introduction

Transitioning to low-carbon energy systems requires practical pathways for storing and transporting renewable energy at scale. Green hydrogen produced by electrolysis powered by renewable electricity offers a flexible solution for long-duration storage, sector coupling, and reduction of imported fossil fuels. To deploy hydrogen systems reliably, engineers must address technical challenges related to electrolyzer dynamics, thermal management, and control under variable power inputs from wind and solar.

This research develops a modular, real-time electrolyzer model in the Typhoon HIL environment to serve as a testing platform for advanced control strategies. The model is intended to bridge detailed electrochemical behavior and system-level issues in power electronics and grid interaction, creating a research tool that supports both academic study and practical controller validation.

## 2. Research Objectives

The main objectives of this work are:

1. To build a modular, physically grounded electrolyzer model compatible with real-time HIL simulation.
2. To integrate the electrolyzer with a buck DC/DC converter and time-varying renewable source models to reproduce realistic operating conditions.
3. To prepare the model for Model Predictive Control (MPC) integration, enabling anticipatory and constrained optimization of hydrogen production.
4. To provide a validation roadmap that establishes the model's credibility for controller-in-the-loop experiments.

## 3. Modeling Approach

### 3.1 Subsystem decomposition

The model is organized into three tightly coupled subsystems:

**Electrical Polarization:** Represents the stack voltage as a sum of reversible voltage, activation over potential, ohmic losses and when needed concentration overpotential. Lookup tables map current and temperature to component voltages to keep execution deterministic.

**Thermal Dynamics:** A lumped-parameter heat-balance model captures temperature evolution using stack thermal capacitance, heat generation (electrical loss and reaction enthalpy), and convective/conductive losses to ambient. Temperature feedback modifies polarization and efficiency.

**Hydrogen Production Kinetics:** Faraday's law is used to compute instantaneous molar and volumetric hydrogen production, while Faraday and energy efficiencies are estimated from lookup tables indexed by operating point and temperature.

### 3.2 Power-electronic interface

A buck DC/DC converter regulates current to the electrolyzer stack. The converter model includes switching devices, filter elements, sensing blocks, and a PWM generator whose duty cycle is the control input. Signal conditioning blocks emulate sensor delays and filtering to improve controller realism.

### 3.3 Real-time considerations

Lookup tables and simplified algebraic relationships are preferred for computational efficiency. The model uses Typhoon HIL native blocks (math, integrators, lookup tables) and hierarchical subcircuits to keep the top-level schematic readable and maintainable.

## 4. Control Strategy and MPC Preparation

Model Predictive Control is chosen for its ability to optimize performance over a finite horizon while handling constraints (current limits, thermal thresholds, renewable availability). To support MPC, a reduced-order discrete-time model is derived that captures the salient dynamics (fast electrical transients and slower thermal response) while remaining tractable for real-time optimization. The Typhoon HIL platform is arranged to exchange measured states with an external MPC solver or with an embedded optimization routine for closed-loop testing.

## 5. Validation Roadmap

The validation process is organized in phases:

**Phase 1 – Open-loop parameter checks:** Constant-current sweeps and comparison to expected polarization curves; thermal step tests to verify time constants.

**Phase 2 – Closed-loop basic control:** Implement PI current loop and verify tracking and disturbance rejection under simulated renewable transients.

**Phase 3 – System-level scenarios:** Simulate realistic irradiance and wind profiles to measure total hydrogen output, efficiency, and thermal safety margins.

**Phase 4 – MPC trials:** Integrate the MPC solver and quantify improvements in hydrogen yield, reduced curtailment, smoother control actions, and better thermal management.

Success criteria include close agreement with manufacturer curves (where available), stable numerical performance in Typhoon, and reliable controller behavior under disturbances.

## 6. Expected Contributions and Impact

This work provides a reusable HIL-ready electrolyzer model that advances experimental control research for renewable-driven hydrogen systems. Expected benefits include:

- Enhanced renewable energy utilization and reduced curtailment through predictive control;
- Support for scalable hydrogen demonstrations and energy security strategies;
- A practical testbed for students and researchers to prototype controllers prior to hardware deployment.

## 7. Challenges and Future Work

Remaining challenges include accounting for long-term degradation under dynamic operation, scaling the model to multi-stack installations, and coupling the electrolyzer model with hydrogen storage and fuel cell systems for round-trip analyses. Future work will focus on hardware-in-the-loop demonstrations, MPC refinement, and system-level optimization for economic and operational metrics.

## References

1. Typhoon HIL Academy. (2024). HIL Fundamentals Course. <https://www.typhoon-hil.com>
2. Typhoon HIL Inc. (2024). Modeling Guide and Signal Processing Blocks. <https://www.typhoon-hil.com/documentation>
3. Ursúa, L. M. Gandía, and P. Sanchis, “Hydrogen production from water electrolysis: Current status and future trends,” Proceedings of the IEEE, vol. 100, no. 2, pp. 410–426, 2012.
4. G. Pollet, I. Staffell, and J. L. Shang, “Electrolyzer modelling for hydrogen production: Principles and advances,” Energy Conversion and Management, vol. 205, pp. 112–123, 2019.
5. M. Carmo, D. L. Fritz, J. Mergel, and D. Stolten, “A comprehensive review on PEM water electrolysis,” International Journal of Hydrogen Energy, vol. 38, no. 12, pp. 4901–4934, 2013.
6. S. Nižetić, T. Jurić, D. Rajić, and H. Panžić, “Modeling and control of electrolyzers in renewable energy systems,” Renewable Energy, vol. 165, pp. 123–140, 2021.
7. J. Maciejowski, Predictive Control with Constraints. Harlow, UK: Pearson Education, 2002.

## Xülasə

### INKİŞAF ETMİŞ ELEKTROLİZER MODELƏŞDİRMƏSİ İLƏ YAŞIL HİDROGEN: DAVAMLI ENERJİ SİSTEMLƏRİ VƏ QLOBAL ENERJİ TƏHLÜKƏSİZLİYİ ÜÇÜN YOL İftixar Əhməd

Bərpa olunan elektrik enerjisindən istifadə edilərək su elektrolizi vasitəsilə istehsal olunan yaşıl hidrogen, dekarbonizasiya və milli enerji təhlükəsizliyinin gücləndirilməsi üçün perspektivli bir istiqamətdir. Bu genişləndirilmiş xülasədə, Typhoon HIL mühitində tətbiq edilmiş, idarəetməyə hazır, real vaxt rejimində çoxfəzalı Proton Mübadiləsi Membranlı (PEM) elektrolizər modeli təqdim olunur. Model üç əsas alt sistemi – elektrik poliarizasiyası, termal dinamika və hidrogen istehsalı kinetikasını birləşdirir və bir buck DC/DC konverteri və dəyişən bərpa olunan mənbə modeli (PV/şəkil profiləri və ya külək profilləri) ilə inteqrasiya olunur. Poliarizasiya ayrı-larının və temperaturdan asılı parametrləşmənin axtarış cədvəlləri ilə göstərilməsi qeyri-xətti dəqiqliyi qoruyur və eyni zamanda deterministik HIL icrasına imkan verir. Platforma, dəyişən bərpa olunan girişlər altında hidrogen istehsalını optimallaşdırmaq üçün Model Proqnozlu İdarəetmə (MPC) inteqrasiyasına açıq şəkildə hazırdır. Doğrulama planlaşdırılması və ilkin model yoxlamaları elektrik və termal sahələrdə fiziki uyğunluğu göstərir və bərpa olunan enerjidən istifadəni artırmaq, məhdudiyətləri azaltmaq və dayanıqlı enerji sistemlərini dəstəkləmək məqsədilə dövriyyədəki kontrollerlə aparılan təcrübələr üçün uyğundur.

**Açar sözlər:** yaşıl hidrogen, elektrolizər modelləşdirilməsi, Typhoon HIL, model proqnozlu idarəetmə, bərpa olunan enerji inteqrasiyası, enerji təhlükəsizliyi.

## Резюме

### ЗЕЛЕНЬИ ВОДОРОД С УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА: ПУТЬ К УСТОЙЧИВЫМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ И ГЛОБАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ Ифтихар Ахмад

Зелёный водород, производимый с помощью электролиза воды с использованием возобновляемой электроэнергии, является перспективным направлением для декарбонизации и укрепления национальной энергетической безопасности. В данной расширенной аннотации представлен готовый к управлению, реального времени мультифизический модель электролизера с протонно-обменной мембраной (PEM), реализованная в среде Typhoon HIL. Модель объединяет три основных подсистемы: электрическую поляризацию, тепловую динамику и кинетику производства водорода, а также интегрирована с понижающим DC/DC-преобразователем и моделью переменного возобновляемого источника (профили солнечной и ветровой энергии). Представления кривых поляризации и температурно-зависимые параметризации через таблицы поиска сохраняют нелинейную точность, обеспечивая при этом детерминированное выполнение в HIL. Платформа специально подготовлена для интеграции с предиктивным управлением моделью (MPC) с целью оптимизации производства водорода при колеблющихся входных данных от возобновляемых источников. Планирование валидации и первоначальные проверки модели показывают физическую согласованность в электрической и тепловой областях и пригодность для экспериментов с контроллером в петле, направленных на увеличение использования возобновляемой энергии, снижение её ограничения и поддержку устойчивых энергетических систем.

**Ключевые слова:** зелёный водород, моделирование электролизера, Typhoon HIL, предиктивное управление моделью, интеграция возобновляемой энергии, энергетическая безопасность.

# RESEARCH ON THE INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO THE POWER SYSTEM BASED ON FUZZY LOGIC

<sup>1</sup> Huseynov Nijat Ramiz

<sup>2</sup> Guliyev Huseyngulu Bayram

<sup>1</sup> Sumgait State University, Sumgayit, Azerbaijan

<sup>2</sup> Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan AZ1073, H. Javid avenue 25

[nijat.huseyn.98@gmail.com](mailto:nijat.huseyn.98@gmail.com) , [huseyngulu@mail.ru](mailto:huseyngulu@mail.ru)

**Summary.** The integration of renewable energy sources (RES) like solar and wind challenges grid stability due to production uncertainties. This study applies fuzzy logic theory (FLT) to manage and integrate RES efficiently. A developed method and algorithm assess surplus and deficit balances, analyzing their impact using real system data. Results confirm that fuzzy logic-based management improves reliability, stability, and RES integration capacity. Additionally, implementing turbulence control systems increases the flexibility and sustainability of modern energy systems, ensuring more stable and efficient energy production and consumption processes.

**Keywords:** energy system, power system, renewable energy sources, fuzzy logic, energy generation forecasting, fuzzy control systems, uncertainty management.

## Introduction

In recent years, the rise of renewable energy sources (RES) has significantly transformed energy production and consumption. Climate change, energy security, and environmental concerns have accelerated the expansion of RES, making their integration essential for building more stable and flexible energy systems. However, this integration faces major challenges, particularly in balancing consumption with intermittent energy production [1–3]. The increase in production capacity in modern energy systems is largely driven by the widespread use of wind and solar power, with numerous plants commissioned annually in various regions [4–6]. Modeling the variability of annual production capacity in wind and solar plants is crucial for addressing integration challenges. Unlike conventional plants, the stochastic uncertainty of RES requires the use of additional energy sources and storage systems to reliably meet demand, introducing new operational conditions [7,8]. This article explores the integration of RES into energy systems using Fuzzy Logic Theory (FLT). FLT offers an effective and universal approach to managing complex systems and, with its strength in handling uncertainty, serves as an ideal tool for solving the challenges of RES integration [9–13].

## FLT and the Integration of RES into Energy Systems

The Fuzzy Logical Theory (FLT) was introduced by Lotfi Zadeh in 1965. This approach helps to make decisions under circumstances where the information is not entirely accurate [14]. Fuzzy systems enable more adequate decisions to be made under uncertain conditions [0.1] by accepting membership values in the interval.

The implementation of FLT to address issues related to RES integration into electrical systems covers the following areas with more impactful results:

**Data analysis :** Fuzzy systems allow for a more accurate analysis of uncertain data related to energy production. Data analysis and processing play an important role in predicting electricity production within the RES and the electricity system in general. FLT enables complex linked data to be better adapted for use [15].

**Generation forecasting of electricity.** By applying FLT, you can get more accurate results in predicting reS production while reviewing unstable factors in the electrical system. The following formula is used when predicting generations to achieve more accurate results:

$$P_{\text{forecast}}(t) = \alpha \cdot P_{\text{actual}}(t) + (1 - \alpha) \cdot P_{\text{forecast}}(t - 1) \quad (1)$$

Here,  $P_{\text{forecast}}(t)$  at the time, RES represents the predicted generation of power, the existing power production,  $P_{\text{actual}}(t)$  and the forecasting process.

**Application of FLT in the Optimal Management of Electricity Generation, Transmission, and Consumption.** FLT enables the development of methods and algorithms that ensure the optimal utilization of generation resources in RES-integrated power systems. It facilitates the efficient management of power generation, transmission, and consumption processes by handling uncertainties and variability.

For optimal control, the following linear programming model can be applied:

$$\text{Minimize } C = \sum_{i=1}^n c_i \cdot x_i \quad (2)$$

Here  $C$  – represents the total cost,  $c_i$  – is the cost coefficient of the  $i$  -th resource,  $x_i$  - is the production volume of the  $i$  - th resource.

## Integration of Renewable Energy Sources into the Power System

The integration of RES into power systems involves various non-traditional energy sources. Let's examine them individually:

- **Integration of Solar Energy Sources.** This process involves converting natural solar radiation into electrical energy using solar panels. The electrical power generated from solar energy is expressed using the following formula [6]:

$$P_{solar} = A \cdot G \cdot \eta \quad (3)$$

Here  $P_{solar}$  – Solar panel generation power;  $A$  – Surface area of the solar panel;  $G$  – Amount of solar radiation;  $\eta$  – is the efficiency coefficient of the solar panel..

The comparison between actual energy production and the electricity generation forecasted using fuzzy logic demonstrates the superiority of FLT over other methods. In other words, the obtained results are very close (the difference does not exceed 1-2%), confirming that forecasting with FLT provides more accurate results. This highlights the potential of fuzzy logic in predicting solar energy generation, which is stochastically variable due to climatic conditions, enabling a more precise formulation of integration problems.

Beyond this, integrating RES into the grid faces several challenges:

- **Instability:** RES production depends on climatic conditions, threatening the reliability and stable operation of the system [16]. Figure 3 shows production variations in real solar and wind plants, highlighting intermittency as a key challenge requiring FLT application.

- **Infrastructure demands:** Integrating RES requires developing new infrastructure and modernizing existing grids with smart technologies like WAMS and PMUs [17].

### FLT in Enhancing the Reliability and Optimization of RES-Integrated Power Systems

The integration of RES into power systems presents challenges in ensuring reliability and stability, making the application of FLT particularly important due to the limitations of traditional approaches. To address integration issues, FLT is applied in the following areas:

- **Electricity Distribution:** Fuzzy control systems significantly enhance the stability of power generation, ensuring efficient electricity distribution [18].

- **Demand Management:** Considering the stochastic variations in consumer loads, FLT optimizes electricity generation. In this case, with demand management as the objective function, FLT expresses the following relationship:

$$D(t) = f(P_{forecast}, T_{ambient}) \quad (4)$$

Here,  $D(t)$  – expresses the energy demand at a specific time (t). Demand is related to electricity consumption and varies depending on the forecasted production volume and ambient temperature.

$P_{forecast}$  – Forecasted electricity production. This represents the amount of energy (power) that will be generated by renewable energy sources (such as solar, wind, etc.) at a given time. The forecasted generation of renewable sources is used to determine the potential power capacity of energy sources;  $T_{ambient}$  – Ambient temperature. This parameter plays a crucial role in the integration, generation, and management of demand for solar and wind energy. Ambient temperature significantly affects the efficiency of renewable energy production, as well as overall energy demand.

The following key drawbacks also exist:

- **Data quality:** The accuracy of fuzzy systems depends heavily on the quality input data.

- **Application development:** The use of FLT models in RES integration is still developing and can be extended to more sectors in the future.

- **Future research should aim to expand FLT modeling capabilities and ensure more effective RES integration.** Advancements expected in this direction include [19]:

- **Development of new algorithms:** Improved computational methods, such as combining machine learning with fuzzy logic, can enhance forecasting and optimization for RES integration [20].

- **Modern intelligent control systems:** Integrating fuzzy logic with Smart Grid technologies will enable more efficient energy production, transmission, and consumption management, including intelligent fault handling. Such systems will allow real-time data collection and flexible energy strategies.

- **Infrastructure upgrades:** Modernizing energy infrastructure is essential for effective RES use. FLT can assist in planning and designing new RES-integrated infrastructures.

## Conclusion

The integration of renewable energy sources (RES) into the power system with the help of fuzzy logic theory (FLT) has been demonstrated as an effective approach for managing the dynamics of energy production and consumption. It has been confirmed through examples that FLT is a crucial mathematical tool for ensuring the reliability and resilience of the energy system while increasing the integration volume of RES. It has been determined that the application of fuzzy control systems will significantly enhance the flexibility of RES-integrated energy systems, leading to the creation of more resilient and reliable modern transformed energy systems.

## References

1. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.
2. Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision-Making in a Fuzzy Environment. *Management Science*, 17(4), B141-B164.
3. Rahmanov N., Guliyev H.B., Ibrahimov F.III., Mammadov Z.A. Determination of optimal dimensions of hybrid AC/DC distributed generation system with renewable sources for autonomous power supply of remote locations. *Proceedings of Rudenko International Conference Methodological Problems of Reliability study of Large Energy System (RSES 2024)*, Vol.584, 2024.
4. Tomin N.V., Kurbatsky V.G., Guliyev H.B. Intelligent Control of a Wind Turbine based on Reinforcement Learning. XVI International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems ELMA 2019, IEEE Catalog number CFP19L07-USB, 6-8 June, Varna, Bulgaria, pp.17-22.
5. Rahmanov N.R., Guliyev H.B. Grid Steady State Evaluation for Stochastic Nature of Renewables and Loads. 6th International Conference on Modern Electric Power Systems (MEPS 2019), 9-12 September 2019, Wroclaw, Poland, Publisher:IEEE, Date Added to IEEE *Xplore*:06 April 2021.
6. Shakirov V.A., Kurbatsky V.G., Tomin N.V., Guliyev H.B. Siting and sizing of wind farms taking into account stochastic nature of generation. E3S Web Conf., Rudenko International Conference "Methodological problems in reliability study of large energy systems" (RSES 2020), Volume 216, 2020, p.1-6.
7. Rahmanov N.R., Guliyev H.B., Ibrahimov F.Sh., Mammadov Z.A. Determination of optimal dimensions of hybrid AC/DC distributed generation system with renewable sources for autonomous power supply of remote locations. E3S Web Conf., Rudenko International Conference "Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems" (RSES 2024), Volume 584, 2024, pp.1-6.
8. Guliyev H.B., Huseynov N.R. Improving the efficiency of distributive networks with the application of green technologies. *Reliability: Theory & Applications*, Special Issue No.6(81), Part-3, Vol.19, USA, San Diego, 2024, pp.1445-1456.
9. Guliyev H.B., Farkhadov Z.I., Mammadov J.F. System of automatic regulation of reactive power by means of fuzzy logic. *Reliability: Theory & Applications*, Vol.10, No.2(37), USA, San Diego, 2015, pp. 50-58.
10. Guliyev H.B., Tomin N.V., Ibrahimov F.Sh. Method of intelligent protection from asymmetrical conditions in electric networks. *Energy-21: Sustainable Development & Smart Management*, International Conference September 7-11, 2020, Irkutsk, Russia.
11. Guliyev H.B. Fuzzy probabilistic model for managing the modes of networks with renewable energy sources. *IJTPE Journal International Journal on Technical and physical problems of engineering (IJTPE)*, Issue 46, Vol. 13, No. 1, 2021, p.46-50.
12. Guliyev H.B. About membership function selection at reactive power in electric networks with distributed generation. International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP 2019), IEEE, DOI:[10.1109/IDAP.2019.8875884](https://doi.org/10.1109/IDAP.2019.8875884), 21-22 September 2019, Malatya, Turkey.
13. Guliyev H.B. Reactive power adaptive control system in networks with distributed generation based on fuzzy sets theory. International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP 2019), IEEE, DOI: [10.1109/IDAP.2019.8875963](https://doi.org/10.1109/IDAP.2019.8875963), 21-22 September 2019, Malatya, Turkey.
14. Dubois, D., & Prade, H. (1980). *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*. Academic Press.
15. Chen, S.-M. (2000). Fuzzy Sets in Decision Analysis. *Journal of Decision Systems*, 9(1), 1-12.
16. Sinha, P., & Vasisht, A. (2014). Challenges in Integrating Renewable Energy into Power Grids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(2), 617-626.
17. IEA (2020). *World Energy Outlook 2020*. International Energy Agency.
18. Kaur, H., & Gupta, R. (2018). Role of Fuzzy Logic in Energy Management Systems. *Energy Procedia*, 147, 367-372.

19. Wang, L. X., & Mendel, J. M. (1992). Generating Fuzzy Rules by Learning from Examples. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 22(6), 1414-1427.
20. Kurbatsky V.G., Guliyev H.B., Tomin N.V., Ibrahimov F.Sh., Huseynov N.R. Application of machine learning algorithms in the problems of improving mode reliability of modern power systems. Reliability: Theory & Applications, Vol.18, No.4(76), USA, San Diego, 2023, pp.716-728.

#### Xülasə

### QEYRY-SƏLİS MƏNTİQƏ ƏSASLANAN ENERJİ SİSTEMİNƏ BƏRPA OLUNAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİNİN İNTEQRASIYASI ÜZRƏ TƏDQIQAT

*Hüseynov N.R., Quliyev H.B.*

Bərpa olunan enerji mənbələrinin (BOEM), məsələn, günəş və külək enerjisinin inteqrasiyası istehsalın qeyri-müəyyənliyi səbəbindən şəbəkənin sabitliyini çətinləşdirir. Bu tədqiqat bərpa olunan enerji mənbələrinin səmərəli idarə olunması və inteqrasiyası üçün qeyri-səlis məntiq nəzəriyyəsinin (QMN) tətbiqini araşdırır. Hazırlanan metod və alqoritm artıqlıq və çatışmazlıq balansını qiymətləndirir və onların təsirini real enerji sistemi məlumatları əsasında təhlil edir. Nəticələr göstərir ki, qeyri-səlis məntiq əsaslı idarəetmə etibarlılığı, sabitliyi və BOEM-in inteqrasiya gücünü artırır. Bundan əlavə, türbülans idarəetmə sistemlərinin tətbiqi müasir enerji sistemlərinin elastikliyini və davamlılığını artıraraq enerji istehsalı və istehlakı Rezyomenin daha sabit və səmərəli olmasını təmin edir.

**Açar sözlər:** enerji sistemi, enerji sistemi, bərpa olunan enerji mənbələri, bulanıq məntiq, enerji istehsalı proqnozlaşdırılması, bulanıq idarəetmə sistemləri, qeyri-müəyyənlik idarəetməsi.

#### Резюме

### ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИНТЕГРАЦИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМУ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

*Хусейнов Н.Р., Гулиев Г.Б.*

Интеграция возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как солнечная и ветровая энергия, усложняет стабильность сети из-за неопределенности производства. В данном исследовании рассматривается применение теории нечеткой логики (НЛ) для эффективного управления и интеграции возобновляемых источников энергии. Разработанный метод и алгоритм оценивают баланс избытка и дефицита, а также анализируют их влияние на основе данных реальной энергетической системы. Результаты показывают, что управление, основанное на нечеткой логике, повышает надежность, стабильность и интеграционную способность ВИЭ. Кроме того, внедрение систем управления турбулентностью увеличивает гибкость и устойчивость современных энергетических систем, обеспечивая более стабильное и эффективное производство и потребление энергии.

**Ключевые слова:** энергетическая система, энергосистема, возобновляемые источники энергии, нечеткая логика, прогнозирование генерации энергии, системы нечеткого управления, управление неопределенностью.

### ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПТИЦ ПРИ КЛЕТОЧНОМ ИХ СОДЕРЖАНИИ НА ПТИЦЕФЕРМЕ

**Сайтов Виктор Ефимович**

**Аллахвердиев Бахруз Аллахверди оглу**

*ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ, г. Киров, Россия*

*Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан*

[baxelm@mail.ru](mailto:baxelm@mail.ru)

**Резюме.** Статья посвящена организации поения сельскохозяйственной птицы при клеточном содержании на птицефермах. Рассмотрены основные типы автоматических поилок — вакуумные, желобковые, микрочашечные и ниппельные, их устройство и особенности применения. Описана схема водоснабжения клеточных батарей, включающая питающие бачки, ниппельные линии и каплеуловители. Подчеркнуто значение качества воды и элементов водоподготовки для надежной работы поилок и поддержания здоровья птицы.

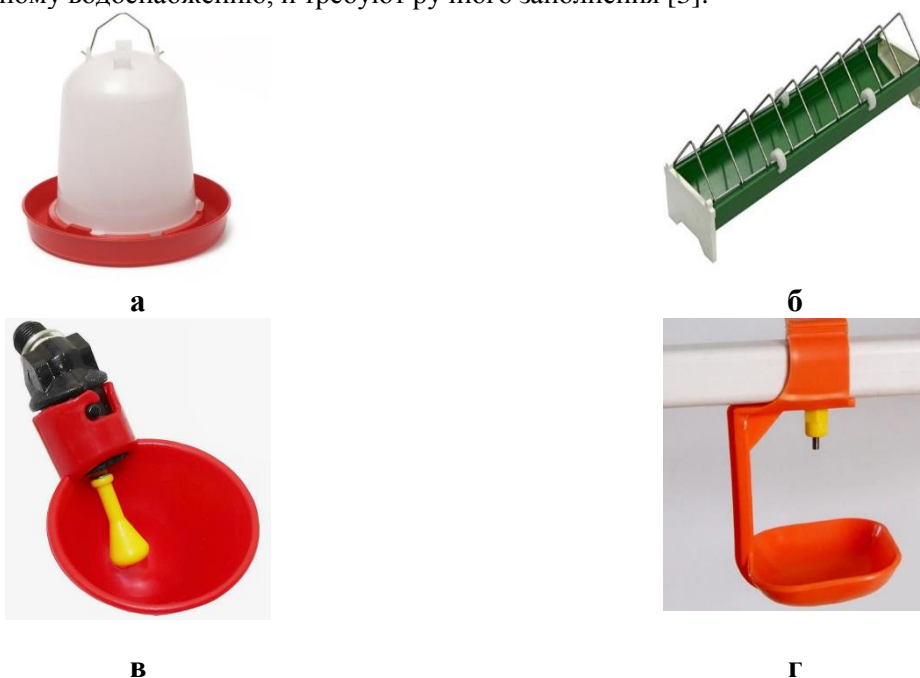
**Ключевые слова:** поение птицы, клеточное содержание, автоматические поилки, вакуумная поилка, желобковая поилка, микрочашечная поилка, ниппельная поилка, система водоснабжения птицефермы, каплеуловитель, водоподготовка.

Птицы полностью зависят от воды для своего существования. В периоды засухи, жары и зимних морозов, когда естественные водоемы недоступны, вода становится для них жизненно необходимой. На птицефермах, где птиц содержат в клетках, для обеспечения постоянного доступа к свежей воде используют автоматические поилки. Это критически важно для поддержания здоровья пернатых.

В птицеводстве применяются различные типы автоматических поилок, среди которых наиболее популярны вакуумные, чашечные и микрочашечные, а также ниппельные. Основное различие между ними заключается в способе подачи воды. Вакуумные, чашечные и микрочашечные предназначены для группового поения. Ниппельные поилки, в отличие от остальных, обеспечивают

индивидуальный доступ к воде для каждой птицы. Общий вид основных автоматических поилок для сельскохозяйственных птиц на птицефермах представлен на рисунке 1. [1, 2].

Вакуумные поилки (рисунок 1. а) представляют собой простое и эффективное решение для обеспечения питьевой водой молодняка птицы, в частности цыплят, на ранних стадиях их выращивания при напольном содержании. Основными компонентами поилки являются: герметичный баллон (из стекла или пластика) вместимостью от 3 до 4,5 литров, и плоский круглый поддон диаметром 230 мм. Процесс наполнения и использования достаточно прост: баллон заполняется водой, затем на его горлышко плотно устанавливается поддон. После этого вся конструкция переворачивается вверх дном и ставится на пол. Вода из баллона постепенно вытекает в поддон, заполняя его до определенного уровня. Цыплята пьют воду из поддона. Уникальность системы заключается в автоматическом поддержании уровня воды: атмосферное давление, действующее на поверхность воды снаружи баллона, компенсирует вакуум, образующийся внутри баллона из-за уровня воды, тем самым регулируя ее подачу. Вакуумные поилки функционируют автономно, не требуя подключения к централизованному водоснабжению, и требуют ручного заполнения [3].



**Рис. 1.** Общий вид автоматических поилок для сельскохозяйственных птиц на птицефермах: а – вакуумная; б – желобковая; в – микрочашечная; г – ниппельная

Конструкция желобковой поилки (рисунок 1. б) для птицы включает трубчатый желоб с боковыми прорезями. Их преимущество в простоте конструкции, однако монтаж с соблюдением горизонтального уровня на всей протяженности птичника сопряжен с трудностями. Эти поилки отличаются повышенным потреблением воды и склонностью к ее загрязнению [3].

Микрочашечные поилки (рисунок 1. в) являются универсальным решением для обеспечения водой птиц на всех этапах их жизни, начиная с птенцов первых 10 дней и заканчивая птицами в продуктивном возрасте. Особую ценность они представляют для водоплавающих птиц, таких как утки и гуси, поскольку их анатомические особенности требуют погружения клюва в воду при питье. Принцип работы системы заключается в следующем: птица, испытывая жажду, нажимает клювом на специальный клапан (в виде шарика или рычажка), что приводит к открытию подачи воды в чашку. По мере наполнения чашки до определенного уровня, клапан автоматически поднимается, перекрывая дальнейшее поступление воды. К неоспоримым преимуществам микрочашечных систем поения относятся: высокий уровень гигиеничности, безопасность для молодняка (благодаря небольшому объему воды, исключающему риск утопления), рациональное расходование воды и поддержание ее постоянного наличия в необходимом количестве, а также исключительная долговечность, обеспечивающая практически неограниченный срок эксплуатации [3].

Ниппельные поилки (рисунок 1. г) предназначены для обеспечения питьевой водой птицы, содержащейся как в клеточных батареях, так и на напольном содержании. Монтаж поилок осуществляется на распределительный трубопровод с интервалом 300...400 мм посредством резьбового соединения. Конструкция каждой поилки предусматривает наличие верхнего и нижнего

клапанных узлов с высококачественной притиркой фасок к посадочным местам. Система водоснабжения включает подачу воды из магистрали в вертикальные стояки с ответвлениями, ведущие к бачкам на каждом ярусе. Далее, для стабилизации давления, вода проходит через разделительный бачок с поплавковым регулятором, который изолирует распределительный трубопровод от сетевого водопровода. Указанный регулятор поддерживает давление в распределительном трубопроводе на уровне приблизительно 0,05 МПа. При таком давлении на выходе нижнего клапана (ниппеля) с периодичностью 30...40 секунд формируется капля воды, удерживаемая капиллярным эффектом. Птица, совершая клевательные движения, выпивает каплю, что инициирует подачу следующей. Для различных видов птиц применяются специализированные модификации ниппелей. Ниппельные поилки, оснащенные каплеуловителями и установленные на кронштейнах, эффективно предотвращают намочение подстилки и обеспечивают беспрепятственный доступ птицы к воде [3, 4].

Система поения для сельскохозяйственной птицы включает в себя несколько ключевых компонентов. Для птицы, содержащейся на полу, она состоит из блока водоподготовки (который регулирует давление воды, очищает ее с помощью фильтров, дозирует лекарства и измеряет расход воды), сети водопроводных труб, поилок (образующих линии поения) и механизмов, позволяющих поднимать и опускать поилки.

В клеточных батареях используется другая система: она состоит из пластиковых труб, соединенных резиновыми муфтами с хомутами, и ниппельных поилок. Эти линии поения располагаются по центру между соседними клетками на каждом ярусе. Чтобы избежать пролива воды, под ними устанавливаются каплеуловители. С одной стороны, линия поения подключается к питающему бачку с поплавковым механизмом, а с другой – к шлангу. Общая схема системы поения для клеточного содержания птицы показана на рисунке 2 [2].



*Рис. 2. Общий вид системы поения сельскохозяйственной птицы при клеточном способе их содержания*

Подача воды в клеточные батареи осуществляется из магистрали, где она предварительно проходит через фильтр. Затем вода поступает в вертикальный стояк, который разводит ее по питающим бачкам, установленным на каждом ярусе батареи. Из каждого такого бачка вода по гибкому шлангу направляется в пластиковые трубы, оснащенные ниппельными поилками, доступными для птицы. Для исключения нежелательного слива воды из поильной линии используется специальный шланг, закрепленный с противоположной стороны и расположенный выше уровня воды в питающем бачке. Клапан в питающем бачке автоматически регулирует уровень воды, пополняя его до установленного значения по мере того, как птица ее потребляет. Ниже уровня поильных трубок расположен каплеуловитель, который собирает любые капли воды, предотвращая их попадание на пометную ленту и тем самым обеспечивая сухость помета [5].

Ниппельные поилки бывают разных типов, предназначенных для конкретных видов птиц (бройлеров, родительского стада, индеек, водоплавающих) и имеющих разное конструктивное исполнение (с чашей для сбора капель или без нее, с разными способами подключения). Для их бесперебойной работы необходимо регулярное техническое обслуживание. Некачественная вода снижает чувствительность внутренних механизмов поилок и может привести к протечкам. Поэтому системы водоснабжения оснащаются оборудованием для подготовки воды: фильтрами для удаления механических и химических примесей, регуляторами давления и медикаторами для удобного введения лекарств и вакцин. Это подчеркивает важность соблюдения санитарно-гигиенических норм к питьевой воде для сельскохозяйственной птицы.

## Литература

1. Автопоилки для птицы-Анализ технологических и конструктивных особенностей автоматических поилок для животных и птицы [Электронный ресурс]. URL: [https://studwood.net/2541221/tovarovedenie/avtopoilki\\_ptitsy](https://studwood.net/2541221/tovarovedenie/avtopoilki_ptitsy) (дата обращения: 28.10.2025).
2. СТАНДАРТ СЭВ 4466-83. Клеточные батареи для содержания птицы. Система поения. Технические требования. Утвержден Постоянной Комиссией по сотрудничеству в области стандартизации. – Дрезден, 1983. – 6 с.
3. Обустройство курятника. Поилки [Электронный ресурс]. URL: <https://fishki.net/2662515-obustrojstvo-kurjatnika-poilki.html> (дата обращения: 28.10.2025).
4. Обзор nippleных поилок для птицы [Электронный ресурс]. URL: <https://fermerz.ru/news/obzor-nippelnyh-poilok-dlyarticy?ysclid=mhbb5gquox648503152> (дата обращения: 28.10.2025).
5. Кузьмина, Т. Современные системы оборудования для клеточного содержания птицы / Т. Кузьмина // Главный зоотехник. – 2008. – № 11. – С. 51-54.

### Xülasə

#### QUŞÇULUQ FERMASINDA QƏFƏSLƏRDƏ SAXLANILDIĞI ZAMAN FERMA QUŞLARI ÜÇÜN SUVARMA TƏŞKİLİ *Saitov V.Y., Allahverdiyev B.A.*

Bu məqalə quşçuluq fermalarında qəfəslərdə saxlanılan quşların suvarılmasına yönəlmişdir. Avtomatik içmə qablarının əsas növləri - vakuüm, nov, mikrofincan və damcı - dizayn və tətbiq xüsusiyyətləri ilə yanaşı müzakirə olunur. Batareya qəfəsləri üçün su təchizatı sistemi, o cümlədən qidalandırıcı çənlər, damcı xətləri və damcı kollektorları təsvir edilmişdir. İçmə qablarının etibarlı işləməsi və quş sağlamlığının qorunması üçün suyun keyfiyyətinin və suyun təmizlənməsi elementlərinin əhəmiyyəti vurğulanır.

**Açar sözlər:** quş əti suvarması, qəfəs saxlama yeri, avtomatik içənlər, vakuüm içən, nov içən, mikrofincan içən, məmə ucu içən, quşçuluq fermasının su təchizatı sistemi, damcı kollektoru, suyun təmizlənməsi.

### Summary

#### ORGANIZING WATERING FOR FARM BIRDS WHEN KEEPPED IN CAGES ON A POULTRY FARM *Saitov V.E., Allahverdiyev B.A.*

This article focuses on watering poultry housed in cages on poultry farms. The main types of automatic drinkers—vacuum, trough, microcup, and nipple—are discussed, along with their design and application features. A water supply system for battery cages is described, including feeder tanks, nipple lines, and drip collectors. The importance of water quality and water treatment elements for the reliable operation of drinkers and maintaining bird health is emphasized.

**Key words:** poultry watering, cage housing, automatic drinkers, vacuum drinker, trough drinker, microcup drinker, nipple drinker, poultry farm water supply system, drip collector, water treatment.

## АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ И ПРОЦЕССА РАБОТЫ УСТРОЙСТВ КАПЕЛЬНЫХ ПОИЛОК ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПТИЦ

**Сайтов Виктор Ефимович**

**Аллахвердиев Бахруз Аллахверди оглу**

*ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ, г. Киров, Россия*

*Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан*

[baxelm@mail.ru](mailto:baxelm@mail.ru)

**Резюме.** В работе рассматриваются конструктивные решения и эксплуатационные особенности капельных поилок для сельскохозяйственной птицы. Проанализированы существующие системы поения, выявлены их основные недостатки, связанные с засорением, утечками воды, сложностью монтажа и снижением надежности при использовании некачественной воды. Обоснована необходимость предварительной фильтрации подаваемой воды и поддержания оптимального давления в зависимости от возраста птицы. Показано, что применяемые одноклапанные и двухклапанные системы nippleного типа подвержены минерализации, неполному перекрытию каналов и повышенным затратам на обслуживание. Предложено направление разработки усовершенствованной капельной поилки с двухклапанной шариковой системой, обеспечивающей повышение надежности, улучшение санитарно-технических условий содержания птицы и снижение потерь воды.

**Ключевые слова:** вода, капельная поилка, nippleная поилка, шарик-толкатель, двухклапанная система, одноклапанная система, система поения, самоочищение, толкатель.

Птицеводство считается самым перспективным направлением для бизнеса в сельском хозяйстве. В наше время птицеводство является наиболее динамичной и значимой отраслью сельскохозяйственного производства, обеспечивающей получение высококачественных диетических продуктов – яиц и мяса [1, 2].

Поэтому, для увеличения эффективности предприятия и повышения качества продукта необходимо провести автоматизацию производственных процессов в птичнике. Один из элементов автоматизации является капельная система поения птиц [3, 4, 5].

На птицефабриках при содержании птиц в клетках капельные поилки для поения домашних птиц в сравнение с чашечными, желобковыми поилками – это современный и автоматизированный способ подачи воды закрытого типа, который помогает контролировать расход воды, а также экономить на труде персонала. Такую систему поения для птиц использует крупнейшие птицефабрики в мире. В настоящее время капельные установки являются наиболее оптимальными, и они широко используются для автопоения птиц.

Надо отметить, что капельные поилки для безотказной и нормальной работы требуют качественную подаваемую воду и оптимальное давление воды в системе в зависимости от возраста птиц. [6].

Вода, которое подается от скважин, из рек, из городского водопроводной сети требует необходимую предварительную очистку [7, 8]. Некачественная вода вызывает отложения и засорения в системе, что ведет к сбою в работе капельных поилок. Последствие этого они перестают пропускать через себя воду, в результате приводит к потерям массы птиц и понижение продуктивности яиц или не полностью закрываются, в результате чего начинается утечка воды, а это в свою очередь означает перерасход воды и ухудшение микроклимата в помещении. Кроме этого из-за потерь воды из поилок влажность помета повышается до 70...75%, а в клетках с проточными поилками – до 80... 85%, а иногда и более, а это создает проблему утилизации помета при клеточном содержании в индустриальном птицеводстве [9, 10].

Зависимо от возраста птицы должно меняться давление воды в системе поения. При высоких давлениях у птицы не хватает сил нажать на клапан капельной поилки (таблица 1).

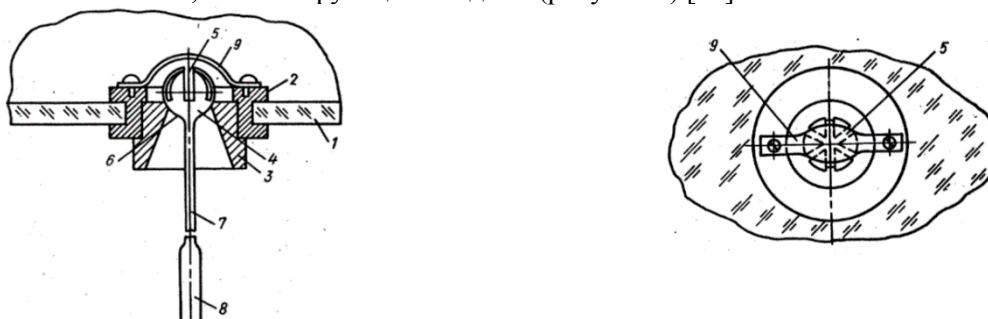
**Таблица 1.**

*Зависимость оптимальной высоты водяного столба от возраста птицы*

<b>Возраст птиц</b>	<b>Оптимальная высота водяного столба, см</b>
1 неделя	10-15
2-3 неделя	20-25
3-4 неделя	25-30
4-6 неделя	30-35

Поэтому для разработки современной поилки для птиц, отвечающей санитарно-техническому состоянию помещения для содержания птицы, требуется анализ конструкций существующих поилок капельного типа.

Известна поилка для птиц, содержащая водоподводящий сосуд, в донной части которого установлен корпус, снабженный седлом с частично выступающим над ним сферическим клапаном, имеющим ограничитель вертикального перемещения и рычаг с противовесом. Обеспечение открытия клапана при воздействии на рычаг в любом направлении достигнуто в поилке тем, что в расположенной над седлом части сферы клапана выполнены перепускные щели, имеющие выход по всей поверхности клапана, контактирующей с седлом (рисунок 1) [11].

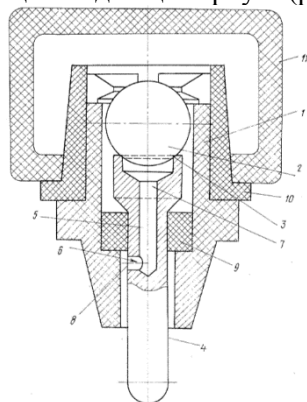


**Рис. 1.** Конструктивная схема поилки для сельскохозяйственных птиц: 1 – водоподводящий сосуд; 2 – корпус; 3 – седло; 4 – сферический клапан; 5 – щели; 6 – поверхность клапана; 7 – рычаг; 8 – противовес; 9 – скоба

Поилка предназначена для обслуживания птицы разных возрастов, включая цыплят. Однако расширяющаяся открытая полость седла в направлении противовеса способствует увеличению расхода воды при поении, так как часть воды может выливаться через эту полость, минуя рычаг

клапана. Также во время эксплуатации поилки не исключено забивание полости остатками корма, которые могут попадать на рычаг от клюва птицы, а также под почти открытое седло клапана, что снижает надежность устройства. Кроме того, недостатком поилки является сложность монтажа, так как крепление корпуса поилки к водоподводящему сосуду осуществляется при помощи винтов.

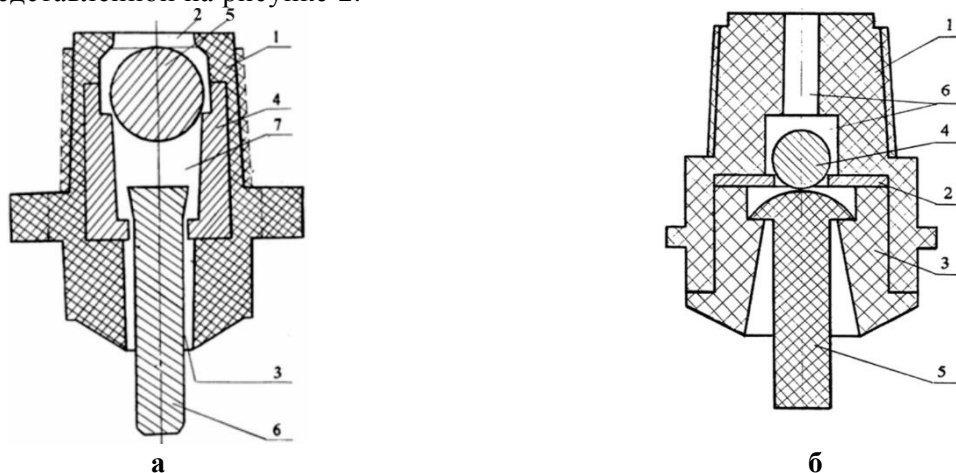
В технической литературе описывается поилка для птиц, содержащая корпус с днищем, внутри которого расположены клапан, уплотняющая поверхность, размещенная на толкателе, имеющем клапан с входным и выходным отверстиями. Равномерность выдачи воды в поилке обеспечена выполнением входного отверстия канала по оси толкателя, а выходного отверстия – в боковой стенке верхней части толкателя, которая размещена в днище корпуса (рисунок 2) [12].



**Рис.2.** Конструктивная схема поилки с одноклапанной системой для сельскохозяйственных птиц: 1 – пластмассовый корпус; 2 – шариковый клапан; 3 – запирающий уплотняющую поверхность; 4 – головка толкателя; 5 и 6 – каналы; 7 и 8 – входное и выходное отверстия; 9 – эластичная втулка; 10 – резиновый колпачек; 11 – водопроводная магистраль

Установка толкателя в корпус на эластичной втулке, выполняющей функции уплотнителя, значительно уменьшила шанс засорения полости корпуса остатками пищи. В то же время, при эксплуатации поилки наблюдается рост затрат на профилактическое обслуживание вследствие частых замен втулки, которые происходят из-за сильного воздействия птицы на толкатель.

Разработана также поилка с одноклапанной системой для сельскохозяйственных птиц, содержащая шток с коническим утолщением на верхнем конце [13] (рисунок 3. а), которая практически имеет идентичное конструктивное исполнение с капельной поилкой, содержащей иглу клапана в виде штифта с выпуклой головкой [14] (рисунок 3. б). Рабочий процесс подачи воды на клюв птицы данных капельных поилок аналогичен с рабочим процессом капельной поилки, представленной на рисунке 2.

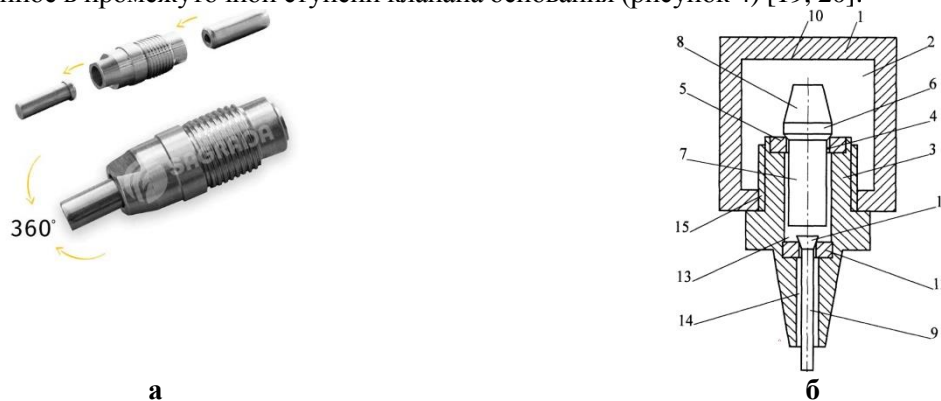


**Рис. 3.** Конструктивные схемы поилок с одноклапанной системой для сельскохозяйственных птиц: а – поилка, содержащая шток с коническим утолщением на верхнем конце: 1 – корпус; 2 и 3 – торцевые отверстия; 4 – втулка; 5 – шарик; 6 – шток; 7 – накопительная полость; б – поилка, содержащая иглу клапана в виде штифта с выпуклой головкой: 1 – корпус; 2 – седло; 3 – втулка; 4 – шарик; 5 – игла; 6 – накопительная полость

По сравнению с вышеприведенными поилками практически аналогичную схему и конструктивное исполнение имеют также капельные поилки для сельскохозяйственных птиц с одноклапанной системой подачи воды, описанными в источниках [15, 16, 17, 18], которые отличаются только креплением к водопроводной магистрали, размерами и конфигурацией накопительной полости, и геометрией толкателей.

В дополнение к уже описанным недостаткам, общими недостатками капельных поилок для сельскохозяйственных птиц с одноклапанной системой являются повышенная вероятность утечек воды. Это, в свою очередь, приводит к ухудшению санитарного состояния помещений для птицы. Причиной этого является наличие в конструкции только одного запорного устройства.

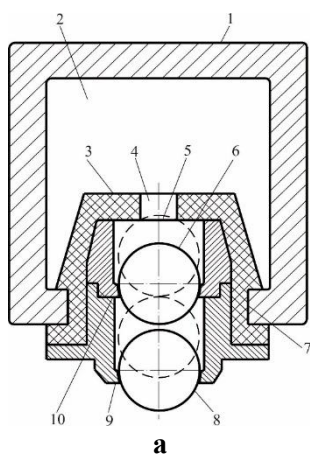
В птицеводстве применяется ниппельная поилка для птиц, содержащая корпус, в канале которого установлено регулирующее поток воды приспособление, включающее основание с осевым трехступенчатым цилиндрическим каналом, седлом, установленным в ступени большего диаметра, клапаном, снабженным направляющей и головкой, которые взаимодействуют с толкателем и внутренней поверхностью корпуса. Толкатель выполнен с конической головкой, установленной с опорой на седло, размещенное в промежуточной ступени клапана основания (рисунок 4) [19, 20].



**Рис. 4.** Общий вид (а) и конструктивная схема ниппельной поилки с двухклапанной системой штокового типа для сельскохозяйственных птиц: 1 – корпус; 2 – канал; 3 – основание; 4, 13 и 14 – ступени; 5 и 12 – седла; 6 – клапан; 7 – направляющая; 8 – головка; 9 – толкатель; 10 – внутренняя поверхность корпуса; 11 – коническая головка толкателя; 15 – резьбовой пояс

Поилка для птиц имеет двухклапанную систему штокового типа капельной подачи воды с трехступенчатым цилиндрическим каналом, состоящая из множества сложных элементов. Установка поилки в корпус с каналом для воды производится с помощью резьбового пояса, нарезанного на основании регулирующего поток воды приспособления и корпусе с каналом для воды. Это значительно усложняет конструкцию и установку поилки в корпус с каналом для воды. Для изготовления данной поилки требуется дорогая оснастка, различные приспособления и станки. Поэтому производство данной поилки с экономической стороны является достаточно затратным. Кроме того, в результате минерализации воды происходит отложение солей на опорной поверхности седел клапана и толкателя, а также на их конических поверхностях. В результате этого поверхности клапана и толкателя будут неплотно прилегать к опорным поверхностям своих седел, обуславливающее не герметичность клапанной системы поилки. Это обстоятельство приводит к постоянному подтеканию воды через поилку. Постоянное подтекание воды из поилки приводит к ухудшению санитарно-технического состояния помещения, где содержатся птицы. В итоге из-за этого чаще возникают болезни у птиц, приводящее к снижению их продуктивности. Также, не герметичность клапанной системы поилки из-за отложения солей на рабочих поверхностях клапана и толкателя и их седел обуславливает увеличение затрат на ее профилактическое обслуживание и, соответственно, снижает надежность долговременного функционирования поилки [21].

Для устранения выше отмеченных недостатков капельных поилок разработана поилка для птиц, содержащая корпус с каналом для воды, в котором установлено регулирующее поток воды приспособление, выполненное в виде металлического шарика и толкателя в виде металлического шарика, размещенных в соответствующих седлах, а регулирующее поток воды приспособление соединено с корпусом и каналом посредством эластичного уплотнительного элемента с выполненным со стороны канала центральным отверстием, имеющим диаметр меньше диаметра металлического шарика приспособления (рисунок 5) [22].



**Рис. 5.** Конструктивная схема (а) и общий вид (б) поилки для птиц с двухклапанной системой шарикового типа: 1 – корпус; 2 – канал; 3 – уплотнительный элемент; 4 – центральное отверстие; 5 – седло центрального отверстия; 6 и 8 – шарик и толкатель; 7 – выемка; 9 и 10 – седла толкателя и шарика

Данная поилка для птиц имеет простую двухклапанную систему шарикового типа капельной подачи воды, что значительно упрощает ее изготовление и установку в корпус с каналом для воды посредством только эластичного уплотнительного элемента. В связи с этим производство данной поилки менее затратное и с экономической точки зрения более привлекательна инвестору для реализации произведенного изделия птицефабрикам [23, 24].

Однако, в ряде случаев происходит неполное перекрытие центрального отверстия эластичного уплотнительного элемента при достижении металлическим шариком крайнего верхнего положения за счет перемещения вверх толкателем при ударе на него птицей своим клювом. Это обусловлено смещением шарика от вертикального осевого положения вследствие наличия зазора между шариком и стенкой уплотнительного элемента. Также, при выполнении опорных поверхностей седел в месте контакта с металлическим шариком и толкателем конструктивно не соответствующих форме их поверхности и даже незначительными отклонениями от их геометрических параметров происходит не плотное перекрытие выпускного канала, регулирующего поток воды приспособления. Эти обстоятельства вызывают повышенную вероятность утечки воды и, соответственно, увеличивают ухудшение санитарно-технического состояния помещения для содержания птицы, влекущее появление болезней у птиц и снижение из-за этого их продуктивности.

Поэтому система клапанного типа с капельной подачей воды для сельскохозяйственных птиц предоставляет свои требования к качеству воды. При поении птиц водой должны соблюдаться санитарно-гигиенические требования к питьевой воде [25].

Использование фильтров [26, 27, 28, 29] для очистки воды перед подачей ее в поильную установку клапанного типа с капельной подачей воды обязательно, так как песок или взвешенные вещества могут вывести из строя элементы поилки. Если в исходной воде превышены нормы по жесткости или железу, тогда поилки попросту забиваются и перестают пропускать через себя воду [30, 31, 32].

Соответственно, для самоочистения от отложения солей на внутренней поверхности приспособления, регулирующего поток воды, повышение надежности в эксплуатации и сокращение потерь воды путем ее порционной подачи, улучшение санитарно-технического состояния помещения для содержания птиц требуется разработка усовершенствованной капельной поилки с двухклапанной системой шарикового типа для сельскохозяйственных птиц.

## Литература

1. Фисинин, В.И. Динамика и перспективы развития мирового и отечественного птицеводства. Результаты работы яичного и мясного птицеводства России в 2024 году / В.И. Фисинин // Птицеводство. – 2025. – № 3. – С. 4-10.
2. Бессарабов, Б.Ф. Технология производства яиц и мяса птицы на промышленной основе: учебное пособие для СПО / Б.Ф. Бессарабов, А.А. Крыканов, Н.П. Могильда. – Санкт-Петербург Лань – 2021 – 336 с.
3. Алешкин, А.В. Автоматизированные системы кормления сельскохозяйственных птиц / А.В. Алешкин, М.В. Лазько // Каспий в цифровую эпоху: материалы Национальной научно-

- практической конференции с международным участием в рамках Международного научного форума «Каспий 2021: пути устойчивого развития». – Астрахань, 2021. – С. 177-180.
4. Анненков, Д.А. Средства автоматизации и цифровые технологии в ресурсосберегающем животноводстве и птицеводстве / Д.А. Анненков, Н.Д. Шманев, Р.А. Ноздрачев // Физика и современные технологии в АПК: материалы XI Всероссийской молодежной конференции молодых ученых, студентов и школьников с международным участием. – Орел, 2020. – С. 558-562.
  5. Щербак, Д.В. Автоматизация птицеводств / Д.В. Щербак // Современные технологии в мировом научном пространстве: Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. – Уфа, 2019. – С. 38-41.
  6. Бессарабов, Б.Ф. Технология производства яиц и мяса птицы на промышленной основе: учебное пособие для СПО / Б.Ф. Бессарабов, А.А. Крыканов, Н.П. Могильда. – Санкт-Петербург Лань – 2021 – 336 с.
  7. Хакимов, А.Н. Подготовка воды для nippleной автопоилки птицефабрики «Акашево» / А.Н. Хакимов, Ж.С. Нуруллин // Вестник магистратуры. – 2023. – № 3-1(138). – С. 4-6.
  8. Хакимов, А.Н. К вопросу использования nippleной установки для поения птиц / А.Н. Хакимов, Ж.С. Нуруллин // Вестник магистратуры. – 2023. – № 1-2 (136). – С. 63-65.
  9. Сайтов, В.Е. Научно-технические разработки для сельскохозяйственного производства / В.Е. Сайтов. – Киров: ООО «Кировская областная типография», 2018. – 280 с.
  10. Сайтов, В.Е. Совершенствование устройств капельной подачи воды для питья птицам / В.Е. Сайтов, Б.А. Аллахвердиев // Научные известия. Серия: Естественные и технические науки. – 2023. – Т. 23. – № 4. – С. 77-80. DOI: [https://doi.org/10.54758/16801245\\_2023\\_23\\_4\\_77](https://doi.org/10.54758/16801245_2023_23_4_77).
  11. А.с. № 853840 СССР, МПК А01 К 39/02. Поилка для птиц / Скакунов М.Г.; заявитель и патентообладатель Центральное проектно-конструкторское бюро Главного управления по монтажу оборудования предприятий легкой и пищевой промышленности. – № 2107238; заявл. 20.08.1975; опубл. 07.11.1984, Бюл. № 41.
  12. А.с. № 738564 СССР, МПК А01 К 39/02. Поилка для птиц / Чеботарев И.С., Попов Э.Н., Фиштейн Б.М., Сайко И.Б., Макунин М.А., Соколов Б.Д.; заявитель и патентообладатель Ростовский на Дону научно-исследовательский институт технологии машиностроения. – № 2493305; заявл. 06.06.1977; опубл. 05.06.1980, Бюл. № 21.
  13. Патент № 2196422 Российская Федерация, МПК А01 К 39/02. Капельная поилка для птиц / Храненко В.Н.; заявитель и патентообладатель Храненко Владимир Николаевич. – № 2000132455; заявл. 25.12.2000; опубл. 20.01.2003, Бюл. № 2.
  14. Патент № 2189136 Российская Федерация, МПК А01 К 39/02. Капельная поилка для птиц / Храненко В.Н.; заявитель и патентообладатель Храненко Владимир Николаевич. – № 2001105524; заявл. 26.02.2001; опубл. 20.09.2002, Бюл. № 26.
  15. Патент № 2262842 Российская Федерация, МПК А01 К 39/02. Поилка для птиц капельная/ Хамцов С.К.; заявитель и патентообладатель Хамцов Сергей Константинович. – № 2004105686/12; заявл. 25.02.2004; опубл. 27.10.2005, Бюл. № 30.
  16. Патент № 12326 Российская Федерация, МПК А01 К 39/02. Капельная поилка для птиц / Гуцаки Д.М.; заявитель и патентообладатель Гуцаки Дмитрий Михайлович. – № 99119664/20; заявл. 17.09.1999; опубл. 10.01.2000, Бюл. № 1.
  17. Патент № 13591 Российская Федерация, МПК А01 К 39/02. Капельная поилка для птиц / Тучков А.В.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество ПКП «Металлопласт». – № 2000102033/20; заявл. 31.01.2000; опубл. 10.05.2000, Бюл. № 13.
  18. А.с. № 1817677 СССР, МПК А01 К 39/02. Капельная поилка для птиц / Тарханов О.В.; заявитель и патентообладатель Тарханов Олег Владимирович. – № 4904228/15; заявл. 17.12.1990; опубл. 23.05.1993, Бюл. № 19.
  19. Патент № 2189137 Российская Федерация, МПК А01 К 39/02. Поилка для птиц / Савельев В.А., Степанов В.Н.; заявитель и патентообладатель Савельев Владимир Алексеевич, Степанов Василий Николаевич. – № 2001108177/13; заявл. 26.03.2001; опубл. 20.09.2002, Бюл. № 26.
  20. Сайтов В.Е., Аллахвердиев Б.А. Совершенствование устройств капельной подачи воды для питья птицам // Научные известия. Серия: Естественные и технические науки. – 2023. – Т. 23. – № 4. – С. 77-80. Doi: [10.54758/16801245\\_2023\\_23\\_4\\_77](https://doi.org/10.54758/16801245_2023_23_4_77)
  21. Сайтов, В.Е. Сравнительные оценки перспективных капельных поилок для сельскохозяйственных птиц / В.Е. Сайтов, Б.А. Аллахвердиев // Транспортное машиностроение. – 2024. – № 5. – С. 70-77. DOI: [10.30987/2782-5957-2024-5-70-77](https://doi.org/10.30987/2782-5957-2024-5-70-77).

22. А.с. № 1734611 СССР, МПК А01 К 39/02. Поилка для птиц / Аллахвердиев Б.А., Рассомахин Г.К., Мкртумян В.С.; заявитель и патентообладатель Сибирский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – № 4838542/15; заявл. 12.06.1990; опубл. 23.05.1992, Бюл. № 19.
23. Saitov V.Y., Allahverdiyev B.A. Quqlarin yüksək keyfiyyətli su glə fəsgləsgz təchizatini təmgn etmək üçün suvarma sğstəmlərgəndə gcməlg su gçkg qablarına olan tələblər / Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi. – 2024. – Cild 24. – № 4. – S. 80-85. DOI 10.54758/16801245\_2024\_24\_4\_80.
24. Саитов, В.Е. Капельная поилка с двухклапанной системой шарикового типа для поения птиц / В.Е. Саитов, Б.А. Аллахвердиев // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики. Материалы XVII Международ. науч.-практ. конф. «Наука-Технология-Ресурсосбережение»: сб. науч. тр. – Киров: Вятский ГАТУ, 2024. – С. 104-106.
25. Саитов, В.Е. Санитарно-гигиенические требования к питьевой воде для животноводческих ферм / В.Е. Саитов, А.Б. Котюков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - № 6 (часть 5). - С. 830-833.
26. Патент № 173754 Российская Федерация, МПК В01D 29/11, С02F 1/28? D01B 29/23. Фильтр цилиндрический / Саитов В.Е., Котюков А.Б., Курбанов Р.Ф., Саитов А.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вятская госуд. с.-х. академия». – № 2017118142; заявл. 24.05.2017; опубл. 11.09.2017, Бюл. № 26.
27. Патент № 175288 Российская Федерация, МПК В01D 29/11, В01D 29/23. Фильтр перфорированный с двойной загрузкой / Саитов В.Е., Котюков А.Б.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вятская госуд. с.-х. академия». – № 2017119575; заявл. 05.06.2017; опубл. 29.11.2017, Бюл. № 34.
28. Патент 187521 Российская Федерация, МПК В01D 29/11, D01B 29/23. Фильтр перфорированный / Саитов В.Е., Котюков А.Б., Курбанов Р.Ф., Савиных П.А., Саитов А.В.; заявитель и патентообладатель Саитов Виктор Ефимович, Котюков Анатолий Борисович. – № 2018135320/20; заявл. 05.10.2018; опубл. 11.03.2019, Бюл. № 8.
29. Совершенствование конструкций фильтров для очистки воды в животноводческих комплексах / В.Е. Саитов, П.А. Савиных, А.Б. Котюков, В. Романюк, М. Лукажук // Проблемы интенсификации животноводства с учетом охраны окружающей среды и производства альтернативных источников энергии, в том числе биогаза: монография под науч. ред. проф. докт. Вацлава Романюка. – Фаленты-Варшава, 2016. – С. 187-194.
30. Саитов, В.Е. Совершенствование устройств очистки воды в животноводческих фермах: монография / В.Е. Саитов, А.Б. Котюков, П.А. Савиных. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018. - 176 с.
31. Саитов, В.Е. Способы модернизации технических средств очистки воды в животноводческих комплексах / В.Е. Саитов, А.Б. Котюков // Современные наукоемкие технологии. – 2017. - № 4. – С. 49-55.
32. Саитов, В.Е. Совершенствование устройств очистки воды в животноводческих комплексах / В.Е. Саитов, А.Б. Котюков, А.В. Саитов // Современные проблемы науки и образования. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2020. – Том XVIII. – С. 69-70.

#### **Xülasə**

### **FERMA QUŞLARI ÜÇÜN DAMCI İÇKİ QURĞULARININ DİZAYN VƏ ƏMƏLİYYAT ANALİZİ**

*Saitov V.Y., Allahverdiyev B.A.*

Bu məqalədə quşlar üçün damcı içənlərin dizaynı və istismar xüsusiyyətləri araşdırılır. Mövcud içmə sistemləri təhlil edilir, onların əsas çatışmazlıqları, o cümlədən tıxanma, su sızması, quraşdırma çətinlikləri və aşağı keyfiyyətli su istifadə edərkən etibarlılığın azalması müəyyən edilir. Təchiz olunan suyun əvvəlcədən süzülməsinə və quşun yaşından asılı olaraq optimal təzyiğin saxlanılmasına ehtiyac əsaslandırılır. Göstərilir ki, mövcud tək klapanlı və iki klapanlı məmə tipli sistemlər mineralaşmaya, natamam kanal tıxanmasına və artan texniki xidmət xərclərinə həssasdır. Artan etibarlılığı, quş saxlama yerləri üçün yaxşılaşdırılmış sanitariya şəraitini və su itkisini azaltmağı təmin edən iki klapanlı top sistemli təkmilləşdirilmiş damcı içən üçün inkişaf istiqaməti təklif olunur.

**Açar sözlər:** su, damcılayan içən, məmə ucu içən, itələyici top, iki klapanlı sistem, tək klapanlı sistem, içmə sistemi, özünü təmizləyən, itələyici.

**Summary**  
**DESIGN AND OPERATIONAL ANALYSIS OF DRIP DRINKER DEVICES FOR FARM POULTRY**  
*Saitov V.E., Allahverdiyev B.A.*

This paper examines the design and operational features of drip drinkers for poultry. Existing drinking systems are analyzed, identifying their main drawbacks, including clogging, water leaks, installation difficulties, and reduced reliability when using low-quality water. The need for pre-filtration of the supplied water and maintaining optimal pressure depending on the age of the bird is substantiated. It is shown that the current single-valve and two-valve nipple-type systems are susceptible to mineralization, incomplete channel blockage, and increased maintenance costs. A development direction for an improved drip drinker with a two-valve ball system is proposed, ensuring increased reliability, improved sanitary conditions for poultry housing, and reduced water loss.

**Key words:** water, drip drinker, nipple drinker, pusher ball, two-valve system, single-valve system, drinking system, self-cleaning, pusher.

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ  
КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАПЕЛЬНОЙ ПОИЛКИ**

**Сайтов Виктор Ефимович**  
**Аллахвердиев Бахруз Аллахверди оглу**  
*ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ, Киров, Россия*  
*Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан*  
[baxelm@mail.ru](mailto:baxelm@mail.ru)

**Резюме.** В статье рассматривается методика исследований по определению оптимальных конструктивно-технологических параметров капельной поилки с клапанной системой шарикового типа. Представлены общий вид исследуемых капельных поилок с разными размерами клапанов шарикового типа и конструктивная схема лабораторной установки для проведения экспериментальных исследований процессов капельной подачи воды из поилки с двухклапанной системой шарикового типа для птиц при клеточном их содержании. Описана процедура эксперимента по определению общего объема расхода воды и объема расхода воды на разбрызгивание при поении кур-несушек через исследуемую капельную поилку. Приведено выражения по определению объема потребления воды курами-несушками.

**Ключевые слова:** вода, капельная поилка с клапаном шарикового типа, ниппельная поилка, система поения для птиц, расход воды, продуктивность кур-несушек, регулятор давления, расходомер.

На основании анализа сравнительных оценок недостатков капельных поилок для птиц [1] и теоретических исследований [2] разработаны капельные поилки с клапанной системой шарикового типа для цыплят и кур-несушек при клеточном их содержании [2-6].

Для определения оптимальных конструктивно-технологических параметров капельной поилки с двухклапанной системой шарикового типа были изготовлены три варианта ее исполнения, общий вид которых представлен на рисунке 1 [7-9].



**Рис. 1.** Общий вид капельных поилок с разными размерами клапанов шарикового типа для птиц при клеточном их содержании: 1 – диаметр выходного отверстия седла клапана  $d_1 = 5,5$  мм; 2 – диаметр выходного отверстия седла клапана  $d_1 = 6,4$  мм; 3 – диаметр выходного отверстия седла клапана  $d_1 = 7,5$  мм

Варианты исполнения капельной поилки отличались между собой разными размерами клапанной системы шарикового типа.

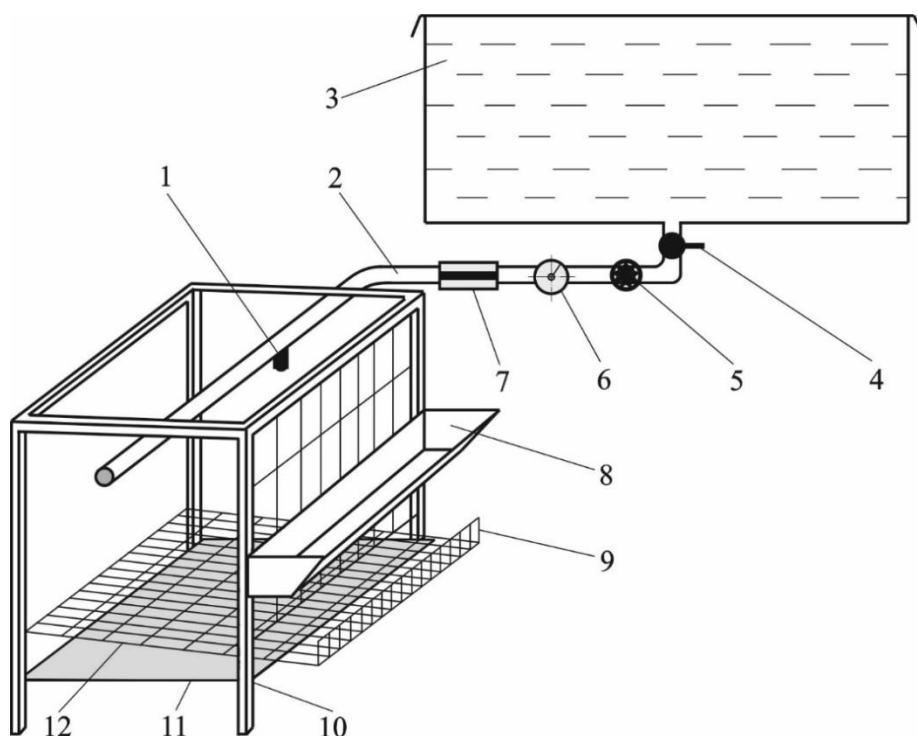
Для первого варианта исполнения капельной поилки диаметр металлического шарика и толкателя составляла  $d_2 = 6,6$  мм и, соответственно, диаметр выходного отверстия седла клапана имело значение  $d_1 = 5,5$  мм.

Для второго варианта исполнения капельной поилки диаметр металлического шарика и толкателя составляла  $d_2 = 7,5$  мм и, соответственно, диаметр выходного отверстия седла клапана имело значение  $d_1 = 6,4$  мм.

Для третьего варианта исполнения капельной поилки диаметр металлического шарика и толкателя составляла  $d_2 = 8,6$  мм и, соответственно, диаметр выходного отверстия седла клапана имело значение  $d_1 = 7,5$  мм.

При этом для всех трех вариантов исполнения капельной поилки с двухклапанной системой шарикового типа диаметр центрального отверстия эластичного уплотнительного элемента составлял  $d_3 = 3,0$  мм.

Экспериментальные исследования по определению одного из трех вариантов капельной поилки с двухклапанной системой шарикового типа, соответствующей требованиям удовлетворения кур-несушек в потребности в воде при их поении и улучшения санитарно-технического состояния помещения для возрастания продуктивности птиц из-за отсутствия или уменьшения у них болезней, проведены использованием лабораторной установки в виде клетки, представленной на рисунках 2 и 3.



**Рис. 2.** Конструктивная схема лабораторной установки для проведения экспериментальных исследований процессов капельной подачи воды из поилки с двухклапанной системой шарикового типа для птиц при клеточном их содержании: 1 – капельная поилка; 2 – трубопровод; 3 – резервуар с водой; 4 – запорный кран; 5 – регулятор давления; 6 – манометр; 7 – расходомер; 8 – кормушка; 9 – яйцесборник; 10 – каркас клетки; 11 – съемный лоток-поддон; 12 – сетчатый пол (дно клетки)

В клетке лабораторной установки помещались четыре куры-несушки, плотность посадки которых выбрана из требований  $0,1 \text{ м}^2$  на одну особь.

Для поения четырех кур-несушек в подводящей трубе системы поения устанавливалась только одна капельная поилка с соответствующим размером клапанной системы.

Процедура эксперимента заключалась в том, что вначале заполняли резервуар системы поения требуемым объемом воды, затем включали подачу воды с фиксированием суточного времени, в течение которого птицы свободно используют капельную поилку. Через каждые 24 часа, в утренние часы, осуществляли сбор данных по общему объему  $V_{\text{общ}}$  расхода воды при поении кур-несушек через капельную поилку с двухклапанной системой шарикового типа и объему  $V_{\text{разб}}$  расхода воды на разбрызгивание при давлениях 0,02; 0,04; 0,06 и 0,08 бар в системе подачи, устанавливаемого при помощи регулятора давления.

Определение общего объема  $V_{\text{общ}}$  расхода воды при поении кур-несушек через капельную поилку с двухклапанной системой шарикового типа при соответствующем варианте ее применения

производилось по установленному в системе подачи воды расходомеру.

Определение объема  $V_{разб.}$  расхода воды на разбрызгивание при использовании каждого варианта капельной поилки, отличающихся диаметром  $d_1$  выходного отверстия седла клапана, при разных давлениях  $p$  в системе подачи воды осуществляли с помощью мензурки сбором ее из лотка, устанавливаемого под капельную поилку.



*Рис.3 – Общий вид лабораторной установки для проведения экспериментальных исследований процессов капельной подачи воды из поилки с двухклапанной системой шарикового типа для птицы при клеточном их содержании*

Разница между общим объемом  $V_{общ.}$  расхода воды при поении кур-несушек через капельную поилку с двухклапанной системой шарикового типа при соответствующем варианте ее применения и объемом  $V_{разб.}$  расхода воды на разбрызгивание соответствовал объему  $V_{потр.}$  потребления воды четырьмя курами-несушками (мл):

$$V_{потр.} = V_{общ.} - V_{разб.},$$

где  $V_{общ.}$  – общий объем расхода воды при поении кур-несушек через капельную поилку, мл.;

$V_{разб.}$  – объемом расхода воды на разбрызгивание при поении кур-несушек через капельную поилку, мл.

Для получения более достоверной информации практические опыты были проведены в трехкратной повторности ( $n = 3$ ).

Температура  $t$  окружающего воздуха в помещении, где осуществлялось проведение практических опытов, составляла 20 °С. Соответственно температура  $t$  воды ( $H_2O$ ) поддерживалась 20°С.

В период проведения экспериментальных исследований процессов капельной подачи воды из поилки с двухклапанной системой шарикового типа осуществлялось сбалансированное питание кур-несушек, состоящее из пшеницы, подсолнечного жмыха, растительных жиров, яичной скорлупы, соли и витаминных добавок. Ежедневный корм для птицы был сбалансирован в следующей пропорции: углеводы – 72%, белки – 15%, жиры – 6%, клетчатка – 3%, витаминный комплекс – 2%, минералы – 2%.

Для исключения рисков возникновения и распространения болезней и паразитов у кур-несушек проводилась ежедневная влажная уборка клетки, после кормления птиц кормушка очищалась от остатков корма и мылась, с поддона убирался помет, после которого он дезинфицировался.

Для того, чтобы была достаточная продуктивность кур-несушек световой день в помещении, где находилась клетка с птицами, составлял не менее 12...14 часов, в период которого куры получали достаточное количество витамина Д, нехватка которого может привести к ряду болезней.

Оценка герметичности и работоспособности капельной поилки при разных ее вариантах исполнения и давления  $p$  в системе подачи воды, удобства использования поилки птицами и санитарно-технического состояния клетки лабораторной установки осуществлялось визуальным

способом.

Представленная методика эксперимента позволила выявить капельную поилку с рациональными параметрами, удовлетворяющими потребности птиц в воде для питья с соблюдением санитарно-зооигиенических условий их содержания, которая была реализована при проведении производственных испытаний в сравнении с капельной поилкой ниппельного типа [10].

## Литература

1. Сайтов В.Е., Аллахвердиев Б.А. Сравнительные оценки перспективных капельных поилок для сельскохозяйственных птиц // Транспортное машиностроение. – 2024. - № 5. – С. 70-77. DOI: 10.30987/2782-5957-2024-5-70-77.
2. Сайтов В.Е., Аллахвердиев Б.А. Теоретические исследования по определению расхода воды капельной поилкой с клапанной системой шарикового типа // Вестник Вятского ГАТУ. – 2025. – № 3(25). – С. 112-120.
3. Сайтов В.Е., Аллахвердиев Б.А. Капельная поилка с одноклапанной системой шарикового типа для сельскохозяйственных птиц // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2025. – № 1. – С. 40–50. <https://dx.doi.org/10.17122/ogbus.2025-1-40-50>.
4. Сайтов В.Е., Аллахвердиев Б.А. Совершенствование устройств капельной подачи воды для питья птицам // Научные известия. Серия: Естественные и технические науки. – 2023. – Т. 23. – № 4. – С. 77-80. Doi: 10.54758/16801245\_2023\_23\_4\_77.
5. Сайтов В.Е., Аллахвердиев Б.А. Капельная поилка для сельскохозяйственных птиц // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: Мосоловские чтения: материалы междунаро. науч.-практ. конф. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2023. – Вып. XXVI. – С. 755-759.
6. Сайтов В.Е., Аллахвердиев Б.А. Капельная поилка с двухклапанной системой шарикового типа для поения птиц // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики. Материалы XVII Междунаро. науч.-практ. конф. «Наука-Технология-Ресурсосбережение»: сб. науч. тр. – Киров: Вятский ГАТУ, 2024. – С. 104-106.
7. А.с. № 1734611 СССР, МПК А01 К 39/02. Поилка для птиц / Аллахвердиев Б.А., Рассомахин Г.К., Мкртумян В.С.; заявитель и патентообладатель Сибирский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – № 4838542/15; заявл. 12.06.1990; опубл. 23.05.1992, Бюл. № 19
8. Пат. 222699 Российская Федерация, МПК А01К 39/02, А01К 39/022. Капельная поилка для сельскохозяйственных птиц / Сайтов В.Е., Аллахвердиев Б.А.; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный агротехнологический университет». – № 2023128883; заявл. 07.11.2023; опубл. 17.01.2024, Бюл. № 2.
9. Пат. 231690 Российская Федерация, МПК А01К 39/02. Капельная поилка для цыплят сельскохозяйственных птиц / Сайтов В.Е., Аллахвердиев Б.А., Сайтов А.В.; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный агротехнологический университет». – № 2024131542; заявл. 21.10.2024; опубл. 06.02.2025, Бюл. № 4.
10. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024625471. «Массив сравнительных данных динамики развития стада цыплят ремонтного молодняка кур-несушек при поении капельными поилками шарикового и ниппельного типа» / Сайтов В.Е., Аллахвердиев Б.А.; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный агротехнологический университет». – № 2024625317; заявл. 14.11.2024; опубл. 25.11.2024, Бюл. № 12.

## Xülasə

### DAMLA İÇMƏ QABININ OPTİMAL STRUKTUR VƏ TEXNOLOJİ PARAMETRLƏRİNİ MÜƏYYƏNLƏŞDİRMƏK ÜÇÜN TƏCRÜBƏ METODOLOGİYASI

*Saitov V.Y., Allahverdiyev B.A.*

Məqalədə kürə tipli klapan sisteminə malik damcı içən qabın optimal dizayn və texnoloji parametrlərinin müəyyən edilməsi üçün tədqiqat metodologiyası müzakirə olunur. Müxtəlif ölçülü kürə tipli klapanlara malik damcı içən qabların ümumi görünüşü və qəfəslərdə saxlanılan quşlar üçün iki klapanlı kürə tipli sistemə malik içən qabdan damcı su təchizatının eksperimental tədqiqatlarının

aparılması üçün laboratoriya qurğusunun dizaynı təqdim olunur. Tədqiq olunan damcı içən qab vasitəsilə yumurta qoyan toyuqları suvararkən ümumi su sərfiyyatının həcmi və sıçrayan su sərfiyyatının həcmi təyin etmək üçün eksperimental prosedür təsvir edilmişdir. Yumurtlayan toyuqların su sərfiyyatının həcmi təyin etmək üçün ifadələr verilmişdir.

**Açar sözlər:** su, top tipli klapanlı damcı Sippy, Məmə Sippy Sippy, quşlar üçün Sippy sistemi, su sərfi, toyuqların məhsuldarlığı, təzyiq tənzimləyicisi, axın sayğacı

#### Summary

### EXPERIMENTAL METHODOLOGY FOR DETERMINING OPTIMAL DESIGN AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF A DRIP DRINKER

*Saitov V.E., Allahverdiyev B.A.*

The article discusses a research methodology for determining the optimal design and technological parameters of a drip drinker with a ball-type valve system. A general view of the drip drinkers with ball-type valves of different sizes and a design diagram of a laboratory setup for conducting experimental studies of drip water supply from a drinker with a two-valve ball-type system for poultry kept in cages are presented. An experimental procedure for determining the total water consumption volume and the volume of water consumption for splashing when watering laying hens through the drip drinker under study is described. Expressions for determining the volume of water consumption by laying hens are given.

**Keywords:** water, drip drinker with ball valve, nipple drinker, poultry watering system, water consumption, productivity of laying hens, pressure regulator, flow meter

## BƏRPA OLUNAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİ

### Hacıyev Surxay İmdad oğlu

*Azərbaycan Dövlət Aqrar Universiteti, Gəncə, Azərbaycan*

[Surxay.OI@mail.ru](mailto:Surxay.OI@mail.ru)

**Xülasə.** Azərbaycanda bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişafı ölkənin enerji siyasətinin əsas istiqamətlərindən biri kimi formalaşmışdır. Mövcud böyük potensial, reallaşdığı təqdirdə, həm ölkədaxili tələbatın ödənilməsinə, həm də elektrik enerjisinin ixracına xidmət edə bilər. “Yaşıl enerji”nin genişləndirilməsi karbon emissiyalarının azalmasına töhfə verəcək. Son dövrdə atılan addımlar – yeni günəş və külək stansiyalarının tikintisi, qanunvericilik bazasının yaradılması, beynəlxalq əməkdaşlıqlar – göstərir ki, Azərbaycan bu sahədə qəti iradə ortaya qoyub.

Nəticədə, bərpa olunan enerji mənbələrinə əsaslanan dayanıqlı energetika sistemi həm ölkənin enerji təhlükəsizliyini gücləndirəcək, həm də global iqlim çağırışlarına cavab verməkdə mühüm rol oynayacaq.

**Açar sözlər:** günəş radiyasiyası, külək axınları, günəş və külək enerjisi, “Yaşıl enerji”.

Bərpa olunan enerji mənbələri (BOEM) – tükənməyən və davamlı olaraq təbiətdən əldə edilə bilən enerji formalarıdır. Buraya günəş radiyasiyası, külək axınları, hidroenerji (su axınları), bioenerji (biokütlə) və geotermal istilik kimi mənbələr daxildir. Bərpa olunan enerjinin əsas üstünlüyü ondan ibarətdir ki, onların istifadəsi zamanı istixana qazı emissiyaları minimum olur və ətraf mühitə mənfi təsirlər azalır. XXI əsrdə global miqyasda enerji siyasətinin prioritetlərindən biri də məhz bu təmiz enerji mənbələrinə keçidin sürətləndirilməsidir. Azərbaycan da öz növbəsində bərpa olunan enerji potensialına malik bir ölkə olaraq, bu sahənin inkişafını strateji hədəf kimi müəyyənləşdirib. Tarixən Azərbaycanın enerji balansında su elektrik stansiyalarının müəyyən payı olsa da, günəş və külək enerjisinin geniş istifadəsi nisbətən yeni perspektivdir [1].

Aparılmış tədqiqatlara görə, Azərbaycan bərpa olunan enerji üzrə çox yüksək texniki potensiala malikdir. Energetika Nazirliyinin hesablamalarına əsasən, ölkəmizin qurudakı bərpa olunan enerji texniki potensialı təqribən 135 GVt, dənizdə (Xəzər akvatoriyasında) isə 157 GVt səviyyəsində qiymətləndirilir. Bu rəqəmlər, əsasən, günəş və külək enerjisinin nəhəng imkanlarından qaynaqlanır. Lakin bütün texniki potensialın gerçəkləşdirilə bilən hissəsi “iqtisadi potensial” adlanır ki, Azərbaycanın şəraitində bu da təxminən 27 GVt olaraq dəyərləndirilir. İqtisadi potensialın tərkibində təqribən 3000 MVt külək, 23 000 MVt günəş, 380 MVt bioenerji və 520 MVt kiçik su elektrik enerjisi imkanları vardır. Göründüyü kimi, ən böyük pay günəş enerjisinin payına düşür ki, ölkəmizin iqlim xüsusiyyətləri (günəşli günlərin çoxluğu) bunu əsaslandırır.

Mövcud durumda Azərbaycanda bərpa olunan enerji istehsalının strukturu daha çox hidroenerjiyə dayanır [2]. Ölkədə su elektrik stansiyalarının ümumi qurulu gücü 1300 MVt-dan artıqdır (Mingəçevir SES – ~402 MVt, Şəmkir SES – 405 MVt və s. daxil olmaqla). Kiçik su elektrik stansiyaları da müxtəlif regionlarda qurularaq cəmi onlarla MVt güc yaradır. Külək və günəş enerjisinin payı isə indiyədək məhdud olub – küləkdə cəmi ~66 MVt, günəşdə ~282 MVt qurulu güc vardır. Bu stansiyaların bir qismi Naxçıvan MR-da və Abşeron yarımadasında fəaliyyət göstərir. Məsələn, Naxçıvanda ümumi gücü 39 MVt olan günəş elektrik stansiyaları mövcuddur. 2023-cü ilin sonuna olan məlumata görə, böyük su elektrik stansiyaları daxil olmaqla, bərpa olunan mənbələr üzrə toplam qoyuluş gücü 1688 MVt təşkil edib ki, bu da ölkənin ümumi

elektrik gücünün 20,3%-nə bərabərdir. Lakin iri su elektrik stansiyalarını çıxmaqla hesablasaq, bərpa olunanların (günəş, külək, bio və kiçik su SES) payı cəmi ~6,4% olmuşdur. Deməli, hələlik Azərbaycan energetikasında bərpa olunan enerji mənbələrinin payı istəniləndən xeyli aşağıdır.

Hökumətin strateji hədəfləri bu nisbəti əhəmiyyətli dərəcədə yüksəltməkdir. Rəsmi sənədlərə görə, 2030-cu ilə qədər ölkədə qurulu enerji gücünün ən az 30%-nin bərpa olunan mənbələr hesabına formalaşdırılması planlaşdırılır. Bu məqsədə çatmaq üçün son illərdə bir sıra iri layihələrə start verilib. 2022-2023-cü illərdə xarici investorlar – Səudiyyə Ərəbistanının ACWA Power və Birləşmiş Ərəb Əmirliklərinin Masdar şirkətləri – ilə günəş və külək elektrik stansiyalarının inşası üzrə müqavilələr bağlanmışdır [3]. Nəticədə, 2023-cü ildə Abşeron-Qaradağ rayonunda 230 MVt gücündə “Qaradağ” günəş elektrik stansiyası istifadəyə verildi. Bu stansiya tamamilə xarici sərmayə hesabına tikilmiş ilk sənaye miqyaslı günəş stansiyasıdır və ildə ~500 milyon kVt-saat elektrik enerjisi istehsal etmək gücündədir. Həmçinin, Masdar şirkəti ilə Biləsuvarada 445 MVt və Neftçalanın Bankə qəsəbəsində 315 MVt gücündə iki yeni günəş stansiyasının, ACWA Power ilə isə Xızı-Abşeron ərazisində 240 MVt-luq külək stansiyasının tikintisi üçün investisiya anlaşmaları imzalanıb. Bu üç layihənin toplam 1000 MVt “yaşıl enerji” gücü yaratması nəzərdə tutulur ki, onların həyata keçməsi bərpa olunanların payını əhəmiyyətli dərəcədə artıracaq.

Bundan əlavə, BP şirkəti ilə Cəbrayıl rayonunda 240 MVt gücündə günəş elektrik stansiyasının tikintisi üzrə anlaşma imzalanmış və layihələndirmə işləri başlanmışdır. Eyni zamanda, Xəzər dənizində böyük offshore (dənizüstü) külək enerjisi potensialından istifadəyə dair beynəlxalq məsləhətçi şirkətlərlə əməkdaşlıq edilir – dənizdə 2 GVt gücündə külək və “yaşıl hidrogen” istehsalına dair imkanlar qiymətləndirilir. Bu layihələr reallaşarsa, Azərbaycanda ilk dəfə olaraq dənizdə külək stansiyaları quraşdırılacaq və istehsal olunan enerji hətta “yaşıl hidrogen” kimi ixrac potensialı məhsula çevrilə biləcəkdir. Qarşıdakı illərdə nəzərdə tutulan bütün bu layihələrin həyata keçməsi ilə 2030 hədəfinə (30% bərpa olunan güc) çatmaq real görünür.

Qarabağ və Şərqi Zəngəzur iqtisadi rayonlarının işğaldan azad edilməsindən sonra həmin ərazilər “Yaşıl enerji zonası” elan olunub. Bu konsepsiya çərçivəsində regionda bərpa olunan enerji qurğularının geniş tətbiqi, enerji səmərəliliyi tədbirlərinin görülməsi və ekoloji təmiz texnologiyaların sınaqdan keçirilməsi planlaşdırılır [4]. Artıq Kəlbəcər-Laçın zonasında və Cəbrayıl rayonunda külək və günəş ölçmə stansiyaları qurularaq potensial qiymətləndirilib. İlk qiymətləndirmələr göstərir ki, təkcə Qarabağ bölgəsində minlərlə MVt iqtisadi cəhətdən səmərəli bərpa olunan enerji resursu mövcuddur. “Yaşıl enerji” zonasının yaradılması həm də investorların bu sahəyə marağını artırır – bir sıra xarici şirkətlər həmin ərazilərdə stansiya tikintisinə maraq göstərir. Bu isə post-münaqişə dövründə bölgənin bərpasını sürətləndirir və Azərbaycanı regionda təmiz enerji ixracatçısına çevirə bilər.

Bərpa olunan enerji sahəsində inkişafı ləngidən bəzi çətinliklər də mövcuddur. İlk növbədə, böyük miqyasda günəş və külək enerjisinin şəbəkəyə inteqrasiyası üçün möhkəm elektrik infrastrukturunu və ehtiyat balanslaşdırıcı güclər tələb olunur. Külək və günəşin dəyişkən xarakteri səbəbindən, şəbəkədə çevik tənzimləmə (məsələn, su anbarlı SES-lərin balanslama rejimində işləməsi, yaxud akkumulyator saxlama sistemlərinin qurulması) vacibdir. Bundan başqa, bərpa olunan enerjinin ilkin kapital xərcləri yüksək olduğundan, investisiyaların cəlbi kritik əhəmiyyət daşıyır. Sevindirici haldır ki, son illərdə həm Körfəz ölkələri, həm də Avropa şirkətləri Azərbaycan “yaşıl enerji” sektoruna sərmayə qoymağa maraq göstərir – bunun nəticəsini yuxarıda qeyd olunan layihələrdə görürük. Nəhayət, normativ-hüquqi bazanın təkmilləşdirilməsi də diqqət mərkəzindədir: 2021-ci ildə qəbul edilmiş bərpa olunan enerji haqqında qanun sektorun inkişafına təkan versə də, bazar mexanizmlərinin tam formalaşması üçün əlavə qaydaların hazırlanması zəruridir.

Bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişafı ölkənin enerji siyasətinin əsas istiqamətlərindən biri kimi formalaşmışdır. “Yaşıl enerji”nin genişləndirilməsi karbon emissiyalarının azalmasına töhfə verəcək, ətraf mühitin mühafizəsini gücləndirəcək və neft-qaz gəlirlərindən asılılığın azalmasına şərait yaradacaq. Böyük potensial, reallaşdığı təqdirdə, həm ölkədaxili tələbatın ödənilməsinə, həm də elektrik enerjisinin ixracına xidmət edə bilər [5]. Nəzərdə tutulan layihələrin uğurla tamamlanması nəticəsində ölkəmizdə enerji mənbələri portfeli daha balanslı olacaq. Bərpa olunan enerji mənbələrinə əsaslanan dayanıqlı energetika sistemi həm ölkənin enerji təhlükəsizliyini gücləndirəcək, həm də global iqlim çağırışlarına cavab verməkdə mühüm rol oynayacaq. Son dövrdə atılan addımlar – yeni günəş və külək stansiyalarının tikintisi, qanunvericilik bazasının yaradılması, beynəlxalq əməkdaşlıqlar – göstərir ki, Azərbaycan bu sahədə qəti iradə ortaya qoyub.

## Ədəbiyyat

1. Azərbaycan xəbərləri – “Azərbaycanda bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadənin perspektivləri genişdir”, 2005 (analitik məqalə)[azerbaijan-news.az](http://azerbaijan-news.az).

2. AZƏRTAC – “*Yaşıl enerji zonası: Qarabağın enerji potensialı*”, 2021 (xəbər icmalı).
3. Energetika Nazirliyi – “*Azərbaycanda bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə*”, rəsmi məlumat (06.03.2024) [minenergy.gov.az/minenergy.gov.az](http://minenergy.gov.az/minenergy.gov.az).
4. GlobalNews.az – “*Azərbaycan 2030: yaşıl enerji hədəfləri*” (Milli Prioritetlərdən parça) [globalnews.az](http://globalnews.az).
5. Minenergy.gov.az – Nazirliyin hesabatından çıxarış: 2023-cü ildə qurulan Günəş və Külək stansiyaları barədə [minenergy.gov.az/minenergy.gov.az](http://minenergy.gov.az/minenergy.gov.az).

**Резюме**  
**ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**  
*Гаджиев С.И.*

Развитие возобновляемых источников энергии в Азербайджане стало одним из основных направлений энергетической политики страны. Существующий огромный потенциал, если он будет реализован, может послужить как для удовлетворения внутреннего спроса, так и для экспорта электроэнергии. Расширение «зеленой энергетики» будет способствовать сокращению выбросов углерода. Недавние шаги – строительство новых солнечных и ветряных электростанций, создание законодательной базы и международное сотрудничество – показывают, что Азербайджан продемонстрировал сильную волю в этой сфере.

В результате устойчивая энергетическая система, основанная на возобновляемых источниках энергии, не только укрепит энергетическую безопасность страны, но и сыграет важную роль в реагировании на глобальные климатические проблемы.

**Ключевые слова:** солнечная радиация, ветровые потоки, солнечная и ветровая энергия, «зеленая энергетика».

**Summary**  
**RENEWABLE ENERGY SOURCES**  
*Hajiyev S.I.*

The development of renewable energy sources in Azerbaijan has become one of the main directions of the country's energy policy. The existing huge potential, if realized, can serve both to meet domestic demand and to export electricity. The expansion of "green energy" will help reduce carbon emissions. Recent steps - the construction of new solar and wind power plants, the creation of a legislative framework and international cooperation - show that Azerbaijan has demonstrated a strong will in this area.

As a result, a sustainable energy system based on renewable energy sources will not only strengthen the country's energy security, but will also play an important role in responding to global climate problems.

**Key words:** solar radiation, wind flows, solar and wind energy, "green energy".

## IV BÖLMƏ

### ELEKTRON TƏHLÜKƏSİZLİYİ VƏ İNFORMASIYA – ÖLÇMƏ TEXNİKASI

#### AĞILLI EV LAYİHƏSİNDƏ SENSORLAR VƏ QURĞULAR ARASINDA ƏLAQƏ PROTOKOLLARI

<sup>1</sup>Əhmədova S.M., <sup>2</sup>Hüseynli A.A.

<sup>1</sup>Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan

<sup>2</sup>Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan

[svetlana.ahmadova@sdu.edu.az](mailto:svetlana.ahmadova@sdu.edu.az)

[huseynliaytac336@gmail.com](mailto:huseynliaytac336@gmail.com)

**Xülasə** Bu məqalədə “Ağıllı ev” layihəsinin əsas prinsipləri, o cümlədən onun əsas protokollarının təhlili təqdim olunur. Qeyd etmək lazımdır ki, yüksək səviyyədə təhlükəsizliyin təmin edilməsi ilə bağlı üstünlüklərə xüsusi diqqət yetirilmişdir. Bütün sensorları və qurğuları birləşdirən, həmçinin müxtəlif ssenarilərin yaradılmasına imkan verən idarəetmə sistemi araşdırılmışdır. Wi-Fi 2,4 GHz, RF 433 MHz, Z-Wave 869 MHz, ZigBee və Bluetooth kimi rabitə protokolları təhlil edilmişdir.

**Açar sözlər:** ağıllı ev, sensor, idarəetmə sistemi, video nəzarət, protokol

Ağıllı ev əsas həyat təminatı proseslərini bir sistemdə birləşdirməyə imkan verən optimallaşdırılmış texnologiyadır. Rahat yaşayış üçün, eləcə də istehsal mühitinə uyğunlaşdırılmış demək olar ki, bütün müasir binalar bu proqramlaşdırma və idarəetmə sxemləri ilə təchiz edilmişdir. Ev sahiblərinin çoxsaylı gündəlik tapşırıqları və ehtiyacları yüksək səviyyədə, mümkün qədər tez və keyfiyyətli şəkildə yerinə yetirilir. Ağıllı evin səlahiyyətli inteqrasiya edilmiş idarəetmə sistemi istisnasız olaraq bütün kommunikasiyaları birləşdirməyə, pərdələrin ( jalyüzlərin) yerdəyişməsindən tutmuş həyəcan signalının təhlükəsizlik idarəetmə panelinə ötürülməsinə qədər kifayət qədər geniş səs funksiyalarını əhatə etməyə imkan verir.

İqtisadi səmərə ilə yanaşı, yüksək səviyyədə təhlükəsizliyin təmin edilməsi ilə bağlı üstünlüklərə də xüsusi diqqət yetirilməlidir. Bu, yanğın, daşqın, əraziyə icazəsiz giriş kimi mühüm sahələrə aiddir. Avantajlı amil aşağıdakı sistemlər tərəfindən təmin edilir:

1. Sensorlar evdə binanın sahibi olmadıqda hərəkətə nəzarət edir. Zəruri hallarda mobil proqram vasitəsilə dərhal telefona signal göndərilir.

2. Sızmaların qarşısını almağa yönəlmiş xüsusi avtomatik sistemlər. Fövqəladə vəziyyət yarandıqda, öz kanallarına qaz və su təchizatı bağlanır. Ev sahibi müvafiq bildiriş alır.

3. Nəzarət və video müşahidə. Demək olar ki, bütün ağıllı ev sistemləri video kameraların mövcudluğunu nəzərdə tutur. İstənilən vaxt ev sahibi evinin içərisində nə baş verdiyini görə bilər. Bundan əlavə, belə bir cihaz baş verənləri qeyd edir. İcazəsiz giriş baş verərsə, hər zaman kimin və nə vaxt daxil olduğu barədə lazımi məlumatları əldə etmək mümkündür[1].

Eyni zamanda, ağıllı ev əsas funksiyaları əks etdirən xüsusi ekranın olmasını nəzərdə tutur. Tətbiqdə istifadəçi aşağıdakı kimi təhlükəsizlik seçimlərini görür və konfigurasiya edir:

- rozetkaların qoşulması;
- kilidlərin açılması və bağlanması;
- yanğın signalizasiyası;
- sensorlar;
- video kamera.

Bunun sayəsində ağıllı ev bütün məişət elektron sistemlərinin işinə nəzarət etməyə imkan verir. İlk növbədə videomüşahidə və nəzarəti qeyd etmək lazımdır. Birbaşa marşrutlaşdırıcıya qoşulan video kameradan istifadə edərək, smartfondan istifadə edərək evdə və ya ofisdə baş verənləri izləmək mümkündür. Modellərin əksəriyyəti kameranı üfüqi olaraq 360 dərəcə uzaqdan çevirməyə imkan verən bir fırlanma mexanizmi ilə təchiz edilmişdir, quraşdırılmış mikrofon və dinamik eşitmək və ünsiyyət qurmaq imkanı verir. Videokameralar ya yaddaş kartına, ya da buluda - Google və ya Yandex diskinə qoşulduqda video yazmaq imkanına malikdir.

İdarəetmə sistemlərinin köməyi ilə otaqdakı hər bir işıq mənbəyini nəzarət etmək və tənzimləmək mümkündür. Yəni yataq otağından və ya kabinetdən çıxmadan bütün evin işığını söndürə və ya dəhlizdə çətinliklə nəzərə çarpan işıqlandırmaq olar. Uzaq məsafədə olsa belə, işıqlandırma sistemini asanlıqla idarə etmək mümkündür.

Video nəzarət və işıqlandırma sisteminə əlavə olaraq, ağıllı bir ev iqlim parametrlərini saxlaya bilər: rütubət, temperatur, müntəzəm havalandırma. Sistem lazımi gücdə qızdırılan döşəmələri, radiatorları və digər cihazları seçib işə salır və sahiblərinin rahatlığı üçün gecələr temperaturu bir qədər azaldır. Sistem isti havada avtomatik olaraq kondisioneri işə salır, jalüzləri endirir, pəncərələri bağlayır.

Sistemin ürəyi mərkəzi idarəetmə sistemidir (İS). Bütün sensorlar və cihazları birləşdirən və müxtəlif ssenarilər yaratmağa imkan verən İS-dir. Sensorlar və qurğularla bir neçə simsiz rabitə protokolları vasitəsilə əlaqə qurur. Bir qayda olaraq, aşağıdakı standartlardan istifadə olunur: Wi-Fi, RF, Z-Wave, Bluetooth və s. Wi-Fi cihazları İS olmadan işləyə bilər və birbaşa marşrutlaşdırıcıya qoşula bilər. Bu cihazları birbaşa mobil telefon və ya tablet ilə idarə edilə bilər. Simsiz RF sensorlar müxtəlif enerji elementlərində işləyir və simsiz məlumat ötürülməsini təmin edir. Bu sensorlar təhlükəsizlik kateqoriyasına aid edilə bilər. Sistemdə avtomatlaşdırmanın əsas hissəsini təmin edən relələr də istifadə olunur: işıqlandırma, məişət cihazlarının idarə edilməsi, isti döşəmə, qapı nəzarəti, suvarma və s. Bu cihazlar Z-Wave 869 MHz protokolu ilə işləyir.

Sensorlar və cihazlar arasında müxtəlif rabitə protokolları mövcuddur.

#### **- Wi-Fi 2.4 GHz**

Wi-Fi protokolu ilə işləyən cihazların əsas üstünlüyü İS olmadan birbaşa marşrutlaşdırıcıya qoşulmaq imkanındır. Bu cihazları idarə etmək üçün onları marşrutlaşdırıcınıza qoşmaq və mobil proqramı yükləmək kifayətdir. Həmçinin, təhlükəsizlik sensorlarını məhz bu cihazlara qoşmaq mümkündür.

#### **- RF 433 MHz**

Bu protokolda əsasən müxtəlif simsiz sensorlar işləyir, onlardan evdə baş verən hadisələr haqqında operativ məlumat alınır. Bu protokol açıq məkanda maksimum fəaliyyət radiuslarından birinə malikdir - 100 m. Enerji təchizatı bu cihazların 2 ilə qədər işləməsinə imkan verir. RF protokolunda olan sensorlar idarəetmə mərkəzi və ya Wi-Fi kimi icraedici cihazlara qoşulmalıdır.

#### **- Z-Wave 869 MHz**

Bu, müxtəlif ölkələrdə müxtəlif tezliklərdən istifadə edən beynəlxalq simsiz rabitə standartıdır. Z-Wave protokolu ilə işləyən qurğular yalnız idarəetmə mərkəzinə (hub) qoşulmalıdır. Cihazların əhatə dairəsi açıq məkanda 30 m-dir. Bu standartın üstünlüyü retranslyasiya funksiyasıdır, yəni cihazlar bir-biri ilə məlumat ötürə bilər.

#### **- ZigBee**

Ağıllı evdə cihazları idarə etmək üçün istifadə edilən rabitə protokoludur. O, yüksək məlumat ötürmə sürətini və aşağı enerji istehlakını təmin edir, bu da onu ev sistemlərində istifadə üçün ideal edir. Məsələn, bu protokolla işləyən bəzi sensorlar batareyanı dəyişdirmədən illərlə işləyə bilər.

#### **- Bluetooth**

Qısa məsafədə məlumat mübadiləsini təmin edən simsiz rabitə protokoludur. Cihazları bir-birinə bağlamaq və onları idarə etmək üçün istifadə olunur. Məsələn, Qingping temperatur və rütubət sensoru Zigbee protokolu ilə işləmir, lakin Bluetooth-u dəstəkləyir. Bunun sayəsində internetdə fasilələr olsa belə, telefonda cihazdan ən son məlumatları qəbul etmək mümkündür. Bunun üçün ev sahibi evdə olmalıdır, çünki belə bir rabitə protokolu uzaq məsafələrdə işləmir[2].

#### **Ədəbiyyat**

1. Михайлов С. С. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ "УМНОГО ДОМА" // Вестник науки. 2022. №8 (53). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-printsipy-raboty-umnogo-doma>
2. <https://vsesmart.ru/blog/vidy-protokolov-svyazi-umnogo-doma/tps://cyberleninka.ru/art>

#### **Резюме**

#### **ПРОТОКОЛЫ СВЯЗИ МЕЖДУ ДАТЧИКАМИ И УСТРОЙСТВАМИ В ПРОЕКТЕ «УМНЫЙ ДОМ»**

*Əhmədova S.M., Hüseynli A.A.*

В этой статье представлено изучение основных принципов проекта «Умный дом», в том числе анализ его основных протоколов. Следует отметить, что особое внимание следует уделить преимуществам, связанным с обеспечением безопасности на высоком уровне. Система управления, которая объединяет все датчики и устройства и позволяет создавать различные сценарии. Анализируются протоколы связи, такие как Wi-Fi 2,4 ГГц, RF 433 МГц, Z-Wave 869 МГц, ZigBee и Bluetooth.

**Ключевые слов:** умный дом, датчик, система управления, видеонаблюдение, протокол

#### **Summary**

#### **COMMUNICATION PROTOCOLS BETWEEN SENSORS AND DEVICES IN A SMART HOME PROJECT**

*Akhmedova S.M., Huseynli A.A.*

This article presents a study of the basic principles of the Smart Home project, including an analysis of its basic protocols. It should be noted that special attention should be paid to the benefits associated with ensuring a high level of security. This is a

control system that combines all sensors and devices and allows you to create various scenarios. Communication protocols such as Wi-Fi 2.4 GHz, RF 433 MHz, Z-Wave 869 MHz, ZigBee and Bluetooth are analyzed.

**Keywords:** smart home, sensor, control system, video surveillance, protocol

## ALÇAQ MEXANİKİ TEZLİKLİ ELEKTROMAQNİT TIPLİ VİBROTƏSİRLƏNDİRİCİNİN LAYİHƏLƏNDİRİLMƏSİNƏ TEMPERATURUN TƏSİRİ

**Əliyeva Türkan Rafət qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[aliyevaturkan679@gmail.com](mailto:aliyevaturkan679@gmail.com)

**Xülasə.** Temperatur dəyişmələrinin cihazın elektromaqnit komponentlərinə, mexaniki rezonans tezliyinə və ümumi iş rejiminə olan təsirləri təhlil olunmuş modelləşdirmə nəticələri və eksperimental məlumatlar əsasında temperaturun nəzərə alınmasının vacibliyi əsas məsələ kimi götürülmüşdür. Vibrotəsirləndiricilər müxtəlif texnoloji proseslərdə geniş istifadə edilir. Onların etibarlı və sabit işləməsi üçün konstruktiv parametrlərin temperatur dəyişkənliyinə qarşı davamlı olması mühüm əhəmiyyət daşıyır. Layihələndirmə zamanı temperaturun təsirini minimuma endirmək üçün istilik sabitliyi yüksək olan materiallardan istifadə, soyutma sistemlərinin tətbiqi və temperatur kompensasiyalı idarəetmə mexanizmlərinin daxil edilməsi tövsiyə olunur [1].

**Açar sözlər:** Temperatur təsiri, modelləşdirmə və analiz, aktiv soyutma, termal genişlənmə, istilik izolyasiyası

### Giriş

Vibrotəsirləndiricilər müxtəlif texnoloji proseslərdə (sınaq, kalibrəmə, materialların öyrənilməsi və s.) çox geniş istifadə olunur. Onların etibarlı və sabit işləməsi üçün konstruktiv parametrlərin temperatur dəyişkənliyinə qarşı davamlı olması mühüm əhəmiyyət daşıyır. Tədqiqatda elektromaqnit vibrotəsirləndiricinin əsas komponentlərinin - maqnit nüvəsi, yay və mexaniki hissələrin istilik təsiri altında necə dəyişdiyi nəzərdən keçirilmişdir. Temperatur artdıqca materialların elektrik və maqnit xassələrinin dəyişməsi (məsələn, keçiricilik, maqnit keçiriciliyi) nəticəsində cihazın əməli tezliyi və amplitudasında sapmalar yarana bilər. Bu işə vibrotəsirləndiricinin səmərəliliyini azalda bilər. Məlum olduğu kimi verilmiş konstruksiyalı elektromaqnit tipli vibrotəsirləndiricinin hesabı konstruktiv ölçülər, dolaq verilənləri, cərəyan, tezlik, qüvvə və s. kimi hesabatın keyfiyyət göstəriciləri olan parametrlərin alınması üçün aktiv, izolyasiya və konstruktiv materialların seçilməsi, onun lazımi iş rejimlərinin xarakteristikalarını yüksək və texniki iqtisadi göstəricilərinin alınmasını təmin edən parametrlərinin tapılması və s. kimi məsələləri həll edir [2]. Vibrasiya qurğusunun işləməsində hərəkət etdirici element elektromaqnit təsirləndiricidir. Onun parametrlərinin düzgün seçilməsi elektromaqnit vibrotəsirləndiricinin işlədiyi mühitin temperaturasından asılıdır. Bu qurğuya aid olan parametrlərdən bəziləri temperaturdan asılı olmur. Vibrotəsirləndiricilər müxtəlif texnoloji sahələrdə sınaq sistemlərində, kalibrasiya qurğularında və s. geniş istifadə olunur. Elektromaqnit tipli vibrotəsirləndiricilər konstruktiv sadəliyinə və yüksək dəqiqliyinə görə xüsusilə alçaq tezlik diapazonunda üstünlük təşkil edir. Lakin temperatur dəyişmələri bu cihazların elektromaqnit və mexaniki xassələrinə əhəmiyyətli təsir göstərə bilər. Elektromaqnit vibrotəsirləndirici əsasən aşağıdakı komponentlərdən ibarətdir.

Dəyişən cərəyanla idarə olunan güc mənbəyi, sərbəst hərəkətli lövhə və yay sistemləri, temperaturun mexaniki sistemdəki təsiri. Mexaniki komponentlərdə temperaturun təsiri aşağıdakı kimi təzahür edir:

Materialların termal genişlənməsi (rezonans tezliyi dəyişə bilər), elastiklik modulunun temperaturla dəyişməsi (sərtlilik azalır, rezonans tezliyi daha da aşağı düşür)

Bu dəyişikliklər sistemin rezonans xarakteristikalarına mənfi təsir edə bilər. Model qurularkən temperaturun sarğı müqavimətinə, maqnit nüvəsinin doymaya yaxınlaşmasına və elastiklik dəyişmələrinə olan təsirləri daxil olunmuşdur. ANSYS və COMSOL kimi proqramlarda temperaturla dəyişən parametrlər nəzərə alınaraq analizlər aparılmışdır. Sarğı materialı kimi aşağı temperatur koeffisiyentli naqillərdən istifadə tövsiyə edilir. Aktiv soyutma və ya istilik izolyasiyası tədbirləri tətbiq edilə bilər. Temperatur kompensasiyası üçün idarəetmə sistemləri əlavə edilə bilər [3].

### Nəticə

Layihələndirmə zamanı temperaturun təsirini minimuma endirmək üçün istilik sabitliyi yüksək olan materiallardan istifadə, soyutma sistemlərinin tətbiqi və temperatur kompensasiyalı idarəetmə mexanizmlərinin daxil edilməsi tövsiyə edilir. Nəticə olaraq vibrotəsirləndiricinin temperatur dəyişkənliyinə qarşı davamlı layihələndirilməsi onun etibarlılığını və xidmət müddətini artırmaqla yanaşı, funksional göstəricilərinə də müsbət təsir göstərir.

## Ədəbiyyat

1. Smith, J., *Electromagnetic Vibration Testing Equipment*, Springer, 2021.
2. Qasımov A., *Vibrosistemlərin Modelləşdirilməsi və Optimallaşdırılması*, Bakı, 2018.
3. IEEE Transactions on Magnetics, "Thermal Effects in Electromagnetic Actuators", 2020

### Summary

#### THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE DESIGN OF A LOW MECHANICAL FREQUENCY ELECTROMAGNETIC VIBRATOR

*Aliyeva T.R.*

The importance of taking temperature into account based on the analyzed modeling results and experimental data on the effects of temperature changes on the device's electromagnetic components, mechanical resonance frequency, and general operating mode was taken as the main issue. Vibrators are widely used in various technological processes. Constructed for their reliable and stable operation is used. For their reliable and stable operation, it is important that the structural parameters are resistant to temperature fluctuations. In order to minimize the effect of temperature during design, it is recommended to use materials with high thermal stability, apply cooling systems and include temperature compensated control mechanisms [1].

**Keywords:** Temperature effect, modeling and analysis, active cooling, thermal expansion, thermal insulation

### Резюме

#### ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА КОНСТРУКЦИЮ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВИБРАТОРА

*Алиева Т.Р.*

В качестве основного вопроса принята важность учета температуры на основе проанализированных результатов моделирования и экспериментальных данных о влиянии изменения температуры на электромагнитные компоненты устройства, частоту механического резонанса и общий режим работы. Вибраторы широко используются в различных технологических процессах. Создан для их надежной и стабильной работы. используется. Для их надежной и стабильной работы важно, чтобы конструктивные параметры были устойчивы к колебаниям температуры. Чтобы минимизировать влияние температуры при проектировании, рекомендуется использовать материалы с высокой термостойкостью, внедрять системы охлаждения и включать механизмы управления с температурной компенсацией [1].

**Ключевые слова:** Температурный эффект, моделирование и анализ, активное охлаждение, тепловое расширение, теплоизоляция.

## GƏMİ SİQNAL QURĞULARININ PROQRAMLAŞDIRILAN MƏNTİQ KONTROLLERLƏRİ (PLC) İLƏ İDARƏ OLUNMASININ ÜSTÜNLÜKLƏRİ

**Sultanov Elşən Fəxrəddin oğlu**

**İsmayılov Sahib Söyün oğlu**

**Əlicanov Rüşlan Ramiz oğlu**

*"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ, Bakı, Azərbaycan*

[elshen\\_sultanov@mail.ru](mailto:elshen_sultanov@mail.ru), [sahib-ismayil@bk.ru](mailto:sahib-ismayil@bk.ru)

[ralicanov@mail.ru](mailto:ralicanov@mail.ru)

**Xülasə.** Məqalədə gəmi siqnal qurğularının proqramlaşdırılan məntiq kontrollerləri (PLC) ilə idarə olunmasının üstünlüklərindən bəhs olunur. Həmçinin məqalədə PLC-nin gəmi qurğularında tətbiqi ilə gəmilərdə elektrik təhlükəsizliyinin artırmaqla avtomatlaşdırmanı təkmilləşdirmək və gəmilərdə operativ nəzarəti təmin etməklə bağlı risklərin minimuma endirilməsi də qeyd edilmişdir.

**Açar sözlər:** gəmi, elektrik avadanlığı, siqnal qurğuları, idarəetmə, proqramlaşdırılan, məntiq kontrollerləri

### Giriş

Beynəlxalq dəniz təşkilatının tələblərinə əsasən gəmilərdə istifadə edilən müasir avadanlıqlar yüksək keyfiyyət və məhsuldarlığa malik olmalıdır. Avadanlıqların istehsal prosesində yüksək məhsuldarlıqlı olması üçün, onların daha çevik (qısa bir müddətdə) yeni istehsal növünə keçməsi imkanının olmasıdır. Belə bir tələbi ancaq əsas istehsal avadanlığı rəqəmli olub proqramla idarə edilən avadanlıqlar ödəyə bilər. Bu avadanlıqların proqramını dəyişməklə qısa bir müddətdə fərqli istehsal növünün seçilməsi mümkündür. Proqramlaşdırıla bilən avadanlıqların bu xüsusiyyəti imkan verir ki, onlar az sayda və müxtəlif fərdi istehsallarda müvəffəqiyyətlə tətbiq olunsunlar [1,2,9].

Son zamanlara qədər hətta proqramla idarə olunan avadanlıqların elektro avtomatikasını sərt məntiqi elementlər (rele kontaktorlu idarəetmə) üzərində qurulmuşdur. Bu üsullar hər bir avadanlığın özünün fərdi sxeminin olmasını tələb edir. Belə sxemləri isə dəyişmək mümkün olmurdu. Son zamanlar isə kompüter texnikasının, mikroelektronikanın inkişafı imkan verdi ki, avadanlıqların elektro avtomatikasını qurmaq və proqramlaşdırmaq üçün PLC-lərdən istifadə edilsin. Belə ki, PLC-lərin proqramlaşdırılma qabiliyyətindən

istifadə etməklə, onları qısa bir müddətdə yeni işləmə alqoritminə çevirmək olur və eyni bir PLC-ni müxtəlif avadanlıqlarda uğurla tətbiq etmək mümkündür.

**Əsas hissə:** Müasir dünya dənizçilik sənayesində avtomatlaşdırma və təhlükəsizlik sistemlərinin inkişafına xüsusi diqqət yetirilir. Bu sahədə PLC mühüm rol oynayır. PLC-lərin gəmi siqnal qurğularında tətbiqi, idarəetmə və nəzarət sistemlərinin səmərəliliyini artırmaqla yanaşı, onların etibarlılığını da yüksəldir. Gəmilərdə siqnal qurğuları mühüm əhəmiyyət daşıyır və onların əsas funksiyası gəmi heyətini və sərnişinləri mümkün təhlükələrdən xəbərdar etməkdir. Ənənəvi siqnal sistemləri əsasən mexaniki və elektromexaniki komponentlərdən ibarət idisə, müasir sistemlərdə PLC-lərin tətbiqi bu sahədə yeni mərhələ açmışdır. PLC-lər müxtəlif sensorlardan daxil olan məlumatları emal edərək, siqnal qurğularının effektiv işləməsini təmin edir [1,2].

PLC-nin gəmi siqnal sistemlərində mərkəzləşdirilmiş idarəetmə, avtomatlaşdırma və etibarlılıq təmin etmək üçün geniş tətbiq olunur. Onların aşağıdakı əsas tətbiq sahələri və üstünlüklərini vurğulamaq olar:

**Mərkəzləşdirilmiş idarəetmə sistemi;**

- İntegrasiya: PLC, gəminin naviqasiya işıqları, duman siqnalı, həyəcan siqnalları və rabitə sistemləri kimi bütün siqnal qurğularını vahid platformada birləşdirir.

- Modlar arası keçid: Gəminin vəziyyətinə (hərəkət, lövbər, təhlükə) uyğun olaraq siqnalları avtomatik dəyişdirir (məsələn, duman zamanı duman siqnalının aktivləşməsi).

**Avtomatik zamanlamə və sinxronizasiya;**

- Naviqasiya işıqları: PLC, işıqların beynəlxalq tələblərə uyğun fasilələrlə və rənglərlə işləməsini təmin edir (məsələn, yaşıl/çəhrayı işıqların növbəli yanması).

- Duman siqnalı: Müəyyən intervallarla səs siqnalının avtomatik aktivləşdirilməsi.

**Təhlükəsizlik və monitoring [11];**

- Xəta aşkarlama: PLC, siqnal qurğularının işlək vəziyyətini monitoring edir (məsələn, lampanın sıradan çıxması halında ekipaja bildiriş göndərir).

- Təcili hallar: Qəza vəziyyətində SOS siqnallarını (ışıq/səs) avtomatik aktivləşdirir.

- Ardııcılıq təminatı: Qəza ssenariləri üçün əvvəcdən proqramlaşdırılmış tədbirlər (məsələn, yangın siqnalı zamanı enerjinin kritik sistemlərə yönləndirilməsi).

**Sensorlarla integrasiya [10];**

- Mühit şəraitinə uyğunlaşma: Hava vəziyyəti sensorları (duma, külək, temperatur) ilə əlaqələndirilərək siqnalların dinamik idarə edilməsi (məsələn, görüş məsafəsi azaldıqda duman siqnalının gücləndirilməsi).

- Radar/AIS ilə əlaqə: Digər gəmilərə və ya sahil stansiyalarına avtomatik siqnalların göndərilməsi.

**Etibarlılıq və sistem artıqlığı;**

- Dublikat sistemlər: Kritik siqnal sistemlərində ikiqat PLC konfigurasiyası tətbiq edilərək sistemin fasiləsiz işləməsi təmin edilir.

- Sərt şəraitə uyğunluq: PLC-lər korroziyaya, vibrasiyaya və nəmdavamlılığa uyğun şəkildə dizayn edilir (məsələn, IP67 standartı).

**Beynəlxalq tələblərə uyğunluq [11];**

- PLC proqramları SOLAS, COLREG kimi beynəlxalq dəniz təhlükəsizliyi standartlarına uyğun hazırlanır.

- Siqnal parametrləri (interval, intensivlik) avtomatik olaraq standartlara uyğun tənzimlənir.

**Asan proqramlaşdırma və baxım [9,10];**

- Uzaqdan idarəetmə: Həyəcan vəziyyətində siqnallar kapitan körpüsü və ya sahil əlaqə vasitəsilə idarə edilə bilər.

- Dəyişikliklərə çeviklik: Yeni tələblər yarandıqda PLC proqramı yenilənir, aparat dəyişikliyi tələb olunmur.

- Qeyd jurnalı: Bütün siqnal hadisələri və xəталər qeyd edilir, təhlil üçün istifadə olunur.

Həmçinin PLC –nin gəmi sistemlərində tətbiqində müxtəlif çətinliklər də mövcuddur ki bunlar aşağıdakılardır:

1. Dəniz şəraitinə davamlı avadanlıq tələbinin ağır olması

2. Heyətin PLC proqramlaşdırma və təmir bacarıqlarının olmaması.

PLC-lər gəmi siqnal sistemlərində təhlükəsizliyi, effektivliyi və idarəetməni yaxşılaşdıran əsas texnoloji həlldir. PLC-lər sənayedə geniş şəkildə tətbiq olunan və əsasən açma-söndürmə və ya məntiq tipli tətbiqlər üçün istifadə olunan çevik, etibarlı və iqtisadi baxımdan əlverişli nəzarətçidir. PLC mərkəzi prosessordan, giriş və çıxış modullarından və yaddaşdan ibarətdir. PLC giriş vəziyyətlərində

proqramlaşdırılmış məntiq ardıcılıqları yerinə yetirir və çıxış şərtlərini yaradır. Bu çıxış şərtləri daha sonra əlaqəli cihazı idarə etmək üçün istifadə olunur.

Qeyd etmək lazımdır ki, gəmidə elektrik sistemlərində nasazlıqların məsafədən aradan qaldırılması da PLC vasitəsilə həyata keçirilir. Bu sistem dövrümüzdə AUT1 avtomatlaşdırma sinfinə daxil olan gəmilərdə öz tətbiqini daha geniş tapmışdır. Gəmilərdə elektrik nasazlıqlarının vaxtında aşkarlanması və idarə olunması gəmi heyətinin təhlükəsizliyi və sistemlərin dayanıqlılığı üçün mühüm əhəmiyyət daşıyır. PLC-lər bu prosesdə kritik rol oynayaraq, uzaqdan nəzarət və idarəetmə imkanı yaradır. PLC-lər elektrik panellərinə və enerji təchizatı sistemlərinə inteqrasiya olunaraq, gərginlik dalğalanmaları, aşırı cərəyan, faza itkiləri və digər nasazlıqları real vaxt rejimində izləyə bilər. PLC-lər bu məlumatları toplayaraq gəmi idarəetmə sistemlərinə və müvafiq texniki heyətə ötürür. Bu sistemlərin uzaqdan idarə olunması sayəsində texniki heyət gəmidə baş verə biləcək ciddi elektrik nasazlıqlarının qarşısını vaxtında ala bilər. Bundan əlavə, PLC-lər gəmidəki elektrik paylama sistemlərini optimallaşdıraraq enerji istehlakını azaldır və kritik vəziyyətlərdə avtomatik ehtiyat enerji mənbəyinə keçidi təmin edir. Bu da gəminin ümumi enerji səmərəliliyini artırır və gözlənilməz nasazlıqların fəsadlarını minimuma endirir [10].

Gəmi siqnal qurğularında (navigasiya işıqları, duman siqnalları, rabitə sistemləri və s.) istifadə edilən PLC-lər aşağıdakı xüsusiyyətlərə malik olmalıdır:

1. Sərt mühitə davamlılıq (rütubət, duz, vibrasiya, temperatur dəyişiklikləri),
2. Beynəlxalq dəniz standartlarına uyğunluq (IEC 61162, SOLAS, DNV GL, ABS sertifikatları),
3. Yüksək etibarlılıq və təkrarlanan sistemlər,
4. Sənaye üçün optimallaşdırılmış kommunikasiya protokolları (Modbus, Profibus, CANopen, NMEA 2000).

Gəmi sistemlərində daha çox istifadə edilən PLC markaları və modelləri aşağıda verilmişdir:

**1. Siemens SIMATIC S7-1200/S7-1500 [3].**

- Dəniz mühiti üçün korroziyaya davamlı versiyaları mövcuddur.
- Profinet və Modbus RTU dəstəyi ilə digər sistemlərlə inteqrasiya üçün idealdır.



*Şəkil 1. SIMATIC S7-1200/S7-1500 tipli Siemens PLC lərin xarici görünüşü*

**2. Allen-Bradley (Rockwell Automation) ControlLogix/CompactLogix [4].**

- Yüksək performanslı nəzarət üçün istifadə olunur.
- Gəmi avadanlıqlarında əsasən DNV GL sertifikatlı variantları tətbiq edilir.



*Şəkil 2. CompactLogix 5370 tipl PLC lərin xarici görünüşü*

**3. Mitsubishi Electric MELSEC FX/Q Seriyaları [5].**

- Kiçik və orta ölçülü sistemlər üçün optimal həldir.
- Duzlu su və rütubətə davamlı korpus dizayna malikdir.



*Şəkil 3. Mitsubishi Electric MELSEC FX/Q Seriyalı PLC lərin xarici görünüşü*

4. Schneider Electric Modicon M340/M580 [6].
- Dənizdə enerji idarəetmə və siqnal sistemləri üçün uyğundur.
  - Redundancy və etibarlı kommunikasiya xüsusiyyətləri vardır.



*Şəkil 4. Schneider Electric Modicon M340/M580 tipli PLC lərin xarici görünüşü*

5. WAGO 750 Seriyası [7].
- Modular dizaynı və sərt şərait üçün uyğunluğu ilə seçilir.
  - Dəniz elektronikasında geniş tətbiq sahəsinə malikdir.



*Şəkil 5. WAGO 750 Seriyalı PLC lərin xarici görünüşü*

6. B&R Automation (ABB qrupu) [8].
- Real-time nəzarət və açıq arxitektura dəstəyi vardır.
  - Gəmi dinamikasına uyğun avtomatlaşdırma həlləri mövcuttur.



*Şəkil 6. ABB qrupun B&R Automation seriyalı PLC lərin xarici görünüşü*

Əlavə Xüsusiyyətlər:

- EMC uyğunluğu (elektromaqnit interferensiyaya davamlılıq),
- IP67/IP69K qorunma dərəcəsi (toz və suya davamlılıq),
- NMEA 0183/NMEA 2000 protokolları ilə inteqrasiya (cihazları üçün vacibdir).

Bu PLC-lər gəmilərdə siqnal sistemlərinin davamlı və təhlükəsiz işləməsini təmin edir, həmçinin beynəlxalq tələblərə cavab verir. Seçim zamanı “məişət” və “avadanlığın dənizə davamlılıq registri” sertifikatları prioritet olmalıdır.

**Nəticə.** Aparılmış təhlillərdən məlum olmuşdur ki, müasir gəmi elektrik avadanlıqlarının siqnal qurğularında PLC-lərin tətbiqi gəmilərdə təhlükəsizliyi artırmaqla yanaşı avtomatlaşdırmanı da təkmilləşdirmək üçün əvəzolunmaz texnologiyadır. Bu sistemlərin tətbiqi ilə gəmilərdə operativ nəzarət və idarəetmə təmin olunur, insan faktoru ilə bağlı risklər isə minimuma endirilir.

Dəniz nəqliyyatının daha da təhlükəsiz və səmərəli olması üçün gələcəkdə PLC-lərin tətbiq sahəsinin genişləndirilməsi təklif olunur.

#### Ədəbiyyat

1. Webb J.W., Reis R.A. Programmable logic controllers. Principle and applications. -5th Ed., Pearson Education Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 2003. - 460 p.
2. Петров И. В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / Петров И. В. под ред. В.П. Дьяконова. - М.: СОЛОН-Пресс, 2007. - 256 с.
3. <https://electronicslovers.com/2023/02/siemens-simatic-s7-1200-vs-simatic-s7-1500-comparative-study.html>

4. <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen-bradley/programmable-controllers/small-controllers/compactlogix-family.html>
5. <https://www.mitsubishielectric.com/fa/products/cnt/plcq/items/>
6. <https://www.tpk-success.com/15122393/modicon-m340>
7. <https://www.wago.com/global/automation-technology/discover-plcs/controllers-750>
8. <https://www.br-automation.com/sv/produkter/plc-systems/>
9. IMO Model Course 7.08. Electro-Technical officer Edition, IMO, London, 2014.
10. Правила технической эксплуатации судовых технических средств и конструкций. РД 31.21.30-97-М.: МОРКНИГА, 2016, 214 с.
11. SOLAS 74, Санкт-Петербург, АО “ЦНИИМФ” 2015.

**Summary**  
**ADVANTAGES OF CONTROLLING SHIP SIGNALING SYSTEMS USING PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS (PLC)**

*Sultanov E.F., Ismayilov S.S., Alijanov R.R.*

The article discusses the advantages control of ship signaling devices using programmable logic controllers (PLC). The article also mentions the use of PLCs in ship installations to improve electrical safety on ships, improve automation and minimize risks associated with ensuring operational control on ships.

**Key words:** ship, electrical equipment, signaling devices, control, programmable, logic controllers

**Резюме**  
**ПРЕИМУЩЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ СУДОВЫМИ СИГНАЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ (ПЛК)**

*Султанов Э.Ф., Исмаилов С.С., Алиджанов Р.Р.*

В статье рассматриваются преимущества управления судовыми сигнальными устройствами с помощью программируемых логических контроллеров (ПЛК). В статье также упоминается применение ПЛК в судовых установках для повышения электробезопасности на судах, улучшения автоматизации и минимизации рисков, связанных с обеспечением оперативного управления на судах.

**Ключевые слова:** судно, электрооборудование, сигнальные устройства, управление, программируемый, логические контроллеры

**SÜNI İNTELLEKT TEXNOLOGİYALARININ KOMPÜTER QRAFİKASINDA TƏTBİQİ VƏ ONLARIN EFFEKTİVLİYİNİN ARTIRILMASI**

**Əsgərova Gülnur Bəxtiyar**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[gdbw8rtw0@code.edu.az](mailto:gdbw8rtw0@code.edu.az)

**Xülasə** Bu tezisdə süni intellekt texnologiyalarının kompüter qrafikasında tətbiqi və bu texnologiyaların funksional imkanlarının optimallaşdırılması yolları ətraflı şəkildə araşdırılır. Generativ modellər – xüsusilə GAN, CNN və diffuziya modelləri – vizual kontentin yaradılması, redaktəsi və avtomatlaşdırılması sahələrində mühüm rol oynayır, məhsuldarlığı və yaradıcılığı nəzərəcərpacaq dərəcədə artırır. Tədqiqatda bu modellərin iş prinsipləri, tətbiq sahələri, üstünlükləri və gələcək inkişaf perspektivləri elmi əsaslarla təhlil olunur və qiymətləndirilir.

**Açar sözlər:** Süni intellekt, kompüter qrafikası, generativ modellər, maşın öyrənməsi, optimallaşdırma, qrafik dizayn

Kompüter qrafikası və süni intellekt müasir texnologiyaların mühüm istiqamətlərindəndir və onların inteqrasiyası innovativ nəticələr doğurur. Ənənəvi qrafik dizayn insan əməyinə əsaslınsa da, süni intellekt modelləri bu prosesi avtomatlaşdıraraq məhsuldarlığı artırır.

Başlanğıcda sadə vizual tapşırıqlarda istifadə olunsa da, bu gün dərin öyrənmə modelləri – xüsusilə GAN və CNN – kompleks təsvirlərin və animasiyaların yaradılmasında geniş tətbiq olunur. GAN-lar realistik və yaradıcı vizual kontent hazırlamaq imkanı verir, CNN-lər isə obyekt tanıma və redaktə proseslərini sürətləndirir [1].

Yeni nəsil diffuziya modelləri təsvirin mərhələli şəkildə yaradılması prinsipi ilə işləyir və “səsküylü” görüntülərdən başlayaraq realistik təsvirlər yaradır. Bu modellər daha stabil olmaqla yanaşı, geniş vizual variasiyalar təqdim edir və dizaynerlərə daha çox yaradıcılıq azadlığı verir.

Beləliklə, həm insan yaradıcılığı, həm də maşın öyrənməsi əsaslı dizayn prinsipləri əsasında orijinal məhsullar formalaşır. Effektivliyi artırmaq üçün model sıxlaşdırılması, transfer learning, GPU sürətləndirilməsi və geri bildirim əsaslı öyrənmə kimi optimallaşdırma üsulları tətbiq

olunur. Bütün bu texnoloji yeniliklərlə yanaşı, etik və hüquqi məsələlər də diqqətdən kənar qalmamalıdır. Sİ vasitəsilə yaradılan təsvirlərin plagiat halları, müəllif hüquqlarının pozulması və real görünən lakin saxta kontentin yayılması cəmiyyət üçün müəyyən risklər yaradır. Buxarımdan, texnologiyanın etik çərçivədə inkişafı və tətbiqi vacib şərt kimi çıxış edir.

#### **Nəticə**

Tədqiqat nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, süni intellekt texnologiyaları kompüter qrafikasının bütün mərhələlərinə – kontentin yaradılması, redaktəsi, animasiyası və optimallaşdırılmasına əhəmiyyətli təsir göstərmişdir. Generativ və dərin öyrənməyə əsaslanan modellər təkcə insan əməyini azaltmır, həm də keyfiyyət və sürət baxımından yeni imkanlar təqdim edir. Bununla belə, bu texnologiyaların daha effektiv və etik şəkildə tətbiqi üçün həm texniki, həm də hüquqi yanaşmalar təkmilləşdirilməlidir. Gələcəkdə bu istiqamətdə daha geniş tədqiqatların aparılması, həm innovasiya, həm də təhlükəsizlik baxımından vacibdir.

#### **Ədəbiyyat**

1. Imamguluyev, R. (2021). Application of Fuzzy Logic Model for Correct Lighting in Computer Aided Interior Design Areas. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1197. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51156-2\\_192](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51156-2_192).
2. Guo, Y. (2024). Advances and future development prospects of the cross-fusion of computer graphics and artificial intelligence. *Applied and Computational Engineering*, 77, 72-77..
3. Богомазова Н.Л. Роль искусственного интеллекта в искусстве XXI века // *Modern Humanities Success*. 2024. № 10. С. 58 – 64. DOI:10.58224/2618-7175-2024-10-58-64

#### **Summary**

### **APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN COMPUTER GRAPHICS AND INCREASING THEIR EFFICIENCY**

*Asgarova G.B.*

This thesis examines in detail the application of artificial intelligence technologies in computer graphics and also ways to optimize the functional capabilities of these technologies. Thereby generative models - in particular GAN, CNN and so diffusion models - play an important role in the fields of visual content creation, editing and automation, significantly increasing productivity and creativity. The study analyzes and evaluates the working principles, application areas, advantages and future development prospects of these models on a scientific basis.

**Keywords:** Artificial intelligence, computer graphics, generative models, machine learning, optimization, graphic design

#### **Резюме**

### **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКЕ И ПОВЫШЕНИЕ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

*Аскерова Г.Б.*

В диссертации подробно рассматриваются вопросы применения технологий искусственного интеллекта в компьютерной графике и пути оптимизации функциональных возможностей этих технологий. Генеративные модели, особенно генеративные сети (GAN), сверточные нейронные сети (CNN) и диффузионные модели, играют решающую роль в области создания, редактирования и автоматизации визуального контента, значительно повышая производительность и креативность. В исследовании на научной основе анализируются и оцениваются принципы работы, области применения, преимущества и перспективы дальнейшего развития этих моделей.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, компьютерная графика, генеративные модели, машинное обучение, оптимизация, графический дизайн.

## **YENİ NÖV 3D PRINTER MODELİNİN YARADILMASI**

### **Hacıyeva Könül Rramiz qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[konul.haciyeva.1974@mail.ru](mailto:konul.haciyeva.1974@mail.ru)

**Xülasə** Məqalədə yeni növ 3D printer modelinin yaradılmasının əhəmiyyəti və tətbiqi müzakirə olunmuşdur. Prosesin daha ətraflı təsviri analiz olunmuş, 3D printerlər istifadə olunan texnologiyaya görə, təyinatına görə təsnif edilmişdir. Müasir dövrdə üçölçülü çap (3D printer) üçölçülü kompüter modelinin yaradılmasının daha çox diqqət göstərilir. 3D printerlərin layihələndirilməsi prinsiplərinin analizi əsasında texnoloji göstəricilərinin yaxşılaşdırılması üçün yeni nəsil 3D printerin 3D dizayn modelinin mexaniki konstruktiv quruluş sxemi təqdim olunmuşdur.

**Açar sözlər:** 3D printer, additiv texnologiya, polimer sap, plastik sap əridicisi.

Hal-hazırda qurğuların üçölçülü sintezində təbəqəli yığılma - additiv texnologiyalardan geniş istifadə

olunmaqdadır və bu sinifə aid olan, ən sürətlə tədqiq olunan texnologiyalardan biri də 3D printerlərdir. Son zamanlar mühəndislərin yaratdıqları 3D printerlər müxtəlif materiallardan böyük sayda məhsullar çap etməyə imkan verir [1-6].

Məlumdur ki, üçölçülü çap (3D printer) üçölçülü kompüter modelinin əsasında fiziki obyektin qat-qat yaradılması prosesidir [7]. Prosesin daha ətraflı təsviri aşağıdakı kimidir: 3D çap - iş masasına sərf olunan materialların nazik təbəqəsini tətbiq etməklə, işçi masanı əmələ gələn təbəqənin hündürlüyünə endirərək və onu işçi masanın səthindən çıxarmaqla üçölçülü modellərin yaradılması ilə bağlı bir sıra təkrarlanan əməliyyatların yerinə yetirilməsidir.

Çap dövrləri davamlı olaraq bir-birini izləyir: əvvəlki qatın üzərinə növbəti qat tətbiq olunur, masa yenidən endirilir və bu proses 3D-printerin iş masası olan elevatorun (işçi masa) üzərində hazır model yaranana qədər davam edir. Obyektin istehsalında material qat-qat "artırıldı" üçün bu texnologiya eyni zamanda additiv texnologiya adlanır. Statistik məlumatlara görə, 2022-ci ilin statistikasına görə, artıq dünyada mindən çox müxtəlif 3D printer var və onların sayı çox sürətlə artır.

Bu cür cihazların üstünlükləri yüksək sürət, sadəlik və nisbətən aşağı qiymətdir. 3D printerlər əl əməyini tamamilə aradan qaldırmağa və "insan faktoru" ilə bağlı xətalara mümkünliyini aradan qaldıraraq bir neçə saat ərzində gələcək məhsulun modelini yaratmağa imkan verir.

Demək olar ki, 3D-çap texnologiyası artıq fərqli sahələrdə kütləvi istifadə üçün verdiyi mərhələyə çatıb. Bununla yanaşı, bu texnologiyanın bir neçə unikal xüsusiyyəti müsbət istiqamətdə müzakirələrə səbəb olub və istehsalatda texnoloji inqilabdan danışılmasına təkan verib.

Hələ ki, 3D-printerlər üçün qəti qərarlaşdırılmış bir təsnifat yoxdur, ancaq onlar istifadə olunan texnologiyaya görə, tipinə görə (sənayelər, laboratoriyalar və ev istifadəsi), çap edən başlıqların sayına görə, rəngliyə görə (tək və çox rəngli), material sayına görə (tək material və ya bir neçə material) təsniflənə bilər. Bundan əlavə, onlar təyinatına görə təsnif edilə bilər, məsələn, tikinti, qida sənayesində istifadə olunanlar və s.

3D printerləri texnoloji quruluşlarına, demək olar ki, işləmə və elementləri emal etmə üsuluna görə aşağıdakı növlərə bölmək olar.

1. Stereolitoqrafiya;
2. Toz materialların lazerlə əridilməsi;
3. Reaktiv modelləşdirmə texnologiyası;
4. Ərimiş polimer sapla qat-qat çap olunması;
5. Tozların yapışdırılması texnologiyası;
6. Təbəqə materiallarının laminasiyası;
7. Fotomaskadan keçirilmiş UB şüalanma;
8. Rəngli 3D-çap.

Bu üsulların hamısında qarşıya qoyulan məsələ 3D printerin modelinin proseslərə uyğun yaradılmasıdır və ya polimer sapın əriməsi ilə qatlar yaratmaqla hər hansı bir elementin 3D formasında yaradılmasıdır.

Əridilmiş polimer sapla qat-qat çap olunma (FDM) texnologiyasına aid olub, çap başlığının ABC plastik, mum və ya polikarbonat filamentlərini yarı maye vəziyyətə qədər qızdırmasından ibarətdir (qızdırma temperaturu idarə olunur) və yüksək dəqiqliklə materialı nazik təbəqələrlə 3D printerin işçi səthinə verir. Qatlar bir-birinə birləşdirilir və bərkidilir, hazır məhsul əmələ gəlir. Qatın qalınlığı 0,254-0,330 mm diapazondadır və dəqiqlik (müəyyən edilmiş ölçülərdən sapma) 1,00 mkm-dir. Bu texnologiya və onun müxtəlif varyasiyaları bir çox üstünlüklərə malikdir. Onlardan biri odur ki, mahiyyət etibarilə 3D detalın yaradılma prosesi adi struy çapını xatırladır [7].

Aparılan analizlər [1-6] göstərir ki, mövcud 3D printerlər yüksək texniki istismar parametrlərinə malik deyil, belə ki, yuvacılıq birləşdiricilərdən istifadə etməklə, vertikal və horizontal istiqamətləndiricilər vasitəsilə çap başlığının hərəkətinin dəqiqliyi işçi və bələdçi elementlərinin aşınması səbəbindən meydana gələn səhvlər və qeyri-dəqiqliyin müəyyənəndirilməsidir ki, bunun sayəsində qurğunun aşınma dövrü X, Y və Z [1-2] oxu istiqamətində hərəkətinin monitorinqini tələb edir. Aşınma varsa, masa üfüqi bir vəziyyətdə deyil, məhsulun formalaşması zamanı da dəyişə biləcək qeyri-müəyyən bir vəziyyətə (həm həcmdə, həm də istiqamətdə) meyilli olacaqdır. Başqa sözlə, aşınmanın olması məhsulun formalaşması zamanı masanın dayağının da titrəməsinə səbəb olur. Beləliklə, çap başlığı X oxu boyunca hərəkət edərkən hətta fəzada kiçik meyiletməsi, dayağın Y və Z oxları boyunca yerləşməsindən asılı olmayaraq, çap zamanı dayağın sap səthi və masa arasındakı məsafənin monoton olaraq dəyişməsinə səbəb olur. Üstəlik, bu dəyişikliyin dərəcəsi sap elementinin formasının nə qədər əyilmiş olmasına təsir göstərir və yuxarıda göstərilən əks təsirlər nəticəsində istehsal olunan çap elementinin görünüşü istehsal dəqiqliyinin itirilməsinə səbəb olur [1-6].

Bununla bərabər, müxtəlif məqsədlər üçün yaradılan yeni 3D printeri kütləvi məhsula çevirmək üçün istehsalçılar texniki və nəzəri problemlərin həllinə diqqət etməlidirlər. Yuxarıda qeyd olunan nöqsanla bərabər, 3D printerin plastik sap əridicisi-ucluğu texnoloji hərəkət trayektoriyasının planlaşdırılması və izləmə sisteminin təkmilləşdirilməsi, çap zamanı vibrasiyalar üçün idarəetmə mexanizminin də təşkili vacib məsələlərdəndir.

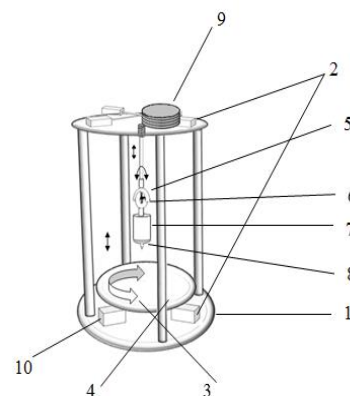
Qarşıya qoyulmuş məqsəd 3D printerlərin parametrlərinin, qurulma prinsiplərinin analizi əsasında göstəricilərinin yaxşılaşdırılması üçün yeni nəsil 3D printerin konstruksiyasının yaradılması və cəld işləməyə görə optimal stabilləşdirmə sisteminin qurulma xüsusiyyətləri araşdırılmaqla, vibrasiyaları nəzərə almaqla proqram idarəli stabilizasiya sisteminin qurulmasıdır.

Bununla əlaqədar tərəfimizdən yeni nəsil 3D printer təklif olunmuşdur [1- 5A] (şəkil 1). Şəkil 1-də hazırlanmış 3D printerin 3D dizayn modelinin mexaniki konstruktiv quruluş sxemi göstərilmişdir.

Şəkil 1-dən görüldüyü kimi 3D printer 1 - ümumi dayaqdan, 2 – dayaq sütunlarının bərkidici elementlərindən, 3 – aşağı yuxarı hərəkət imkanlı alt platformadan, 4 – hərəkət imkanlı alt platformasının və 7, 8 işçi orqanın yerdəyişməsinə və istehsal olunan elementin keyfiyyətini və plastik sap əridicisinin ucluğunun yerdəyişməsinə izləyən optik çevirici, 5 – kristavina, 6 – kristavinanın uclarına bərkidilmiş plastik sap əridicisini printerin işləmə diapozonu mühitində 360 dərəcə hərəkət etdirmək imkanlı mikromühərriklər, 7 – plastik sap əridicisi və 8 – ucluq (hər ikisi birlikdə işçi orqan), 9 – yanma üsulu ilə əriyən plastik sapın rulonu, 10 – printerin proqram təminatını və istehsal olunan elementin yaradılmasına nəzarəti təmin edən avtomatik idarəetmə sistemindən və digər köməkçi hissələrdən ibarətdir.

3D printer quraşdırılan zaman (şəkil) 3D printerin tətbiq sahəsi, funksiyasından və formasından, platforma və işçi orqanın çəkisindən asılı olaraq seçilir. Hər bir 3D printerin fərdi olaraq xidmət sahəsini nəzərə almaqla kombinə olunmuş proqramla idarəetmə alqoritmini yaratmaq lazım gəlir.

**Nəticə:** 3D printerlərin konstruksiyalarının analizi nəticəsində, təklif olunan model metodlar əsasında yeni 3D printerin modeli yaradılmış və işləmə prinsipi təqdim olunmuşdur.



**Şəkil.** 3D printerin modelinin mexaniki konstruktiv sxemi

## Ədəbiyyat

1. Həsənov, M.H. Hacıyeva K.R. Yeni nəsil 3D printer // Tətbiqi fizika və Energetikanın aktual məsələləri. II Beynəlxalq Elmi konfransı. Sumqayıt Dövlət Universiteti və Kazan Dövlət Energetika Universiteti. –Sumqayıt: –12-13 noyabr, –2020, –s.371-374.
2. Həsənov M.H., İbrahimov B.Q., İslamov İ.C., Tağıyev Ə.D., Hacıyeva K.R., Fətəliyev V.M. 3D printer // Azərbaycan Respublikası. İxtira 25.06.2023. № a2022014.
3. Гаджиева, К.Р. Исследование 3D принтера новой конструкции. // Псковского Государственного Университета II Международная научно-практическая конференция Современные инновации в технике и производстве, –Псков: –28-29 октября –2021.-с.31-33
4. Hacıyeva, K.R. Research of New Generation 3D printer Herald of the Azerbaijan Engineering Academy. The international science – technical journal. –Bakı: –2021. Vol.13. №4 –p.107-113.
5. Hasanov M.H., Farhadov V.Q., Hacıyeva K.R., Fataliyev,V.M., Huseynli F.S, Features Of Setting Up the Optimal Stabilization System for the New 3D Printer Due to Hastiness. II International Scientific Forum on Computer and Energy Sciences (WFCES-II 2021), 29 August, 2022, AIP Conference Proceedings
6. Hasanov M.H., Hacıyeva K. R., Atayev N. A., Najafov B. K. Development and Calculation of the Reliability of a 3D Printer. Towards Industry 5.0 Selected Papers from ISPR2022, Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer Nature, 6-8 October, 2022. p.201-210 <https://doi.org/10.1007/978-3-031-24457-5>.
7. <https://cyberleninka.ru/article/n/3d-pechat-kak-novoe-nauchno-tehnicheskoe-napravlenie>

## Summary

### DEVELOPMENT OF A NEW TYPE OF 3D PRINTER MODEL

*Hacıyeva K. R.*

The article discusses the importance and application of creating a new type of 3D printer model. A more detailed description of the process was analyzed, and 3D printers were classified according to the technology used and their purpose. In modern times, three-dimensional printing (3D printing) is increasingly used to create three-dimensional computer models. Based on

the analysis of the design principles of 3D printers, a mechanical structural diagram of a 3D design model of a new generation 3D printer was presented to improve its technological performance.

**Keywords:** 3D printer, additive technology, polymer filament, plastic thread melter

**Резюме**  
**РАЗРАБОТКА НОВОГО ТИПА МОДЕЛИ 3D-ПРИНТЕРА**  
*Гаджиева К. Р.*

В статье рассматриваются значимость и области применения создания нового типа модели 3D-принтера. Проведён детальный анализ процесса проектирования, а также выполнена классификация 3D-принтеров в зависимости от используемой технологии и области их применения. В настоящее время трёхмерная печать (3D-печать) всё шире используется для создания трёхмерных компьютерных моделей. На основе анализа принципов проектирования 3D-принтеров представлена механическая структурная схема 3D-модели 3D-принтера нового поколения, направленная на повышение его технологических показателей.

**Ключевые слова:** 3D-принтер, аддитивные технологии, полимерный филамент, плавитель пластиковой нити.

**BLACKCAT KODLAŞDIRMA PROQRAMI**

**Qədirova Turan Turqay qızı**  
*Heydər Əliyev adına Hərbi İnstitut, Bakı, Azərbaycan*  
[turanqdirova66@gmail.com](mailto:turanqdirova66@gmail.com)

**Xülasə.** Kibercinayətkarlıq müasir dövrün əsas problemlərindən biridir. Kibercinayətkarlıqla düzgün mübarizə aparmaq üçün ilk növbədə kibercinayətkarlar tərəfindən hansı proqramlar istifadə edilir və onların iş prinsipi necədir kimi suallara baxılmalıdır. BlackCat fenomeni bu sahədə yeni yaranmış və yarandığı andan etibarən öz sözünü demiş proqram paketidir. BlackCat yaranması istifadəçiləri yeni təhlükələrlə üz-üzə qoydu. Məqalədə BlackCat iş prinsipi yaratdığı təhlükələr və onlarla mübarizə üsullarından danışılacaqdır.

**Açar sözlər:** kibercinayətkarlıq, BlackCat, proqram paketi, şifrləmə

BlackCat qrupu (ALPHV və ya ALPHV kimi də tanınır) ilk dəfə 2021-ci ilin noyabr ayında özünü biruzə verdi və o vaxtdan kiber qəsb məkanında ən əhəmiyyətli təhlükələrdən birinə çevrildi [1-3].

BlackCat “qəsbçi proqram” kimi (yəni Ransomware-as-a-Service, RaaS) kimi fəaliyyət göstərən və texniki cəhətdən ən mürəkkəb RaaS təhlükələrindən biri hesab olunur. BlackCat ransomware Rust proqramlaşdırma dilində yazıldığından nəhəng “üçlü qəsb” strategiyasına malikdir və qarşı tərəfi daha çox təhlükə qarşısında qoyur. BlackCat istənilən qorunma dərəcəsinə malik olan proqramın təhlükəsizlik sistemini sıradan çıxarmaq iqtidarındadır. BlackCat növbəti əməliyyatlar ardıcılığı ilə fəaliyyət göstərir. Məlumat olan kompyutərə hücum edərək informasiyanı elə yerindəcə şifrləyir və daha sonra şifrlənmiş informasiyanı ələ keçirir. Növbəti mərhələdə qarşı tərəfə informasiyanı müəyyən pul məbləği qarşılığında satmağı təklif edir. Qarşı tərəf ödənişdən imtina etdiyi halda informasiya internetdə açıq istifadəyə veriləcəyi və yaxud geri dönüş olmadan məhv edilə biləcəyi haqqında məlumatlandırılır. Bununla yanaşı DDos sistemi vasitəsilə hücum həyata keçirilə bilər.

Ransomware-as-a-Service (RaaS) operatoru kimi BlackCat-ın özünə məxsus biznes modelidə mövcuddur. Qeyd etmək istərdim ki, Ransomware-as-a-Service Azərbaycan dilində **"Xidmət kimi Təklif olunan Fidiyə Proqramı"** deməkdir. Bu, kibercinayətkarların istifadə etdiyi bir iş modelidir. Burada texniki biliyi olmayan şəxslər belə, fidiyə proqramları ilə hücum etmək üçün hazır alətlərə sahib ola bilərlər. Belə ki, BlackCat digər kiber hücumçulara ondan istifadə etməklə hücumu həyata keçirməyə və qarşılığında isə əldə edilə gəlirin 70%-ni tələb etməyə imkan yaradır. Bu cür iş prinsipi hər iki tərəfi məmnun edir. Qeyd etdiyimiz üsulla bu sahədə heç bir təcrübəsi olmayan bir qruplaşma belə istənilən təşkilata kiperhücum edə bilər. Bu hücumlar böyük şirkətlərə edildiyini nəzərə alsaq təbii ki, burada milyonlarla gəlir əldə ediləcəkdir. Bir xüsusi halıda vurğulamaq lazımdır ki, təşkilat təhdid nəticəsində pul ödənişi etməklə cinayətkar bir təşkilatı maliyyələşdirilmiş olur. Məhz bu səbəbdən bəzən informasiyanı itirmək pul ödəməkdən daha üstün hesab edilir. BlackCat ödənişi bitkoin və ya kriptovalyuta vasitəsilə istəyir. Zərərçəkmiş şəxsin ekranında ödənişi necə həyata keçirtmək və deşifrəmə kodunu necə əldə etmək haqqında məlumat əks olunur. BlackCat elektron məktub və yaxud digər elektron ünvan vasitəsilə kompyutərə yüklənir və sistemdə sürətlə yayılır. Rust proqramlaşdırma dilində yazılması BlackCat digər proqramlardan fərqləndirən əsas xüsusiyyətdir. Bu proqramlaşdırma dili digər proqramlaşdırma dillərindən stabilliyi, sürəti, təhlükəsiz iş rejimi və digər xarakteristikaları ilə seçilir. Rust proqramlaşdırma dilinin bu xüsusiyyətləri onu kibercinayətkarların əlində yaxşı alətə çevirmişdir. Rust proqramlaşdırma dilinin bu imkanları Windows

əməliyyat sistemi ilə yanaşı Linux əməliyyat sistemində fəaliyyət göstərən təşkilatlarında təhlükəli vəziyyətlə qarşı qarşıya qoyur.

Bu günə kimi BlackCat tərəfindən 20-dən artıq təşkilat hücumu məruz qalmışdır. Bu təşkilatlar müxtəlif sahələrdə fəaliyyət göstərirlər. Bu da o deməkdir ki, BlackCat qarşısında heç bir əngəl tanımır. Səhiyyə, tikinti, logistika, moda, farmaseptika, texnologiya və sərə sahələrdə fəaliyyət göstərən təşkilatlar BlackCat tərəfdən hücumuna məruz qalmışdılar. Hücumu məruz qalmış ölkələr arasında İtaliya, İspaniya, Niderland, Fransa, ABŞ, Almaniya, Avstraliya və Böyük Britaniya vardır.

BlackCat 2023-cü ildə Fortune 500-də yer almış HenrySchein tibbi avadanlıqlar təşkilatının distributorlarına hücum etmişdir. ALPHV cinayətkar qruplaşması 35 TB informasiyanı ələ keçirmələri haqqında məlumat yaymışdılar. Danışıqların əvvəlində qəsbkarlar şifrəni təqdim etdilər və şirkət informasiyanın müəyyən bir hissəsini geri qaytara bildi. Sonra danışıqların pozulması nəticəsində geri qalan informasiya kiperhücumçular tərəfindən məhv edildi.

Bəs BlackCat vasitəsilə reallaşan kiber hücumlardan necə qorunmaq olar.

İlk növbədə təşkilatın işçiləri bu sahədə maarifləndirilməlidir. Təşkilatın hər bir işçisi informasiya texnologiyaları və kompüter biliklərinə malik olmalıdırlar. Bu şəkildə olan viruslar və kodlaşdırıcılar hədəf olan təşkilata adətən elektron poçt və mənzəyi bilinməyən link vasitəsilə göndərilir.

İşçilərin maarifləndirilməsi ilə işlər yekunlaşmır. Belə ki, təşkilat özündə onun üçün əhəmiyyətli olan informasiyanı qorumaq üçün müəyyən tədbirlər görməlidir. İnformasiya saxlanılarkən adi şəkildə deyil xüsusi kodlarla kodlaşdırılmış şəkildə saxlandıqda belə hücumlara daha az məruz qalmış olur. Belə ki, artıq kodlaşdırılmış informasiyanı internetə ümumi istifadəyə vermək hücumçular üçün əhəmiyyətsiz bir hal olacaqdır. Proqram təminatının daim yenilənməsində şirkətin hücumlara qarşı dayanıqlığını artırır. Yeni proqram təminatının yüklənməsi elektron verilənlər bazasını yeniləyir bu da öz növbəsində sistemin dayanıqlığını artırır. Daha bir müdafiə üsulu kiber mühafizə alətlərindən istifadə etməkdir. Qeyd etdiyimiz vasitələr kiperhücumlardan qismən müdafiə etsəldə bu alətlər vasitəsilə daha yüksək mühafizəni təmin etmək mümkündür. Bu vasitələrə Kaspersky Premium, Kaspersky VPN və Kaspersky Password Manager proqramlarını misal göstərə bilərik.

Kaspersky Premium bir çox kiberhücumlardan mühafizə etmək imkanına malikdir. Bu proqram paketi real vaxt rejimində fəaliyyət göstərir və daim yenilənir. Bu proqram paketini yeniləmək üçün xüsusi koda və yaxud əməliyyata ehtiyac yoxdur. Sadəcə olaraq internet şəbəkəsinə qoşulmuş olmaq kifayət edir. Yenilənmə proqram tərəfindən avtomatik olaraq icra edilir.

Kaspersky VPN istifadəçinin internetə girişini kodlaşdırır. Bu xüsusilə internetdən ümumi istifadə zamanı əhəmiyyətli hesab edilir.

Kaspersky Password Manager sizin online istifadəçi adlarınızın kodlarını və sosial şəbəkələrə giriş üçün istifadə etdiyiniz kodların qorunmasını təmin edir.

Məqalədə kiber cinayətkarların istifadə etdiyi BlackCat kodlaşdırma proqramından danışıldı. Qeyd etmək istərdim ki, informasiya texnologiyaları hər an inkişaf edir və bununla yanaşı kibercinayətkarlıqda inkişaf edir və hücumlar üçün yeni proqramlar yaradır. Məhz bu səbəbdən daim olaraq mühafizə vasitələrinin yenilənməsi zəruridir.

## Ədəbiyyat

1. <https://skillbox.ru/media/code/microsoft-rasskazala-o-novom-multiplatformennom-viruse-blackcat-napisannom-na-rust/>
2. [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F:%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D0%BA%D0%BE%D1%88%D0%BA%D0%B0\\_\(Blackcat,\\_ALPHV,\\_Noborus\)](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F:%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D1%88%D0%BA%D0%B0_(Blackcat,_ALPHV,_Noborus))
3. <https://www.alleycat.org/how-to-really-protect-black-cats-on-halloween-and-every-day/>

### Summary BLACKCAT ENCRYPTION PROGRAM Gadirova T.T.

Cybercrime is one of the main problems of our time. In order to effectively combat cybercrime, it is necessary to first consider such issues as what programs cybercriminals use and how they work. The BlackCat phenomenon is a new software package that has appeared in this area and has proven itself since its inception. The appearance of BlackCat has exposed users to new threats. The article will consider the threats associated with the principle of BackCat and methods of combating them.

**Keywords:** cybercrime, BlackCat, software package, encryption

**Резюме**  
**ПРОГРАММА ШИФРОВАНИЯ BLACKCAT**  
*Гадирова Т.Т.*

Киберпреступность – одна из главных проблем современности. Чтобы эффективно бороться с киберпреступностью, необходимо в первую очередь рассмотреть такие вопросы, как какие программы используют киберпреступники и как они работают. Феномен BlackCat – это новый программный пакет, появившийся в этой области и зарекомендовавший себя с самого момента своего появления. Появление BlackCat подвергло пользователей новым угрозам. В статье будут рассмотрены угрозы, связанные с принципом работы BackCat, и методы борьбы с ними.

**Ключевые слова:** киберпреступность, BlackCat, программный пакет, шифрование

**ÇİS-in ÇEVİK AVTOMATLAŞDIRILMIŞ SAHƏLƏRİNİN TEXNİKİ NƏZARƏT SAHƏLƏRİNİN LAYİHƏLƏNDİRİLMƏSİNİN KONSTRUKTOR TƏMİNATI**

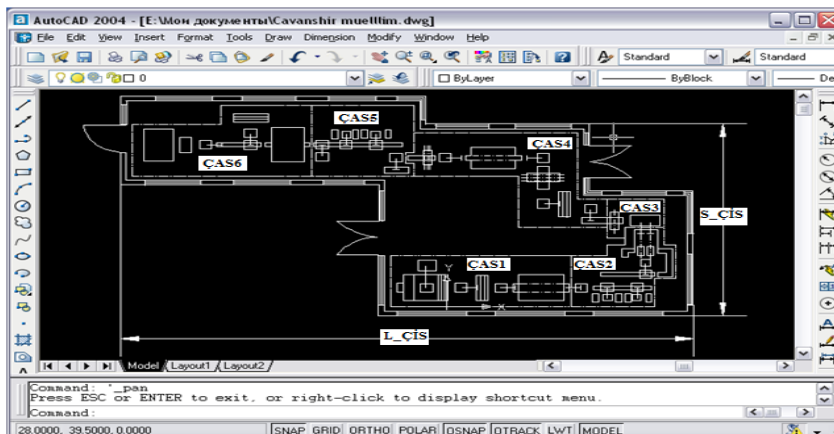
**Hüseynova Qənimə Hüseynqulu qızı**  
*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*  
[huseynovaqenime2023@gmail.com](mailto:huseynovaqenime2023@gmail.com)

**Xülasə.** Tətbiq obyektinin ümumi quruluş sxeminin konstruktor layihələndirilməsi prosesində 2-ölçülü təsvirinin işlənməsi AutoCad sistemində həyata keçirilmişdir. Çevik istehsalat sahəsində alüminium vərəqlərin tələb olunan temperatur rejimində qızdırılması üçün sobanın konstruksiyasının seçilməsi modeli işlənmişdir. Alüminium buxarlandırıcıların çevik istehsalat sahələrində hazırlanan məhsulun keyfiyyətinin texniki nəzarət sisteminin informasiya təminatı işlənilib.

**Açar sözləri:** idarəetmə sistemi, proqram təminatı, hidravlik preslər, çevik avtomatlaşdırılmış sahələr, düzləndirici

Alüminium buxarlandırıcıları ÇİS-inin avtomatlaşdırılmış istehsalat sahələrinin və onların texniki nəzarət sisteminin quruluş sxemlərinin mühəndis layihələndirilməsi mərhələsində layihəçinin vacib məsələlərdən biri əsas texnoloji avadanlıqların və istehsal modullarının lazımı tərkibinin formalaşdırılmasından, istehsal modullarında texnoloji əməliyyatların ardıcılığının planlaşdırılmasından və təyin edilməsindən, texnoloji xətdə məhsulun keyfiyyətinə texniki nəzarət prosesinin təşkilindən ibarətdir. Tətbiq obyektinin hər bir çevik istehsalat sahəsinin texnoloji xəttində texniki nəzarət vasitələrinin tiplərinin seçilməsi, lazımı mövqelərdə yerləşdirilməsi, texnoloji avadanlıqlarının əməliyyatlarına, sənaye robotlarının xidmətə funksiyalarına nəzarəti, avadanlıqların dəqiq işçi zonalarda yerləşdirilməsi və texnoloji prosesə uyğun texniki nəzarət prosesinin avtomatik idarə edilməsi üçün lokal və ümumi proqram təminatının işlənməsi tələb olunur.

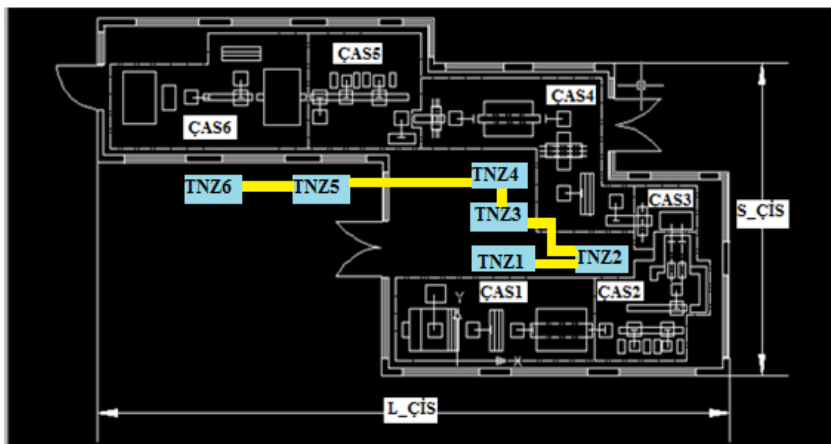
Tətbiq obyektinin ümumi quruluş sxeminin konstruktor layihələndirilməsi prosesində 2-ölçülü təsvirinin işlənməsi AutoCad sistemində həyata keçirilir (Şək. 1). Çevik avtomatlaşdırılmış sahələrində (ÇAS<sub>1</sub>, ÇAS<sub>2</sub>,.....,ÇAS<sub>6</sub>) əsas avadanlıqlar olan alüminium vərəqkəsən, pardaqlama dəzgahları, şəkil çəkmə, dəzgahı, qaynaq edici, düzləndirici, yuva açma və hidravlik preslərin texnoloji prosesi istiqamətində avtomatik nəqliyyat xəttində yerləşdirilir, təhlükəsiz işçi zonalarda kompanovka edilir [1,2].



**Şəkil 1.** AutoCAD bazasında alüminium buxarlandırıcıları ÇİS-in 2-ölçülü quruluş sxemi

Hər bir ÇASi – yə əsasən işçi zonalarda məhsulun keyfiyyətinə nəzarət sahəsinin müəyyən edilməsi üçün həmin sahələrin 2-ölçülü texniki nəzarət zonalarının (TNZi) sxemi qurulur (Şək. 2). Burada TNZ1 - alüminium vərəqin ölçülərinə nəzarət zonası; TNZ2 - alüminium vərəqin pardaqlanması dərəcəsinə nəzarət zonası; TNZ3- alüminium vərəqin soyuq qaynaq edilməsi dərəcəsinə nəzarət zonası; vərəqin

paradaqlanması dərəcəsinə nəzarət zonası; TNZ4- alüminium vərəqin qızdırılması və düzləndirilməsinə nəzarət zonası; vərəqin paradaqlanması dərəcəsinə nəzarət zonası; TNZ5- alüminium vərəqin kanallarının açılmasına nəzarət zonası; vərəqin paradaqlanması dərəcəsinə nəzarət zonası; TNZ6- alüminium vərəqin qurudulmasına və kəsilməsinə nəzarət zonası.



Şəkil 2. ÇASi-lərin texniki nəzarət zonaları (TNZi)

### Ədəbiyyat

1. Məmmədov C.F., Abdullayev G.S., Məmmədova Ş.T., Vəliyeva B.A., Popova O.İ. Çevik avtomatlaşdırılmış istehsal üçün idarəetmə sisteminin elementlərinin avtomatlaşdırılmış seçilməsi və layihələndirilməsi. Voronej Dövlət Texniki Universitetinin bülleteni, T 15, № 1, 2019, səh. 107-111.
2. Алиев, Р.А., Ахмедов, М.А., Мамедов Дж.Ф. Разработка инструментария автоматизированного проектирования системы управления ГПС. –М.: Мехатроника, Автоматизация, Управление, №9, 2005, -с. 27-35.

### Резюме

Конструкторское обеспечение проектирования зон технического контроля гибких автоматизированных участков ЧИС

Гусейнова Г.Х.

В процессе проектирования была выполнена разработка двухмерного представления общей конструктивной схемы объекта применения в системе AutoCad. Разработана модель выбора конструкции печи для нагрева алюминиевых листов до требуемого температурного режима в условиях гибкого производства. Разработано информационное обеспечение системы технического контроля качества продукции, выпускаемой на гибких участках производства алюминиевых испарителей.

**Ключевые слова:** система управления, программное обеспечение, гидравлические прессы, гибкие автоматизированные участки, выпрямитель

### Summary

Design support for the development of technical control zones of flexible automated sections of CIS

Huseynova G.H.

In the process of designing the general structural scheme of the application object, a 2-dimensional image was developed in the AutoCad system. A model for selecting the design of the furnace for heating aluminum sheets at the required temperature regime in the flexible production area was developed. Information support for the technical quality control system for products manufactured in the flexible production areas of aluminum evaporators was developed.

**Keywords:** control system, software, hydraulic presses, flexible automated areas, rectifier

## RƏQSİ İNTİQALIN TEMPERATURA GÖRƏ TƏSHİH OLUNMASI

### Qüdrətli İlhamə Rafiq qızı

Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan

[ilhama.gudratli@sdu.edu.az](mailto:ilhama.gudratli@sdu.edu.az)

**Xülasə** Alçaq mexaniki tezlikli rəqsı intiqalın temperatura görə təshih olunmasını tədqiq etməyə imkan verən Simulink modelinin sazlamaları müəyyən edilmiş, çıxış parametrlərinin təyin olunmuşdur. Elektromaqnit vibrotəsirləndiricinin dolağına ardıcıl qoşulmuş termorezistorun müqavimətinin çıxış xarakteristikasına təsirinə tədqiq edilməsi üçün qurulmuş modellər kompüterdə simulyasiya edilmiş və müvafiq qrafiklər qurulmuşdur. Tədqiqatlar bilavasitə termorezistorun özünün, eləcə də termorezistorun

əvəzətmə modeli üzərində aparılmışdır. Alınmış nəticələr rəqsi intiqalın temperatura görə təshih olunması üçün zəruri xarakteristikaların müəyyən edilməsi səmərəliliyini yüksəldir.

**Açar sözlər:** rəqsi intiqal, elektromaqnit vibrotəsirləndirici, temperatur, model, təshih

## Giriş

Elektromaqnit vibrotəsirləndiricilər hal-hazırda müxtəlif texnoloji proseslərin gedişində istifadə olunur. Digər intiqallardan iş prinsipinə görə daha mükəmməl olan elektromaqnit vibrotəsirləndiricilər vibrasiyalı konveyerlərdə, bunkerlər, qəlibləyici formalarda, praktiki olaraq bütün müasir elektromaqnit vibrotəsirləndiricilər (vibrointiqaallar) rezonansa yaxın rejimdə işləyir [5]. Dənəvər materialların xırdalanması və nəqlində, qablaşdırma zamanı dozalanması və çeşidlənməsində, maddələrin qarışdırılması və s. işlərdə geniş tətbiq edilən bu qurğulara istismar şəraiti və ətraf mühit təsir edir. Tədqiq edilən elektromaqnit vibrotəsirləndiricinin işinin səmərəliliyi həm onun bilavasitə yerinə yetirdiyi əməliyyatın səmərəliliyi, həm də enerji sərfinin optimal qiyməti ilə müəyyən olunur. Bunlar isə öz növbəsində avadanlığın faydalı iş əmsalından asılıdır [1,3]. Bütün bu göstəricilərin yüksəldilməsi məqsədilə yuxarıda göstərilən təsirlərin aradan qaldırılması, kompensasiya edilməsi üçün müvafiq hesablamalar əsasında təshih, sazlama, tənzimləmə və idarəetmə əməliyyatlarının yerinə yetirilməsini təmin edən qurğu və sistemlərin işlənilməsi zərurəti meydana çıxır.

Mikroprosessor və mikrokontrollerlərin, eləcə də proqramlaşdırılan məntiqi kontrollerlərin tətbiqi ilə qurğuların intellektuallaşdırılması imkanları genişlənmiş, texnoloji prosesin və qurğuların indiyədək nəzərə alınması çətin və mürəkkəb olan parametrlərinin təyin edilməsi və müvafiq idarəetmə-tənzimləmə, sazlama və təshihə təsirlərin realizə edilməsi məsələləri istiqamətində elmi-tədqiqat və eksperimental təcrübi işlərə yeni təkan vermişdir.

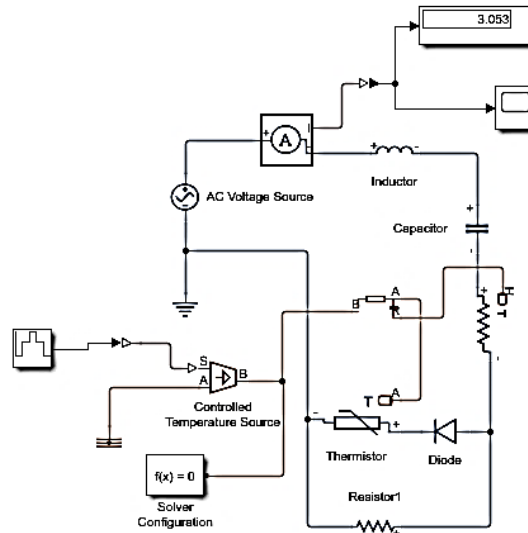
## Tədqiqat üsulları

Ətraf mühitin temperaturu dəyişdikcə elektromaqnitin, eləcə də lövbərlə elektromaqnit arasındakı ara məsafəsinin ölçüləri dəyişir, nəticədə həmin aralıqdan qapanan maqnit selinin miqdarı dəyişdiyinə görə rəqslərdə qeyri-stabillik yaranır ki, bu da vibrotəsirləndiricinin tətbiq edildiyi texnoloji prosesin normal gedişini poza bilər. Digər tərəfdən vibrotəsirləndirici iş prosesində yükdən və prosesin müddətindən asılı olaraq özü də qızır və yerləşdiyi mühitin temperaturunu dəyişir [6]. Nüvənin yerləşməsi və ölçülərindən, həmçinin işçi tezlik də amplituddan asılı olaraq bu dəyişmənin dinamikası sürətli olduqda rəqslərin amplitudunun dəyişməsi yenə də prosesə öz təsirini göstərəcəkdir. Bütün bunlar texnoloji prosesə qoşulmuş qurğunun iş alqoritminin mürəkkəbləşməsi və digər qurğularla qarşılıqlı iş prosesinin təşkil edilməsi problemlərinin yaranmasına səbəb olur. Rəqslərin amplitudunun temperatura görə müəyyən hədudlarda stabilliyini təmin etmək üçün elektromaqnit dövrəsinə termorezistor qoşulmuş, termorezistorun özü elektromaqnitin dolaqları üzərində yerləşdirilmişdir. Termorezistorun müqavimətinin elektromaqnitin qidalandığı dövrəyə, yəni elektromaqnitdən keçən cərəyana uyğun olması, yəni uzlaşdırılması üçün termorezistorların paralel birləşməsindən istifadə olunmuşdur.

Temperaturun dəyişməsinin vibrasiya qurğusunun rəqslərinin amplitudu və tezliyinə təsirini öyrənmək üçün Simulink mühitində modelləşdirmədən istifadə edilmişdir [2,4]. Əvvəlcə termorezistorsuz sxemin modeli tədqiq edilmişdir. Bu modelin struktur sxemi və rəqslərin zaman diaqramı şəkil 1 və şəkil 2-də təqdim olunmuşdur. Şəkil 2-dən görüldüyü kimi, yaranan rəqslər müəyyən keçid müddətindən sonra qərarlaşmış vəziyyətdə sabit amplituda malikdir. Burada kondensator və induktiv sarğaca ardıcıl qoşulmuş rezistor induktiv sarğacın, yəni vibrotəsirləndiricinin elektromaqnit dövrəsinin aktiv müqavimətini təmsil edir.

Yuxarıda qeyd edilən bütün məqamlar və amillər nəzərə alınmaqla tədqiqatın aparılması üçün zəruri olan dövrənin elektromaqnit vibrotəsirləndiricinin Simulink modeli şəkil 1-də təqdim olunmuşdur. Bu modeldə pilləvari ardıcıl impulslar generatoru, idarə olunan temperatur mənbəyi, diod, termistor, dəyişən cərəyan gərginlik mənbəyi, induktiv sarğac və kondensator, termal rezistor və adi rezistor, eləcə də modelləşdirməni təmin edən  $f(x)$  həlledici blokudur.

Termistor yarımkeçirici cihaz olub, bilavasitə dəyişən cərəyan dövrəsinə qoşula bilməz buna görə də ona ardıcıl olaraq diod qoşulmuşdur. Bu dövrəyə paralel qoşulan rezistor isə termistorun normal temperaturda böyük (1 kOm) olan başlanğıc müqavimətinin təsirini artırmaq üçündür.



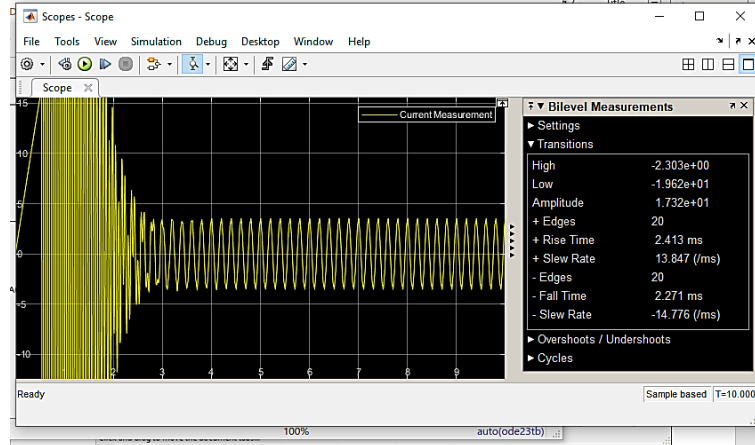
**Şəkil 1.** Termorezistorlu vibrotəsiləndiricinin Simulink modeli

Termistorun müqaviməti aşağıdakı qanunla dəyişir:

$$R(T) = R_0 \cdot e^{(B \cdot (\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}))} \quad (1)$$

burada  $T$  - dolağın temperaturu;  $R(T)$  – termistorun həmin temperaturda müqaviməti;  $T_0$  – başlanğıc temperaturda termistorun müqaviməti;  $R_0$  -  $T_0$  temperaturunda termistorun müqaviməti;  $B$  – tətbiq olunan termistor üçün verilmiş əmsaldır.

Simulink modelləşdirmə nəticələrini əks etdirən qrafiklər şəkil 2-də təqdim edilmişdir. Elektrik rezonansı rejimini tədqiq edilərkən həmin dövrdə induktivliyə və tutuma görə keyfiyyət əmsalları, həmçinin aktiv, reaktiv (induktiv və tutum) güclər də hesablanır və bu parametrlərin temperaturdan asılılığı və elektromaqnitin temperaturuna təsiri də təyin edilir.



**Şəkil 2.** Rəqslərin amplitudunun temperaturdan dəyişmə əyrisi

Bu model Simulink proqram paketində və [2]-də verilmiş tövsiyələr əsasında qurulmuşdur.

Temperaturun dəyişməsi ilə əlaqədar olaraq parametrlərin dəyişməsinin qarşısını müəyyən qədər almaq üçün sxemin elementlərini yerləşdiyi məkanın və elektromaqnitin özünün təbii və məcburi ventilyasiyasının təmin olunması məsələsini də qeyd etmək vacibdir.

Həm termorezistorun müqavimətinin, həm də dolağın üstünə bərkidilmiş termocütün çıxışında yaranan termoelektrik hərəkət qüvvəsinin temperaturdan asılı olaraq dəyişməsi, hər iki elementin yekun qeyri-xəttiliyini azaldaraq, vibrotəsiləndiricinin lövbərinin rəqslərinin tezliyinin temperatura görə təshih edilməsi üçün müvafiq idarəedici təsirin hasil edilməsini asanlaşdırır.

Elektromaqnit tipli vibrotəsiləndiricinin simulyasiya modelinin mövcud variantlarının əksəriyyəti qidalandırıcı gərginliyin əks əlaqə olmadan elektromaqnitin dolağına verilməsini nəzərdə tutur. Bu isə vibrotəsiləndiricinin yükü dəyişdiyi hallarda onun qidalandırıcı gərginliyin tezliyinə uyğun rəqs etməsinə zəmanət verməyə imkan vermir. İntellektual vibrotəsiləndirici qurğuda tezlik çeviricisinin hasil etdiyi



2. Герман-Галкин С.Г. Виртуальные лаборатории полупроводниковых систем в среде Matlab-Simulink: Учебник - СПб.: Издательство Лань, 2021, -448с.
3. Управление электромагнитным вибратором проточного влагомера сыпучих материалов / В.А. Ярош, А.В. Ивашина, В.Г. Жданов, Е.А. Логачева // Сельский механизатор. – 2022. – № 12. – с.22-23. – DOI 10.47336/0131-7393-2022-12-22-23.
4. Despotović Ž.V., Jović M. Mathematical model of electromagnetic vibratory exciter with incremental motion. INFOTEH-JAHORINA Vol.13, March 2014. –pp.91-96.
5. Ibadullaev M., Nuraliyev A., Yesenbekov A. Resonance electromagnetic exciter with nonlinear power supply. AIP Conference Proceedings 2552, 050036 (2023). <https://doi.org/10.1063/5.0133070>.
6. Simonov B.F., Kordubailo A.O., Grachev A.E., Leutkin A.A. & Pozdnyakova E.M. Thermal Processes in Electromagnetic Percussion Assembly of Downhole Pulse Vibration Exciter. Journal of Mining Science, volume 58, pp.1016–1023 (2022).

**Summary**  
**CORRECTION OF RESONANT TRANSFER ACCORDING TO TEMPERATURE**  
*Qudratli I.R.*

The Simulink model settings enabling the study of resonant transfer correction at low mechanical frequencies depending on temperature have been determined, and the output signal parameters have been specified. To investigate the effect of the resistance of a thermistor, connected in series with the coil of an electromagnetic vibroactuator, on the output characteristics, corresponding models were simulated on a computer and relevant graphs were constructed. The studies were conducted both on the thermistor itself and on its equivalent model. The obtained results improve the efficiency of determining the necessary characteristics for the correction of resonant transfer according to temperature.

**Keywords:** resonant transfer, electromagnetic vibroactuator, temperature, model, correction

**Резюме**  
**КОРРЕКЦИЯ РЕЗОНАНСНОГО ПЕРЕНОСА ПО ТЕМПЕРАТУРЕ**  
*Гудратли И.Р.*

Определены настройки модели Simulink, позволяющей исследовать коррекцию резонансного переноса при низких механических частотах в зависимости от температуры, а также заданы параметры выходного сигнала. Для изучения влияния сопротивления терморезистора, включенного последовательно с катушкой электромагнитного виброактиватора, на выходную характеристику были смоделированы соответствующие модели и построены графики. Исследования проводились как на самом терморезисторе, так и на его эквивалентной модели. Полученные результаты повышают эффективность определения необходимых характеристик для коррекции резонансного переноса по температуре.

**Ключевые слова:** резонансный перенос, электромагнитный виброактиватор, температура, модель, коррекция

## SÜNI İNTELLEKT VƏ İNFORMASIYA-ÖLÇMƏ TEXNOLOGİYALARININ ŞƏHƏRSALMA SİSTEMLƏRİNDƏ TƏTBİQİ: ELEKTRON TƏHLÜKƏSİZLİK VƏ ENERJİ DAYANIQLIĞI

**Orucəliyev Turan Mayıs qızı**  
*Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Bakı, Azərbaycan*  
[oruceliyevturan@gmail.com](mailto:oruceliyevturan@gmail.com)

**Xülasə.** Məqalədə süni intellekt və informasiya-ölçmə texnologiyalarının şəhərsalma sistemlərində tətbiqi geniş şəkildə araşdırılır. Xüsusilə elektron təhlükəsizlik və enerji dayanıqlılığı sahəsində bu texnologiyaların roluna diqqət yetirilir. Azərbaycanın “ağıllı şəhər” və “ağıllı kənd” layihələrində istifadə olunan rəqəmsal həllər, şəhər infrastrukturlarında təhlükəsizlik, enerji səmərəliliyi və davamlı inkişaf məqsədlərini daha effektiv şəkildə təmin etməyə kömək edir. Bu texnologiyalar urbanizasiya və enerji sistemlərinin optimallaşdırılmasında mühüm töhfə verir.

**Açar sözlər:** Süni intellekt, informasiya-ölçmə texnologiyaları, Şəhərsalma, Elektron təhlükəsizlik, Enerji dayanıqlılığı, Ağıllı şəhər.

### **Giriş**

Müasir dövrdə şəhərsalma sahəsində texnologiyanın rolu sürətlə artmaqdadır. Ənənəvi planlaşdırma metodları artıq urbanizasiya proseslərinin mürəkkəbliyini tam şəkildə əhatə edə bilmir. Bu səbəbdən, süni intellekt (Sİ) və informasiya-ölçmə texnologiyaları (İÖT) müasir şəhər idarəetməsinin ayrılmaz tərkib hissəsinə çevrilmişdir. Sİ və İÖT vasitəsilə şəhər infrastrukturunun vəziyyəti real vaxtda təhlil edilir, təhlükəsizlik və enerji sistemlərinin idarə olunması daha çevik və səmərəli şəkildə həyata keçirilir [2].

Azərbaycanda da bu sahədə ciddi addımlar atılır. Prezident İlham Əliyevin təşəbbüsü ilə işğaldan azad edilmiş ərazilərdə “ağıllı kənd” və “ağıllı şəhər” konsepsiyaları tətbiq olunur. Zəngilan rayonunun Ağal kəndi bu baxımdan nümunəvi layihədir. Burada süni intellektə əsaslanan nəzarət sistemləri, enerji

sərfiyyatını tənzimləyən İÖT qurğuları və təhlükəsizlik kameraları ilə təchiz olunmuş müasir infrastruktur yaradılmışdır [1]. Bu, Azərbaycan üçün həm texnoloji inkişaf, həm də dayanıqlı gələcəyin qurulması istiqamətində mühüm mərhələdir.

Günümüzdə şəhərlərin qarşılaşdığı əsas çağırışlardan biri də enerji təhlükəsizliyi və dayanıqlılığıdır. Əhalinin artması, sənayeləşmə və texnoloji inkişaf şəhərlərin enerji ehtiyaclarını daha da artırmışdır. Bununla yanaşı, iqlim dəyişikliyi və geosiyasi risklər də enerji dayanıqlığı məsələsini prioritetə çevirir. Belə şəraitdə şəhərlərin enerji ehtiyatlarını səmərəli idarə etmək və mümkün təhlükələrə qarşı cavab mexanizmlərini formalaşdırmaq üçün süni intellekt əsaslı yanaşmalar mühüm əhəmiyyət daşıyır [3].

Elektron təhlükəsizlik də bu sistemlərin əsas istiqamətlərindən biridir. Rəqəmsallaşmış şəhər infrastrukturunda məlumatların qorunması, kiberhücumların qarşısının alınması və strateji obyektlərin təhlükəsizliyi prioritet məsələlərdəndir. Azərbaycanın dövlət strategiyalarında da rəqəmsal təhlükəsizliyin təmin olunması xüsusi yer tutur. 2021-ci ildə qəbul olunmuş “2021–2025-ci illər üzrə Rəqəmsal Transformasiya Strategiyası” bu sahədə real mexanizmlərin yaradılmasını nəzərdə tutur [4].

Göründüyü kimi, süni intellekt və informasiya-ölçmə texnologiyalarının tətbiqi təkcə texnoloji inkişaf deyil, həm də təhlükəsizlik, enerji idarəçiliyi və davamlılıq baxımından strateji əhəmiyyət daşıyır. Xüsusilə Azərbaycan kimi inkişaf etməkdə olan ölkələr üçün bu texnologiyaların düzgün və məqsədyönlü tətbiqi şəhərsalma sistemlərinin keyfiyyətini artırmaqla yanaşı, milli təhlükəsizlik və enerji müstəqilliyi üçün də fundamental rol oynayır [5].

İnformasiya-ölçmə texnologiyaları şəhərin müxtəlif sahələrində (enerji sərfiyyatı, hava keyfiyyəti, su ehtiyatları və s.) sensorlar vasitəsilə məlumatların toplanmasını və ötürülməsini təmin edir. Bu texnologiyalar vasitəsilə şəhərlərdə ətraf mühitin vəziyyəti daim nəzarətdə saxlanılır, enerji və su itkiləri vaxtında aşkarlanaraq aradan qaldırılır [4].

Azərbaycanın “ağıllı kənd” layihəsində – xüsusilə Ağal kəndində – bu texnologiyaların bir çoxuna yer verilib. Məsələn, burada quraşdırılan hava monitorinq sensorları ətraf mühit göstəricilərini ölçərək mərkəzi sistemə ötürür və nəticələrə uyğun avtomatik tənzimləmə tədbirləri görülür [5].

Şəhərlərdə tətbiq olunan rəqəmsal texnologiyalarla yanaşı, elektron təhlükəsizlik məsələləri də ön plana çıxır. Ağıllı şəhərlər çoxlu sayda bağlı qurğular və məlumat bazalarına əsaslandığından kiberhücumlara qarşı müdafiə mexanizmləri xüsusilə əhəmiyyətlidir. Süni intellekt bu sahədə də faydalıdır – davranış modellərini təhlil edərək potensial təhlükələri əvvəlcədən aşkar edə bilir [8].

Azərbaycanın Rəqəmsal Transformasiya Strategiyasında kibereyanlıq məsələlərinə xüsusi yer verilib. Bu strategiya çərçivəsində milli informasiya sistemlərinin mühafizəsi üçün süni intellekt alqoritmləri tətbiq olunmaqla erkən xəbərdarlıq sistemləri qurulur [6].

Enerji dayanıqlılığı – şəhərlərin enerji tələbatını fasiləsiz, səmərəli və ekoloji cəhətdən təmiz şəkildə qarşılamaq qabiliyyəti – XXI əsrdə şəhərsalmanın prioritet istiqamətlərindən biridir. Süni intellekt bu sahədə enerji istehlakının optimallaşdırılması, bərpa olunan mənbələrin idarə olunması və enerji itkilərinin qarşısının alınmasında mühüm rol oynayır [7].

Azərbaycan bərpa olunan enerji potensialı baxımından zəngin ölkədir və bu imkanlardan ağıllı şəhər layihələrində istifadə olunması nəzərdə tutulur. Zəngilan, Laçın və Cəbrayıl rayonlarında qurulacaq şəhərlərin enerjiyə tələbatının əsasən alternativ mənbələr hesabına ödənməsi, süni intellekt əsaslı enerji idarəetmə sistemləri ilə dəstəklənəcəkdir [9].

Süni intellekt və informasiya-ölçmə texnologiyalarının şəhərsalma sistemlərinə inteqrasiyası, xüsusilə də elektron təhlükəsizlik və enerji dayanıqlılığı baxımından müasir şəhərlərin idarə olunmasında mühüm rol oynayır. Azərbaycanda bu sahədə müəyyən irəliləyişlər əldə olunsada da, mövcud potensialın tam reallaşdırılması üçün daha sistemli yanaşmalara ehtiyac var.

Təkliflər:

- Rəqəmsal şəhərsalma sahəsində milli strateji yol xəritəsinin hazırlanması.
- Süni intellekt üzrə kadr hazırlığı proqramlarının genişləndirilməsi.
- Ağıllı infrastruktur layihələrində informasiya-ölçmə texnologiyalarının tətbiqinin təşviqi.
- Elektron təhlükəsizlik sahəsində milli standartların yaradılması və tətbiqi.
- Regionlarda rəqəmsal savadlılıq və texnologiyaya çıxış imkanlarının artırılması.

Bu istiqamətlər üzrə fəaliyyətin gücləndirilməsi, Azərbaycanın şəhərsalma sahəsində rəqəmsal transformasiya və enerji təhlükəsizliyi hədəflərinə daha effektiv çatmasına töhfə verə bilər.

## Ədəbiyyat

1. Bayramov, N. (2021). Elektron təhlükəsizlik və kibermühafizə. Bakı: Müəllim
2. Əliyev, Ə. (2022). Rəqəmsal idarəetmənin əsasları. Bakı: Elm və Təhsil Nəşriyyatı

3. Hüseynov, T. (2023). Ağillı şəhərlər və dayanıqlı inkişaf: Azərbaycan nümunəsi. Bakı: Xəzər Universiteti Nəşriyyatı.
4. İqtisadi İslahatların Təhlili və Kommunikasiya Mərkəzi. (2023). "Azərbaycan 2030" – sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər. Bakı.
5. Kərimov, A. (2022). Enerji təhlükəsizliyi və rəqəmsal texnologiyalar. Bakı: Neft və Sənaye Universiteti.
6. Quliyev, Z. (2023). Kibertəhlükəsizlik və süni intellektin sintezi. Bakı: Nurlan.
7. Məmmədova, Ş. (2022). İnnovasiyalar və şəhər mühitində informasiya sistemləri. Gəncə: GDU Nəşriyyatı.
8. Nəqliyyat, Rabitə və Yüksək Texnologiyalar Nazirliyi. (2022). Rəqəmsal Transformasiya üzrə Yol Xəritəsi. Bakı.
9. Rəhimli, F. (2023). Şəhərsalma siyasətində rəqəmsallaşmanın rolu. Bakı: Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti.

#### Summary

### APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND INFORMATION-MEASUREMENT TECHNOLOGIES IN URBAN SYSTEMS: ELECTRONIC SECURITY AND ENERGY RESILIENCE

*Orucaliyev T.M.*

The article thoroughly explores the application of artificial intelligence and information-measurement technologies in urban planning systems. Special attention is given to the role of these technologies in ensuring electronic security and energy resilience. The digital solutions used in Azerbaijan's "smart city" and "smart village" projects help to more effectively achieve objectives related to security, energy efficiency, and sustainable development within urban infrastructure. These technologies make a significant contribution to the optimization of urbanization and energy systems.

**Key words:** Artificial intelligence, Information-measurement technologies, Urban planning, Electronic security, Energy resilience, Smart city

#### Резюме

### ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГОРОДСКИХ СИСТЕМАХ: ЭЛЕКТРОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭНЕРГОСТОЙКОСТЬ

*Оруджалиев Т.М.*

В статье всесторонне исследуется применение искусственного интеллекта и информационно-измерительных технологий в системах градостроительства. Особое внимание уделяется их роли в обеспечении электронной безопасности и энергетической устойчивости. Цифровые решения, используемые в проектах «умный город» и «умная деревня» в Азербайджане, способствуют более эффективному достижению целей безопасности, энергетической эффективности и устойчивого развития в городской инфраструктуре. Эти технологии вносят значительный вклад в оптимизацию урбанизации и энергетических систем.

**Ключевые слова:** Искусственный интеллект, Информационно-измерительные технологии, Градостроительство, Электронная безопасность, Энергетическая устойчивость, Умный город

### MEXANİKİ EMAL SEXİNİN İDARƏETMƏ SİSTEMİNİN MƏNTİQİ FUNKSIYALARININ MODELƏŞDİRİLMƏSİ

**Əliyeva Türkan Ədalət qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[turkanaliyeva128@gmail.com](mailto:turkanaliyeva128@gmail.com)

**Xülasə.** Mövcud problemin təhlil edilməsi üçün aktuallığı müəyyən edilmişdir. İşin məqsədi olaraq mexaniki emal çevik istehsal sisteminin (ÇİS) timsalında onun idarəetmə funksiyalarının adekvatlığını qiymətləndirmək üçün qrafik üsulla eksperimentlərin modelləşdirilməsi məsələsi qoyulmuşdur. Tətbiq obyektini olaraq mexaniki emal çevik istehsal sistemi seçilmiş və onun idarəetmə funksiyalarını tədqiqi üçün qraf nəzəriyəsindən istifadə olunmuşdur.

**Açar sözlər:** Çevik istehsal sistemi, Modeləşdirmə, Qrafik şəbəkə təsviri, Mexaniki emal sexi.

**İşin aktuallığı.** Mexaniki emal təyinatlı texnoloji proseslərin avtomatlaşdırılması üçün çevik istehsal sistemlərin (ÇİS) idarəetmə sisteminin eskiz və işçi layihələndirmə mərhələlərində mühüm elmi problemlərdən biri texniki obyektin idarəetmə sisteminin və avtomatlaşdırma sxeminin funksiyalarının kompüter eksperimentləri ilə tədqiq etməklə idarəetmə göstəricilərini yoxlamaqla qiymətləndirmək və eksperimentlərlə obyektlərin modelləşdirilməsi tələb olunur [1, 2].

**İşin məqsədi** – mexaniki emal ÇİS-in timsalında onun idarəetmə funksiyalarının adekvatlığını qiymətləndirmək üçün qrafik üsulla eksperimentlərin modelləşdirilməsidir.

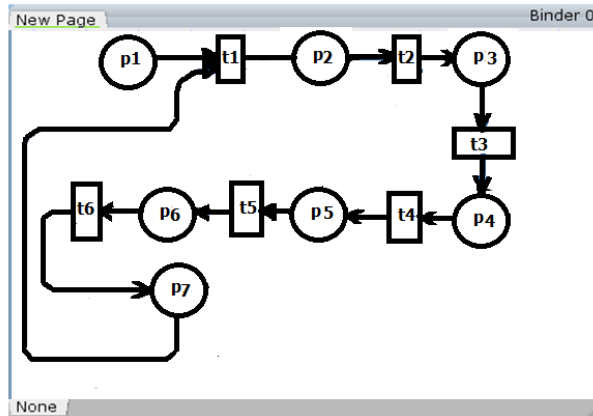
Mürəkkəb texnoloji proseslərin tədqiqini təmin etmək üçün səmərəli üsuldan biri qrafik modelləşdirmə üsulu hesab olunur [3, 4]. Tətbiq obyektini mexaniki emal ÇİS-ində dəzgahlara xidmət edən kran-manipulyatorun (KM) yerdəyişmə trayektoriyasını simulyasiya etmək üçün qrafik şəbəkənin  $P_i$  predikatları və  $T_i$  keçidləri təyin olunur:

Eksperiment əsasında tədqiq olunan ÇİS-in idarəetmə funksiyalarını əks etdirmək üçün hadisələrə ayıraq və onlara əsasən  $P_i$  ( $i = \overline{1,7}$ ) predikatlarını təyin edək (TD-in misalında):  $P_1$  – KM-in tutqacı tərəfindən polad pəstahın tutulması;  $P_2$  – KM-in yuxarı xətti hərəkəti;  $P_3$  – KM-in irəli xətti hərəkəti;  $P_4$  – KM-in aşağı xətti hərəkəti;  $P_5$  – KM tutqacının açılması;  $P_6$  – polad pəstahın torno dəzgahının işçi zonasında mövqeləşdirilməsi;  $P_7$  – pəstahın torno dəzgahında emalı.  $P_i$  predikatlara əsasən  $t_j$  ( $j = \overline{1,9}$ ) keçidləri müəyyən edilir:  $t_1$  – KM-in tutqacının qapılması;  $t_2$  – KM-in yuxarı xətti hərəkətinin icrası;  $t_3$  – KM-in irəli xətti hərəkətinin icrası;  $t_4$  – KM-in aşağı xətti hərəkətinin icrası;  $t_5$  – KM-in tutqacının açılması;  $t_6$  – torno dəzgahının işçi zonasında pəstahın mövqeləşdirilməsi;  $t_7$  – torno dəzgahının əməliyyatının icrası.

Bu zaman “şərt – hadisənin baş verməsi” prinsipi ilə produksiyalar aşağıdakı məntiqi ifadə və qraf-sxemlə (şək. 4.8) təsvir olunur:

$$P_1 \rightarrow t_1; P_2 \rightarrow t_2; P_3 \rightarrow t_3; P_4 \rightarrow t_4; P_5 \rightarrow t_5; P_6 \rightarrow t_6; P_7 \rightarrow t_1.$$

Şəbəkənin modelləşdirilməsi nəticəsində qraf – sxem qurulur (Şək. 1).



Şək. 1. ÇİS-nin idarəetmə funksiyalarının şəbəkəsinin qraf-sxemi

Nəzərə alsaq ki, predikatların sayı 7, keçidlərin sayı 7, onda giriş çıxış matrisləri aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$D^- = \begin{array}{c|ccccccc|c} P_1 & P_2 & P_3 & P_4 & P_5 & P_6 & P_7 & \\ \hline 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & t_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & t_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & t_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & t_5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & t_6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & t_7 \end{array} \quad (1)$$

$$D^+ = \begin{array}{c|ccccccc|c} P_1 & P_2 & P_3 & P_4 & P_5 & P_6 & P_7 & \\ \hline 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & t_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & t_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & t_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & t_5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & t_6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & t_7 \end{array} \quad (2)$$

## Ədəbiyyat

1. Seifoddini, Zhang Application of simulation and petri net modelling in manufacturing control systems. International Journal of Production Research, 34 (1) (2016), p. 191-207.
2. Basnet, Mize. Scheduling and control of flexible manufacturing systems: A critical review. International Journal of Computer Integrated manufacturing, 7 (6) (2024), p. 340-355.
3. Mac Carthy, Liu A new classification scheme for flexible manufacturing systems. International Journal of Production Research, 31 (2013), p. 299-309.
4. Han, McGinnis Flow control in flexible manufacturing minimization of stockout cost. International Journal of Production Research, 27 (2019), p. 701-715.

### Summary

#### MODELING THE LOGICAL FUNCTIONS OF A MECHANICAL PROCESSING WORKSHOP CONTROL SYSTEM

*Aliyeva T.Ə.*

The relevance of the work was determined by analyzing the existing problem. The aim of the work was to model experiments using a graphical method to assess the adequacy of its control functions on the example of a mechanical processing flexible manufacturing system (FMS). The mechanical processing flexible manufacturing system was selected as the object of application and graph theory was used to study its control functions.

**Keywords:** Agile manufacturing system, Modeling, Graphical network representation, Machining shop.

### Резюме

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИМ ОБРАБАТЫВАЮЩИМ ЦЕХОМ

*Əliyeva T.Ə.*

Анализируя существующую проблему, определяется актуальность работы. В качестве цели работы поставлен вопрос моделирования экспериментов графическим методом для оценки адекватности его функций управления на примере гибкой производственной системы (ГПС) механической обработки. В качестве объекта применения выбрана гибкая производственная система механической обработки, а для исследования ее управляющих функций использована теория графов.

**Ключевые слова:** Гибкая производственная система, Моделирование, Графическое сетевое представление, Механический цех.

## ELEKTRON TƏHLÜKƏSİZLİYİ VƏ İNFORMASIYA-ÖLÇMƏ TEXNİKASI

**Məmmədov Yusif Osman oğlu**

*Azərbaycan Dövlət Aqrar Universiteti, Gəncə, Azərbaycan*

[yusif0094@gmail.com](mailto:yusif0094@gmail.com)

**Xülasə.** Elektron təhlükəsizlik və informasiya-ölçmə texnikası, enerji sektorunda rəqəmsal əsrin tələblərinə uyğun idarəetmənin fundamental tərkib hissəsidir. Azərbaycanda enerji sisteminin rəqəmsallaşması istiqamətində atılan addımlar (yeni SCADA sisteminin qurulması, ağıllı sayğacların tətbiqi və s.) bu sahənin inkişafına xidmət edir. Bu prosesdə ən vacib məqam ölçmə və idarəetmə infrastrukturunun etibarlı və qorunan olmasıdır.

Nəticə etibarilə, güclü kiber müdafiə tədbirləri ilə müşayiət olunan müasir ölçmə-idarəetmə texnologiyaları Azərbaycanın enerji infrastrukturunun dayanıqlığını artıraraq, istehlakçıların fasiləsiz və keyfiyyətli enerji təchizatını təmin edəcək.

**Açar sözlər:** ölçü cihazları, avtomatika qurğuları, informasiya-ölçmə sistemləri, enerji sistemləri.

Müasir enerji sistemlərinin effektiv fəaliyyəti yalnız fiziki infrastrukturun deyil, həm də onu idarə edən elektron və informasiya sistemlərinin etibarlılığından asılıdır. **İnformasiya-ölçmə texnikası** dedikdə, enerji obyektlərində parametrlərin (güc, gərginlik, cərəyan, temperatur və s.) ölçülməsi, toplanması və ötürülməsi üçün istifadə olunan cihaz və sistemlər başa düşülür. Bu texniki vasitələr (sensorlar, ölçü cihazları, avtomatika qurğuları, SCADA sistemləri və s.) enerji sisteminin “sinir sistemi”ni təşkil edir [1]. **Elektron təhlükəsizliyi** isə bu informasiya-ölçmə sistemlərinin və ümumən rəqəmsal infrastrukturun təhlükəsizliyinin təmin edilməsidir. Elektron təhlükəsizlik həm kiberhücumların qarşısının alınmasını, həm də avadanlığın düzgün işləməsini təmin edən texniki və təşkilati tədbirləri əhatə edir. Enerji sektorunda rəqəmsallaşma artdıqca, kənar müdaxilələrə qarşı dayanıqlı və dəqiq işləyən informasiya-ölçmə texnologiyalarının rolu kritik əhəmiyyət qazanır.

Elektrik enerjisi sistemlərində informasiya-ölçmə texnikasının tətbiqi uzun illərdir ki, davam edir. Keçmişdə analog cihazlarla aparılan ölçmələr və nəzarət, indi tamamilə rəqəmsal texnologiyalarla əvəz olunmaqdadır. Məsələn, generasiya və yarımstansiyalarda quraşdırılan intellektual sensorlar gərginlik, tezlik, güc axını kimi parametrləri real vaxtda ölçərək dispetçer mərkəzlərinə ötürür. Bu məlumatlar əsasında enerji

sistemi operativ idarə olunur, yük paylanması, ehtiyat güclərin qoşulması və ya fəvqəladə hallarda şəbəkənin bölünməsi kimi qərarlar qəbul edilir. **SCADA** [2] (Supervisory Control and Data Acquisition) tipli dispetçer idarəetmə sistemləri isə yüzlərlə stansiya və xətdən məlumat toplayaraq vahid mərkəzdən nəzarəti mümkün edir. Azərbaycanda SCADA sistemi ilk dəfə 2000-ci illərin ortalarında tətbiq olunmağa başlanmış və 2005-2011-ci illərdə birinci mərhələ həyata keçirilmişdir [azernews.az](http://azernews.az). Lakin rəqəmsal texnologiyaların sürətlə yenilənməsi nəticəsində, mövcud SCADA avadanlıqlarının bir hissəsi köhnəlmiş və 2010-cu illərin sonunda yenidənqurma zərurəti yaranmışdır [azernews.az](http://azernews.az).

Hazırda “Azərenerji” ASC enerji sisteminin dispetçer idarəetmə SCADA mərkəzinin ikinci mərhələdə yenilənməsi üzrə genişmiqyaslı layihə icra edir. Bu layihə çərçivəsində əsas və ehtiyat dispetçer mərkəzləri, eləcə də 7 regional monitorinq mərkəzi qurularaq, yeni SCADA sistemi ilkin olaraq 21 elektrik stansiyasını və 70 yarımstansiyanı əhatə edəcək [azerenerji.gov.az](http://azerenerji.gov.az). Mühüm məqamlardan biri odur ki, yeni SCADA sistemi müasir proqram və avadanlıqla təchiz edilməklə yanaşı, kibər hücumlara qarşı da yüksək səviyyədə qorunacaq [azerenerji.gov.az](http://azerenerji.gov.az). Yəni, sistemin təhlükəsizlik arxitekturası elə qurulur ki, xarici müdaxilə cəhdləri vaxtında aşkarlanıb dəf edilsin. Məlumdur ki, son illərdə bir sıra ölkələrin enerji infrastrukturuna zərərverici kibər hücumlar edilib; Azərbaycanda da 2020-ci ildə enerji sektoruna qarşı SCADA sistemlərini hədəf alan bəzi kibertəhdidlər müşahidə olunub [securityweek.com](http://securityweek.com). Bu baxımdan, yeni dispetçer idarəetmə platformasının kibər dayanıqlı olması strateji əhəmiyyət kəsb edir. Layihə çərçivəsində İsveçrənin ABB şirkəti ilə bağlanmış müqavilə əsasında 1300 km uzunluğunda əlavə fiber-optik rabitə xətti çəkilir, rəqəmsal rabitə və telekommunikasiya avadanlıqları quraşdırılır [azerenerji.gov.az](http://azerenerji.gov.az). Nəticədə, sistem tam avtomatlaşdırılmış rejimdə çalışacaq, məlumat mübadiləsi sürətlənəcək və hətta qonşu ölkələrin enerji sistemlərinin SCADA-ları ilə real zamanda inteqrasiyaya imkan yaranacaq [azerenerji.gov.az](http://azerenerji.gov.az).

İnformasiya-ölçmə texnikasının təhlükəsizliyinin təminatı tək cə kibər hücumlarla mübarizə deyil, həm də ölçmə dəqiqliyinin, məlumatların bütövlüyünün qorunmasını əhatə edir. Məsələn, elektrik enerjisinin kommersiya uçotunda (istehlakçı sayğaclarında) dəqiq ölçmələrin aparılması və bu məlumatların mərkəzi bazaya ötürülməsi həm texniki, həm də iqtisadi təhlükəsizlik məsələsidir. “Ağıllı saygac”ların tətbiqi nəticəsində enerji oğurluğu və itkilərinin aşkarlanması asanlaşır, eyni zamanda istehlakçılar öz enerji sərfiyyatlarına dair dəqiq məlumat alırlar. Lakin bu sayğacların və əlaqəli şəbəkələrin də kibertəhlükəsizliyi düşünəlməlidir – çünki kibər müdaxilə ilə saygac göstəricilərinin saxtalaşdırılması, yaxud sistemin sıradan çıxarılması potensialı mövcuddur. Buna görə, enerji şirkətləri informasiya təhlükəsizliyi standartlarına (məsələn, ISO 27001) uyğun idarəetmə sistemləri qurur, şəbəkələrini firewall və digər müdafiə vasitələri ilə təchiz edir. Azərbaycanda enerji sektorunda elektron təhlükəsizlik məsələləri ilə Dövlət Xüsusi Rabitə və İnformasiya Təhlükəsizliyi Xidməti və digər səlahiyyətli qurumlar məşğul olur, operatorlar (Azərenerji, Azərişiq və s.) isə öz infrastrukturlarında mütəmadi audit və testlər aparırlar [3].

Enerji obyektlərində avtomatika və ölçmə cihazlarının dayanıqlığı həm də fiziki amillərə qarşı müqavimətinə bağlıdır. Yüksək gərginlikli avadanlıqların qoruma rele sistemləri elektron komponentlərə əsaslandığından, bu cihazların elektromaqnit maneələrə, istilik və rütubətə davamlı olması vacibdir. İnformasiya-ölçmə texnikasının fasiləsiz işləməsi üçün ehtiyat enerji təchizatı (UPS sistemləri), cihazların kalibrənməsi və periodik baxışı təmin edilir. Məsələn, yarımstansiyalarda mikroprosessor əsaslı rele mühafizəsi qurğuları quraşdırılıbsa, onların proqram təminatı müntəzəm yenilənməli və funksionallığı sınaqdan keçirilməlidir. Elektron təhlükəsizliyin bir digər tərəfi də operativ heyətin hazırlanmasıdır – yəni dispetçer və mühəndislər kibər insidentlər zamanı nə etməli olduqlarını bilməli, dövri təlimlər keçməlidirlər.

Qeyd etmək lazımdır ki, 2018-ci ilin iyul ayında Azərbaycanda baş vermiş genişmiqyaslı elektrik kəsintisi (Mingəçevir İES-də qəza nəticəsində ölkə boyu elektrik verilişinin dayanması) elektron nəzarət sistemlərinin təkmilləşdirilməsi zərurətini gündəmə gətirmişdi. Həmin hadisədən sonra aparılan təhlillər göstərdi ki, fəvqəladə halların qarşısının alınması üçün avtomatik rejimdə işə düşən daha güclü avadanlıqlar, real zamanda sistem vəziyyətini proqnozlaşdıran proqramlar lazımdır [4]. Hazırda SCADA yenilənməsi məhz bu ehtiyaclara cavab verməyə yönəlib – yeni sistem qəfil gərginlik düşmələrinin və avadanlıq nasazlıqlarının dərhal qarşısını alan avtomatika ilə təchiz olunur [azernews.az](http://azernews.az). Bunun sayəsində ötən illərdə şahidi olduğumuz böyük miqyaslı avariyların təkrarlanma riskinin minimuma endiriləcəyi gözlənilir.

Təhlükəsizlik və informasiya-ölçmə texnikası, enerji sektorunda rəqəmsal əsrin tələblərinə uyğun idarəetmənin fundamental tərkib hissəsidir. Azərbaycanda enerji sisteminin rəqəmsallaşması istiqamətində atılan addımlar (yeni SCADA sisteminin qurulması, ağıllı sayğacların tətbiqi və s.) bu sahənin inkişafına xidmət edir. Bu prosesdə ən vacib məqam ölçmə və idarəetmə infrastrukturunun etibarlı və qorunan olmasıdır [5]. Elektron təhlükəsizliyin təmin olunması sayəsində enerji şəbəkələrinin kənar müdaxilə olmadan, sabit və dəqiq işləməsi mümkün olacaq. Güclü kibər müdafiə tədbirləri ilə müşayiət olunan müasir ölçmə-idarəetmə texnologiyaları Azərbaycanın enerji infrastrukturunun dayanıqlığını artıraraq,

istehlakçılarının fasiləsiz və keyfiyyətli enerji təchizatını təmin edəcək. İnformasiya-ölçmə texnikasının inkişafı isə enerji sisteminin səmərəliliyini yüksəldir, itkiləri azaldır və operativ reaksiyanı sürətləndirir.

## Ədəbiyyat

1. Azərbaycan Respublikasının Enerji Təhlükəsizliyi Konsepsiyası – rəqəmsal təhlükəsizlik üzrə bəndlər (qəbul 2019).
2. Azərenerji ASC – “Azərenerji SCADA idarəetmə sistemini yeniləyir”, rəsmi press-reliz, 2019 [azerenerji.gov.az/azerenerji.gov.az](http://azerenerji.gov.az/azerenerji.gov.az).
3. Azernews – “Azerbaijan to radically reconstruct digital power management system”, 13.02.2019 (Trend informasiya agentliyi) [azernews.azernews.az](http://azernews.azernews.az).
4. SecurityWeek – “Hackers Targeting Azerbaijan Show Interest in SCADA Systems”, 2020 (kiberhücum xəbəri) [securityweek.com](http://securityweek.com).
5. Kaspersky ICS CERT – Azərbaycanca sənaye nəzarət sistemlərinə edilən kiberhücumlar barədə hesabat, 2020.

### Summary

#### ELECTRONIC SECURITY AND INFORMATION-MEASURING WORK TECHNOLOGY

*Mamedov Y.O.*

Electronic security and information and measurement technologies are fundamental components of energy sector management that meet the requirements of the digital era. The steps taken to digitalize the energy system of Azerbaijan (creation of a new SCADA system, introduction of smart meters, etc.) serve the development of this sector. The most important point in this process is the reliability and security of the measurement and control infrastructure.

Ultimately, modern measurement and control technologies combined with effective cyber security measures will increase the sustainability of Azerbaijan's energy infrastructure and ensure uninterrupted and high-quality energy supply to consumers.

**Key words:** measuring instruments, automation devices, information and measuring systems, energy systems.

### Резюме

#### ЭЛЕКТРОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ИНФОРМАЦИОННО ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ РАБОТА ТЕХНИКА

*Мамедов Ю.О.*

Электронная безопасность и информационно-измерительные технологии являются основополагающими компонентами управления в энергетическом секторе, отвечающими требованиям цифровой эпохи. Предпринимаемые шаги по цифровизации энергетической системы Азербайджана (создание новой системы SCADA, внедрение интеллектуальных счетчиков и т.д.) служат развитию этого сектора. Самым важным моментом в этом процессе является надежность и защищенность инфраструктуры измерения и управления.

В конечном итоге современные технологии измерения и контроля в сочетании с эффективными мерами киберзащиты повысят устойчивость энергетической инфраструктуры Азербайджана и обеспечат бесперебойное и качественное энергоснабжение потребителей.

**Ключевые слова:** измерительные приборы, устройства автоматики, информационно-измерительные системы, энергетические системы.

## ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ ИНЖЕНЕРНОГО ФАКУЛЬТЕТА СУМГАИТСКИГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

**Алиева Arzu Габиль гызы**

*Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан*

[arzu\\_081966@mail.ru](mailto:arzu_081966@mail.ru)

**Резюме.** В тезисе рассмотрены вопросы выбора технических средств, обеспечивающих эффективную работу корпоративной сети инженерного факультета СДУ, их точного размещения в необходимых зонах, их настройки, загрузки в систему соответствующего программного обеспечения и обеспечения безопасности. Для этого в деканате, учебной аудитории, на кафедрах и в инновационном центре инженерного факультета СДУ размещаются сервер, точки доступа, коммутаторы PoE и контроллеры инженерного факультета на базе устройств UniFi, а также создается и настраивается технический, программный и информационный интерфейс с АРМ этих учебных и научных подразделений.

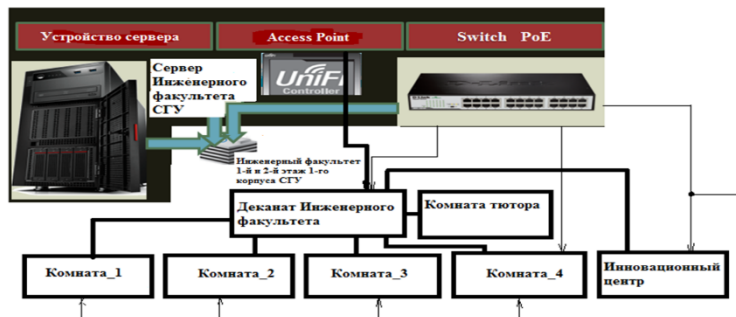
**Ключевые слова:** UniFi, автоматизированная корпоративная информационная система (АКИС), автоматизированное рабочее место (АРМ), адаптер PoE, программное обеспечение

Важнейшим условием повышения конкурентоспособности высших учебных заведений Азербайджанской Республики в международной системе образования является применение новых современных информационных и сетевых технологий. Использование корпоративных систем является приоритетным вопросом в сфере информационно-коммуникационных технологий,

поскольку такие системы сочетают в себе функции локальных и глобальных компьютерных сетей и различных программных информационных систем.

Для обеспечения эффективной работы корпоративной сети инженерного факультета СГУ необходимо подобрать технические средства, точно разместить их в необходимых местах, настроить, загрузить в систему соответствующее программное обеспечение и обеспечить безопасность.

Как видно из рисунка 1, инженерный факультет СГУ расположен на 1 и 2 этажах 1 корпуса СГУ. Сервер, точки доступа, коммутаторы PoE и контроллер инженерного факультета СГУ на базе инструментов UniFi



*Рис. Схема распределения технических средств корпоративной сети на инженерном факультете СГУ*

Создан технический, программный и информационный интерфейс с автоматизированными рабочими местами (АРМ) учебных и научных подразделений путем их размещения в деканате, учебной комнате, на кафедрах и в инновационном центре инженерного факультета. [1].

К схематическому размещению технических средств корпоративной сети с технологией UniFi на инженерном факультете важно соблюдать следующие требования:

1. Необходимое количество точек доступа UniFi должно обеспечивать высокоскоростное сетевое соединение со всеми учреждениями инженерного факультета через персональный компьютер, ноутбук и мобильный телефон;

2. Количество PoE-адаптеров (или коммутаторов на базе PoE), размещаемых в АРМ учреждений инженерного факультета, должно обеспечивать взаимное взаимодействие с деканатом факультета и всеми кафедрами, а также инновационным центром.

3. Контроллер UniFi должен быть установлен на сервере корпоративной сети инженерного факультета, обеспечивающем единую беспроводную связь между всеми учреждениями факультета.

4. В целях обеспечения высокой производительности и скорости между учреждениями факультета предусмотрен интерфейс маршрутизатора с контактными точками деканата, кафедр и инновационного центра и с контроллером сервера.

5. Постоянный источник питания должен обеспечивать работу АРМ инженерного факультета и корпоративной сети.

6. Порт LAN UniFi должен быть подключен к роутеру, а порт PoE – к адаптеру. К роутеру также необходимо подключить компьютер или ноутбук.

Порядок работы по установке системы расширения радиуса влияния корпоративной сети инженерного факультета СГУ средствами UniFi определяется следующими этапами [2]:

- Для установки и подключения точек доступа уровня 1 позиции доступа к корпоративной сети устанавливаются на наружном потолке или стене. Маршрутизатор и PoE-адаптер АРМ соединяются посредством сетевого кабеля. Индикаторы точек доступа, подключенных к источнику питания, имеют оранжевый цвет, поскольку они не подключены к току.

- На 2-м этапе выполняются операции по установке и настройке программного обеспечения контроллера UniFi.

Обмен информацией между деканатом, кафедрами и пользователями инновационного центра, включенными в корпоративную сеть инженерного факультета СГУ - деканом факультета, заведующими кафедрами, руководителем инновационного центра - обеспечивается на базе отдельных автоматизированных рабочих мест [3]. Система корпоративной сети, организованная в деканате инженерного факультета, кафедрах, их лабораториях, инновационном центре и его научно-исследовательских лабораториях, коммерческом блоке, рабочем месте администратора, коммутаторе и распределительном пункте, обеспечивающем беспроводной обмен информацией, работает на

основе 2-х стандартов: 802.11gn или 802.11n. В корпоративной сети инженерного факультета скорость передачи данных составляет до 100 Мбит/с.

Для обеспечения надежной работы корпоративной сети инженерного факультета технология UniFi в режиме прямого распределенного Wi-Fi удаленно реализует учебные, исследовательские и коммерческие процедуры факультета. С помощью Hotspot Manager на всех автоматизированных рабочих местах факультета пользователи мобильных телефонов и планшетов каждого пользователя могут обмениваться информацией независимо от своего местонахождения. Пользователи могут беспрепятственно работать внутри корпоративной сети, переходя из зоны влияния одной точки распространения в другую. Можно комфортно работать в браузерах без отключения на границах рабочих зон точек раздачи.

Для настройки UniFi используется специальное программное обеспечение. В этом случае достаточно наличия Adobe Flash в системе пользователя. Для тестирования используется Windows версии 3.2.10. Программное обеспечение UniFi защищено паролем администратора.

Один контроллер UniFi обслуживает распределительную точку деканата, кафедр и инновационного центра, расположенных на обоих этажах инженерного факультета. Каждая группа имеет определенные параметры конфигурации и управляется из отдельных учетных записей. Кроме того, предусмотрен мониторинг сетевой системы.

В процессе настройки автоматизированной корпоративной информационной системы инженерного факультета фиксируются наименование декана, преподавателя, кафедры и инновационного центра, точки распространения их АРМ, обновление подключается автоматически, осуществляется обработка, распространение и управление данными. операции настраиваются на сервере корпоративной сети факультета.

В АКИС инженерного факультета организованы группы беспроводной сети, принадлежащие деканату, кафедрам и инновационному центру. В группе предусмотрено до 4 зон беспроводной сети. Записываются конкретные SSID, шифрование (обеспечиваемое паролем WPA и сервером RADIUS), VLAN и другие параметры этих сетей.

На территории инженерного факультета СГУ точки распределения беспроводной корпоративной сети и их рабочие зоны определяются на базе контроллера UniFi. Определены размеры периметра территории факультета. Координаты расположения точек раздачи UniFi определяются в зависимости от должностей профессорско-преподавательского состава. Измерения расстояний между координатными позициями показаны на рисунке. UAP: UniFi на базе 802.11n MIMO может обеспечивать скорость -300 Мбит/с. Радиус беспроводного воздействия - принят 120 м.

## Литература

1. Əhmədov, M.A., Əliyeva, A.Q., Nəsirova, E.Ə., Nəsirov, F.T. Ali təhsil məktəbinin korporativ şəbəkəsinin planlaşdırılması və tədqiqi alqoritmi // İnşaatda informasiya texnologiyaları və sistemlərinin tətbiqi imkanları və perspektivləri. Beynəlxalq Elmi-praktiki konfrans, -Bakı: – 05 iyul - 06 iyul, -2018, - s. 110-112
2. Гаценко, О.Ю. Защита информации. Основы организационного управления/ О.Ю. Гаценко. – Москва: Сентябрь, -2001. - 228 с.
3. Гламаздин, Е. С. Механизмы управления корпоративными программами: информационные системы и математические модели / Е.С.Гламаздин, Д.А.Новиков, А.В.Цветков - Москва: Спутник+, -2001. – 159 с.

## Xülasə

### SUMQAYIT DÖVLƏT UNIVERSİTETİNİN MÜHƏNDİSLİK FAKÜLTƏSİNİN KORPORATİV ŞƏBƏKƏSİNİN TEXNİKİ VASİTƏLƏRİNİN SEÇİLMƏSİ

*Əliyeva A.Q.*

Tezisdə SDU-nun Mühəndislik fakültəsinin korporativ şəbəkəsinin səmərəli işini təmin etmək üçün texniki vasitələrinin seçilməsi, lazım olan ərazilərdə dəqiq yerləşdirilməsi, sazlanması və müvafiq proqram təminatının sistemə yüklənməsi və təhlükəsizliyin təmin edilməsinə baxılmışdır. Bunun üçün UniFi vasitələri əsasında SDU-nun Mühəndislik fakültəsinin serveri, Access Point-lar, Switch PoE-lər və kontroller Mühəndislik fakültəsinin dekanlığında, tyutor otağında, kafedralarında və innovasiya mərkəzində yerləşdirilərək, həmin tədris, elmi-tədqiqat bölmələrinin AİY-ləri ilə texniki, proqram və informasiya interfeysi qurularaq sazlanır.

**Açar sözlər:** UniFi, avtomatlaşdırılmış korporativ informasiya sistemi (AKİS), avtomatlaşdırılmış işçi yer (AİY), PoE adapteri, proqram təminatı

**Summary**  
**SELECTION OF TECHNICAL EQUIPMENT FOR THE CORPORATE NETWORK OF THE FACULTY OF  
ENGINEERING OF SUMGAYIT STATE UNIVERSITY**  
*Aliyeva A.G.*

The thesis considers the selection of technical equipment to ensure the efficient operation of the corporate network of the Faculty of Engineering of SDU, their precise placement in the necessary areas, configuration, loading of appropriate software into the system, and ensuring security. For this purpose, based on UniFi equipment, the server, Access Points, Switch PoEs and the controller of the Faculty of Engineering of SDU are placed in the dean's office, tutor room, departments and innovation center of the Faculty of Engineering, and a technical, software and information interface is established and configured with the AWWs of those educational and scientific research departments.

**Keywords:** UniFi, automated corporate information system (ACIS), automated workplace (AWW), PoE adapter, software

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ УСТРОЙСТВ ГРОЗОЗАЩИТЫ

<sup>1</sup>Снисаренко Артем Андреевич  
<sup>2</sup>Валиуллина Дилия Мансуровна  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань, Россия  
[kirilmefod12@gmail.com](mailto:kirilmefod12@gmail.com), [valiullinadiliya@mail.ru](mailto:valiullinadiliya@mail.ru)

В данной статье рассмотрены технологические инновации в электроэнергетике в области устройств грозозащиты. Изучены современные подходы к разработке и внедрению интеллектуальных систем, которые обеспечивают эффективную диагностику и мониторинг устройств, предназначенных для защиты от грозовых разрядов.

**Ключевые слова:** технологические инновации, электроэнергетика, интеллектуальные системы, грозозащита, инновации.

Интеллектуальные диагностические системы для устройств молниезащиты на линиях электропередачи представляют собой значительный прорыв в области управления электроинфраструктурой, направленный на повышение надёжности и безопасности сетей электроснабжения. Эти системы используют передовые технологии, такие как искусственный интеллект и машинное обучение, для мониторинга, диагностики и прогнозирования неисправностей УЗМ, которые имеют решающее значение для защиты от разрушительного воздействия молний [4]. Растущая сложность современных электросетей и увеличение частоты неблагоприятных погодных явлений повышают потребность в надёжных диагностических решениях, которые могут быстро выявлять проблемы и способствовать своевременному техническому обслуживанию. Внедрение интеллектуальных диагностических систем решает несколько проблем, связанных с традиционными методами обнаружения неисправностей, которые часто страдают от ограничений в плане точности и экономической целесообразности.

Эффективность систем молниезащиты на линиях электропередачи всё больше зависит от передовых методов диагностики и мониторинга. Молнии представляют значительную угрозу для энергетической инфраструктуры, поскольку разряды от облака к земле возникают на высоте в несколько километров над поверхностью, что делает традиционные меры защиты менее эффективными по мере приближения этих разрядов к земле [1]. Следовательно, для выявления и классификации неисправностей, вызванных ударами молнии, требуются сложные системы обнаружения неисправностей, которые могут анализировать формы напряжения и тока в режиме реального времени. Традиционные методы обнаружения неисправностей часто сталкиваются с такими проблемами, как сложность, экономическая неэффективность и склонность к ошибкам классификации. Эти проблемы привели к внедрению современных технологий, в том числе искусственного интеллекта и алгоритмов машинного обучения.

Интеллектуальные системы диагностики устройств молниезащиты на линиях электропередачи обладают множеством преимуществ, которые повышают эффективность работы, безопасность и надёжность в условиях воздействия окружающей среды. Эти системы используют передовые методы обработки данных для непрерывного мониторинга и оценки состояния устройств молниезащиты, обеспечивая их оптимальную работу и долговечность.

Одним из основных преимуществ интеллектуальных диагностических систем является их способность эффективно обнаруживать и диагностировать неисправности в устройствах молниезащиты. Эти системы используют сложные алгоритмы, в том числе методы глубокого обучения, для анализа больших массивов данных, собранных с помощью различных датчиков [3]. Это позволяет выявлять износ и повреждения, вызванные факторами окружающей среды, такими

как сильный ветер, дождь и колебания температуры, которые могут снизить эффективность молниезащитных устройств.

Благодаря многоэтапному процессу диагностики неисправностей эти системы могут не только обнаруживать сбои, но и изолировать и выявлять конкретные причины, что позволяет своевременно принимать меры по исправлению ситуации

Профилактическое обслуживание значительно улучшается благодаря интеллектуальным диагностическим системам, которые используют исторические данные и методы машинного обучения для прогнозирования потенциальных сбоев до их возникновения [5]. Такой упреждающий подход минимизирует время простоя и снижает затраты на обслуживание, гарантируя, что проблемы будут устранены до того, как они приведут к катастрофическим сбоям. Способность систем обучаться на основе прошлых эксплуатационных данных позволяет им распознавать закономерности и прогнозировать поведение в будущем, тем самым оптимизируя графики обслуживания.

Инвестиции в интеллектуальные системы диагностики могут привести к значительной экономии средств для организаций, управляющих линиями электропередачи. Сокращение расходов на техническое обслуживание и ремонт в сочетании с уменьшением времени простоя способствует благоприятной окупаемости инвестиций в системы молниезащиты. Кроме того, объекты, оснащённые этими системами, часто получают выгоду в виде более низких страховых взносов благодаря повышенному уровню безопасности, что ещё больше повышает экономическую устойчивость к ударам молнии [2].

Таким образом, применение искусственного интеллекта и машинного обучения позволяет значительно повысить точность и оперативность выявления неисправностей в системах грозозащиты. Интеллектуальные системы, основанные на алгоритмах анализа больших данных, нейронных сетях и методах предиктивной аналитики, способны не только обнаруживать текущие дефекты, но и прогнозировать возможные отказы, что способствует повышению надежности и безопасности энергетических систем. Перспективы дальнейших исследований связаны с интеграцией интеллектуальных систем диагностики с другими элементами умных энергетических сетей, что позволит создать единую экосистему для управления и контроля энергетических объектов.

## Литература

1. Елистратова, И. Б. Интеллектуальные системы в энергетике / И. Б. Елистратова // Современные проблемы телекоммуникаций : Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Новосибирск, 19–20 апреля 2023 года / Под редакцией А.В. Ефимова, Т.И. Монастырской. – Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2023. – С. 124-128. – DOI 10.55648/978-5-91434-084-8-2023-97-103. – EDN JFAXMR.
2. Интеллектуальная система управления распределенной энергетикой / Д. Р. Уразаев, Д. С. Брагин, Д. Д. Зыков, И. В. Пospelова // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2019. – № 1-2. – С. 98-101. – EDN SNIUYA.
3. Комплекс интеллектуальных средств для предотвращения крупных аварий в электроэнергетических системах / Н. И. Воропай, В. Г. Курбацкий, Н. В. Томин [и др.]. – Новосибирск : Федеральное государственное унитарное предприятие "Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр "Наука", 2016. – 332 с. – ISBN 978-5-02-038717-1. – EDN ZQISMZ.
4. Куликов, М. М. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ BIG DATA В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ / М. М. Куликов, М. А. Индюков // Вестник Южно-Российского государственного технического университета (НПИ). Серия: Социально-экономические науки. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 131-137. – DOI 10.17213/2075-2067-2023-1-131-137. – EDN FEUPLM.
5. Особенности расчета поражения молнией элементов воздушных линий электропередачи / И. Е. Калугина, А. Г. Темников, С. В. Гундарева, Л. Л. Черненко // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. – 2020. – № 6. – С. 46-52. – DOI 10.24160/1993-6982-2020-6-46-52. – EDN AMXLMC.

**Xülasə**  
**YÜKSƏK GƏRGİNLİKDƏN QORUNMA QURĞULARI ÜÇÜN INTELLEKTUAL DIAQNOSTİK SİSTEMLƏR**  
*Snisarenko A.A., Valiullina D.M.*

Bu məqalədə elektrik enerjisi sənayesində yüksək gərginlikdən qorunma qurğuları sahəsində texnoloji yeniliklər müzakirə olunur. Qoruyucu qurğuların effektiv diaqnostikası və monitorinqini təmin edən intellektual sistemlərin inkişafı və tətbiqi üzrə müasir yanaşmalar araşdırılmışdır.

**Açar sözlər:** texnoloji yeniliklər, elektrik enerjisi sənayesi, intellektual sistemlər, yüksək gərginlikdən qorunma, innovasiyalar

**Summary**  
**INTELLIGENT DIAGNOSTIC SYSTEMS FOR LIGHTNING PROTECTION DEVICES**  
*Snisarenko A.A., Valiullina D.M.*

This article discusses technological innovations in the electric power industry in the field of lightning protection devices. Modern approaches to the development and implementation of intelligent systems that provide effective diagnostics and monitoring of devices designed to protect against lightning discharges have been studied.

**Keywords:** technological innovations, electric power industry, intelligent systems, lightning protection, innovations.

**НЕЧЕТКИЕ ПРОБЛЕМЫ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

**Ахундзаде Тунар Ровшан оглы**  
*Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан*  
[tunar.axundzada@gmail.com](mailto:tunar.axundzada@gmail.com)

**Резюме.** В настоящее время во многих сферах нашей жизни порой возникают проблемы, для которых не существует четких алгоритмов и методов решения. В диссертации рассмотрены такие вопросы, как диагностика, планирование, прогнозирование, моделирование и управление образовательным процессом с целью привлечения к решению данных типов задач профессионалов (экспертов), имеющих большой опыт и знания в соответствующей области. При исследовании практических задач часто встречаются некорректно сформулированные задачи. Решение этих проблем было исследовано на основе нечеткой теории.

**Ключевые слова:** экспертные системы, нечеткость, интеллектуальные системы, математические модели, база знаний

В современную эпоху наблюдается стремительный процесс информатизации общества, то есть его переход от индустриального общества к информационному. Это означает, что информация теперь играет решающую роль в обществе. Персональный компьютер (ПК) — универсальное и недорогое средство обработки информации. Конечно, сравнительно невысокое быстродействие ПК и сравнительно небольшие размеры запоминающих устройств затрудняют их применение при решении некоторых задач, однако они вполне удовлетворяют потребности органов управления и распоряжения в основных областях их применения.

Во многих областях человеческой деятельности порой возникают проблемы, для которых не существует четких алгоритмов и методов решения. Для решения подобного рода вопросов необходимо привлечение профессиональных специалистов (экспертов), имеющих большой опыт и знания в соответствующей области. К таким вопросам относятся диагностика, планирование, прогнозирование, моделирование и управление образовательным процессом. Подобные вопросы обычно возникают в медицине, юриспруденции, экономике, экологии, различных областях науки и техники. Размытость — основа интеллектуальности и реальности. Поэтому его реализация в InS имеет важное значение [1].

Для решения вышеперечисленных задач разрабатывается и внедряется комплекс специальных программ, называемых системами поддержки принятия решений. Включает в себя специальную базу знаний, содержащую необходимую информацию об области, к которой относятся решаемые задачи, и блок для составления выводов. Блок вывода, ключевой элемент экспертных систем, позволяет решать задачи с нечеткими входными данными с использованием базы знаний.

Проблемы, с которыми сталкивается человечество в различных областях знаний, по своей природе чрезвычайно сложны и многогранны. Для их решения не всегда возможно использовать точные и четко определенные математические модели и алгоритмы. В целом, очень сложно выразить их вклад математически и дать ему аналитические формулы [2].

Для математического описания неточностей, возникающих при решении таких задач, иными словами, для формулировки нечетких задач, используется теория нечетких множеств, предложенная

известным американским ученым азербайджанского происхождения Люффи Заде. Эта теория быстро нашла применение в различных областях науки и техники и привела к большим изменениям.

Теория Л. Заде легла в основу интеллектуальных информационных систем, используемых в различных областях: от систем управления до освоения космоса, в том числе экспертных систем, роботов и т.д. Это привело к ее созданию и внедрению.

Нечетко сформулированные вопросы зачастую характеризуются наличием ряда существенных неточностей. К этим неточностям относятся следующие:

- Нечеткость поставленных целей, которые должны быть достигнуты путем решения задач - этот фактор характеризует проблему с точки зрения многокритериальности;
- Неточность, вытекающая из сути вопроса;
- Неопределенность влияющих факторов, окружающей среды, действий «противника» или союзника.

При исследовании практических задач часто встречаются некорректно сформулированные задачи [3]. Этот тип проблемы характеризуется одним из следующих признаков:

- Единственное, чего не хватает, это решения;
- Нестабильность и неточность объектов исследования;
- Отсутствие классического решения.

Для решения таких задач необходимо использовать информацию о решении, имеющуюся до проведения эксперимента. С помощью этой информации устанавливается приближенное решение поставленной задачи. От выбора и использования этой информации во многом зависит достижение желаемого результата.

## Литература

1. Y. Kwon, E. Kim, ve N. Lee, “Key factors on software reuse of e-Government common ramework”, Int. Conf. Adv. Commun. Technol. ICACT, c. 2015-Augus, ss. 774–781, 2015.
2. G. Kang, S. Mun, ve Y. Kwon, “Development of e-Government Standard Framework through open innovation strategy”, 14th Int. Conf. on. IEEE, sayı 1, ss. 1117–1122, 2012.
3. G. Kang, Y. Kwon, ve E. Kim, “An Analysis of e-Government Standard Framework (eGovFrame ) and Its Effects”, ss. 860–868, 2013.

## Xülasə

### İNTELLEKTUAL SİSTEMLƏRDƏ QEYRİ-SƏLİS PROBLEMLƏR

*Axundzadə T.R.*

Hal-hazırda həyatımızın bir çox sahələrində bəzən elə məsələlər meydana çıxır ki, onların həlli üçün dəqiq alqoritmlər və üsullar mövcud olmur. Tezisdə bu tip məsələləri həll etmək üçün müvafiq sahədə böyük təcrübəyə və biliyə malik peşəkar mütəxəssisləri (ekspertləri) cəlb edilməsi üçün diaqnostika, planlaşdırma, proqnozlaşdırma, modelləşdirmə və tədris prosesinin idarə edilməsi kimi məsələlərə baxılmışdır. Praktiki problemlərin tətbiqi zamanı çox vaxt qoyuluşu qeyri-korrekt olan məsələlərə rast gəlinir. Bu məsələlərin həllini qeyri-səlislik nəzəriyyəsinə əsaslanaraq araşdırılmışdır.

**Açar sözlər:** ekspert sistemləri, qeyri-səlislik, intellektual sistemlər, riyazi modellər, biliklər bazası

## Summary

### FUZZY PROBLEMS IN INTELLECTUAL SYSTEMS

*Akhundzade T.R.*

Currently, in many areas of our life, sometimes problems arise for which there are no precise algorithms and methods for their solution. In order to solve such problems, the thesis considers issues such as diagnostics, planning, forecasting, modeling and management of the educational process in order to involve professional specialists (experts) with extensive experience and knowledge in the relevant field. During the study of practical problems, problems with incorrect formulation are often encountered. The solution of these problems was investigated based on the theory of fuzziness.

**Keywords:** expert systems, fuzziness, intellectual systems, mathematical models, knowledge base

## ВИБРАЦИОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

**Гусейнов Т.К., Гаджиев З.Р., Дунямалыев А.А., Насирова И.М.**

*Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан*

[turqay.huseynov@sdu.edu.az](mailto:turqay.huseynov@sdu.edu.az)

**Резюме.** Обосновывается возможность создания вибрационного преобразователя температуры. В качестве чувствительного элемента предлагается использовать закрепленную в двух опорах металлическую ленту, совершающую близкие к собственной вынужденные колебания под воздействием периодической внешней силы. Показано, что частота

собственных затухающих колебаний ленты в частности зависит и от натяжения ленты. Следовательно, изменение натяжения ленты в результате изменения температуры окружающей среды вызовет изменение его частоты колебаний. Таким образом, измеряя частоту колебаний ленты можно судить о температуре окружающей среды.

**Ключевые слова:** вибраторный, преобразователь, температура, металлическая лента, собственные колебания

При проектировании датчиков неэлектрических величин при прочих равных условиях предпочтение отдается измерительным преобразователям с частотным выходным сигналом [1]. В данной работе обосновывается возможность создания одного из таких датчиков – вибраторного преобразователя температуры.

Рассмотрим колебательный процесс в напряженной металлической ленте, который может возникнуть в результате периодического или непериодического внешнего воздействия. При этом инерционные элементы ленты начинают совершать колебания, описываемые следующим уравнением [2]:

$$m\ddot{x} + k\dot{x} + cx = f(t)$$

где  $x$  – отклонение элемента колеблющейся ленты;  $m$  – масса инерционного элемента;  $k$  – коэффициент пропорциональности между скоростью перемещения элемента и силой сопротивления его движению;  $c$  – коэффициент жесткости;  $f(t)$  – возмущающая сила.

При внезапном приложении и последующем устранении внешнего воздействия возникают затухающие колебания ленты с частотой

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$$

$\omega_0$  – частота собственных незатухающих колебаний;  $\alpha = k/2m$  – коэффициент затухания.

Механические колебательные системы, как правило, обладают высокой добротностью, в связи с чем  $\omega_0 \gg \alpha$  и следовательно,  $\omega \approx \omega_0$ . При периодическом воздействии на ленту возмущающей силы с частотой, близкой к частоте собственных колебаний возникают незатухающие колебания, амплитуда которых достигает максимально возможного значения. Если укрепить ленту на двух опорах, находящихся друг от друга на расстоянии значительно превышающим ее ширину, то частота собственных затухающих колебаний может определено следующим выражением [3]:

$$\omega_0 = \frac{\pi}{l} \sqrt{\frac{Nl}{m}} \quad (3)$$

где  $N$  – сила натяжения ленты.

Изменение температуры окружающей ленты среды вызовет изменение натяжения ленты, а следовательно и частоты его собственных колебаний. Таким образом, измеряя частоту собственных колебаний ленты можно контролировать температуру окружающей среды.

## Литература

1. Агейкин, Д.И. Датчики контроля и регулирования / Д.И. Агейкин, Е.Н. Костина, Н.Н. Кузнецова. – М.: Машиностроение, 1965. – 628 с.
2. Бабаков И.М. Теория колебаний. – М.: Гостехиздат, 1958–628 с.
3. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.

## Xülasə

### ƏTRAF MÜHİT TEMPERATURU VİBRASIYA ÇEVİRİCİSİ

Hüseynov T.K., Hacıyev Z.R., Dünyamaliyev A.Ə., Nəsirova İ.M.

*Vibrasiyalı temperatur çevricisinin yaradılmasının mümkünlüyü əsaslandırılır. Həssas element kimi dövrə xarici qüvvənin təsiri ilə məxsusi tezliyə yaxın olan tezliklə rəqs edən iki dəyər qədər bərkidilmiş metal zolaqdan istifadə etmək təklif olunur. Göstərilir ki, zolağın məxsusi sönən rəqslərinin tezliyi xüsusilə zolağın gərilməsindən asılıdır. Deməli ətraf mühitin temperaturunun dəyişməsi nəticəsində zolağın gərilməsinin dəyişməsi onun rəqslər tezliyinin dəyişməsinə gətirib çıxaracaq. Beləliklə, zolağın rəqslər tezliyini ölçərək ətraf mühitin temperaturunu müəhkimə etmək olar.*

*Açar sözlər: vibrasiyalı, çevrici, temperatur, metal zolaq, məxsusi rəqslər*

## Summary

### VIBRATION AMBIENT TEMPERATURE CONVERTER

Huseynov T.K., Hacıyev Z.R., Dünyamaliyev A.A., Nasirova I.M.

The possibility of creating a vibration temperature transducer is substantiated. It is proposed to use a metal tape fixed in two supports as a sensitive element, which performs forced oscillations close to its own under the influence of a periodic external

force. It is shown that the frequency of the natural damped oscillations of the tape depends in particular on the tension of the tape. Consequently, a change in the tension of the tape as a result of a change in the ambient temperature will cause a change in its oscillation frequency. Thus, by measuring the frequency of oscillations of the tape, one can judge the ambient temperature.

**Key words:** vibration, sensor, temperature, metal tape, natural oscillations

## ПОДСЧЁТ ДИСКРЕТНЫХ И АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Галятдинов Раиль Рамилевич

Гарифулин М.Ш.

*ФБГОУ ВО КГЭУ, Казань, Республика Татарстан, Россия*

**Резюме.** Сигналы представляют собой материальные носители информации, которые осуществляют передачу данных от источника к потребителю. Они могут существовать в физической форме или быть выражены при помощи математических моделей.

Существуют три основных типа сигналов: аналоговые, дискретные и цифровые, которые применяются для передачи и обработки информации. Эти типы сигналов различаются по способу представления данных, своим физическим характеристикам и областям применения.

Физическая величина может изменяться по-разному: она может быть постоянной, если принимает только одно фиксированное значение; дискретной, если может принимать два или более фиксированных значений; или аналоговой, если способна принимать бесконечное множество значений. Все эти величины можно перевести в цифровую форму.

**Ключевые слова:** сигналы, дискретные, аналоговые, пуск, устройство, плавный, преобразователь частоты, регуляторы.

**Введение.** Развитие технологий обработки сигналов, как аналоговых, так и дискретных, оказало значительное влияние на различные отрасли, включая связь, медицину, развлекательную индустрию и даже искусственный интеллект. Современные системы связи, например, основываются на сложных методах обработки сигналов, таких как модуляция, демодуляция, кодирование и декодирование, чтобы эффективно передавать информацию на большие расстояния с минимальными потерями и помехами.

В аналоговых системах используются различные методы модуляции, такие как амплитудная (AM), частотная (FM) и фазовая (PM) модуляции. Эти методы позволяют изменять параметры носительной волны, чтобы передавать аудио-, видеосигналы и другую информацию. Однако аналоговые системы часто подвержены шумам и искажениям, что может негативно влиять на качество передаваемого сигнала. Например, в звукозаписи, даже самые незначительные искажения могут заметно ухудшить воспринимаемое качество записи, что подчеркивает необходимость в переходе к цифровым методам.

С переходом к цифровым системам появилась возможность применения таких технологий, как сжатие данных и коррекция ошибок. Цифровая обработка сигналов (ЦОС) дает возможность кодировать информацию в двоичном формате, что делает ее менее подверженной помехам и значительно упрощает хранение и передачу. Кроме того, цифровые системы могут использовать более сложные алгоритмы для фильтрации и обработки данных, улучшая качество связи и увеличивая эффективность.

В медицине цифровая обработка сигналов оказывается крайне важной для таких технологий, как медицинская визуализация, включая МРТ и УЗИ. Эти технологии преобразуют аналоговые сигналы, получаемые от организма, в цифровые изображения, которые могут быть легко анализированы и обработаны для диагностики. Это не только улучшает качество и точность диагностики, но и значительно ускоряет процесс обработки результатов, делая их доступными для специалистов в краткие сроки.

Современные достижения в сфере искусственного интеллекта и машинного обучения также активно используют методы обработки сигналов, как для анализа данных, так и для генерации новых сигналов. Эта синергия технологий открывает новые горизонты в таких областях, как распознавание речи, компьютерное зрение и робототехника, где необходимо обрабатывать большие объемы информации в реальном времени.

Следовательно, развитие сигналов и их обработки является важным компонентом современных технологий, способствующим не только улучшению качества коммуникаций, но и расширению возможностей в различных областях человеческой деятельности. В будущем можно ожидать, что новейшие технологии в обработке и передаче сигналов будут продолжать

эволюционировать, открывая новые горизонты для инновационных приложений и улучшая качество жизни в целом.

Сигналы будут подразделяться так: DI (дискретный вход), DO (дискретный выход), AI (аналоговый вход), AO (аналоговый выход).

Для подсчёта дискретных и аналоговых сигналов в энергетической системе нужно знать, что для запуска силового агрегата, есть три пуска:

1) **Прямой пуск.** Это когда пуск напрямую воспроизводится через АЗС (автоматический выключатель для защиты сети) и КМ (контактор магнитный).

Таблица 1 Сигналы прямого пуска

Сигналы	
3DI	2DO
Первый DI - ВКЛ	Первый DO - ВКЛ
Второй DI - ВЫКЛ	Второй DO - Авария
Третий DI - Авария	

2) **Пуск через УПП (устройство плавного пуска).** Данный пуск воспроизводится через АЗД (автоматический выключатель защиты двигателя).

Таблица 2 Сигналы пуска через УПП

Сигналы	
3DI	2DO
Первый DI - ВКЛ	Первый DO - ВКЛ
Второй DI - ВЫКЛ	Второй DO - Авария
Третий DI - Авария	

3) **Пуск через ПЧ (преобразователь частоты).** Данный пуск воспроизводится через АЗС (автоматический выключатель для защиты сети).

Таблица 3 Сигналы пуска через ПЧ

Сигналы			
3DI	2DO	1AI	1AO
Первый DI - ВКЛ	Первый DO - ВКЛ	Первый AI – срабатывание датчика температуры	Первый AO – не срабатывание датчика температуры
Второй DI - ВЫКЛ	Второй DO - Авария		
Третий DI - Авария			

**Заключение.** В данной работе проделан подсчёт дискретных и аналоговых сигналов в энергетической системе. И за какие технологические процессы отвечают дискретные и аналоговые входы и выходы, и какую они роль играют.

## Литература

1. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст]: учеб. пособие / И. С. Гоноровский, М. П. Демин. М.: Радио и связь.
2. Рабинер, Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов [Текст]: пер. с англ./ Л. Рабинер, Б. Гоулд. М.: Мир.
3. Хоровиц, П., Хилл У. Искусство схемотехники. Т. 1. М.: Мир.
4. Гутников, В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. 2-е изд. Л.: Энергоатомиздат.
5. Сеньков, Д.В., Запругаев И.А. Цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи / Новосибирск 2009.
6. Шокиров, С. С. Сайфуллаев. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2017. – № 15 (149). – С. 85-87.

## Summary COUNTING OF DISCRETE AND ANALOG SIGNALS FOR CONTROL IN THE POWER SYSTEM Galyatdinov R.R.

Signals are material carriers of information that facilitate data transmission from the source to the consumer. They can exist in a physical form or be represented through mathematical models. There are three main types of signals: analog, discrete, and

digital, which are used for data transmission and processing. These signal types differ in their representation methods, physical characteristics, and areas of application. A physical quantity can change in various ways: it can be constant, taking a single fixed value; discrete, allowing for two or more fixed values; or analog, capable of assuming an infinite number of values. All these quantities can be converted into a digital form.

**Keywords:** signals, discrete, analog, start, device, smooth, frequency converter, regulators.

#### Xülasə

### ENERJI SISTEMI NƏZARƏTİ ÜÇÜN DISKRET VƏ ANALOQ SIQNALLARININ HESABLANMASI *Qalyatdinov R.R.*

Siqnallar, məlumatların mənbədən istehlakçıya ötürülməsini təmin edən material daşıyıcılarıdır. Onlar fiziki formada mövcud ola bilər və ya riyazi modellər vasitəsilə təmsil oluna bilər. Üç əsas siqnal növü vardır: analoq, diskret və rəqəmsal, bunlar məlumat ötürülməsi və emalı üçün istifadə olunur. Bu siqnal növləri məlumatların təqdimat üsulları, fiziki xüsusiyyətləri və tətbiq sahələri baxımından fərqlənir. Fiziki bir miqdar müxtəlif yollarla dəyişə bilər: o, sabit ola bilər və tək bir sabit dəyər alır; diskret ola bilər, iki və ya daha çox sabit dəyər alır; və ya analoq ola bilər və sonsuz sayda dəyər qəbul edə bilər. Bütün bu miqdarlar rəqəmsal formaya çevrilə bilər.

**Açar sözlər:** siqnallar, diskret, analoq, başlanğıc, cihaz, hamar, tezlik çeviricisi, tənzimləyicilər.

## ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

**Валиуллина Дилия Мансуровна<sup>1</sup>, Мадышев Ринат Аликович<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>*ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань, Республика Татарстан, Россия*

[valiullinadiliya@mail.ru](mailto:valiullinadiliya@mail.ru), [rinat\\_madyshhev@mail.ru](mailto:rinat_madyshhev@mail.ru)

**Резюме.** Актуальность данной темы заключается в том, что энергетические системы (комплексы), играют большую роль в инфраструктуре страны. Надёжная работа данных систем имеет критическое значение для обеспечения энергетической безопасности. В современном мире, эти системы сталкиваются с большим количеством угроз, которые могут привести к серьезным, а порой и опасным для людей последствиям. В данной статье мы рассмотрим первичные угрозы, включая кибератаки и физическую безопасность.

**Ключевые слова.** безопасность, энергетические комплексы, кибератаки, человеческий фактор, физические угрозы

**Цель исследования:** совершенствование методов защиты от потенциальных угроз и рисков для энергетических систем.

**Результаты исследования и их обсуждение:** Для начала, хотелось бы сделать акцент на анализе угроз, влияющих на работоспособность энергетических систем и комплексов. Основными угрозами, влияющими на функционирование систем, являются кибератаки, физические угрозы, природные катастрофы и даже человеческий фактор, но обо всём по порядку. Что такое кибератака, и почему данная угроза самая распространённая и самая опасная?

Кибератака напрямую связана со взломом систем управления, которая может привести не только к сбоям в работе, нарушению процессов производства и системным ошибкам, но и к катастрофическим последствиям для всего окружающего мира.

Основные виды кибератак, угрожающих энергетическим системам, включают:

#### 1. Вредоносное ПО (Malware)

- Вирусы и черви: Это программные вредители, которые могут бесконтрольно распространяться по сети, повреждая оборудование и крадя данные.

- Шифровальщики: Шифровальщики блокируют доступ к данным систем, шифруя все данные. Фактически, это грозит тем, что все данные, на которых держится работа и весь функционал энергетических систем, будет недоступной. Данный вид атаки может вызвать серьезные перебои в работе энергетической инфраструктуры.

#### 2. DDoS-атаки (Distributed Denial-of-Service)

- Такая атака связана с сильной перегрузкой сети или серверов огромным количеством запросов, что в свою очередь приводит к сбоям в работе систем. Это может нарушить доступность критических ресурсов, таких как управление сетями.

#### 5. Установка backdoor (обратного доступа)

- В этом случае злоумышленники используют вредоносные программные обеспечения, создавая скрытые пути для дальнейшего доступа к системам, что позволяет им красть данные или изменять операции.

К физическим угрозам можно отнести самое малое - саботаж, и самое страшное – терроризм. Данный вид угрозы также распространен. Контроль и акцентирование внимания на виды угроз такого происхождения требует больших ресурсов. [1-3].

Энергетические системы также подвержены угрозам природного характера, что тоже сильно сказывается на безопасности энергетических комплексов. Климатические условия значительно накладывают свои требования к энергетическим системам и к объектам энергетики. Природно-климатические условия сильно влияют на теплоснабжение. Во время холодных зим фиксируется большая потребность в тепле. Проблема дополнительного спроса может усугубиться тем, что за одной холодной зимой может последовать вторая, третья и т. д. В этом случае высоко растёт потребность на топливо и её нужды могут увеличиться до 30-40% [1].

Природные факторы представляют серьёзные риски для энергетической безопасности. Эти угрозы можно разделить на несколько категорий:

1. Стихийные бедствия: Разрушительные явления, такие как землетрясения, наводнения, штормы, гололёд, оползни, сильные дожди и снегопады, а также частые грозы, способны вывести из строя или значительно повредить энергетическое оборудование.

2. Природные аномалии: Необычные погодные условия, например, продолжительные засухи, экстремальные морозы, холодные зимы и периоды с низким уровнем воды в реках, могут нарушить производство электроэнергии и тепла, а также повлиять на водоснабжение энергообъектов.

3. Аномальная солнечная активность: Повышенная солнечная радиация может ускорить износ изоляции и привести к перегреву оборудования, что также создаёт угрозу для энергетической инфраструктуры.

Общими признаками, по которым классифицируются эти природные угрозы, являются экстремальные температуры (слишком высокие или слишком низкие), ураганные ветры, град и обильные осадки в виде дождя или снега [4].

С увеличением цифровизации энергетических систем, киберугрозы становятся одной из главных проблем. Атаки на системы управления могут привести к серьёзным сбоям в работе энергетических объектов. Решением данной проблемы является:

1. Внедрение многоуровневых систем защиты.
2. Регулярное обновление программного обеспечения и систем безопасности.
3. Обучение сотрудников основам кибербезопасности
4. Установка систем видеонаблюдения и контроля доступа.
5. Проведение регулярных учений по реагированию на чрезвычайные ситуации.
6. Сотрудничество с правоохранительными органами.

**Заключение:** Таким образом, можно сделать вывод, что проблемы безопасности в энергетических комплексах требуют большого внимания и тщательного подхода для их устранения. Обеспечение энергетической безопасности требует разработки и реализации современных механизмов и инструментов, обеспечивающих формирование эффективной структуры управления безопасностью.

## Литература

1. Бушуев В. В., Воропай Н. И., Мастепанов А. М., Шафраник Ю. К. [и др.] Энергетическая безопасность России. Новосибирск, 1998.
2. Дука Г. Г., Постолатий В. М., Быкова Е. В. Аспекты проблемы энергетической безопасности Республики Молдова // Электро. 2005. № 4. С. 12-18.
3. Быкова Е. В. Формирование системы индикаторов для исследования энергетической безопасности Республики Молдова // «Энергосистема: управление, качество, безопасность»: сб. тр. науч.-техн. конф. Екатеринбург, 2001. С. 195-198.
4. Кондраков О. В. Мониторинг как элемент обеспечения энергетической безопасности региона// Социально-экономические явления и процессы. Тамбов, 2012. № 3.

## Xülasə ENERJİ KOMPLEKSLƏRİNDƏ TƏHLÜKƏSİZLİK PROBLEMLƏRİ Vəliullina D.M., Madişev R.Ə.

Tezisdə enerji komplekslərini və onların fəaliyyətini poza biləcək müxtəlif təhlükələri araşdırır. Enerji kompleksləri istənilən iqtisadiyyatın kritik elementləridir. Enerji komplekslərinin stabil fəaliyyəti ölkənin enerji təhlükəsizliyini deyil, həm də iqtisadi sabitliyi təmin edir.

**Açar sözlər.** təhlükəsizlik, enerji kompleksləri, kiberhücumlar, insan faktoru, fiziki təhdidlər.

**Summary**  
**SAFETY ISSUES IN ENERGY COMPLEXES**  
*Valiullina D.M., Madyshv R.A.*

This article examines energy complexes and the various threats that can disrupt their functioning. Energy complexes are critical elements of any economy. The stable operation of energy complexes ensures not only the country's energy security, but also economic stability.

**Keywords.** security, energy complexes, cyber attacks, human factor, physical threats.

**ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ  
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ**

<sup>1</sup>Узбеков Ильнур Рафкатович, <sup>2</sup>Воркунов Олег Владимирович  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан, Россия  
[inuryz1985@mail.ru](mailto:inuryz1985@mail.ru)

**Резюме** в современных условиях, характеризующихся ростом потребления электроэнергии и развитием энергетической инфраструктуры, обеспечение надежности высоковольтных кабельных линий приобретает критическую важность. В данной работе рассматриваются инновационные подходы к определению мест повреждения высоковольтных кабельных линий, что позволяет существенно повысить эффективность их диагностирования и минимизировать время простоя в случае аварийных ситуаций.

**Ключевые слова:** диагностика, термография, неразрушающий контроль, акустические методы, высоковольтные сети.

Основное внимание уделено анализу существующих методов диагностики, а также внедрению новых технологий, способных значительно повысить точность и быстроту определения мест повреждений. К таким методам относятся: использования современных информационных технологий, оптические и электроакустические технологии, а также алгоритмы машинного обучения. Эти подходы обеспечивают не только оперативное выявление проблем, но и предсказание возможных отказов, что в свою очередь позволяет осуществлять плановые работы по обслуживанию и замене оборудования до возникновения критических ситуаций.

Ключевыми аспектами исследования являются: анализ доступных методов, их сравнение по критериям эффективности, стоимости и удобства применения, а также оценка потенциальных направлений дальнейших исследований в данной области. Так, например, использование методов неразрушающего контроля, интеграция IoT-решений и искусственного интеллекта позволяют значительно сократить временные затраты на диагностику и повысить её качество.

Современные технологии диагностики высоковольтных кабелей представляют собой широкий спектр методов и инструментов, позволяющих оперативно и точно выявлять повреждения, а также оценивать состояние кабельных систем. К основным технологиям диагностики можно отнести: диагностику с помощью методов неразрушающего контроля, термографию, акустическую диагностику, а также электрические и магнитные методы.

Методы неразрушающего контроля (НК) предлагают возможность проверки состояния кабелей без их разрушения. Наиболее распространенными среди таких методов являются ультразвуковая диагностика и метод импульсной емкости. Однако данный метод требует высокой квалификации операторов и может быть достаточно дорогим в реализации [4].

Термография представляет собой метод, основанный на использовании инфракрасных камер для измерения температуры поверхности кабелей. Повышение температуры может указывать на наличие перегрева, что является серьезным признаком проблем с изоляцией и соединениями. Хотя термография позволяет быстро и эффективно обнаруживать проблемные участки, ее применение ограничено только наружными участками кабеля и не может выявлять внутренние повреждения. Кроме того, результаты термографии могут быть искажены внешними условиями, такими как погодные условия и теплоотдача от окружающих объектов.

Акустическая диагностика основывается на регистрации звуковых сигналов, возникающих при разрядах и других дефектах в кабеле. Данный метод имеет высокую чувствительность и может использоваться для обнаружения повреждений на значительном расстоянии от места замыкания, однако требует наличия соответствующего оборудования и опытного персонала для интерпретации полученных данных. При этом система может игнорировать менее серьезные дефекты, тем самым увеличивая риск непредвиденных отказов в будущем.

Электрические методы диагностики, такие как частотно-импульсная диагностика, являются одними из наиболее распространенных, поскольку они позволяют оценить состояние изоляции и найти места повреждений либо неисправностей [2]. Эти методы основаны на анализе поведения электрических сигналов, протекающих через кабель. К их недостаткам относится необходимость отключения кабелей от сети, что может вызвать простой.

Визуальные методы диагностики, такие как инспекция с помощью камер или полевых осмотров, также играют важную роль в определении состояния кабелей. Эти подходы позволяют увидеть явные повреждения, такие как изоляционные разрывы, утечки или коррозию соединений. При этом визуальные методы могут быть ограничены факторами, такими как плохая доступность участков линий и необходимость в физическом присутствии специалистов на месте.

При интеграции различных методик диагностики возможно значительно улучшить точность и скорость обнаружения мест повреждений. Например, сочетание акустических и термографических методов позволяет дополнительно проверить результаты, полученные с помощью одного метода, с данными другого, тем самым снижая вероятность ошибочных срабатываний и неучтенных повреждений.

Интеграция различных диагностических методов, таких как акустические, термографические и визуальные подходы, позволяет значительно повысить точность определения мест повреждений. Четкое комбинирование данных методов обеспечивает более глубокий анализ состояния кабелей, а также минимизирует вероятность пропуска скрытых дефектов [1].

Необходимость регулярных проверок состояния высоковольтных кабелей обоснована тем, что раннее обнаружение проблем, таких как перекрытие изоляции или коррозия, значительно сокращает затраты на ремонт и увеличивает срок службы оборудования.

Упрощение процессов мониторинга и диагностики требует разработки более чувствительных и надежных сенсоров, способных работать в различных условиях эксплуатации. Это открывает новые горизонты для исследований, направленных на создание инновационных решений в области электроэнергетики.

В заключение, подчеркиваем, что успешная диагностика высоковольтных кабелей базируется на комплексном подходе и использовании разнообразных технологий. Систематическое применение полученных знаний и рекомендаций поможет улучшить надежность электроэнергетических систем и повысить общую безопасность эксплуатации высоковольтных линий, что будет способствовать стабильному функционированию всей энергетической инфраструктуры в будущем [3].

## Литература

1. Куликов А. Л., Обалин М., Осокин В. Ю., Шарафеев Т. Р. Использование симуляционного моделирования воздушных линий электропередачи 6–35 кВ для повышения точности определения местоположения двойного земляного замыкания. DOI 10.17588/2072-2672.2018.1.040-049 // Vestnik IGEU. 01.01.2018 URL: <http://vestnik.ispu.ru/sites/vestnik.ispu.ru/files/published/1-18-str.40-49.pdf> (дата обращения: 12.03.2025).
2. Горбунов И., Захаренко С. Г., Захаров С., Малахова Т. Ф. Применение нейронных сетей для определения местоположения повреждений воздушных и кабельных электрических линий передачи. DOI 10.26730/1816-4528-2019-4-48-55 // Mining equipment and electromechanics. 01.01.2019 URL: <https://gormash.kuzstu.ru/index.php?page=article&id=3663> (дата обращения: 12.03.2025).
3. Слышалов В.К., Шуин В.А., Куванов А.В., Воробьева Е.А., Филатова Г. Методы определения индуктивностей трёхфазных силовых кабелей при расчёте переходных процессов в силовых системах 6–10 кВ. DOI 10.17588/2072-2672.2015.6.017-022 // Vestnik IGEU. 01.01.2015 URL: <http://vestnik.ispu.ru/sites/vestnik.ispu.ru/files/published/6-15-str.17-22.pdf> (дата обращения: 12.03.2025).
4. Куликов А. Л., Вуколов В., Колесников А. Централизованная дифференциальная защита цифровой подстанции с применением метода двойной записи. DOI 10.17588/2072-2672.2018.2.031-040 // Vestnik IGEU. 01.01.2018 URL: <http://vestnik.ispu.ru/sites/vestnik.ispu.ru/files/published/2-18-str.31-40.pdf> (дата обращения: 12.03.2025).
5. Леонов А.П., Солдатенко Т. М. Оценка срока службы изоляции кабельных изделий для систем питания и управления горношахтного электрооборудования. DOI 10.18799/24131830/2022/1/3462 // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University Geo Assets Engineering. 24.01.2022 URL: <http://izvestiya.tpu.ru/archive/article/view/3462> (дата обращения: 12.03.2025).

**Xülasə**  
**YÜKSƏK GƏRİLİMLİ KABEL XƏTLƏRİNDƏ ZƏDƏLƏNMƏ YERLƏRİNİN**  
**MÜƏYYƏN EDİLMƏSİNƏ İNNOVATİV YANAŞMALAR**  
*Uzbekov İ.R., Vorkunov O.V.*

Elektrik enerjisi istehlakının artması və enerji infrastrukturunun inkişafı ilə səciyyələnən müasir şəraitdə yüksək gərginlikli kabel xətlərinin etibarlılığının təmin edilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu məqalədə yüksək gərginlikli kabel xətlərində zədələnmə yerlərinin müəyyən edilməsinə dair innovativ yanaşmalar nəzərdən keçirilir. Təklif olunan metodlar diaqnostikanın səmərəliliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırmağa və qəza hallarında dayanma müddətini minimuma endirməyə imkan verir.

**Açar sözlər:** diaqnostika, termografiya, dağıdıcı olmayan sınaq üsulları, akustik metodlar, yüksək gərginlikli şəbəkələr.

**Summary**  
**INNOVATIVE APPROACHES TO DETERMINING THE LOCATIONS OF DAMAGE**  
**TO HIGH-VOLTAGE CABLE LINES**  
*Uzbekov I.R., Vorkunov O.V.*

In modern conditions characterized by an increase in electricity consumption and the development of energy infrastructure, ensuring the reliability of high-voltage cable lines is of critical importance. This paper discusses innovative approaches to determining the locations of damage to high-voltage cable lines, which can significantly improve the efficiency of their diagnosis and minimize downtime in case of emergencies.

**Keywords:** diagnostics, thermography, non-destructive testing, acoustic methods, high-voltage networks.

**SƏNAYE MÜƏSSİSƏLƏRİNİN ELEKTRİK TƏCHİZATI SİSTEMLƏRİNİN**  
**MODELLƏŞDİRİLMƏSİ**

**İsrafilzadə Novruz Anar oğlu**  
*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*  
[novruzisrafilzada@gmail.com](mailto:novruzisrafilzada@gmail.com)

**Xülasə.** Sənaye müəssisələrinin elektrik təchizatı sistemlərində enerji təhlükəsizliyi və şəbəkə dayanıqlığı kritik əhəmiyyət kəsb edir. Bu tezis, yüksək gərginlikli (məsələn, 110/35 kV) sənaye elektrik şəbəkələrində meydana gələn arızaların diaqnostikası, idarə edilməsi və qarşısının alınması üçün istifadə olunan qabaqcıl metodları və texnologiyaları araşdırır.

**Açar sözlər:** Enerji təhlükəsizliyi, şəbəkə dayanıqlığı, sənaye elektrik təchizatı, optimal idarəetmə, SCADA sistemləri.

Əsas məqsəd, arıza ehtimalını minimuma endirmək, təchizatın fasiləsizliyini artırmaq və kritik istehsal prosesləri üçün etibarlı elektrik enerjisi keyfiyyətini təmin etməkdir. Təhlükəsizliyin təmin edilməsi üçün SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistemlərinin tətbiqi, rele mühafizəsi parametrlərinin optimallaşdırılması və şəbəkə avadanlıqlarının proaktiv diaqnostikası kimi mövzulara toxunulur. Təklif olunan modelləşdirmə yanaşması, şəbəkənin stress vəziyyətlərinə cavabını simulyasiya edərək, enerji təhlükəsizliyini strateji şəkildə artırmağa imkan verəcək.

330/220 kV-luq stansiyaların modelləşdirilməsi, şəbəkənin səmərəliliyini artırmaq, enerji itkilərini azaltmaq və enerji təchizatının dayanıqlığını təmin etmək üçün müxtəlif simulyasiya və optimallaşdırma metodlarından istifadə edir. Həmçinin, bərpa olunan enerji mənbələrinin inteqrasiyası və intellektual şəbəkə texnologiyalarının tətbiqi gələcəkdə elektrik təchizatının daha çevik və səmərəli olmasına imkan verəcəkdir.

Sənaye müəssisələrinin müasir istehsal prosesləri elektrik enerjisi təchizatının etibarlılığına və keyfiyyətinə yüksək tələblər qoyur. Hər hansı bir elektrik kəsilməsi və ya keyfiyyət pozuntusu böyük maliyyə itkilərinə və avadanlıqların sıradan çıxmasına səbəb ola bilər.

Bu tezis, xüsusilə orta və yüksək gərginlikli sənaye şəbəkələrində (məsələn, 110/35/10 kV) dayanıqlığın təmin edilməsi üzərində cəmləşir. Məqsəd, şəbəkənin arızalara qarşı davamlılığını (rezilientliyini) artırmaq və sürətli bərpa mexanizmlərini inkişaf etdirməkdir.

## **2. Sənaye Şəbəkələrinin Enerji Təhlükəsizliyi**

**Arıza Risk Analizi:** Qısaqapanma cərəyanlarının hesablanması, transformatorların, kabellərin və kəsicilərin termal və dinamik dayanıqlığının yoxlanılması.

**Rele Mühafizəsi Sisteminin Optimallaşdırılması:** Arızaların sürətli və seçici şəkildə aradan qaldırılması üçün mühafizə parametrlərinin yenidən sazlanması və rəqəmsal relelərin tətbiqi.

**Yedəkləmə (Rezerv) Mənbələri:** Fasiləsiz işləməni təmin etmək üçün avtomatik ehtiyat enerji mənbələrinin (AEG, UPS) inteqrasiyası və onların idarəetmə strategiyaları.

## **3. Şəbəkə Dayanıqlığı üçün Modelləşdirmə**

Dinamik Modelləşdirmə: Şəbəkənin qəfil yüklənmələrə, kommutasiyalara və arızalara reaksiyasının dinamik simulyasiyası (məsələn, MATLAB/Simulink və ya DIGSILENT PowerFactory proqramlarında).

Gərginlik və Tezlik Stabilitəsi: Kritik yük mərkəzlərində gərginlik və tezlik tənzimləyicilərinin (SVC, STATCOM) tətbiqinin modelləşdirilməsi.

Enerji Axını Optimallaşdırılması: Şəbəkədəki itkiləri azaltmaq və güc axınına optimal bölüşdürmək üçün riyazi optimallaşdırma metodlarının (məsələn, genetik alqoritmlər) tətbiqi.

#### 4. Nəzarət və İdarəetmə Texnologiyaları

SCADA Sistemləri: Yüksək gərginlikli sənaye stansiyalarından real-vaxt rejimində məlumatların toplanması, monitorinqi və avtomatik idarəetmənin təmin edilməsi.

Avadanlıqların Vəziyyətə Əsaslanan Diaqnostikası (Condition Monitoring): Transformatorlarda qismən boşalmaların, yağın kimyəvi analizinin və kəsicilərin mexaniki vəziyyətinin daimi nəzarəti. Bu, arızaların proaktiv şəkildə aşkarlanmasına və təmirin vaxtında aparılmasına imkan verir.

Kiber Təhlükəsizlik: Sənaye nəzarət sistemlərinin (ICS/SCADA) kiber hücumlara qarşı mühafizəsi strategiyalarının inkişafı.

#### Ədəbiyyat

1. Qasımov, E. M., Hacıyev, M. R. Elektrik enerjisinin istehsalı və ötürülməsi. Bakı: AzTU Nəşriyyatı, 2015.
2. Əliyev, S. S., Məmmədov, R. A. Enerji sistemlərinin optimallaşdırılması və idarə olunması. Bakı: Elm, 2018.
3. Həsənov, V. F. Yüksək gərginlikli elektrik avadanlıqlarının diaqnostikası və istismarı. Bakı: AzTU, 2016.
4. Hüseynov, A. A., Məmmədov, F. R. Elektrik şəbəkələrinin modelləşdirilməsi və təhlili. Bakı: Nurlan, 2020.
5. Rzayev, T. M., Əhmədov, C. Ş. Bərpa olunan enerji mənbələrinin elektrik şəbəkələrinə inteqrasiyası. Bakı: Nafta-Press, 2021.
6. Nuriyev, R. A. Elektrik enerjisi sistemlərinin etibarlılığı və keyfiyyət göstəriciləri. Bakı: Təhsil Nəşriyyatı, 2019.
7. Glover, J. D., Sarma, M. S., Overbye, T. J. Power System Analysis & Design. Cengage Learning, 2012.
8. Kundur, P. Power System Stability and Control. McGraw-Hill, 1994.
9. Grainger, J. J., Stevenson, W. D. Power System Analysis. McGraw-Hill, 1994.
10. Stott, B. Power System Dynamic Analysis and Simulation. IEEE Transactions on Power Systems, 2009.  
Glover, J. D., Sarma, M. S., Overbye, T. J. Power System Analysis & Design. Cengage Learning, 2012. (Ənənəvi güc sistemlərinin analizi və layihələndirilməsi.)
11. Kundur, P. Power System Stability and Control. McGraw-Hill, 1994. (Şəbəkə dayanıqlığı və dinamik simulyasiya mövzuları üçün klassik mənbə.)
12. Grainger, J. J., Stevenson, W. D. Power System Analysis. McGraw-Hill, 1994. (Güc axını və qısaqapanma hesablamaları üçün.)
13. Blackburn, J. L., Domin, T. J. Protective Relaying: Principles and Applications. CRC Press, [Tarix]. (Rele Mühafizəsi mövzusunun daha dərinə əhatə edir.)
14. Xiao, Y., Chen, Z., Ma, T. Smart Grid Security: An Introduction to Cyber Security and Communication. Wiley, [Tarix]. (SCADA və Kiber Təhlükəsizlik aspektləri üçün.)
15. IEEE Standards C37.90 Series on Protective Relaying. (Sənaye və elektrik stansiyalarında rele mühafizəsinin tətbiqi üçün beynəlxalq standartlar.)

#### Summary

#### MODELING OF ELECTRICAL SUPPLY SYSTEMS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

*Israfilzadeh N.A.*

Energy security and grid stability are of critical importance in the power supply systems of industrial enterprises. This thesis investigates advanced methods and technologies used for the diagnosis, management, and prevention of faults occurring in high-voltage (e.g., 110/35 kV) industrial electric grids. The primary objective is to minimize the probability of faults, increase the continuity of supply, and ensure reliable electric energy quality for critical production processes.

**Keywords:** Energy security, grid stability, industrial power supply, optimal control, SCADA systems.

#### Резюме

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Исрафильзаде Н.А.*

Энергетическая безопасность и устойчивость сети имеют критическое значение в системах электроснабжения промышленных предприятий. В данном тезисе исследуются передовые методы и технологии, используемые для

диагностики, управления и предотвращения аварий в высоковольтных (например, 110/35 кВ) промышленных электрических сетях. Основная цель состоит в минимизации вероятности аварий, повышении непрерывности электроснабжения и обеспечении надежного качества электроэнергии для критически важных производственных процессов.

**Ключевые слова:** Энергетическая безопасность, устойчивость сети, промышленное электроснабжение, оптимальное управление, системы SCADA.

## GƏLƏCƏYİN ƏSGƏRİNİN SÜNİ INTELEKTDƏN İSTİFADƏ ETMƏKLƏ FORMALLAŞDIRILMASI PERESPEKTİVLƏRİNİN TƏDQIQI

**Heydərov Elnur**

*H. Əliyev adına Hərbi İnstitut, Bakı, Azərbaycan*

[elnurheydarov013@gmail.com](mailto:elnurheydarov013@gmail.com)

**Xülasə** Süni intellektin (Sİ) vahid, razılaşdırılmış tərfi yoxdur. Süni intellekt və ya maşın zəkası (MS) kompüter tərəfindən nümayiş etdirilən zəkadır, təbii intellekt isə insan və ya heyvan tərəfindən nümayiş etdirilir. Onun ümumi tərfi kompüter sisteminin vizual qavrayış, nitqin tanınması və qərar qəbul etmə kimi normal insan zəkasını tələb edən vəzifələri yerinə yetirmək qabiliyyətidir.

Həyatın bir çox sahələrində ehtiyac duyulan Sİ, ən sadə formada, proqramlaşdırıla bilən maşınlarla düşüncə və davranış baxımından insan zəkasının təqlididir. Sİ kodlayıcıları maşınlarla insan davranışını necə idarə etməyi öyrədir və sonra onlardan yeni vəziyyətlərdə buna uyğun hərəkət etmələrini gözləyir. Bu maşın öyrənməsi kimi tanınır.

**Açar sözlər:** Gələcək Əsgər, Süni İntellekt, Texnologiya, Hərbi sahə, Elm

### Giriş

Süni intellekt anlayışı ilk dəfə 1956-cı ildə Dartmut Universitetində iki aylıq seminar zamanı Con Makkarti tərəfindən ifadə edilmişdir. Süni intellekt mürəkkəb və dəyişən mühitləri öyrənən, reaksiya verən və qərarlar qəbul edən kompüterlər yaratmaq məqsədi ilə fərqli bir fən kimi meydana çıxdı. [1]

Koqnitiv elm zəka və onun proseslərini öyrənən bir elm kimi tanınır. Bu fənn informasiyanın kəşfiyyat vasitəsilə necə təmsil olunduğu və işlənməsi ilə əlaqədardır. Bu fəlsəfə, psixologiya, süni intellekt, nevrologiya, dilçilik və antropologiyaları əhatə edən fənlərarası bir sahədir. Koqnitiv elm zəkanın eksperimental tədqiqi ilə məşğul olduğu halda, Sİ süni intellektin inkişafı ilə məşğul olur.

Sİ-nin əvvəlki uğurlarının çoxu insan məntiqinin modelləşdirilməsinə əsaslanırdı. A. Newell və H. Simon tərəfindən 1955-56-cı illərdə "Məntiq Terrorçusu" adı altında insanların problem həll etmə bacarıqlarını təqlid etmək üçün hazırlanmış proqram ilk süni intellekt proqramı kimi tanınır. Newell və Simon 1961-ci ildə işlərini Ümumi Problem Həllədiçi (General Problem Solver, GPS) kimi ümumiləşdirdilər. Riyazi sübutlar əsasında hazırlanmış proqram təminatı ümumiyyətlə daha mikro səviyyəli idi və irimiqyaslı, mürəkkəb tətbiqlərə imkan vermirdi.

İlkin Sİ söyləri məhdud domenlərdə istifadə olunan ümumi məqsədli intellektual proqramların hazırlanmasına və nisbətən sadə problemlərin həllinə yönəldi. Lakin bu proqramlar mürəkkəb problemləri həll edə bilmədi. [2] Ona görə də bu üsullar zəif metodlar adlanırdı. Domenə məxsus biliklərə əsaslanan daha güclü sistemlərə bilik əsaslı sistemlər deyilir. Onlar ümumiyyətlə peşəkar ekspertin tapşırıqlarını yerinə yetirdikləri üçün peşəkar ekspert sistemləri kimi də tanınırlar.

Tədqiqatçılar daha sonra qeyri-müəyyənliyi yüksək biliklərə əsaslanan sistemlərinə istifadə etdikləri qaydalara daxil etdilər. [3]

1989-cu ildə Neapolitan nümayiş etdirdi ki, qeyri-müəyyənliyin qaydalara əsaslanan təmsili çətin və mürəkkəb olmaqla yanaşı, əsaslandırma üçün çox faydalı deyil. Çoxlu araşdırmalardan sonra Bayes şəbəkələri süni intellektə qeyri-müəyyənliyin modelləşdirilməsi üçün standart kimi ortaya çıxdı. Bu model bir çox Sİ proqramlarında da istifadə olunmaqdadır.

Təkamül hesablamaları təkamül mexanizmlərindən istifadə edərək optimallaşdırma problemlərinin təxmini həll yollarını tapmaq üzərində işləyir. Tipik bir tətbiq sahəsi qrup kəşfiyyatıdır. Qrupdakı hər bir fərd müəyyən səviyyədə intellekt nümayiş etdirsə də, bir çox növ qruplar halında mürəkkəb tapşırıqları yerinə yetirir.

Qrup zəkası bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqədə olan qeyri-ağıllı varlıqların avtonom, ağıllı əməkdaşlıq davranışdır. Qrup zəkasından bir model kimi istifadə edərək, tədqiqatçılar bir çox praktik problemin həllini təklif edən alqoritmlər hazırlayıblar.

Süni intellektə ilk sinir tədqiqatı 1940-cı ildə beyindəki neyronların modelləşdirilməsinə həsr olunub. Süni neyron şəbəkələri çoxlu sayda süni neyron vahidlərindən ibarətdir. Şəbəkə strukturu arxitekturası çox mərhələli neyron bölmələrdən ibarətdir. [4]

1950-ci illərdə süni intellektə məntiqi yanaşma populyarlaşdıqda, süni neyron şəbəkələri gözdən düşdü. Lakin kompüterlərdə hesablama sürətinin artması ilə süni neyron şəbəkələrinin öyrədilməsi üçün dərin öyrənmə adlanan yeni alqoritmlər hazırlanmağa başlandı.

Dərin öyrənmə tətbiqlərini dəstəkləyən texnika və alətlər artıq hazırdır. Ucuz resursların, pulsuz maşın öyrənmə vasitələrinin, əvvəlcədən öyrədilmiş modellərin və açıq mənbəli məlumatların və kodların mövcudluğu sayəsində təkmilləşən dərin öyrənmə üsulları yalnız məhdud proqramlaşdırma bacarıqları ilə həyata keçirilə bilər.

#### Çin və Süni İntellekt

Çinin süni intellekt texnologiyası və tətbiqlərinin qlobal inkişafı ilə bağlı çoxsaylı məqalələr və şəkillər ictimaiyyətə yayılmaqdadır. Çin böyük verilənlər, süni neyron şəbəkələri və avtonom intellektual sistemlərdən istifadə edən növbəti nəsil süni intellektə nail olmaqda mühüm irəliləyiş əldə edib. Bu barədə çox səs-küylü olmasalar da, 2030-cu ilə qədər süni intellektə qlobal lider olmağa qərarlıdırlar. [5]

2015-ci ildə Çinin Baidu şirkəti dilin tanınması üçün süni intellekt proqram təminatını hazırlayıb və Microsoft-u təxminən bir il qabaqlayıb. 2016 və 2017-ci illərdə Çin komandaları beynəlxalq müsabiqədə kompüter görmə üzrə yüksək mükafatlar aldılar. [6] Çinin 2017-ci il üçün "Növbəti Nəsil Sİ İnkişaf Planı" sənədində süni intellekt beynəlxalq rəqabət qabiliyyətinə diqqət yetirmək üçün strateji texnologiya kimi müəyyən edilir. Çinin süni intellekt əsas alqoritm tədqiqatları üçün resurslarının 2020-ci ilə qədər 21,7 milyon dollar olacağı proqnozlaşdırılır və 2030-cu ilə qədər süni intellektə qlobal liderlik mövqeyinə nail olmaq məqsədi daşıyır.

Çinin müxtəlif robotlar arasında avtonom əməkdaşlığı nəzərdə tutan qrup zəkası sahəsində son nailiyyətləri rəsmi mediada diqqəti cəlb edir. 2017-ci ildə Çinin CETGC şirkəti 119 qrup dronunun uçuş sınaqlarını uğurla həyata keçirib. Bu sahədə rekord hesab olunur. Robotlar arasında süni intellekt də daxil olmaqla süni intellekt Çində yüksək prioritet sahədir və özəl sektorda süni intellekt sahəsindəki irəliləyişlərin tam üstünlüklərindən istifadə etmək üçün səylər davam edir.

2025-ci ilə qədər Çin süni intellektə inqilabi inkişafı nail olmağı, bu sahədə liderliyi ələ keçirməyi və süni intellekti Çinin sənaye tərəqqisinin və iqtisadi transformasiyasının əsas aparıcısına çevirməyi planlaşdırır. Çin, süni intellektədən tekstildən tibbə və milli müdafiəyə qədər geniş sahələrdə istifadə edərək, bu sahədə ARGE sahəsində aparıcı oyunçu olmağı hədəfləyir. Çinin əsas süni intellekt sənayesinin 59 milyard dollara çatacağı proqnozlaşdırılır. [7]

Çin rəhbərliyinin hərbi və mülki sektorlarda innovasiyaya əsaslanan inkişaf strategiyasını davam etdirməsi və 2030-cu ilə qədər süni intellekt sahəsində dünyanın "ilk innovasiya mərkəzi"nə çevrilməsi gözlənilir. Təbii ki, öz vətəndaşları üçün daha yaxşı gəlirlər və Çinin hazırda qabaqcıl ARGE sahəsində ABŞ-dan geri qalması kimi problemlər var. Bununla belə, süni intellekt sahəsi sürətli yüksəlişi və gələcək profili üçün investisiyaların maliyyələşdirilməsi, səriştəli insan potensialı və böyük həcmdə məlumat kimi mühüm sistem və struktur üstünlükləri təklif edir. Süni intellekt Çinin milli gündəmində hərbi-mülki birləşmə üçün yüksək prioritetdir. Bu strateji yanaşma Çin Xalq Ordusuna (PLA) hərbi imkanları artırmaq üçün özəl sektorun süni intellekt inkişafından istifadə etməyə imkan verəcək.

Hərbi baxımdan Çin, ABŞ-da olduğu kimi kəşfiyyat, birgə əməliyyatlar şəklində (COP) çıxarılması və döyüş meydanında sürətli qərarların qəbulu kimi tətbiqlərdə süni intellektədən istifadə etməyi hədəfləyir. Ancaq Çinin son illərdə aktiv döyüş görməməsi səbəbidən hesab olunur ki, mərkəzi hakimiyyətə üstünlük verən və tabeliyində olan orqanlara inamsızlıq göstərən mədəni struktur muxtar sistemlərin və süni intellekt tərəfindən dəstəklənən qərar qəbul etmə sistemlərinin qəbulunda dezavantaj ola bilər. [7]

#### 1. Hərbi sahələr üçün süni intellekt

Süni intellekt texnologiyasındakı irəliləyişlər kommərsiya sahəsində qabaqcıl yer tutur. Hərbi sahədə də əhəmiyyətli inkişaf qəçılmazdır.

Bu, kompüter görmə, ana dilinin işlənməsi, robototexnika və məlumatların istehsalı kimi bir çox klassik süni intellekt sahələrində əsaslı inkişafı səbəb oldu. Süni intellekt və onun alt sahələri, maşın öyrənməsi (Machine Learning, ML) və dərin öyrənmə (Deep Learning, DL), institusional tədqiqat laboratoriyalarında prototiplərdən real dünya tətbiqlərinə keçdi. Dərin öyrənmədən istifadə edən müasir süni intellekt proqramı maşın tərcüməsi, suallara cavablandırma (QA) sistemləri və səs tanınması kimi ənənəvi Sİ tətbiqlərində inqilab etdi. Bu sahədə şəkil çəkmə, dodaq oxuma, səs imitasiya, video sintezi və davamlı nəzarət kimi yeni tətbiqlər də inkişaf etdirilmişdir.

Vurğulamaq vacibdir ki, bizim diqqətimiz süni intellekt tətbiqlərinin harada istifadə oluna biləcəyinə deyil, daha çox ölkələrin süni intellektə hansı fəaliyyətlər üçün ehtiyacı olduğunu anlamaqdır. Şübhəsiz ki, sual iki kateqoriyada nəzərdən keçirilməlidir: uzunmüddətli və qısamüddətli. Digər sualımız isə Sİ-nin gözlənilməz təsirlərinin nə olacağıdır. [8] Aydındır ki, təkcə müdafiə sahəsində deyil, hər sahədə hazırlanmış hər bir Sİ proqram təminatı sosial, mənəvi və hüquqi baxımdan qiymətləndirilməlidir.

Texnologiya inkişaf etdikcə və çoxaldıqca, bütün sahələrdə olduğu kimi, onun da zərərli məqsədlər üçün istifadə olunma ehtimalı daim ağılımıza gəlir.

### **1.1. Əsas Tətbiq Sahələri**

*Avtonom nəqliyyat vasitələri:*

Yeni nəsil avtonom nəqliyyat vasitələrinin üstünlüklərindən istifadə hərbi tətbiqlər üçün əsas məqsəd hesab olunur. Avtonom pilotsuz nəqliyyat vasitələrinin istifadəsinin maliyyə və hərbi faydaları xüsusilə diqqətəlayiq olmasa da, insan istifadəsinin riskli olduğu sahələr, insanlı sistemlərin bahalı olduğu və riskli fəaliyyətlərin olduğu yerlər dərhal yada düşür. İnsanların yerləşdirilməsinin dəyəri baxımından, bir insanı təyyarəyə mindirməsəniz, oksigen sistemləri və ya ekeksiyon kresloları kimi insan sistemlərini quraşdırmaq məcburiyyətində deyilsiniz. Pilotsuz təyyarənin yorğunluğu və G-məhdudiyəti maddi məhdudiyətlər mütənasibdir. Alternativ olaraq, gəmidə siz yaşayış bölmələrinə və su təmizləmə sistemlərinə qənaət edə bilərsiniz və gəmini yenidən təchiz etmək üçün logistik gəmilər və ya bazalar axtarmağa ehtiyac yoxdur. Pilotsuz avtomobillərdə tipik Sİ tətbiqi naviqasiyadır. Naviqasiya sistemləri avtomobillərin sensorlarından istifadə edir. Süni intellekt tətbiqləri həmçinin qrup çalışmaları və müxtəlif taktikalarda olan pilotsuz nəqliyyat vasitələrinə də tətbiq edilir. ABŞ və Avstraliya artıq pilotsuz sistemlər və donanma yaradıb. Yaxın gələcəkdə pilotlu təyyarələri müşayiət edən pilotsuz təyyarələrin şahidi olacağıq. [9]

Bugünkü gün nöqtəyi-nəzərdən, süni intellektlə təchiz edilmiş pilotsuz nəqliyyat vasitələrinin müasir müharibənin aparılması üsulunu dəyişdirəcəyini söyləmək heç də çətin deyil.

*Böyük məlumat əsaslanan modelləşdirmə, simulyasiya və hərbi oyunu:*

Sİ simulyasiyası və oyun alətləri getdikcə daha güclü olur. ABŞ-ın məşhur RAND agentliyi süni intellektdən istifadə edərək nüvə silahlarının təsirlərini və nüvə ehtiyatlarının ölçüsünü hesablayır. Əslində, simulyasiya və modelləşdirmə bütün silah və platforma sistemləri üçün dizayn, planlaşdırma və idarəetmə kimi prosesləri idarə etmək üçün vacibdir. Süni intellekt həmçinin müharibə zamanı düşmənin potensial təmas fəaliyyətlərini modelləşdirmək üçün istifadə olunur.

*Kəşfiyyatın toplanması və təhlili:*

Çoxsaylı mənbələrdən gələn bilgi və məlumatların böyük həcmi qərar qəbul edənlər üçün əhəmiyyətli yük yaradır. Bu gün kəşfiyyatçıların üzləşdiyi ən böyük problemlərdən biri məlumat çatışmazlığı deyil, əksinə daha çox zəngin informasiyadan kəşfiyyat xarakterli dəqiq məlumat çıxarmaq bacarığıdır. Mövzu əldə olan məlumatlarla bağlı olduğundan, Sİ üçün əhəmiyyətli bir tətbiq kimi ortaya çıxır. Məsələn, Sİ mətn, şəkillər, videolar, qəzet xəbərləri, maliyyə məlumatlarının təhlili və texnologiya qaçaqmalçılığı kimi müxtəlif informasiya strukturlarını birləşdirə və təhlil edə bilər.

*Əmr və Nəzarət*

Nəzəri olaraq, süni intellekt vahid məlumat sistemi yaratmaq üçün əsgərlər, pilotsuz nəqliyyat vasitələri, silah sistemləri, təyyarələr, gəmilər və sualtı qayıqlar kimi qüvvələri birləşdirə bilər. Etiraf etməliyik ki, bu cür inteqrasiyanın təsiri çox böyük olardı. [10] Bu halda, Sİ platforma və ya bölmənin missiyasına əsasən hər bir istifadəçiyə göndərilən məlumatı optimallaşdırmalıdır. Həqiqətən də, rəhbərlik və komanda və idarəetmə sistemlərində süni intellektdən istifadənin əsas səbəbi müşahidə et-uyğunlaşdır-qərar ver-hərəkətə keç (OODA – Observe – Orient – Decide – Act) dövrünü rəqibdən daha sürətli yerinə yetirmək və ya onlara mane olmaqdır.

ABŞ Hərbi Hava Qüvvələri hava, kosmos, kiberməkan, dəniz və quru əməliyyatlarının planlaşdırılması və icrası üçün “Multi-Domain Command and Control, MDC2” sistemini inkişaf etdirir. Yaxın gələcəkdə sensor məlumatlarını birləşdirmək və qərar qəbul edənlər üçün Ümumi Əməliyyat Şəkili (Common Operating Picture, COP) yaratmaq üçün Sİ-nin istifadəsi nəzərdən keçirilir. Hazırda daxil olan məlumatlar müxtəlif platformalardan, müxtəlif formatlarda gəlir və çox güman ki, artıqlıqlar və uyğunsuzluqlar ehtiva edir. Süni intellektlə dəstəklənən COP ilə klassik problemlər minimuma endiriləcək. [11]

Gələcək süni intellekt sistemləri düşmən tərəfindən və ya sistem problemləri səbəbindən kəsilən rəhbərlik kanallarını aşkarlaya və informasiyanın yayılması üçün alternativ vasitələr tapa biləcək. Bundan əlavə, mürəkkəb döyüş mühitləri üçün lazımı analizlərdən sonra müvafiq Fəaliyyət Kursu (Course of Action, CoA) təmin edilə bilər. [12] Süni intellektdən təkə fəaliyyət istiqamətləri yaratmağı deyil, həm də müəyyən dərəcədə gələcəyi proqnozlaşdırmasını gözləmək, əlbəttə ki, ədalətli olardı. Problemlərdən biri də buradan başlayır. Hadisələrin inkişafının, xüsusən də döyüş sənətinin proqnozlaşdırılması və buna uyğun olaraq fəaliyyət kurslarının formalaşdırılmasının döyüşə necə təsir edəcəyi məlum deyil.

**Nəticə.** Süni intellekt, şübhəsiz ki, gələcəkdə orduda mühüm yer tutacaq. Süni intellekt inkişaf etməyə davam etdikcə, kompüterlərdən gözlənilən davranışlar təkə real bilik və təcrübəyə deyil, həm də sensorun aşkarlanmasındakı məhdudiyətlərə əsaslanır. Yüksək qeyri-müəyyənlik mühitlərində süni intellektin insan zəkasına uyğun davranması bir qədər vaxt aparacaq.

Süni intellektin fikir irəli sürərkən mövcud olan hazırkı çatışmazlığına əsaslanaraq, bir çox insanın avtonom silahları qadağan etmək istəməsi başa düşüləndir. Bununla belə, sahənin mürəkkəbliyini nəzərə alaraq, qadağanın çərçivəsini müəyyənləşdirmək həlledici əhəmiyyət kəsb edir. Məsələn, "avtonom" termini dron və ya onun üzərindəki silaha aiddir? Əgər pilotsuz təyyarədə avtonom raket varsa, hansına qadağa qoyulacaq? Şübhəsiz ki, birinin qadağan edilməsi digərinə təsir edəcək.

Strateji perspektiv süni intellektin inkişafı və onun orduda istifadəsi üçün çox vacibdir. Aydın ki, Sİ müharibənin bütün sahələrində özünü göstərəcək. Bir ölkə olaraq biz kritik strateji süni intellekt texnologiyaları üçün uzunmüddətli, missiya yönümlü siyasətlər hazırlamalıyıq. Mövcud təşəbbüslərdən əlavə, dövlət döyüş məkanında qısa, orta və uzunmüddətli Sİ tətbiqlərini qiymətləndirmək üçün lazımı səyləri sərf etməlidir. Hal-hazırda, avtonom avtomobillərdə olduğu kimi, geniş kommərasiya Sİ istifadəsi var və tədqiqat və inkişaf davam edir və kommərasiya texniki icması səhvlərdən öyrənməyə və inkişaf etməyə davam edir. Orduda öyrənilən dərslər və buna görə də inkişafa real töhfələr məhduddur. Hökumətin büdcəsi elmi-tədqiqat işləri ilə məhdudlaşır. Süni intellektin hərbi sistemlərə inteqrasiyası demək olar ki, bir-birinə qarışmış kommərasiya/hərbi əməkdaşlıq tələb edir. Hətta avtomatik tanınma sistemləri üçün hazırlanacaq modellərin hazırlanması da məxfilik və bürokratik problem hesab olunur.

### Ədəbiyyat

1. Grooms, Geoffrey B. , "Artificial intelligence applications for automated battle management aids ", Thesis, NPS, 2019.
2. Karakuş, C. (2018), Geleceğin Dijital Askerleri.
3. Cummings, M. L., "Artificial intelligence and the Future of Warfare ", International Security Department and US and the Americas Programme, Jan., 2017.
4. Gupta, D. K., "Military Applications of Artificial intelligence ", Indian Defence Review, March, 2018.
5. Eaton, J. , "An Emerging Capability : Military Applications of Artificial intelligence and Machine Learning", <https://smallwarsjournal.com/jrnl/art/> ; 2018.
6. Une, M.M. ve Khidake, S.L. , "Artificial intelligence in Defense Sector", IRJET, Vol. :05, Issue 06, June, 2018.
7. Sole, S., "Cognitive electronic warfare : Countering threats posed by adaptive radars", <http://mil-embedded.com/articles/cognitive-electronic-warfare-countering-threats-posed-by-adaptive-radars/>, 2019.
8. Archus, D., "Anti-Ship Missile Defence with Artificial Intelligence", <https://navalnews.net/anti-ship-missile-defence-with-artificial-intelligence/>, 2019.
9. McLemore, C.S. ve Lauze, H. , "The dawn of Artificial intelligence in naval warfare", <https://warontherocks.com/2018/06/the-dawn-of-artificial-intelligence-in-naval-warfare/>, June 2018.
10. Azak, M. ve Bayrak, A. E., "A new approach for threat evaluation and weapon assignment problem, hybrid learning with multi-agent coordination", <https://www.iscis2008.itu.edu.tr/> , 2018.
11. Jiang, X. , Artificial Intelligence, with introduction to machine learning, CRC Press, 2018.
12. Svenmarck, P., Luotsinen, L., Nilsson, M. ve Schubert, J., "Possibilities and Challenges for Artificial intelligence in Military Applications", <https://www.researchgate.net/publication/32677496> NATO STO-MP-IST-160, 2018.

### Summary

#### RESEARCH PERSPECTIVES OF CREATING FUTURE SOLDIERS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

*Heydarov E.*

There is no single generally accepted definition of artificial intelligence (AI). Artificial intelligence, or machine intelligence (AI), is intelligence demonstrated by a computer, while natural intelligence is intelligence demonstrated by humans or animals. Its general definition is the ability of a computer system to perform tasks that require ordinary human intelligence, such as visual perception, speech recognition, and decision-making.

AI, necessary in many spheres of life, in the simplest case is an imitation of human intelligence from the point of view of thinking and behavior in programmable machines. AI programmers teach machines to control human behavior, and then expect them to take appropriate actions in new situations. This is called machine learning.

**Keywords:** Future soldier, Artificial intelligence, Technologies, Military area, Science

### Резюме

#### ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВ СОЗДАНИЯ СОЛДАТ БУДУЩЕГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

*Гейдаров Э.*

Единого общепринятого определения искусственного интеллекта (ИИ) не существует. Искусственный интеллект, или машинный интеллект (МИ), — это интеллект, демонстрируемый компьютером, в то время как естественный интеллект — это интеллект, демонстрируемый людьми или животными. Его общее определение — это способность компьютерной

системы выполнять задачи, требующие обычного человеческого интеллекта, такие как визуальное восприятие, распознавание речи и принятие решений.

ИИ, необходимый во многих сферах жизни, в простейшем случае представляет собой имитацию человеческого интеллекта с точки зрения мышления и поведения в программируемых машинах. Программисты ИИ обучают машины управлять поведением человека, а затем ожидают от них соответствующих действий в новых ситуациях. Это называется машинным обучением.

**Ключевые слова:** Будущий солдат, Искусственный интеллект, Технологии, Военное дело, Наука

## MAŞIN ÖYRƏNMƏSİNƏ ƏSASLANAN ZƏRƏRLİ PROQRAM AŞKARLANMASINDA MÖVCUD ÇƏTİNLİKLƏR

**Məmmədli Elşən Rövşən oğlu**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

**Xülasə** Kibertəhlükəsizlik sahəsində zərərli proqramların eksponensial artımı ənənəvi aşkarlama üsullarının qeyri-adekvat olmasına səbəb olmuşdur. Maşın öyrənməsi (MÖ) və dərin öyrənmə texnikaları bu sahədə böyük uğurlar əldə etsə də, bir sıra ciddi çətinliklərlə üzləşir. Bu məqalə MÖ əsaslı zərərli proqram aşkarlama sistemlərinin qarşılaşdığı əsas beş çətinliyi təhlil edir: adversarial hücumlar və yayınma texnikaları, konsept sürüşməsi və modelin köhnəlməsi, verilənlər bazasının keyfiyyəti məsələləri, modelin izah ediləbilirliyi problemləri və praktiki tətbiq məhdudiyyətləri. Tədqiqat göstərir ki, bu çətinliklər bir-biri ilə sıx əlaqəlidir və hərtərəfli həll yanaşması tələb edir. Məqalə həmçinin gələcək tədqiqat istiqamətlərini və bu sahədə irəliləyiş üçün tövsiyələr təqdim edir.

**Açar sözlər:** Maşın Öyrənməsi (MÖ), Zərərli Proqram Aşkarlanması, Adversarial Hücumlar, Konsept Sürüşməsi, izah ediləbilən Sİ, Kibertəhlükəsizlik

Müasir rəqəmsal dövrdə zərərli proqramlar kibertəhlükəsizlik üçün ən ciddi təhlükələrdən biridir. Hər gün 1.5 milyondan çox yeni zərərli proqram nümunəsi meydana gəlir. Ənənəvi imza əsaslı aşkarlama üsulları polimorfik və metamorfik zərərli proqramlara qarşı effektiv deyil. Bu səbəbdən maşın öyrənməsi texnikaları zərərli proqram aşkarlanmasında geniş tətbiq tapmışdır.

MÖ əsaslı yanaşmalar yeni təhdidləri müəyyən etmək, inkişaf edən hücum nümunələrinə uyğunlaşmaq və böyük həcmli məlumatları səmərəli emal etmək qabiliyyətinə malikdir. Bu sistemlər Random Forest, Support Vector Machines, dərin neyron şəbəkələri və konvolyusiya şəbəkələri kimi müxtəlif alqoritmlərdən istifadə edir. Laboratoriya şəraitində 95%-dən yüksək dəqiqlik nümayiş etdirən bu sistemlər real dünya tətbiqlərində bir sıra ciddi məhdudiyyətlərlə üzləşir.

Bu tezis MÖ əsaslı zərərli proqram aşkarlama sistemlərinin qarşılaşdığı əsas çətinlikləri sisteməlik şəkildə təhlil edir və bu sahədə mövcud tədqiqatları icmal edir. Məqsəd tədqiqatçılara və praktiklərə bu çətinliklərin həlli üçün istiqamət göstərməkdir.

### **Adversarial hücumlar və yayınma texnikaları**

MÖ əsaslı detektorların ən böyük zəifliyi adversarial hücumlara qarşı həssaslığıdır. Adversarial nümunələr modeli aldatmaq üçün xüsusi hazırlanmış, lakin zərərli funksionallığını saxlayan girişlərdir. Kompüter görməsindən fərqli olaraq, zərərli proqramda hər hansı dəyişiklik icra edilə bilən funksionallığı qoruyur.

Tədqiqatlar göstərir ki, ağ qutu hücumlarında təcavüzkarlar 90%-dən çox yayınma dərəcəsinə nail ola bilər. Qara qutu hücumlarında isə genetik alqoritmlər və reinforcement learning istifadə edilərək effektiv nəticələr əldə edilir. RAMEN və GAMMA kimi çərçivələr DOS başlıqlarını manipulyasiya edərək və ya optimallaşdırılmış payload-lar yerləşdirərək adversarial zərərli proqramlar yarada bilər.

Adversarial təlim, qradiyent maskalanması və randomized smoothing kimi müdafiə mexanizmləri təklif edilmişdir. Lakin bu müdafiələr çox vaxt dəqiqlik və ya performans baxımından kompromislə gəlir. Üstəlik, bir çox müdafiə yanaşması adaptiv hücumlara qarşı zəif qalır.

### **Konsept sürüşməsi və model köhnəlməsi**

Konsept sürüşməsi məlumatların statistik paylanması zamanla dəyişməsi nəticəsində model performansının azalmasıdır. Zərərli proqram mənzərəsinin sürətli təkamülü bu problemi daha da şiddətləndirir. Yeni zərərli proqram ailələrinin meydana gəlməsi və mövcud ailələrin təkamülü modellərin köhnəlməsinə səbəb olur.

Android zərərli proqram aşkarlanması üzrə empirik tədqiqatlar göstərir ki, köhnə məlumatlar üzərində öyrədilmiş modellər yeni nümunələrdə 20-40% performans itkisi yaşayır. Xüsusiyyət növləri, məlumat toplama mühiti və aşkarlama alqoritmləri konsept sürüşməsinin təsirinə müxtəlif dərəcədə həssasdır.

Ənənəvi yanaşma mütəmadi model yenidən təlimidir. Lakin son tədqiqatlar göstərir ki, yenidən təlim yalnız marjinal təkmilləşdirmə təqdim edir və xeyirxah nümunələrdə performansı pisləşdirə bilər. MORPH kimi özünə-təlim yanaşmaları və aktiv öyrənmə strategiyaları daha perspektivli nəticələr göstərir.

### **Verilənlər bazasının keyfiyyəti məsələləri**

Təlim verilənlərinin keyfiyyəti və təmsilçiliyi MÖ modellərinin uğurunu birbaşa təsir edir. Verilənlər balanssızlığı, temporal uyğunsuzluq və etiket səhvləri ən çox rast gəlinən problemlərdir. VirusTotal kimi çox-mühərrikli skannerlərdən alınan etiketlər çox vaxt ziddiyyətli ola bilər.

Drebin kimi geniş istifadə olunan verilənlər bazaları əsasən 2010-2012 nümunələrini əhatə edir və müasir təhdidləri tam əks etdirmir. Yüksək ölçülü xüsusiyyət məkanları overfitting problemləri yaradır. PCA və xüsusiyyət seçimi üsulları bu problemi azaltmaq üçün istifadə edilir, lakin optimal xüsusiyyət dəstinin seçimi hələ də açıq məsələdir.

### **İzah ediləbilirlik və şərh edilə bilmə**

Dərin öyrənmə modellərinin qara qutu təbiəti təhlükəsizlik analitikləri üçün ciddi problemlər yaradır. Analitiklər modelin qərarlarını başa düşməli və yanlış müsbətləri müəyyən edə bilməlidirlər. İzah ediləbilirlik təhlükəsizlik sistemlərinə etimadın artırılması üçün kritik əhəmiyyət daşıyır.

LIME və SHAP kimi XAI texnikaları yerli izahlar təqdim edir. Qradyent əsaslı üsullar, məsələn Integrated Gradients, neyron şəbəkələrinin qərarlarını vizuallaşdırır. Lakin bir çox XAI texnikası kompüter görməsi üçün hazırlanıb və zərərli proqram analizinə birbaşa uyğunlaşmır.

Dəqiqlik və izah ediləbilirlik arasında mübadilə problemi mövcuddur. Qərar ağacları kimi sadə modellər şəffafdır, lakin dəqiqliyi qurban verir. Post-hoc izah üsulları performansı saxlayır, amma yanlış istiqamətləndirici ola bilər. Eyni zamanda, izah ediləbilirlik təcavüzkarlara sistemləri başa düşmək üçün əlavə məlumat verə bilər.

### **Praktiki tətbiq məhdudiyyətləri**

Real dünya tətbiqlərində hesablama yükü və gecikmə tələbləri kritik əhəmiyyət daşıyır. Dərin öyrənmə modelləri yüksək hesablama resursları tələb edir və IoT cihazları kimi resurs məhdud platformalar üçün uyğun deyil. Platforma-aşırı aşkarlama başqa bir çətinlikdir - Windows üçün hazırlanan modellər Android və ya Linux üçün işləməyə bilər.

Məxfilik narahatlıqları və GDPR kimi tənzimləyici tələblər əlavə məhdudiyyətlər yaradır. Federativ öyrənmə və məxfiliyi qoruyan texnikalar potensial həllər təklif edir, lakin texniki mürəkkəbliyi artırır. Standartlaşdırılmış qiymətləndirmə metodologiyalarının olmaması müxtəlif yanaşmaları obyektiv müqayisə etməyi çətinləşdirir.

### **Gələcək tədqiqat istiqamətləri**

Gələcək tədqiqatlar bir neçə prioritet sahədə fokuslanmalıdır. Birincisi, temporal aspektləri və adversarial ssenariləri nəzərə alan hərtərəfli qiymətləndirmə çərçivələrinin yaradılması. İkincisi, ənənəvi imza əsaslı və MÖ əsaslı yanaşmaları birləşdirən hibrid sistemlərin inkişafı təkmilləşdirilmiş etibarlılıq təmin edə bilər.

Ömürlük öyrənmə paradıqmaları konsept sürüşməsi problemini daha effektiv həll edə bilər. Qrafik neyron şəbəkələri zərərli proqram əlaqələrini təhlil etmək üçün perspektivlidir. Kvant maşın öyrənməsi gələcəkdə yeni imkanlar təqdim edə bilər. Akademiya və sənaye arasında əməkdaşlıq bu çətinliklərin həlli üçün vacibdir.

### **Nəticə**

Maşın öyrənməsi zərərli proqram aşkarlanmasında inqilabi dəyişikliklər etmişdir, lakin real tətbiqdə bir sıra ciddi çətinliklərlə üzləşir. Bu məqalə beş əsas çətinliyi - adversarial hücumlar, konsept sürüşməsi, verilənlər keyfiyyəti, izah ediləbilirlik və praktiki məhdudiyyətlər - təhlil etmişdir. Bu problemlərin həlli texniki innovasiya, ciddi qiymətləndirmə və praktiki mülahizələrin birləşməsinə tələb edir.

Tədqiqat göstərir ki, bu çətinliklər bir-biri ilə sıx əlaqəlidir və təcrid olunmuş həllər əvəzinə hərtərəfli yanaşma tələb olunur. Zərərli proqramların mürəkkəbliyi və həcmi artmaqda davam etdikcə, möhkəm, etibarlı və izah ediləbilən aşkarlama sistemlərinə ehtiyac daha da artacaq. Gələcək tədqiqatlar bu çətinlikləri sisteməlik şəkildə həll edərək kibertəhlükəsizliyin yeni nəsilini formalaşdırmağa bilər.

### **Ədəbiyyat**

1. Almahdi, M., & Annawari, N. B. (2023). Artificial Intelligence in Cybersecurity: Opportunities and Challenges. *International Journal of Business Society*, 7(6), 789-794.
2. Gibert, D., Mateu, C., & Planes, J. (2020). The rise of machine learning for detection and classification of malware. *Journal of Network and Computer Applications*, 153, 1-22.
3. Redhu, A., et al. (2024). Deep learning-powered malware detection in cyberspace. *Frontiers in Physics*, 12, 1349463.

4. Altaha, S., & Riad, K. (2024). Machine Learning in Malware Analysis: Current Trends and Future Directions. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 15(1), 1051-1064.

#### Summary

### EXISTING CHALLENGES IN DETECTING MALWARE BASED ON MACHINE LEARNING

*Mammedli E.R.*

The exponential growth of malware in the field of cybersecurity has rendered traditional detection methods inadequate. Although machine learning (ML) and deep learning techniques have achieved significant success in this area, they face a number of serious challenges. This article analyzes the five main challenges faced by ML-based malware detection systems: adversarial attacks and evasion techniques, concept drift and model aging, database quality issues, model explainability problems, and practical implementation limitations. The study shows that these challenges are closely interconnected and require a comprehensive solution approach. The article also presents future research directions and recommendations for progress in this field.

**Keywords:** Machine Learning (ML), Malware Detection, Adversarial Attacks, Concept Drift, Explainable AI, Cybersecurity

#### Резюме

### СУЩЕСТВУЮЩИЕ ТРУДНОСТИ В ОБНАРУЖЕНИИ ВРЕДНОСНЫХ ПРОГРАММ, ОСНОВАННЫХ НА МАШИННОМ ОБУЧЕНИИ

*Маммедли Е.Р.*

Экспоненциальный рост вредоносного ПО в области кибербезопасности привел к тому, что традиционные методы обнаружения стали недостаточными. Хотя методы машинного обучения (МО) и глубокого обучения добились значительных успехов в этой области, они сталкиваются с рядом серьезных проблем. В данной статье анализируются основные пять сложностей, с которыми сталкиваются системы обнаружения вредоносного ПО на основе МО: адверсариальные атаки и методы уклонения, сдвиг концепции и устаревание модели, вопросы качества базы данных, проблемы объяснимости модели и ограничения практического применения. Исследование показывает, что эти трудности тесно взаимосвязаны и требуют комплексного подхода для их решения. Статья также представляет направления будущих исследований и рекомендации для прогресса в этой области.

**Ключевые слова:** Машинное обучение (МО), Обнаружение вредоносного ПО, Адверсариальные атаки, Сдвиг концепции, Объяснимый ИИ, Кибербезопасность

### ANALYSIS OF IMPROVEMENT PROCESS OF INTELLECTUALITY OF SYSTEMATICAL DESIGNING PROCESS OF TECHNICAL SYSTEMS

**Aghayev Ulduz Xeyrulla**

**Talibov Natiq Hasan**

**Huseynov Agil Hamid**

*Sumgayit State University, Sumgayit, Azerbaijan*

*[Ulduz.Aqayev@sdu.edu.az](mailto:Ulduz.Aqayev@sdu.edu.az), [Natiq.talibov@sdu.edu.az](mailto:Natiq.talibov@sdu.edu.az), [Aqil.Huseynov@sdu.edu.az](mailto:Aqil.Huseynov@sdu.edu.az)*

**Summary** The present research is deal with the automated designing procedures of technical systems with complex structures and analyses the available ways for improvement of intellectuality of automated designing systems. In this respect, herein are specified the key subjects of the systematical designing stages of technical systems and are applied the algorithms of their fulfillment. Generally, the possibility of utilization of data base and artificial intellectual elements are under the research in order to realize the designing procedures of the conceptual designing stage which demands creative approach. Meanwhile, the article is deals with the application tasks of designing process of data base and herein, the conceptual model of designing procedures are under the formation.

**Keywords:** Automated designing system, systematical designing, conceptual model, unified model, data base.

#### Introduction

The problem on formation of automated designing systems (CAD) of new generations is more actual and the key goal is to provide the growth of effectiveness while the utilization of all stages of designing, to decrease the period of designing sufficiently and to improve the quality of the product fairly. Such kind of ADS shall be formulated as well as the integrated intellectual CAD [1,2]. Therefore, the different information technologies, the software of data processing, the means of machine's graphics, designing and constructor data base, reports, optimization and imitation sets must be applied all together. The new improved technologies of data processing and meanwhile, the classic CAD supplied with the means of communication, developed by modules are called integrated intellectual CAD.

The general ways for the formation of CAD of new generation are the followings:

Actualizing the designing through all stages and getting close to the formation procedure of arbitrary designing in order to improve the effectiveness of designing.

Optimization of informational communication of designer and computer system; formation of internal and external interfaces by the means of applied software

The formation of the data base which submits the designing models of CAD by the support of instrumental means. All of these ways consider wide utilization of all means and styles of artificial intellect and in the results the CAD is subjected to be intellectualized.

There are two main strategies in order to intellectualize the CAD:

Internal intellectualization – it is a formation of the process of different designing and report tasks, and also is a process of intellectualization of appropriate algorithms

External intellectualization – formation of management means of intellectual designing procedures including certain designing procedures; formation of applied software and algebraic modeling mass an etc.

At present an external intellectualization is considered more actual. The reason of that is the presence of high level program products that considered as the main aspect in the designing process and which is the image of the product. The programs such as Auto CAD, Pro/Engineer and other special software are practically covering the designing process, basically the technological preparation process of production. But, it is impossible to call them as intellectual ones. It is useful to process the intellectual CAD on the bases of these systems.

The basis of external intellectualization and the software integration is consisting of distributed database that formed by the unique principle.

The designing procedures, which formulates designing scheme of technical system in order to provide the intellectuality of CAD and the intellectualization availability of the operations should be analyzed and identified by the application of distributed database and the other artificial intellectual software. The designing scheme includes all actions made before the realization of technical documentary and an idea of engineer about the technical way. The scheme is bringing about key conditions for the systematical approach of the construction process:

Transformation of designing idea from the common case into a special

Importance of taking into account the designing results of the former stages of designing while processing of the special subjects

Obtaining of new technical solution in the result of creative process which contains sustainable approach owned by iteration character.

Rational technical solutions are achieved in the result of processing of maximum options and the precise analysis of them

The constructing of the products is fulfilled by taking into account their complexity and possibility for preparation

It is necessary to use in maximum the certain technical results that take into account the summary of former experience.

The constructor shall take into account all set of criteria for the evaluation of solution

#### **Stages of system design of technical systems**

- The given systematic design is generally consist of four stages as follows:
- The formation tasks of the new technical way;
- Searchable designing;
- Conceptual designing ;
- Engineering constructing.

The systematical model is formed in the stage of fixing of matters for new technical ways which based on clear and deep analysis. Its relation and manner with the transforming environment is given in a model. This model allows to realize the general tasks for the creation of new technical way, to formulate its destination and to clarify the restrictions and the borders for the realization of working functions.

The following solution process of technical mean is determined in the result of analysis of tasks on its novelty and technical realization: utilization of the certain technical solutions, constructing of new technical mean or once again to examine the real status of the problem. In this stage the following question has to be answered: Do you need a new devise and what kind of matters does it solve? During the positive solution the task comes out. It means that it shall be determined the general tasks for the formation of the new product which is a basis in order to implement the stages of designing-constructor process.

The searchable designing meets the question about the future form of the technical mean. That is why the destination of the technical mean shall be specified and it shall be determined the system limits and the relation of it with external environment. While the analysis of general task, the working functions of new technical mean is clarified and the components of the task such as parameters, solution aspects, and the goal of technical object and the principles of activity are determined. When the description principles and

working scheme of the installed object are clear, so in this stage is considered to determine the limits of the activity regimes of the designed object. The result of the implementation of this stage is consisting of configuration of technical task for the designing of the new technical unit. That task must reflect equivalently the destination of the unit and the conditions for the project evaluation and quality indicators.

Conceptual designing stage determines the technical realization stage of the future constructing idea. Meanwhile, it formulates the constructing conception in the result of analysis and processing of the different options of the principled solutions. This stage is dealing with the economic evaluation of the selected options. In the result of conceptual designing, the technical offers are examined in order to define the conception of technical-economic expediency of future technical mean of construction and its creation accordingly.

The processes that decide the principled designing solutions according to the shape and principle of the designed unit and also due to its system's activity, namely the initial stages of designing are called as a conceptual designing.

The designing procedures, that under the realization while conceptual designing is dealing with the solution processes of the tasks which are forming hardly and structuring softly.

Conceptual designing is divided into the following stages: formulation of goal's model, synthesis of conceptual models, and interpretation of result of modeling. .

It is noted in the 8th work that, the processed formalisms and algorithms are allow to automate the synthesis process of technical objects of algorithms. Multi-agent system methodology has been chosen for the formation of automated system of conceptual modeling. This system is based on data. Utilization of multi-agent system creates conditions for the formation of the system of distributed parallel designing. Necessary options of technical installation shall be processed, analyzed and defined in the stage of engineering constructing. Hereinafter, the technical and working design is fulfilled. Namely, it is given a full view about technical unit and its activity. The design detailing is fulfilled by the way of draft processing of each element.

The stage of fixing of general tasks for the formation of new technical objects and their searchable - conceptual designing remains basically as the creative stages. Atomization ways offered by some authors are bringing about the options for the formation of developed information and expert systems. Most of the achievements are obtained in the process of engineering atomization. The formation of the automated system, which supports the solution of the engineer and CAD, is based on sequence description of the objects and their designing process.

It should be noted that the modern technical software are including complex structures of the different units. Therefore, it is divided into the several parts in order to solve the task and those parts should be fulfilled with minimum iterations by one constructor. It was given a special attention to this matter in the draft of engineering constructing stage. During the implementation of this task is determined not only the list of goals but also is defined the strategy of designing. Division into parts of the designing tasks is based on functional structured analysis and synthesis methods of technical system. Functional analysis is consisting of hierarchic split of the object into the functional objects. The result of synthesis is bringing about the formation of the technical ways that reflecting the mutual relation between the elements of the system. This process is fulfilled in the several stages:

- Analysis of functions of technical unit;
- Synthesis of functional formation of technical unit;
- Formation of multilevel structure of designing object;
- Appearance of special designing tasks and their settlement;
- Processing of designing strategy of technical software.

#### **Conceptual model of design procedures.**

Multileveled structure of the designed object is formed in the results of examination of graphs of functional mutual relation of system's elements in the different stage of the object's split. The key designing procedure of this process is to describe the processed object in the form of blocks. The blocks may be assembled by normal parts and junctions that able to be replaced mutually. This description needs a careful approach and the result of it must be highly regulated and systematized. The implementation of such kind of works is conducted by the experienced constructors and designers. Suggested option is allow to determine the strategy of designing and provides the objective preparation of the project in a traditional way.

The conceptual model of subject area of intellectual system formed by the given process includes the list of all conceptions that used for the description of the subject area. The features and characteristics of those conceptions, the classification of them due to the types, the conditions of the given area and etc. should be taken into account in order to describe the subject area. The conceptual model of subject area in the

classic CAD has been examined by two components – the model of designed object and the model of CAD as the collection of procedures [3,5]. The unified conceptual model of the subject area should be examined from this point of view. Unified conceptual model of subject area shall be used in the forms as follows:

- As a algorithm or a method of formation of the new intellectual CAD for the different subject areas;
- As the bases or the ways of formation of complex tools for the atomization of intellectual CAD formation .

The analysis shows that the formation process of unified conceptual model may be divided into the following stages [4,6]:

Analysis of conceptual models of the certain subject area of CAD.

Selection of related conceptual model out of the subject area which owns high leveled formalization, high qualities and universal tendency in the principles of formation.

Formation of the new complex unified conceptual model as the modification of other conceptual models with taking into account the means and methods of the other models.

The conceptual model formed in this way shall ensure an adaptation in the different application fields.

It may be said as the result that any technical unit and part with complicated structure has owned complete functional position and possessed an algebraic form like complicated functional element by various levels. And it includes the collection of constant constructor technological features. Taking into account above mentioned description, it may be noted that the constructive algebraic models are able to be formed as follows:

1. The model is supplied by the combination of constructive elements that formed as the collection of the surfaces which is minimizing it.

2. The model is determined by the theoretical set of acts which is realized on the constructive elements.

Usually, the following data is used as the constructive element: such as prism, cone, pyramid, cylinder at etc. At present, an algebraic model of the objects is used more than constructive algebra owned by data of massive primitives. And the complicated object is formed by the presence of combination, crossing and distinction acts of the theoretical quantities. The first form of “F” out of the arbitrary details is determined by the set of the typical fragments which formulates the form of details. Formally, it is written in the following way:

$$F_{i=1}^m = \bigcup_{k=1}^m t f d_k ; m = \{1, 2, \dots, l\}$$

Herein “m-tfd” is applied in order to use typical fragment of details’ forms. And, in this case, you may get the complete form of technical unit and its junctions. The full term of the designing requires an application of such models of the objects and owns necessary data for the constructor analysis.

The different physical rules and objective laws are formed by the means of predicates and implications. And it brings about the formation of related technical elements and their application conditions. Combination rules of the elements shall be registered. Synthesis is realized during the process of logical result. At this moment, it might be caused of the production of all available drafts for the data base. The data about the formation of the details, junctions and the structure of the technical unit, and about the basic fundamental physical objective laws of formation of technical junctions is shown below with implication:

$$B(x) \rightarrow A(x) \text{ (if “B”, then “A”).}$$

Here in B (x) – is a logical formula: condition A (x) – is a logical formula of result: x – is a vector of variables and constants.

Implication provides the module of the data and might be interpreted as a production:

$$\text{If so: } X_1 \text{ and } X_2 \text{ and } X_3 \text{ and } \dots X_4 \text{ so then: } Y_k = \bigcup_{i=1}^n X_i$$

The followings might be related to the certain conceptual models of the subject area in the CAD:

General universal models, independently of the subject area:

The general classic model of CAD given as the system of procedures, determined on the bases of description system mutually related to the models owned by the different complexity degrees [3,7]:

Classic model of CAD and the modern methods, which able to solve the typical problems of the designing:

Classic model of searchable constructing

General Physical semantics of the models of technical objects; the principle of similarity

General mathematical optimization theory; imitation theory [3] an etc.

The specific conceptual models, directed to the different application fields:

The conceptual model of subject area of complex CAD – special procedures, reconstruction stages;

The conceptual model of the subject area of machinery CAD; specific procedures – parameterization function of the object by the means of flexible parameters.

The conceptual model of the subject area of accounting technical CAD owned by the specific levels of model description.

### **Conclusion**

We can make the following conclusion on the bases of the above mentioned data:

Practically, it is impossible to realize full unified conceptual model of the all available specific stages of description and designing in all levels of the subject areas.

It is necessary to determine the general principles of the subject areas and to enlarge the formation styles of the unified conceptual model.

### **References**

1. Norenkov I.P. Application of automated designing of technical systems an devises// Electron magazine “Science and education”, Engineering Association of technical universities. ЭЛ № ФС 776 2761162004
2. Norenkov I.P., Artunan N.M. Evolution methods of selection tasks for designing solutions// Electron magazine “Science and education”, #9, Septemeber 2007
3. Huseynov A.H. Some problems of flexible production agent-oriented systems// Scientific , ANAS, 8<sup>th</sup> tome, #3, Baku, 2003, page 203 -208
4. Huseynov A.H., Movsumov B.A. Investigation of unified ADS process of elements and junctions of FMS// SSU, Scietific News, 7<sup>th</sup> tome, 2007, #3, page 109 – 114
5. Huseynov A.H., Mammadov. Algorithm of Logical option at the draft designing stage of technical object. International Scientific Journal Theoretical & Appllied Science. 2015, pp.39-42.
6. Гусейнов А.Г., Талыбов Н.Г. Разработка системной модели технического объекта при концептуальном проектировании. Нефтегазовое дело. Т.15, №2, 2017, стр.1-4
7. Yanushko V.V., Jmurko S.A. Multi-agent systems in ADS (1<sup>st</sup> part)//Perspective information technology and intellectual systems. ЮФО, Таганрог, # 1, 2007, page 24-30

### **Xülasə**

## **TEKNİKİ SİSTEMLƏRİN SİSTEMATİK LAYİHƏLƏNDİRİLMƏSİNİN İNTELLEKTUALLAŞDIRILMASI PROSESİNİN TƏHLİLİ**

*Ağayev U.X., Talıbov N.H., Hüseynov A.H.*

Bu tədqiqat mürəkkəb strukturlu texniki sistemlərin avtomatlaşdırılmış layihələndirmə prosedurlarına və avtomatlaşdırılmış layihələndirmə sistemlərinin intellektuallıq səviyyəsinin artırılması üçün mövcud üsulların təhlilinə həsr olunmuşdur. Bu baxımdan, texniki sistemlərin sistematik layihələndirilməsinin əsas aspektləri müəyyən edilmiş və onların icrası üçün müvafiq alqoritmlər tətbiq edilmişdir. Ümumilikdə, verilənlər bazalarının və süni intellekt elementlərinin istifadəsi imkanları, yaradıcı yanaşma tələb edən konseptual layihələndirmə mərhələsində layihələndirmə proseslərinin reallaşdırılması çərçivəsində araşdırılır. Eyni zamanda, məqalə verilənlər bazasının layihələndirilməsi proseslərinin tətbiqi məsələlərinə həsr olunmuş və burada layihələndirmə prosedurlarının konseptual modeli formalaşdırılmışdır.

**Açar sözlər:** avtomatlaşdırılmış layihələndirmə sistemi, sistematik layihələndirmə, konseptual model, unifikasiya olunmuş model, verilənlər bazası.

### **Резюме**

## **АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОСТИ СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*Агаев У.Х., Талибов Н.Г., Гусейнов А.Г.*

Настоящее исследование посвящено автоматизированным процедурам проектирования технических систем со сложными структурами и анализе доступных способов повышения интеллектуальности автоматизированных проектных систем. В этом отношении здесь определены ключевые аспекты систематического проектирования технических систем и применяются алгоритмы их выполнения. В целом, возможность использования баз данных и искусственных интеллектуальных элементов находится в рамках исследования для реализации процессов проектирования на этапе концептуального проектирования, требующего творческого подхода. В то же время статья посвящена прикладным задачам проектирования процессов базы данных, и здесь формируется концептуальная модель процедур проектирования.

**Ключевые слова:** автоматизированная система проектирования, систематическое проектирование, концептуальная модель, унифицированная модель, база данных.

# “ƏSRİN MÜQAVİLƏSİ” NİN REGIONAL ENERJİ TƏHLÜKƏSİZLİYİNDƏ ROLU

**Balakışiyeva Dilşad Romeş qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[dilsadbalakisiyeva@gmail.com](mailto:dilsadbalakisiyeva@gmail.com)

**Xülasə** 1994-cü ilin sentyabrında imzalanan “Əsrin müqaviləsi” Azərbaycan dövlətçiliyinin bərpa edilməsi və iqtisadi-siyasi baxımdan yeni dövlət strategiyalarının müəyyənləşdirilməsində mühüm rol oynadı. Bu məqalədə dövlətin iqtisadi inkişafını təmin etmək üçün həyata keçirdiyi enerji siyasəti “Əsrin müqaviləsi” nin regional roluna əsaslanaraq araşdırılır və təhlil edilir. Eyni zamanda Azərbaycanın enerji resurslarının beynəlxalq əməkdaşlıqla istehsal və ixracını mümkün etməsi, Bakı–Tbilisi–Ceyhan və Bakı–Supsa kimi marşrutlar vasitəsilə nəql təhlükəsizliyinin gücləndirilməsi ilə bağlı məsələlər araşdırılır. Yeni ayihələrin icrası ölkəmizin beynəlxalq arenada tanınmasına və dövlətin ağır iqtisadi durumunun bərpa etdirilməsinə səbəb oldu. Nəticədə Azərbaycan etibarlı enerji tərəfdaşına çevrilərək regionun enerji təhlükəsizliyində mühüm mövqə qazanmışdır.

**Açar sözlər:** Əsrin müqaviləsi, enerji siyasəti, iqtisadi inkişaf, Bakı–Tbilisi–Ceyhan, Bakı–Supsa, enerji marşrutları

XX əsrin 90-cı illərinin əvvəlləri Azərbaycan üçün dərin siyasi, sosial və iqtisadi böhran dövrü idi. Dövlət institutlarının zəifləməsi, müharibənin yaratdığı fəsadlar və iqtisadi tənəzzül ölkənin inkişaf perspektivlərini ciddi şəkildə məhdudlaşdırırdı. Müstəqillik əldə olunsa da o dövrdə hakimiyyətdə olan şəxslərin yarıtmaz siyasəti ölkəni uçuruma doğru aparırdı. Məhz belə mürəkkəb geosiyasi reallıqda xalqın təkidli tələbi ilə hakimiyyətə qayıdan Heydər Əliyev Azərbaycan dövlətçiliyini möhkəmləndirməyi, daxili sabitliyi bərpa etməyi və iqtisadi dirçəlişi təmin etməyi qarşıya strateji məqsəd kimi qoydu. Ulu Öndərin uzaqgörənliyi və siyasi iradəsi qısa müddətdə həm beynəlxalq etimadı artırdı, həm də xarici sərmayələrin ölkəyə cəlb olunması üçün əlverişli mühit formalaşdırdı [1].

1994-cü ilin əvvəllərindən etibarən Azərbaycan iqtidarı Xəzər neftinin xarici neft şirkətləri ilə birgə işlənməsi üçün yenidən intensiv danışıqlar həyata keçirdi. Ulu öndər Heydər Əliyevin həyata keçirdiyi neft strategiyası təkcə milli iqtisadiyyatın dirçəlişini deyil, həm də Azərbaycanın regional enerji təhlükəsizliyində əsas aktora çevrilməsini təmin edən konseptual xətt oldu. Bu strategiyanın əsasını təşkil edən “Əsrin müqaviləsi” 1994-cü ildə imzalanaraq Xəzər hövzəsinin zəngin karbohidrogen ehtiyatlarının beynəlxalq bazarlara çıxarılmasının hüquqi, iqtisadi və institusional çərçivəsini yaratdı. Müqavilə Azərbaycan üçün yeni enerji fəlsəfəsinin başlanğıcı olmaqla yanaşı, ölkənin iqtisadi müstəqilliyini gücləndirən mühüm tarixi hadisəyə çevrildi [6].

“Əsrin müqaviləsi”nin icrası çərçivəsində ölkəyə iri həcmli sərmayələrin axını təmin olundu, transmilli enerji şirkətlərinin iştirakı ilə yeni texnologiyaların tətbiqi başladı, hasilatın artırılması üçün müasir infrastruktur quruldu. Bununla yanaşı, müqavilə Azərbaycanı regional enerji şəbəkəsinin mərkəzinə çevirən genişmiqyaslı nəql layihələrinin həyata keçirilməsinə stimül verdi. Bu kontekstdə Bakı–Tbilisi–Ceyhan (BTC) neft boru kəməri xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. 2006-cı ildə istismara verilən bu kəmər Xəzər hövzəsinin neftini Aralıq dənizinə çıxarmaqla Azərbaycanın tranzit imkanlarını genişləndirdi, ölkənin geosiyasi çəkisini əhəmiyyətli dərəcədə artırdı və enerji tədarük mənbələrinin şaxələndirilməsinə mühüm töhfə verdi. BTC eyni zamanda Qərbin enerji təhlükəsizliyi üçün alternativ marşrut kimi qəbul edildi [3].

Azərbaycan qazının beynəlxalq bazarlara inteqrasiyasında isə Bakı–Tbilisi–Ərzurum (BTE) və Şahdəniz layihələri dönüş nöqtəsi oldu. Şahdəniz yatağının işlənməsi regionun qaz xəritəsini dəyişdirərək Azərbaycanın etibarlı enerji təchizatçısı kimi nüfuzunu artırdı. BTE qaz kəməri vasitəsilə Azərbaycan qazı Türkiyəyə və oradan Avropanın bəzi bazarlarına çıxarılmğa başladı. Ardınca həyata keçirilən TANAP (Trans-Anadolu Qaz Boru Kəməri) və TAP (Trans-Adriatik Boru Kəməri) isə Cənub Qaz Dəhlizinin əsas komponentləri kimi Azərbaycanın enerji strategiyasını qlobal səviyyəyə daşdı. Bu layihələr Avropanın enerji təhlükəsizliyində Azərbaycanın rolunu möhkəmləndirdi, həmçinin Xəzər qazının Avropa bazarlarına fasiləsiz və uzunmüddətli şəkildə nəqlini təmin etdi [4].

Beləliklə, “Əsrin müqaviləsi” yalnız enerji hasilatı və ixracı layihəsi deyil, həm də regional enerji xəritəsini dəyişən, yeni geosiyasi reallıqlar yaradan, Avropa–Qafqaz–Asiya enerji körpüsünün formalaşmasına şərait yaradan strateji sənəd idi. Bu müqavilə Azərbaycanı Cənubi Qafqazın enerji mərkəzinə çevirmiş, ölkənin iqtisadi müstəqilliyinə, siyasi nüfuzuna və beynəlxalq əməkdaşlıq imkanlarına mühüm töhfə vermişdir. Nəhayət, neft-qaz müqavilələrinin iqtisadi əhəmiyyəti onların siyasi rolunu şərtləndirirdi [2, s.117].

Nəticə olaraq qeyd edə bilərəm ki, Heydər Əliyevin neft strategiyasının mərkəzində duran “Əsrin müqaviləsi” XXI əsrin enerji təhlükəsizliyi sistemində Azərbaycanı önəmli rol sahibi kimi göstərmişdir. Bu müqavilənin imzalanması ölkəyə enerji resurslarını beynəlxalq əməkdaşlıq çərçivəsində səmərəli istehsal və ixrac etmək imkanı yaratdı. Bu, həm də Azərbaycanın regional və qlobal enerji bazarlarında etibarlı tərəfdaş kimi qəbul olunmasına imkan verdi. Bakı–Tbilisi–Ceyhan və Bakı–Supsa kimi mühüm neft marşrutlarının

inkişafı ilə ölkəmizin nəqliyyat təhlükəsizliyi və enerji infrastrukturunun dayanıqlılığı xeyli artırıldı [5]. Bütün bunları Azərbaycanın regional sabitlik və iqtisadi inteqrasiyada oynadığı rolu daha aydın göstərən əsas faktor kimi qiymətləndirmək olar. Eyni zamanda, “Əsrin müqaviləsi” ölkənin beynəlxalq arenada tanınmasına və xarici investisiyaların cəlb olunmasında mühüm rol oynadı və Nəticədə, Azərbaycan enerji diplomatiyasında strateji əhəmiyyətli bir tərəfdaş kimi möhkəmləndi və regionun enerji siyasətinin formalaşmasında həlledici rol oynadı.

### Ədəbiyyat

1. Heydər Əliyev. [Müstəqilliyimiz əbədidir](#): (Çoxcildliyin I–IX cildlərinin köməkçi aparatı).- Bakı, 2008.- 339 səh.
2. Mehdiyev Ə. “Əsrin müqaviləsi”: Azərbaycan neft stratejiyasının təməli daşı. Bakı: «Turxan» NPB, 2014. – 248 s.
3. ["Azərbaycanın müstəqilliyinin zəmanəti - "Əsrin müqaviləsi"".](#) 22 sentyabr 2024 tarixində [arxivləşdirilib](#). İstifadə tarixi: 20 sentyabr 2024.
4. <https://files.preslib.az/projects/centurycontract/gl1.pdf>
5. <https://minenergy.gov.az/az/neft/esrin-muqavilesi>
6. [https://ryl.az/melumat/bazalari/Esrin\\_muqavilesi\\_el\\_melumat\\_bazasi/pdf/muqavile\\_meqale.pdf](https://ryl.az/melumat/bazalari/Esrin_muqavilesi_el_melumat_bazasi/pdf/muqavile_meqale.pdf)

### Summary

#### THE ROLE OF THE “CONTRACT OF THE CENTURY” IN REGIONAL ENERGY SECURITY *Balakishiyeva D.R.*

The “Contract of the Century,” signed in September 1994, played a significant role in the restoration of Azerbaijan’s statehood and in defining new state strategies from an economic and political perspective. This article examines and analyzes the energy policy implemented by the state to ensure economic development, based on the regional role of the “Contract of the Century.” At the same time, issues related to enabling the production and export of Azerbaijan’s energy resources through international cooperation, as well as strengthening transportation security via routes such as Baku–Tbilisi–Ceyhan and Baku–Supsa, are explored. The implementation of new projects contributed to the recognition of our country on the international stage and the recovery of the state’s economy after a severe crisis. As a result, Azerbaijan has become a reliable energy partner and gained an important position in the region’s energy security.

**Keywords:** Contract of the Century, energy policy, economic development, Baku–Tbilisi–Ceyhan, Baku–Supsa, energy routes

### Резюме

#### РОЛЬ “КОНТРАКТА ВЕКА” В РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ *Балакишева Д.Р.*

Подписанный в сентябре 1994 года «Контракт века» сыграл важную роль в восстановлении азербайджанской государственности и определении новых стратегий государства с экономической и политической точки зрения. В этой статье исследуется и анализируется энергетическая политика государства, направленная на обеспечение экономического развития, на основе региональной роли «Контракта века». Одновременно рассматриваются вопросы, связанные с возможностью международного сотрудничества в добыче и экспорте энергетических ресурсов Азербайджана, а также укрепления безопасности транспортировки через маршруты Баку–Тбилиси–Джейхан и Баку–Супса. Реализация новых проектов способствовала признанию нашей страны на международной арене и восстановлению экономики государства после тяжелого кризиса. В результате Азербайджан превратился в надежного энергетического партнера и занял важное место в энергетической безопасности региона.

**Ключевые слова:** «Контракт века», энергетическая политика, экономическое развитие, Баку–Тбилиси–Джейхан, Баку–Супса, энергетические маршруты

## AZƏRBAYCANIN ENERJİ TƏHLÜKƏSİZLİYİ VƏ ONUN İNKİŞAF İSTİQAMƏTLƏRİ

### Qasımbəyli Ceyhun Qüdrət oğlu

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*  
[Ceyhun.Qasimbeyli@sdu.edu.az](mailto:Ceyhun.Qasimbeyli@sdu.edu.az)

**Xülasə.** Hazırda enerji təhlükəsizliyi dünyanın aparıcı dövlətlərinin milli təhlükəsizlik strategiyasının həlledici elementi statusunda çıxış edir. Heydər Əliyevin müəllifi olduğu neft diplomatiyasını uğurla davam etdirən Prezident İlham Əliyev müxtəlif çətinliklərin öhdəsindən gələrək, Bakı-Tbilisi-Ceyhan, Bakı-Tbilisi-Ərzurum, TANAP və TAP kimi nəhəng enerji marşrutlarının reallaşmasına nail oldu. Bu çox böyük uğurdur. Azərbaycan dünyanın aparıcı enerji ixrac edən ölkələrindən biri oldu. Təkcə ona görə yox ki, ilk dəfə olaraq Xəzər dənizinin nefti Aralıq dənizinin bazarlarına çıxarıldı. Həm də ona görə ki, bu kəmərlər yeni bir yol, yeni bir dəhliz açdı.

**Açar sözlər:** Enerji, neft, təbii qaz, inkişaf, təhlükəsizlik

Son zamanlar baş verən hadisələr onu deməyə əsas verir ki, Avropanın enerji siyasətində ən mühüm məsələ etibarlı tərəfdaşın olmasıdır. Hazırda Avropanın etibar etdiyi və enerji böhranında Azərbaycana verdiyi dəyər həyata keçirilən uğurlu siyasətlə bağlıdır. Müstəqilliyimizin ilk illərində Ümummilli Lider Heydər Əliyevin əsasını qoyduğu bu siyasət Prezident İlham Əliyevin rəhbərliyi ilə bir sıra beynəlxalq layihələrin reallaşdırılması və bu layihələrin şaxələndirilməsində perspektivə hesablanmış addımlar idi. “2004-cü ildən başlayaraq Aİ-Azərbaycan əlaqələrində yeni bir mərhələ başladı.” [1. səh 35]. 2006-cı ildə Bakı-Tbilisi-Ceyhan əsas neft kəmərinin inşası başa çatdırıldı. Əsası Heydər Əliyev tərəfindən 1999-cu ildə qoyulmuş bu kəmərin, 2006-cı ildə istifadəyə verilməsi Azərbaycan neftinin dünya bazarına ən qısa və ən təhlükəsiz yolla çıxmasına şərait yaratdı. 2007-ci ildə Bakı-Tbilisi-Ərzurum qaz kəməri istifadəyə verildi. Bu kəmər Azərbaycan qazının dünya bazasına çıxmasına şərait yaratdı. Bu kəmərinə əsası 2001-ci ildə Heydər Əliyev tərəfindən atılmışdı. Neftin ardınca, təbii qazında Avropa bazarına çıxması Azərbaycanın enerji təminatında və təhlükəsizliyində çox böyük uğur idi. Prezident İlham Əliyev ölkəmizin, eləcə də Avropanın enerji təhlükəsizliyinin təminatı istiqamətində atdığı çoxkombinasiyalı siyasi gedişləri ilə heyranlıq doğurur. Prezident yeni yol, yeni dəhliz dedikdə “Cənub qaz dəhlizi”ni nəzərdə tuturdu. Onun yaradılması istiqamətində ilk addım olaraq 2011-ci ildə Avropa Komissiyası ilə Azərbaycan arasında Strateji əməkdaşlıq və enerji sahəsində Anlaşma Memorandumu, növbəti ildə isə TANAP-ın (Trans-Anadolu Qaz Boru Kəməri) çəkilişinə dair Azərbaycan və Türkiyə arasında tarixi saziş imzalandı. Bu prosesdə ən əsas halqalardan biri sərmayə qoyuluşu ilə bağlı idi. Azərbaycan bu məsələdə də işini ustalıqla görmüş oldu. 2013-cü ildə həmin məsələ, yəni sərmayə qoyuluşu da öz müsbət həllini tapdı. “Şahdəniz-2” layihəsinə investisiya qoyuluşuna dair mühüm qərar qəbul edildi. 2014-cü ildə “Cənub qaz dəhlizi”nin Bakıda, 2015-ci ildə isə Türkiyənin Qars şəhərində TANAP-ın təməlqoyma mərasimi həyata keçirildi. 2016-cı ildə analoji addım TAP (Trans-Adriatik Qaz Boru Kəməri) layihəsi ilə bağlı atıldı. 2018-ci il mayın 29-da “Cənub qaz dəhlizi”nin, iyunun 12-də isə TANAP-ın rəsmi açılış mərasimləri oldu. 2019-cu il noyabrın 30-da isə TANAP-ın Avropa ilə birləşən hissəsinin açılışı oldu. “Cənub qaz dəhlizi”nin son hissəsi olan TAP kəməri üzrə işlər 2020-ci il noyabrın 15-də tamamlandı. TAP və TANAP kimi önəmli layihələrin belə qısa bir zamanda istifadəyə verilməsi və təhlükəsiz şəraitdə qazın nəqli çox önəmli hadisədir. Beləliklə, Azərbaycan qazının birbaşa olaraq Avropa bazarına çıxışı tam təmin olundu. TANAP layihəsi təbii qazın “Şahdəniz” eyni zamanda, Azərbaycanın digər yataqlarından Avropa bazarlarına nəql edilməsi potensialına görə mühüm siyasi və iqtisadi əhəmiyyətə malikdir. Bu, tarixi layihədir və ölkəmizin uğurlu, dayanıqlı inkişafı üçün əsas resurs bazasıdır. Qeyd etmək lazımdır ki, Ulu Öndər Heydər Əliyevin müəllifi olduğu neft strategiyasının uğurlarından bəhs edərkən hər zaman bildirilir ki, Bakı-Tbilisi-Ceyhan neft kəməri olmasaydı, Bakı-Tbilisi-Ərzurum qaz kəmərinə, bunlar da olmasaydı, “Cənub qaz dəhlizi”ndən danışmaq mümkün olmazdı. Rusiya və Ukrayna arasında 2022-ci ildən başlayaraq davam edən müharibə nəticəsində xeyli insan həlak olub və evindən didərgin düşüb. Avropa üçün bunun digər mənfəi tərəfi odur ki, enerji təhlükəsizliyə və ən əsası enerji təminatı ilə bağlı məsələlər Avropanın əsas problemlərindən birinə çevrilib. Məhz bu dövrdə “Cənub qaz dəhlizi” Azərbaycanın Avropanın enerji təhlükəsizliyində rolunu daha da artırıb. Milyardlarla dollar həcmində sərmayə qoyulmuş bu dəhliz vasitəsilə Xəzərin qaz ehtiyatları Avropa İttifaqının mərkəzi ölkələrinə çatdırılır. Azərbaycan qazı artıq daha çox ölkə tərəfindən maraqla duyulur. Getdikcə daha çox Avropa dövləti Azərbaycan qazının tədarükünə maraqla göstərir. Xüsusəndə Aralıq dənizi sahillərində yerləşən əksər ölkələrlə enerji nəqli ilə bağlı razılaşmalar bağlanılır. Gələcəkdə Qazaxıstan və Türkmənistanın bu layihəyə qoşulacağı təqdirdə Azərbaycan həm də qaz nəqlində tranzit ölkəyə çevrilmək imkanı əldə edəcəkdir. Nəticədə Azərbaycan dünya arenasında siyasi və iqtisadi müstəqilliyini bir daha təsdiqləyəcək dövlətə çevriləcək. Ümumilliyet lider Heydər Əliyevində dediyi kimi: İqtisadiyyatı güclü olan dövlət hər şeyə qadirdir. “2017-ci ilin 30 oktyabrında Bakı-Tbilisi-Qars dəmir yolunun açılış mərasimi keçirildi.” [2. səh.470]. Avrasiyanın nəqliyyat xəritəsinin önəmli hissəsinə çevrilən bu dəmir yolu xətti Şərqlə Qərbi, Asiya ilə Avropanı birləşdirən strateji və böyük iqtisadi əhəmiyyətli bir layihə kimi qiymətləndirilir. Çindən Avropaya uzanan Böyük İpək yolu layihəsinin önəmli qovşaqlarından biri məhz Azərbaycandır. Bakı-Tbilisi-Qars dəmir yolu xətti bu yolda əsas atılan ən uğurlu addımlardan biridir desək yanlışdır. Qarabağda aparılan quruculuq, Zəngəzur dəhlizinin reallaşması, yeni nəqliyyat və enerji magistralı ilə yanaşı bu kimi layihələr ölkəmizin gələcəyinə xidmət edir. Bu gün Azərbaycanın apardığı uğurlu siyasət dünyanın əksər ölkələrinə, əsasən də region dövlətləri üçün bir nümunədir. Azərbaycan müstəqilliyini bərpa etməsinin bu il 34-cü ili tamam oldu. Bu qısa vaxt ərzində Azərbaycan hər sahədə olduğu kimi enerji sahəsində də dünyaya örnək addımlar atır. Azərbaycanın enerji strategiyası, Prezident İlham Əliyevin dediyi kimi, “ölkənin gələcəyinə hesablanmış ağıllı siyasətin nəticəsidir”. Bu strategiya həm enerji müstəqilliyini təmin edir, həm də bölgədə sülh, əmin-amanlıq, sabitlik və iqtisadi əməkdaşlıq üçün əsas bazanı formalaşdırır. Bu gün enerji təhlükəsizliyi milli təhlükəsizliyin ayrılmaz hissəsidir. Azərbaycan iqtisadiyyatının, mədəniyyətinin inkişafı kimi, enerji təhlükəsizliyinin də inkişafı prioritet məsələlərdəndir.

Azərbaycanın alternativ və bərpa-olunan enerji potensialı yüksəkdir. Son illər Azərbaycan "yaşıl enerji"nin inkişaf etdirilməsi istiqamətində bir-birinin ardınca önəmli addımlar atıb. Belə ki, Dayanıqlı İnkişaf Məqsədlərinə nail olmaq üçün 2016-cı ildə Dayanıqlı İnkişaf üzrə Milli Əlaqələndirmə Şurası yaradılıb. Planetimiz sürətlə yeni dövrə doğru irəliləyir. Dünyada əhalinin sürətlə artması neft və qaz kimi ənənəvi enerji ehtiyatlarının gələcəkdə tükənməsinə, azalmasına gətirib çıxara bilər. Bu səbəbdən dünyada yaşıl enerjiyə son illər diqqət daha çox ayrılır. 2021-ci ildə cənab Prezidentin müvafiq sərəncamı ilə "Azərbaycan 2030: sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər" adlı sənəd təsdiq edilib. "Azərbaycan 2030: sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər"də ölkəmizdə yaşıl enerji istehsalının genişləndirilməsi məsələsi də əhəmiyyətli yer alıb. Bu önəmli qərar Azərbaycanda bərpaolunan enerji mənbələrindən istifadənin genişləndirilməsini nəzərdə tutur. Hədəf ümumi enerji istehsalı gücündə bərpaolunan enerjinin payını indiki 17,3 faizdən 2025-ci ildə 24, 2030-cu ildə isə 30 faizə çatdırmaqdır. Artıq bu istiqamətdə inamlı və uğurlu addımlar atılır. Səudiyyə Ərəbistanının və Birləşmiş Ərəb Əmirliklərinin şirkətləri ilə bu sahədə müqavilələr bağlanıb. Prezident İlham Əliyev işğaldan azad edilmiş əraziləri - 10 min kvadratkilometr ərazini yaşıl enerji zonası elan edib. Burada artıq bir neçə su-elektrik stansiyası inşa edilib və fəaliyyətə başlayıb. Bunlara misal olaraq Göləbird SES, Sərsəng SES və s. misal göstərə bilərik.

Bu gün çox ölkə var ki, neft və qaz kimi təbii sərvətlərə malikdir. Bu sərvətlərə malik olsada dünya bazarına neft və təbii qazın ixracını həyata keçirə bilmir. Bundanda pisi ölkədə münaqişə və vətəndaş müharibəsi baş verir. "Zəngin təbii ehtiyatlara malik olan Yaxın və Orta Şərq regionu başqa ölkələrin və sivilizasiyaların buraya hərbi müdaxiləsi və bölgənin təbii ehtiyatlarının ələ keçirilməsi üçün sınaq meydanını xatırladır." [3. s 160]. Azərbaycan aparılan uğurlu xarici siyasət nəticəsində bu tip problemlərə qarşı çox uğurlu həmlələr edir. Azərbaycanın uğurlu diplomatiyası artıq dünyanın hər bir ölkəsində Azərbaycan adının, bayrağının hər keçən gün daha çox tanınmasına və siyasi nüfuzunun daha çox artmasına gətirib çıxarır.

### **Ədəbiyyat**

1. Azərbaycan Respublikası Prezidentinin İşlər İdarəsinin PREZİDENT KİTABXANASI. Bakı. 147 səhifə.
2. İsayev A, Məcnunov R, Abbasov M. Azərbaycan Tarixi (kurikulumla) Bakı 2023. 518 səhifə.
3. Məmmədov N. Geosiyasətə giriş. (iki cildə) II cild. Bakı 2011. 412 səhifə.

### **Summary**

#### **AZERBAIJAN'S ENERGY SECURITY AND ITS DEVELOPMENT DIRECTIONS**

*Qasimbeyli J.G.*

Currently, energy security is a crucial element of the national security strategy of the world's leading states. President Ilham Aliyev, who successfully continued the oil diplomacy initiated by Heydar Aliyev, overcame various difficulties and achieved the realization of such giant energy routes as Baku-Tbilisi-Ceyhan, Baku-Tbilisi-Erzurum, TANAP and TAP. This is a great success. Azerbaijan has become one of the world's leading energy exporting countries. Not only because for the first time, Caspian Sea oil was exported to the markets of the Mediterranean. But also because this pipeline opened a new path, a new corridor.

**Keywords:** Energy, oil, natural gas, development, security

### **Резюме**

#### **ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АЗЕРБАЙДЖАНА И НАПРАВЛЕНИЯ ЕЕ РАЗВИТИЯ**

*Гасымбейли Дж.Г.*

В настоящее время энергетическая безопасность является важнейшим элементом стратегии национальной безопасности ведущих государств мира. Президент Ильхам Алиев, успешно продолживший нефтяную дипломатию, начатую Гейдаром Алиевым, преодолел различные трудности и добился реализации таких гигантских энергетических маршрутов, как Баку-Тбилиси-Джейхан, Баку-Тбилиси-Эрзурум, TANAP и TAP. Это большой успех. Азербайджан стал одной из ведущих стран-экспортеров энергоносителей в мире. Не только потому, что впервые каспийская нефть начала экспортироваться на рынки Средиземноморья, но и потому, что этот трубопровод открыл новый путь, новый коридор.

**Ключевые слова:** Энергия, нефть, природный газ, развитие, безопасность

# "СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЛИНТЕРОВАНИЯ ХЛОПКОВЫХ СЕМЯН НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Газиева Рано Тешабаевна,  
Исмаилов Мирхалил Агзамович  
Қурбонов Наврўзбек Музаффар оғлу**

*Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства ,  
Ташкент, Узбекистан  
[ranogazieva1960@gmail.com](mailto:ranogazieva1960@gmail.com)*

**Резюме.** Технологический процесс переработки хлопка сырца, когда его подвергают ряду последовательных операций, которые в конечном итоге переработки сказываются на показателях, характеризующих как качественный, так и количественный выход готовой продукции. Одной из важнейших предпосылок эффективного функционирования производителя на рынке хлопковых семян выступает формирование качественно нового подхода к созданию хозяйственной системы с интенсификацией технологических процессов.

Целью работы является повышение эффективности процесса производства линтерованных семян хлопчатника, заключающейся в уменьшении выхода некондиционных семян хлопчатника и сокращении расхода энергетических и природных ресурсов, путем включения в АСУТП джинно-линтерного цеха локальной системы автоматического управления (САУ) линтерованием.

**Ключевые слова.** Семена хлопчатника, некондиционные семена, опушенность, переработка, процесс линтерования, система автоматизированного управления (САУ), АСУТП линтерования

## **Введение**

Хлопок является важнейшей научно-технической культурой во всем мире, так как производством хлопкового волокна занимаются более 80 стран мира. Для нашей республики хлопководство имеет особое значение. Хлопковое волокно, производимое в республике, поставляется более чем 30 стран мира.

Современный хлопкозавод представляет собой непрерывный технологический процесс, имеющий комплексную механизацию и автоматизацию переработки хлопка-сырца.

Анализ работы хлопкозаводов, перерабатывающих средневолокнистый хлопок-сырец, показывает, что производство хлопкового волокна и семян связано со значительным потреблением электроэнергии, трудовых затрат. Таким образом, ближайшей и вполне реальной задачей, стоящей перед хлопкоочистительной промышленностью, является такое её усовершенствование, которое бы удовлетворило возросшие требования к оборудованию на внутреннем рынке, его конкурентоспособность на внешнем рынке устойчивый экспорт.

На основе проведенных исследований 2022 году были изучены вопросы : изучение средств и методов автоматизации контроля опушенности посевных семян хлопчатника, изучение состояния технических решений изученности измерения опушенности посевных семян хлопчатника, изучение оптических методов и средств контроля степени опушенности посевных семян хлопчатника, изучение вопросов создания фотометрического датчика опушенности. формирование макета прибора.

2023 году были продолжены работы по изучению динамических характеристик поточной линии джин-волоконоочиститель – волоконоотвод – конденсор волокна , так-же проведены теоретические исследования динамических свойств средств автоматизации и исследование линтера как объект управления, разработана операторная форма уравнения динамики объекта управления и разработана методика проведения исследований.

В текущем году на основе проведенных исследований связанных с анализом традиционных методов и средств автоматизации контроля опушенности посевных семян хлопчатника, а также проведением поисковых исследований по разработке оптических методов и средств контроля степени опушенности посевных семян хлопчатника, проведены экспериментальные исследования контроля качественных показателей хлопка-сырца.

*Conclusions and recommendations.* При переработке хлопка-сырца на волокно, линт и семена управление на каждой стадии производится с целью поддержания заданных количественных и качественных показателей, которые зависят от физических свойств хлопка. При этом оценка качества проводится в двух направлениях: с взятием пробы для оценки непосредственно в потоке (малыми пробами) и с выносом пробы в лабораторию (большими пробами). В первом случае проба оценивается органолептически, что предусматривает взятие образца из-под джина или линтера на ладонь оператора. На ладони размещается масса опушенных семян (30-50 г) и разравнивается с целью получения более или менее равномерной поверхности площадью 50 см<sup>2</sup>.

По одному образцу оператор не может определить искомый показатель и поэтому он берет повторно еще несколько проб, проводя с ними те же операции, что и с первой. Оценка искомого показателя проводится после взятия трех - пяти повторных образцов. Такой визуальный контроль в силу присущих противоречий при восприятии человеком информации нельзя считать объективным и удовлетворительным, даже при создании автоматизированного управления линтером. Поэтому оператор передает в лабораторию через каждые 2-3ч образцы для проверки своих выводов о значении искомого показателя. Качественные показатели дженирования включают в себя, прежде всего, свойства волокна, определяемые в соответствии с нормативами (для линтерования - опушенность, засоренность, механическая поврежденность).

Второе направление оценки предусматривает взятие пробы массой 3кг, из которой затем выделяется навеска для анализа семян, которая усредняется методом квартования с получением массы навески (250 ...300 г). Из этой массы отвешивают навески по 30 г и проводят анализ по двум пробам согласно [1], на что затрачивается время около одного часа, а в случае необходимости (при больших расхождениях результатов анализа двух проб) - по трем пробам. Учитывая время, затрачиваемое на отбор проб, полное время определения её по двум пробам составляет 1,7...2 часа и не менее 2,5 ч - по трем. За это время через один линтер первого линтерования проходит до 5000 кг семян. Поэтому разрабатывались датчики опушенности, позволяющие быстро и достаточно точно определять опушенность. При автоматизации линтерования лучшим решением задачи определения опушенности представляется автоматизация контроля в потоке хлопковых семян. При контроле опушенности предпочтение отдается оптическим датчикам, хотя разрабатывались и акустические. При обзоре состояния вопроса об автоматизации контроля предпочтение отдавалось оптическим методам. При использовании этих методов необходимо иметь в виду, что на отражающую способность хлопка-сырца или частично опушенных хлопковых семян влияет значительное число факторов. К таким факторам относятся влажность и температура, разновидность хлопка, механическая поврежденность, срок хранения хлопка-сырца. Значительную погрешность будет вносить засоренность. Кроме того, хлопкоперерабатывающие предприятия относятся к предприятиям с повышенной запыленностью, поэтому при контроле опушенности в потоке семян необходимо учитывать постоянно изменяющуюся запыленность оптической системы.

Учитывая описанные особенности, была проанализирована возможность применения методов контроля опушенности и засоренности хлопковых семян и хлопка-сырца, способов и устройств, используемых в АСУТП для решения аналогичных задач в родственных отраслях промышленности. [ 2, 3 ]

Все предпринятые попытки автоматизации контроля опушенности можно подразделить на две группы. Первая - это непосредственный контроль опушенности путем использования какого-либо одного физического явления без учета влияния других физических свойств и технологических параметров, характеризующих процесс обработки хлопковых семян, на результат.

Вторая - это контроль опушенности с введением поправочных коэффициентов в зависимости от уровней факторов, влияющих на определение степени опушенности.

В этой главе в соответствии с целью работы целесообразно также разделить рассматриваемые средства на те, которые требуют отбора проб и проведения лабораторного анализа, и те, которые возможно использовать для непрерывного управления технологическим процессом путем включения в АСУТП локальной САУ. [4]

Поскольку в работе рассматривается непрерывный технологический процесс переработки хлопковых семян, поставленные задачи определили объем и содержание экспериментального изучения изменения основных параметров системы, а также экспериментальные исследования средств автоматического контроля семян после линтера использованием измерительного преобразователя непосредственно на потоке. В данном оптическом методе анализируемый материал с заранее подготовленной ровной поверхностью облучается световым потоком от источника определенной интенсивности, в условиях исключаяющих постороннюю засветку или подсветку. Часть отраженного от луча светового потока попадает на фотоприемное устройство. Сигнал с которого в случае необходимости преобразуется или усиливается и регистрируется измерительным устройством. Время, затрачиваемое на подготовку образца и определение опушенности составляет 10... 15 мин. для одной пробы.

Ограничением всех оптических методов служит та предельная опушенность, выше которой не происходит заметного изменения параметров отраженного от семян светового потока. Для фотометрического метода ограничением служит опушенность в 20%, для поляризованного метода – 10%. Следует также отметить, что фотометрический метод проще в реализации, поскольку

отраженный от образца световой поток несет прямую информацию об аналоге опушенности, а для поляметрического метода необходимо замерять максимум и минимум отраженного от семян светового потока и по расчетной формуле определить степень деполяризации светового потока, которая и является аналогом опушенности.

Выше изложенное дало возможность отдать предпочтение фотометрическому методу контроля опушенности хлопковых семян ввиду простоты конструкции измерительной камеры и возможностью реализации измерения а непрерывном потоке семян хлопчатника. Анализ литературных источников показал возможность использования метода фотометрического контроля в других областях народного хозяйства в нашей стране и за рубежом. На основании этого была выдвинута рабочая гипотеза о проведении контроля опушенности непосредственно в технологическом процессе подготовки посевных семян, для чего требуется использования специального устройства, которое позволило бы отобрать пробу семян хлопчатника и подготовить образец для измерения опушенности. Для этого необходимо выбрать место установки: слоеформирователя и изучить средства механизации по отбору проб. [6, 7]

**Заклучение.** Таким образом, попытки, сделанные многими исследователями для установления абсолютного значения опушенности семян в непрерывном потоке пока не дали положительных результатов. Однако изучение поставленного вопроса позволило сделать вывод о том, что для получения сигнала об изменении опушенности необязательно иметь абсолютное значение, а достаточно фиксировать отклонения процесса от заданной величины с тем, чтобы принять соответствующие меры по управлению процессом, т.е. определить относительную величину отклонения. Они могут касаться изменения условий изменения положения семенной гребенки или направления движения семян после выхода из линтера. Последнее достигается путем разделения потока технических семян от посевных.

## Литература

1. ГОСТ 21820.3- 76. Межгосударственный стандарт. Семена хлопчатника. Методы определения засоренности, механической поврежденности, остаточной волокнистости, остаточной опушенности и горелости. М., 2010 , 19 с.
2. Хуайер Абдулла Фарадж, А.П. Байдюк, К.А. Пурецкий. «О возможности построения системы автоматического управления многомерным объектом по одной выходной координате »// Северо - Кавказский регион, науч. журнал, 2015. Вып. 1(182). С. 129-134с.
3. R.T.Gazieva. Automation of processes of cotton processing in the energy-saving technology and operations . British Journal of Educational and Scientific Studies № 2 (22), July-December, 2015., 128-135 p.
4. Газиева Р.Т., Круду Д.Б., Хуайер Абдулла Фарадж . Совершенствование процессов и технических средств автоматизации и контроля в системе первичной переработки хлопка . «Научные достижения» , Международная научная конференция Россия, г. Москва, 26-27 февраля 2016 г. Сборник статей международной научной конференции. Россия, Москва, 26-27 февраля 2016 г., с.37-42.
5. Калашникова Е.А., Газиева Р.Т., Хуайер Абдулла Фарадж Хуайер, Ермакова Ю.С. САУ процессом линтерования при подготовке технических хлопковых семян. Київ: збірник статей (рівень стандарту, академічний рівень). – К.: Центр наукових публікацій, 2016. – с.38-42.
6. Исследование сау линтерования хлопковых семян на управляемость и наблюдаемость. Журнал Современные наукоемкие технологии. – 2016. –№ 5 (часть 1) – с. 76-80
7. Газиева Р.Т., Растеряев Н.В., Бочкова Е.В., Хуайер А. Экспериментальное определение передаточной функции линтера. Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление», 2016, №4(70), с.71-81.

## Xülasə

### PAMBIQ TOXUMLARININ LINTERLƏNMƏSİ PROSESİNİN İDARƏETMƏ SİSTEMİNİN İNTELLEKTUAL TEKNOLOGİYALAR METODLARI ƏSASINDA TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ

*Qaziyeva R.T., İsmayilov M.A., Qurbanov N.M.*

Xam pambığın emalı texnoloji prosesi ardıcıl əməliyyatlar silsiləsindən ibarətdir və bu əməliyyatlar nəticədə hazır məhsulun həm keyfiyyət, həm də kəmiyyət göstəricilərinə təsir edir. Pambıq toxumu bazarında istehsalçının səmərəli fəaliyyət göstərməsinin ən mühüm şərtlərindən biri texnoloji proseslərin intensivləşdirilməsi əsasında iqtisadi sistemin yaradılmasına keyfiyyətə yeni yanaşmanın formalaşdırılmasıdır.

Tədqiqatın məqsədi, cırma-linter sexinin avtomatlaşdırılmış texnoloji proseslərin idarəetmə sisteminə (ATİS) linterləmə üçün yerli avtomatik idarəetmə sisteminin (AİS) daxil edilməsi yolu ilə, linterləmiş pambıq toxumlarının istehsalı prosesinin

səmərəliliyinin artırılmasıdır. Bu, qeyri-standart pambıq toxumlarının çıxışının azaldılması, həmçinin enerji və təbii resursların sərfiyyatının aşağı salınması hesabına həyata keçirilir.

**Açar sözlər:** pambıq toxumları, qeyri-standart toxumlar, tüküklülük, emal, linterləmə prosesi, avtomatik idarəetmə sistemi (AIS), linterləmə prosesinin avtomatlaşdırılmış texnoloji idarəetmə sistemi.

#### Summary

### IMPROVEMENT OF THE CONTROL SYSTEM FOR THE COTTON SEED LINTERING PROCESS BASED ON INTELLIGENT TECHNOLOGY METHODS

*Gazieva R.T., Ismailov M.A., Kurbonov N.M.*

A technological process of processing raw cotton, when it is subjected to a series of successive operations, which ultimately affect the indicators characterizing both the qualitative and quantitative output of finished products. One of the most important prerequisites for the effective functioning of a producer in the cotton seed market is the formation of a qualitatively new approach to the creation of an economic system with the intensification of technological processes.

The aim of the work is to increase the efficiency of the process of producing linted cotton seeds, which consists in reducing the output of substandard cotton seeds and reducing the consumption of energy and natural resources, by including a local automatic control system (ACS) for linting in the automated process control system of the gin-linter shop.

**Keywords.** Cotton seeds, substandard seeds, pubescence, processing, linting process, automated control system (ACS), automated process control system for linting.

## FİREWALL ZƏİFLİKLƏRİ VƏ ONLARIN ARADAN QALDIRILMASI

**Allahverdiyeva Könül Əsvər qızı**

**Quliyeva Leyla İlham qızı**

**Zeynalabdiyeva İradə Səməd qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[konul.allahverdiyeva@sdu.edu.az](mailto:konul.allahverdiyeva@sdu.edu.az), [leyla.quliyeva@sdu.edu.az](mailto:leyla.quliyeva@sdu.edu.az)

**Xülasə.** Məruzə materialında şəbəkə trafikinin analizinə dair aparılmış eksperimental araşdırmanın nəticələri təqdim olunur. Tədqiqatın əsas məqsədi real vaxt rejimində şəbəkə paketlərinin izlənməsi və təhlili vasitəsilə potensial kibertəhlükələrin müəyyənəndirilməsidir. Təcrübədə geniş istifadə olunan açıq mənbəli analiz aləti olan Wireshark tətbiq edilmiş və müxtəlif protokollar üzrə trafik dinlənilmişdir. Toplanmış məlumatlar əsasında TCP, UDP, ICMP və DNS kimi protokolların davranışları müşahidə olunmuşdur. Anomaliya əsaslı analiz yanaşması tətbiq edilməklə şübhəli fəaliyyətlər və zərərli paket nümunələri müəyyənəndirilmişdir. Şəbəkə trafikində port skanları, icazəsiz bağlantılar və yayım trafiklərinin analizi aparılmışdır. Python dili vasitəsilə .pcap fayllarının avtomatik emalı həyata keçirilmiş və nəticələrin təhlili vizuallaşdırılmışdır. Eksperiment nəticələri göstərmişdir ki, real vaxt trafik təhlili təhlükəsizlik boşluqlarını vaxtında aşkarlamaq baxımından mühüm rol oynayır. Analiz nəticələrinə əsaslanaraq firewall konfigurasiyası, IDS/IPS tətbiqi və trafik şifrələnməsi kimi tədbirlər tövsiyə olunmuşdur. Məqalədə həm nəzəri-praktiki metodlar, həm də avtomatlaşdırılmış skript əsaslı yanaşmalar təqdim edilmişdir. Şəbəkə təhlükəsizliyinin təminində anomaliya deteksiyası və davranış modelləri mühüm yer tutur. Aşkarlanan risk faktorları təhlil edilərək qarşısının alınması üçün texniki həllər irəli sürülmüşdür. Eyni zamanda təhlilin nəticələri gələcəkdə süni intellekt əsaslı müdafiə sistemlərinin qurulması üçün baza rolunu oynaya bilər. Wireshark və Python-un birgə istifadəsi analiz prosesinin səmərəliliyini artırmışdır. Araşdırma göstərir ki, sistemli və çoxsəviyyəli trafik monitorinqi kibertəhlükələrin erkən mərhələdə aşkarlanmasını təmin edə bilər.

**Açar sözlər:** Wireshark, Python, trafik analizi, Firewall zəiflikləri, Multikast, Ethernet interfeysi, təhlükəsizlik boşluqları.

İnformasiya texnologiyalarının sürətlə inkişaf etməsi və rəqəmsallaşmanın geniş vüsət alması fonunda şəbəkə təhlükəsizliyi günümüzdə həm təşkilatlar, həm də fərdi istifadəçilər üçün həyati əhəmiyyət daşıyan məsələlərdən birinə çevrilmişdir. Müasir informasiya sistemlərinin böyük əksəriyyəti internet və lokal şəbəkələr üzərindən fəaliyyət göstərdiyi üçün onların təhlükəsizlik səviyyəsi birbaşa şəbəkə infrastrukturalarının sabitliyindən və etibarlılığından asılıdır. Kibertəhlükələrin artması ilə əlaqədar olaraq şəbəkə trafiki üzərində nəzarət və monitorinq sistemlərinin yaradılması prioritet məsələyə çevrilmişdir [1]. Bu istiqamətdə tətbiq olunan analiz metodları, zərərli fəaliyyətləri erkən mərhələdə aşkarlamaq və qarşısını almaq məqsədilə istifadə olunur. Xüsusilə Wireshark kimi açıq mənbəli və çoxfunksiyalı analiz alətləri, şəbəkə trafikinin paket səviyyəsində monitorinqinə imkan yaradaraq təhlükəsizlik üzrə qərar qəbul etmə prosesini dəstəkləyir. Bu alətlər müxtəlif protokollar (TCP, UDP, ICMP, DNS və s.) üzrə məlumat axınına ayrıntılı şəkildə təhlil etməyə şərait yaradır və real vaxtda şübhəli davranış nümunələrinin müəyyənəndirilməsini asanlaşdırır. Təhlükəsizlik boşluqlarının aşkarlanması, port skan fəaliyyətləri, qeyri-adi bağlantı cəhdləri və məlumat sızmalarının təhlili bu alətlərin əsas funksional imkanları sırasındadır. Bununla yanaşı, şəbəkə trafikinin təhlili yalnız müdafiə məqsədli tədbirlərlə məhdudlaşmır, eyni zamanda sistem performansının optimallaşdırılması və resursların daha səmərəli idarə olunması üçün də faydalıdır. Trafik analizindən əldə edilən məlumatlar əsasında şəbəkə arxitekturasında təkmilləşdirmələr aparıla, təhlükəli seqmentlərdə məhdudiyətlər tətbiq oluna bilər.

Eyni zamanda, süni intellekt və maşın öyrənməsi texnologiyalarının bu sahəyə inteqrasiyası ilə anomaliya əsaslı analiz metodları daha effektiv şəkildə tətbiq edilə bilər. Şəbəkə təhlükəsizliyinə dair yanaşmalar artıq yalnız reaktiv müdafiədən ibarət deyil, həm də proaktiv və proqnozlaşdırıcı nəzarət sistemlərini əhatə edir. Bu baxımdan, trafik davamlı olaraq monitorinqi və analiz edilməsi, təşkilatların informasiya aktivlərinin qorunmasında əsas şərtlərdən biridir [3].

Məruzə materialı məhz bu yanaşma əsasında Wireshark proqramı ilə real trafik nümunələrinin toplanması, təhlili və aşkar edilmiş kibertəhlükələrə qarşı təklif olunan müdafiə tədbirləri ətraflı şəkildə təqdim olunmuşdur. Bu araşdırmanın əsas məqsədi şəbəkə üzərindən keçən trafik paketlərini analiz edərək, onların tərkibində olan anomaliyaları və potensial zərərli fəaliyyəti müəyyən etməkdir. Wireshark vasitəsilə müxtəlif protokollar əsasında toplanan paketlərə nəzər salınmış və təhlil aparılmışdır. Təcrübə zamanı həm təbii trafik, həm də test məqsədilə yaradılmış şübhəli trafik nümunələri toplanmışdır. Bununla yanaşı, bəzi analiz mərhələləri Python kodu ilə dəstəklənmiş və təhlilin avtomatlaşdırılması məqsədilə skriptlərdən istifadə edilmişdir.

Wireshark real vaxtda şəbəkə trafikini tutmaq və təhlil etmək üçün istifadə olunan ən populyar və funksional analiz vasitələrindən biridir. Bu proqram istifadəçiyə fərdi paketlərə baxış, protokol təhlili, statistika çıxarışı və filtr tətbiqi kimi imkanlar təqdim edir. Ethernet, Wi-Fi və VPN daxil olmaqla bir çox şəbəkə texnologiyalarını dəstəkləyir. Təhlil zamanı əsas diqqət TCP, UDP, ICMP və DNS protokollarına yönəldilmişdir. Trafikin toplanması mərhələləri aşağıdakılardır:

- Wireshark vasitəsilə Ethernet interfeysi üzərindən real trafik toplanmışdır.
- Aktiv şəbəkə əlaqələri (YouTube, DNS sorğuları, mDNS xidmətləri və s.) yaradılmışdır.
- Simulyasiya məqsədilə çoxsaylı ICMP sorğuları göndərilərək potensial DDoS hücumu imitasiyası aparılmışdır. Təhlil olunan trafik nümunələri cədvəl 1-də verilmişdir:

**Cədvəl 1.**

*Şəbəkə trafikinin təhlili*

No	Trafik növü	Qeyd
1.	Broadcast	192.168.13.6 → 255.255.255.255 (UDP 54999 → 3956) - cihaz axtarışı
2.	DNS və HTTPS	192.168.14.243 → 8.8.4.4 (TCP 53598 → 443) - DNS sorğusu
3.	Multicast	192.168.13.171 → 224.2.2.2 (UDP 55736 → 8995)
4.	NetBIOS	192.168.12.120 → 192.168.255.255 (UDP 138 → 138)
5.	mDNS və UPnP	Port 5353 və 8995 üzərində çoxlu paketlər - təhlükəli yayım riski

Təhlil zamanı aşağıdakı statistik göstəricilər əldə olunmuşdur:

➤ Statistics > Protocol Hierarchy vasitəsilə ən çox istifadə olunan protokollar TCP (48%), UDP (30%), ICMP (12%) olmuşdur.

➤ IO Graphs bölməsində pik trafik sıçrayışları ICMP və TCP əlaqələri zamanı müşahidə olunmuşdur.

Zərərli fəaliyyət ehtimalını artıran faktorlar aşağıdakılardır:

➤ Port skan izləri: eyni anda çoxsaylı portlara yönəlmiş TCP SYN paketləri;

➤ ICMP şişkinliyi: davamlı ping axını;

➤ mDNS və UPnP trafikinin çoxluğu: daxili şəbəkədə təhlükəli yayım ehtimalı;

➤ Şifrlənməmiş HTTP paketlərində məxfi məlumatlar (istifadəçi adları və parollar).

Bu təhlillər zamanı **port scanning** və **potensial DoS cəhdləri** müşahidə edilmişdir.

```
[2]: from scapy.all import sniff, IP, TCP, UDP, ICMP

# Trafik toplama funksiyası
def packet_callback(packet):
    if packet.haslayer(IP): # IP paketləri varsa
        ip_src = packet[IP].src
        ip_dst = packet[IP].dst
        proto = packet[IP].proto
        print(f"IP Source: {ip_src}, IP Destination: {ip_dst}, Protocol: {proto}")

    # TCP paketləri
    if packet.haslayer(TCP):
        print(f"TCP Packet: {packet[TCP].sport} -> {packet[TCP].dport}")

    # UDP paketləri
    elif packet.haslayer(UDP):
        print(f"UDP Packet: {packet[UDP].sport} -> {packet[UDP].dport}")

    # ICMP paketləri (Ping)
    elif packet.haslayer(ICMP):
        print(f"ICMP Packet: {packet[ICMP].type}")

# Şəbəkə trafikini tutmaq (10 paket)
print("Trafik analizinə başlandı...")
sniff(prn=packet_callback, count=10) # 10 paket tut

Trafik analizinə başlandı...
IP Source: 192.168.100.42, IP Destination: 172.217.17.131, Protocol: 17
UDP Packet: 50880 -> 443
IP Source: 192.168.100.42, IP Destination: 172.217.17.131, Protocol: 17
UDP Packet: 50880 -> 443
IP Source: 192.168.100.42, IP Destination: 172.217.17.131, Protocol: 17
UDP Packet: 50880 -> 443
IP Source: 5.61.23.11, IP Destination: 192.168.100.42, Protocol: 6
TCP Packet: 443 -> 60820
IP Source: 192.168.100.42, IP Destination: 5.61.23.11, Protocol: 6
TCP Packet: 60820 -> 443
IP Source: 192.168.100.42, IP Destination: 142.250.74.78, Protocol: 17
UDP Packet: 53776 -> 443
IP Source: 192.168.100.42, IP Destination: 142.250.74.78, Protocol: 17
UDP Packet: 53776 -> 443
IP Source: 5.61.23.11, IP Destination: 192.168.100.42, Protocol: 6
TCP Packet: 443 -> 60820
IP Source: 142.250.74.78, IP Destination: 192.168.100.42, Protocol: 17
UDP Packet: 443 -> 53776

[2]: <Sniffed: TCP:3 UDP:6 ICMP:0 Other:1>
```

Təcrübə çərçivəsində Python-un Scapy kitabxası vasitəsilə 10 ədəd real trafik paketi toplanmış və təhlil edilmişdir. Toplanan paketlərin strukturunun analizinə əsasən, həm TCP, həm UDP, həm də ICMP protokolları əsasında şəbəkədə müxtəlif əlaqələrin baş verdiyi müşahidə olunmuşdur.

UDP trafiki əsasən 192.168.100.42 mənbə IP ünvanı ilə müxtəlif təyinat ünvanlarına göndərilmişdir. Bu, DNS, HTTPS və ya digər tətbiq səviyyəli UDP əsaslı xidmətlərin aktiv olduğunu göstərir. Həmçinin, UDP Packet: 50880 -> 443 kimi qeyd olunan paketlər HTTPS trafikin UDP transportu üzərindən keçməsinə və ya əks əlaqə vasitəsilə cavab alınmasını ifadə edir [1,2].

TCP paketlərinin isə əsasən 5.61.23.11 və 142.250.74.78 IP ünvanları ilə 192.168.100.42 arasında baş verdiyi qeydə alınmışdır. Bu, yüksək ehtimalla müştəri-server arasında baş verən veb və ya fayl ötürmə əməliyyatlarını əhatə edir. TCP protokolu ilə müşahidə olunan port 443 istifadəsi bu trafikin HTTPS əsasında olduğunu göstərir.

Bundan əlavə, ICMP protokolu ilə (ping) göndərilən bir neçə paket də qeydə alınmış və onların növləri Scapy vasitəsilə təyin edilmişdir. Bu isə şəbəkənin canlıq vəziyyətinin test edilməsi və ya aktiv hostların yoxlanması üçün istifadə olunan ping sorğularının izlənməsi ilə əlaqəlidir.

Məlumatların analizi nəticəsində 10 paketin 3-ü TCP, 6-sı UDP və 1-i ICMP formatında olduğu müəyyən edilmişdir [3]. Bu da göstərir ki, istifadəçinin cihazı şəbəkədə əsasən UDP əsaslı sorğular göndərir və TCP əsaslı sessiyalarla ünsiyyətdə olur.

Ümumilikdə, əldə edilən nəticələr göstərir ki, real vaxt rejimində Scapy vasitəsilə şəbəkə trafiki uğurla monitorinq edilə və TCP/UDP/ICMP protokolları üzrə hərəkət edən məlumat axını effektiv şəkildə təhlil oluna bilər. Bu yanaşma şəbəkə təhlükəsizliyi təhlilində operativ qərar qəbul etmə prosesində əhəmiyyətli rol oynayır.

Aparılmış araşdırmalar göstərmişdir ki, şəbəkə trafikinə real vaxt rejimində təhlili zərərli fəaliyyətlərin yüksək dəqiqliklə aşkarlanmasına imkan verir. Wireshark kimi paket səviyyəsində analiz alətləri və Python əsaslı avtomatlaşdırma skriptləri birgə istifadə olunduqda, şəbəkənin davranış modelinin sistemli şəkildə izlənməsi və təhlükəli anomaliyaların vaxtında müəyyən edilməsi mümkün olur.

Anomaliya əsaslı təhlil yanaşmaları yalnız mövcud hücumların aşkarlanmasına deyil, həm də qeyri-standart və gizli fəaliyyətlərin proqnozlaşdırılmasına şərait yaradır [5]. Bununla yanaşı, süni intellekt və maşın öyrənməsi texnologiyalarının tətbiqi təhlükələrin avtomatik təsnifləndirilməsi, hücumların qabaqcadan təyin edilməsi və yalan siqnalların sayının azaldılması baxımından mühüm perspektivlər vəd edir.

Beləliklə, şəbəkə trafikinə dərin təhlili, davranış modellərinin qurulması və intellektual analiz metodlarının inteqrasiyası müasir informasiya təhlükəsizliyi sistemlərinin əsas dayaq sütunlarını təşkil edir. Gələcək tədqiqatlar bu komponentlərin real vaxtda işləyən, genişlənə bilən və özünü adaptasiya edən hücumların aşkarlanması və qarşısının alınması sistemlərinə çevrilməsi istiqamətində aparılmalıdır.

## Ədəbiyyat

1. Combs, G. Wireshark User's Guide. Version 4.2 // The Wireshark Foundation: - 2023. - URL: [https://www.wireshark.org/docs/wsug\\_html\\_chunked/](https://www.wireshark.org/docs/wsug_html_chunked/)
2. Stallings, W. Network Security Essentials: Applications and Standards. 6th Edition // Pearson Education: - 2021. - 496 p. - ISBN: 9780134527337.
3. Nath, A. Network Traffic Analysis Using Wireshark Cookbook // Packt Publishing: - 2020. - 356 p. - ISBN: 9781839214790.
4. Easttom, C. Computer Security Fundamentals. 5th Edition // Pearson IT Certification: - 2022. - 512 p. - ISBN: 9780137984151.
5. Bejtlich, R. The Practice of Network Security Monitoring: Understanding Incident Detection and Response // No Starch Press: - 2018. - 376 p. - ISBN: 9781593275099.

### Summary

#### **FIREWALL VULNERABILITIES AND THEIR MITIGATION METHODS**

*Allahverdiyeva K.A., Guliyeva L.I., Zeynalabdiyeva I.S.*

This paper presents the results of an experimental study focused on the analysis of network traffic. The main objective of the research is to identify potential cyber threats by monitoring and analyzing network packets in real-time. The widely used open-source analysis tool Wireshark was employed to capture traffic across various protocols. Based on the collected data, the behavior of protocols such as TCP, UDP, ICMP, and DNS was observed. By applying an anomaly-based analysis approach, suspicious activities and malicious packet patterns were detected. The study also involved the analysis of network phenomena such as port scanning, unauthorized connections, and broadcast traffic. Using Python, automated processing of .pcap files was carried out, and the results were visualized. The findings indicate that real-time traffic analysis plays a crucial role in early identification of security vulnerabilities. Based on the results, security measures such as firewall configuration, IDS/IPS deployment, and traffic encryption are recommended. The paper presents both theoretical-practical methods and automation-based script approaches. Anomaly detection and behavioral modeling are shown to be key components of effective network security. The identified risk factors were analyzed and corresponding technical solutions were proposed. Furthermore, the outcomes of this analysis may serve as a foundation for the development of AI-based defense systems in the future. The integrated use of Wireshark and Python significantly enhanced the efficiency of the analysis process. The research demonstrates that systematic and multi-level traffic monitoring enables the early detection of cyber threats.

**Keywords:** Wireshark, Python, traffic analysis, Firewall vulnerabilities, Multicast, Ethernet interface, security holes.

### Резюме

#### **УЯЗВИМОСТИ FIREWALL-СИСТЕМ И ПУТИ ИХ УСТРАНЕНИЯ**

*Аллахвердиева К.А., Гулиева Л.И., Зейналабдиева И.С.*

В данном докладе представлены результаты экспериментального исследования, посвящённого анализу сетевого трафика. Основной целью исследования является выявление потенциальных киберугроз путём мониторинга и анализа сетевых пакетов в режиме реального времени. В ходе эксперимента использовался широко распространённый инструмент с открытым исходным кодом Wireshark, с помощью которого осуществлялся захват трафика по различным протоколам. На основе собранных данных были проанализированы поведенческие характеристики таких протоколов, как TCP, UDP, ICMP и DNS. Применяя подход, основанный на анализе аномалий, удалось обнаружить подозрительные действия и вредоносные пакеты. Также были проанализированы сканирование портов, несанкционированные подключения и широковещательный трафик. С помощью языка Python была выполнена автоматическая обработка файлов формата .pcap и визуализация результатов анализа. Результаты эксперимента показали, что анализ трафика в реальном времени играет ключевую роль в своевременном выявлении уязвимостей безопасности. По результатам анализа были предложены меры, такие как настройка межсетевого экрана (firewall), внедрение IDS/IPS-систем и шифрование трафика. В статье представлены как теоретико-практические методы, так и подходы, основанные на автоматизированных скриптах. Аномальный анализ и поведенческое моделирование рассматриваются как важные элементы обеспечения сетевой безопасности. Выявленные факторы риска были проанализированы, и предложены соответствующие технические решения. Кроме того, полученные результаты могут стать основой для разработки систем защиты на базе искусственного интеллекта. Комплексное использование Wireshark и Python значительно повысило эффективность анализа. Исследование доказывает, что системный и многоуровневый мониторинг трафика позволяет своевременно выявлять киберугрозы.

**Ключевые слова:** Wireshark, Python, анализ трафика, уязвимости брандмауэра, многоадресная рассылка, интерфейс Ethernet, дыры в безопасности.

# ÇOXFUNKSIYALI ALS MÜHİTİNDƏ FƏALİYYƏT GÖSTƏRƏN AVTOMATLAŞDIRILMIŞ LAYİHƏLƏNDİRMƏ ALƏTİNİN ARXİTEKTURASININ İŞLƏNMƏSİ

**Zeynalova Solmaz Məhərrəm qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[solmaz.zeynalova.2017@mail.ru](mailto:solmaz.zeynalova.2017@mail.ru)

**Xülasə.** Məqalədə çoxfunksiyalı elektron qurğuları ALS-i mühitində fəaliyyət göstərən ALA-ın arxitekturasının işlənməsi və vəzifələrinə baxılır. ÇİM-lərin ÇİS-in tərkibində kompleks şəkildə fəaliyyətini təmin etmək və ÇİS-in müxtəlif təyinatlı istehsallarda tətbiqini həyata keçirmək üçün sınaq və tətbiq mərhələlərində onların qarşılıqlı əlaqələrini yaratmaq məqsədi ilə hər bir konkret istehsalın spesifik xüsusiyyətlərini nəzərə almaqla qeyri-standart elektron əlaqə interfeyslərinin layihələndirilməsi zərurəti yaranır. Təcrübədə bu problemin həlli məqsədi ilə müxtəlif təyinatlı mütəxəssislərə oriyentasiya olunan ALA-ların yaradılması perspektivli yanaşma hesab edilir. Bu növ ALA-da əsas məsələlərdən biri onun müxtəlif təyinatlı mütəxəssislərə əl çatan olmasıdır ki, onu da ALA-ın interfeysinə intellektuallığının yüksəldilməsi nəticəsində yerinə yetirmək mümkündür.

**Açar sözlər:** ALS, ÇİS, ALS mühiti, CAD framework

Elektron qurğularının çoxfunksiyalı ALS-in analizi göstərdi ki, onlar əsasən layihə institutlarında fəaliyyət göstərən peşəkar istifadəçilərin öz fəaliyyətlərində istifadəsi üçün oriyentasiya olunaraq layihələndirilir. Ümumiyyətlə ALS bir elmi istiqamət kimi keçən əsrin ortalarından başlayaraq inkişaf etməyə başlamışdır. Məlum olduğu kimi istənilən layihələndirmə prosesi uzun müddət tələb edən prosedurlar toplusundan ibarətdir. Əgər keçən əsrin ortalarına kimi layihələndirilən obyektin yaşama müddəti (istismarda olduğu müddət) əksər hallarda onun layihələndirilməsinə, hazırlanmasına, sınaq və tətbiqinə sərf olunan müddətə bərabər və yaxud nisbətən çox olurdusa, 70-ci illərdən başlayaraq istehsal olunan məhsulların çeşidinin artması, tələbata uyğun məhsulların istehsalının qısa bir müddətdə başqa məhsullarla əvəz olunmasının vacibliyi, layihələndirilən obyektin istehsalı və istismarda olduğu müddətin azalmasına səbəb olur, layihələndirmə müddətinin çox olması isə səmərəliliyi əhəmiyyətli dərəcədə azaldırdı. Bu halda vəziyyətdən çıxış yolu yeni informasiya-kommunikasiya texnologiyalarından, müasir avtomatlaşdırma və modelləşdirmə vasitələrindən istifadə etməklə layihələndirmə müddətinin qısalması, layihələndirilən obyektin çevik şəkildə avtomatik və ya avtomatlaşdırılmış layihələndirilməsini təmin etməkdir [4].

Elm və texnikanın müxtəlif sahələrində yeni layihələrin işlənməsi və mövcud qurğu və sistemlərin təkmilləşdirilməsi üçün müxtəlif təyinatlı ALS-lər işlənmiş və geniş imkanlara malik olan layihə təşkilatlarında, eyni zamanda layihə institutlarında istifadə olunurlar. ALS-lər mövcud standartlara cavab verən obyektləri layihələndirir, sınaqlardan keçdikdən sonra həmin obyektlər istehsal olunurlar.

Təcrübə göstərir ki, layihələndirilən obyektlərin tətbiqi və istismarı müddətlərində qarşıya çıxan çatışmamazlıqların yerlərdə aradan qaldırılması iqtisadi cəhətdən daha səmərəlidir. Dünya təcrübəsi də bu istiqamətdə aparılan işlərin aktuallığını təsdiq edir.

Yeni informasiya texnologiyaları, İnternet şəbəkəsinin geniş imkanları, ALS mühitində (CAD framework) fəaliyyət göstərən və istifadəçiyə həmin mühitin bütün imkanlarından səmərəli istifadə etmək imkanı yaradan interfeysin-avtomatlaşdırılmış layihələndirmə alətinin (ALA), yaradılması bu istiqamətdə yeni yanaşmalardan biridir [7]. ALS mühitində fəaliyyət göstərən ALA-ın əsas məqsədi istifadəçilərin tələbatlarını ödəyən işləmələrin müddətinin və sərf edilən resursların azaldılmasıdır [1].

Alt sistemində ÇİS-in qeyri-standart elektron interfeyslərinin analizi göstərdi ki, onların sınaq və tətbiq mərhələlərində xüsusi təyinatlı elektron interfeyslərinin layihələndirilməsi məqsədəuyğundur. Bu məqsədlə çoxfunksiyalı elektron qurğuları ALS-i mühitində fəaliyyət göstərən ALA-ın arxitekturasının işlənməsi və vəzifələrinə baxılır [5,8].

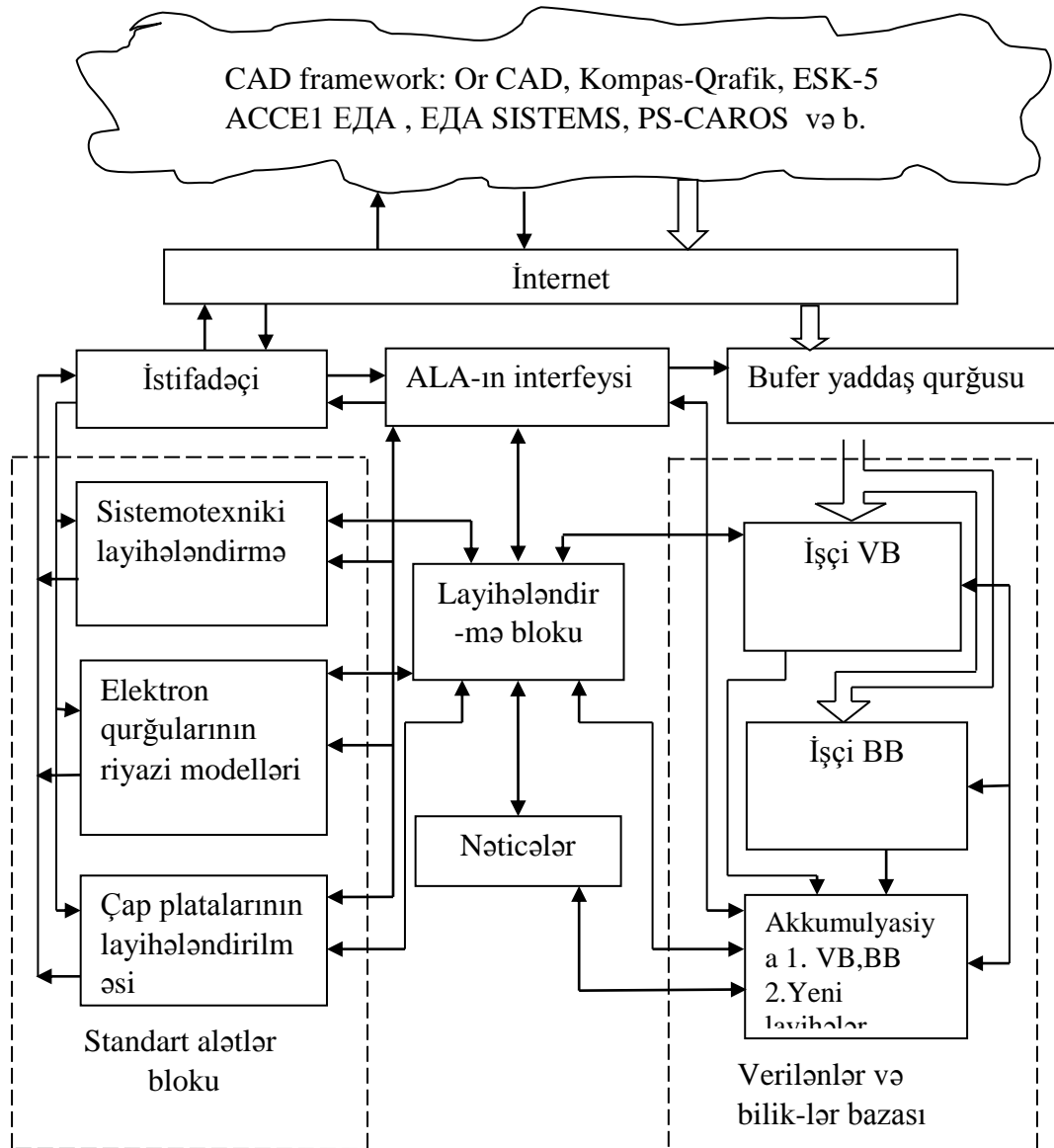
Elektron qurğularının ALS-in araşdırılması göstərir ki, ötən əsrin ortalarından başlayaraq elektron sxem və qurğularının sadəcə mürəkkəbə doğru inkişaf edərək funksional imkanlarının yüksəlməsi, mürəkkəbləşməsi, onların əsasında mürəkkəb xarakterli elektron qurğularının yaradılması, mikroprosessor texnikasının və onların bazasında yüksək funksional imkanlara malik kompüter texnikasının yaradılması, onların layihələndirilməsinin də avtomatlaşdırma sistemlərinin evolyusiyaya yolu ilə inkişafına səbəb oldu və çoxlu sayda müxtəlif təyinatlı elektron qurğularının ALS-lərinin yaradılmasına imkan yaratdı. Qeyd etmək ki, göstərilən ALS-lərin hamısı eyni bir məqsədə malik olmaqla yeni informasiya texnologiyalarının inkişafına cavab vermək şərti ilə evolyusiyaya yolu ilə inkişaf etmişlər. Odur ki, çoxfunksiyalı elektron qurğuları ALS-lə mühitində, onların bütün imkanlarından istifadə etmək imkanına malik olan ALA-ların işlənməsi aktual istiqamətdir.

ÇİS-in qeyri-standart elektron interfeyslərinin ALA-ın təklif olunan arxitekturası şəkil 1-də göstərilmişdir. ALS mühitində (CAD framework) fəaliyyət göstərən ALA aşağıdakı layihə prosedurlarını yerinə yetirir: layihələndirmə mərhələsində istifadə olunan bütün komponentlərin verilənlər və biliklər

bazalarının (uyğun olaraq VB və BB) yaradılması; VB, BB və yeni yaradılmış layihələrin akkumulyasiyası; prinsipal elektrik sxemlərin və xüsusiləşdirilmiş qeyri-standart elektron interfeyslərin avtomatlaşdırılmış layihələndirilməsi; elektron elementlərin çap platası üzərində komponovkası; prinsipial elektrik sxemlərin elementləri arasındakı əlaqə xətlərinin trassirovkası; çap platasının kompüter simulyasiyası ilə tədqiqi və layihə sənədlərinin tərtibi və s.

ALA-nın arxitekturasından görüldüyü kimi konkret obyektin tələblərindən asılı olaraq, istifadəçi öz layihəsində çoxfunksiyalı və müxtəlif təyinatlı ALS-lər çoxluqlarının bütün imkanlarından istifadə etmək imkanına malikdir. Eyni zamanda ÇİS-in ALS-in ALA-sı öz çevikliyi ilə fərqlənir, belə ki, onun strukturunu konkret layihələndirmə obyektinə yönümlü modifikasiya etmək mümkündür.

Təklif olunan elektron interfeyslərinin ALA-ın ümumiləşdirilmiş sxemindən görünür ki, onun əsas komponentləri aşağıdakılardır: ALA-ın interfeysi; verilənlər və biliklər bazası (VB və BB) blokları (işçi VB, işçi BB və akkumulyasiya bloku); standart alətlər bloku (sistemotexniki layihələndirmə proqram paketləri, elektron qurğularının riyazi modelləri və elektron sxemlərinin çap platalarının layihələndirilməsi paket proqramları); layihələndirmə bloku.



*Şəkil 1. ÇİS-in elektron interfeyslərinin ALA-ın arxitekturası.*

ALA-ın kompüterlərin arasında eyni zamanda elektron qurğuları ALS-i mühiti ilə informasiya və idarəetmə əlaqələrini yaradan əsas blok kimi ALA-ın interfeysi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Qeyd edək ki, konkret istehsallarda xüsusiləşdirilmiş avtomatlaşdırılmış layihələndirmə alətləri (ALA) ilə yerinə yetirilməsi səmərəli yanaşmadır və layihə edənin ALA ilə əlaqə interfeysi yüksək intellektuallığa malik olmalıdır ki, müxtəlif təyinatlı mütəxəssislər öz peşəkar dillərində ALA ilə ünsiyyətdə tələb olunan məsələlərini həll edə

bilsinlər. Odur ki, obyektlə elektron əlaqə qurğusunun ALA-sının intellektual interfeysinə qoyulan tələblərə baxılır.

Çevik istehsal sistemlərinin layihələndirilməsi və tətbiqi təcrübəsi göstərir ki, onların tərkibində fəaliyyət göstərən mexatron və digər qurğulardan təşkil edilmiş CİM-lərin idarə edilməsi üçün standart idarəetmə qurğuları istifadə edilir ki, onlarda xüsusiləşdirilmiş layihə təşkilatları tərəfindən layihələndirirlər. CİM-lərin ÇİS-in tərkibində kompleks şəkildə fəaliyyətini təmin etmək və ÇİS-in müxtəlif təyinatlı istehsallarda tətbiqini həyata keçirmək üçün sınaq və tətbiq mərhələlərində onların qarşılıqlı əlaqələrini yaratmaq məqsədi ilə hər bir konkret istehsalın spesifik xüsusiyyətlərini nəzərə almaqla qeyri-standart elektron əlaqə interfeyslərinin layihələndirilməsi zərurəti yaranır. Təcrübədə bu problemin həlli məqsədi ilə müxtəlif təyinatlı mütəxəssislərə oriyentasiya olunan ALA-ların yaradılması perspektivli yanaşma hesab edilir. Bu növ ALA-da əsas məsələlərdən biri onun müxtəlif təyinatlı mütəxəssislərə əl çatan olmasıdır ki, onu da ALA-ın interfeysinin intellektuallığının yüksəldilməsi nəticəsində yerinə yetirmək mümkündür.

Müxtəlif təyinatlı və intellektual interfeysə malik ALA-ın yaradılmasında kompüter texnikasının bütün təminatlarının, eyni zamanda ondan kütləvi şəkildə istifadəni təmin etmək üçün informasiya emalı texnologiyalarının (İET) xüsusi rolu olmuşdur.

İET-in inkişafı mərhələlərində sistem proqramçıları, proqramçılar tərəfindən yaradılan tətbiqi riyaziyyarçılar və informasiya işçilərinin funksiyalarını yerinə yetirən interfeys vasitəsi ilə, sifarişçi kompüterin riyazi təyinatının standart vasitələri və predmet sahələrinin riyazi modellərinin paket proqramlarından istifadə etməklə öz problemini həll etmək üçün kompüterlə ünsiyyətdə fəaliyyət göstərir.

Yeni İET-də kompüterin səviyyəsi intellektual interfeysin, sistem və tətbiqi proqramçıların, analitiklərin hesabına o dərəcədə yüksəlir ki, kompüter insana xas fəaliyyət sferasını öz üzərinə götürür. Süni intellektin məntiqilinqvistik modellərdən yaradılan aparat-proqram vasitələri ilə birlikdə intellektual interfeys proqramçı olmayan istifadəçilərin kompüterə bir başa müdaxiləsinin təmin edir.

Süni intellekt yeni İET-in əsası olmaqla onun sonrakı mərhələlərdə inkişafının əsaslarını yaratdı. Belə ki, əvvəlki İET-lərdə verilənlərin emalı və idarəedilməsi əsas hesab edilirsə, artıq süni intellektin ideya və mütdolarına əsaslanan, biliklər bazası əsasında yaradılan intellektual sistemlərdə emal proseslərinin idarəedilməsi məsələləri aktuallaşır. Hal-hazırda IV sənaye inqilabı dövründə, süni intellektinsıçrayışlı nailiyyətləri əsasında proqramçı olmayan kompüter istifadəçiləri artıq öz məsələlərini adi danışiq dilinin alt çoxluğu olan peşə dillərində həll etmək imkanlarına malikolacaqlar.

Göründüyü kimi İET-lərin evolyusiyası yolu ilə inkişafı öz əksini baza elementi kimi kompüterdən istifadə olunan ALA-ların da qurulmasında mühüm rol oynayacaqdır.

Göstərilənləri ümumiləşdirərək CİM-in obyektə elektron əlaqə qurğusunun ALA-sının intellektual interfeysinin yaradılmasına aşağıdakı əsas tələbləri formalaşdırmaq olar.

1. İntellektual interfeys ALA-ın istifadəçisinin peşəkar dilində ( adi danışiq dilinin alt sistemi) tapşırıqlarını qismən və ya tam şəkildə yerinə yetirilməlidir.

2. İntellektual interfeysin tərkibi konkret obyektin xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla çevik şəkildə sazlanmaq qabiliyyətinə malik olmalıdır(açıq sistemdir).

3. İntellektual interfeysin tərkibinə süni intellektin klassik strukturuna daxil olan interfeysin komponentlərindən( intellektual informasiya axtarış, tətbiqi paket proqramları, hesabi-məntiqi, ekspert sistemləri və b.) əlavə Soft Computing (qeyri-səlis, neyron şəbəkələri, öyrətmə nəzəriyyəsi, genetik alqoritmlər və b.) texnologiyalarının elementləri də daxil edilməlidir[3,2,6].

ALA-ın arxitekturasındakı digər vacib komponent verilənlər və biliklər bazası blokudur ki, onun da fəaliyyəti bir başa ALA-ın interfeysi ilə tənzimlənir. İstifadəçi cari elektron əlaqə interfeysinin layihələndirilməsi üçün tələb olunan informasiyaları çoxfunksiyalı elektron qurğuları ALS-ləri mühiti ilə qarşılıqlı əlaqədə işçi bazalara import edir və layihələndirmə prosesi qurtardıqdan sonra VB və BB-larının informasiyalarını saxlanılması üçün akkumulyasiya blokuna yerləşdirir.

İstifadəçi ALA-ın interfeysi ilə elektron qurğuları ALS-i mühitindən cari elektron interfeysinin layihələndirilməsi üçün seçilmiş proqram kompleksini layihələndirən blokuna impor edir və axırıncı tərəfindən ALA-ın tələb olunan bloklarından istifadə etməklə elektron əlaqə interfeysinin tam şəkildə layihələndirilməsi həyata keçirilir.

## **Ədəbiyyat**

1. Əhmədov M.A., Zeynalova S.M. CIS-in xüsusi təyinatlı interfeyslərinin analizi və onların avtomatlaşdırılmış layihələndirilməsinə qoyulan tələblərin təyini / İnformasiya və texnologiyaları: nailiyyətlər və perspektivlər. Beynəlxalq Elmi Konfransın materialları (15–16 noyabr 2018). Sumqayıt: SDU, 2018, səh. 365–370.

2. Əliyev R.Ə., Cəfərov S.M., Babayev M.C., Hüseynov B.O. İntellektual sistemlərin qurulma prinsipləri. Bakı, 2005 – 368 səh.
3. Əliyev R.Ə., Əliyev R.R. Soft computing. Bakı: Çarşıoğlu, 2001 – 624 səh.
4. Məhəmmədli H.M., Zeynalova S.M. Elektrotexniki qurğuların və sistemlərin avtomatlaşdırılmış layihələndirmə alətinin arxitekturasının işlənməsi / Tətbiqi fizika və energetikanın aktual məsələləri Beynəlxalq Elmi Konfransının materialları”, (24-25 may, 2018), SDU,2018, s.397.
5. Zeynalova S.M. Çevik istehsal sisteminin elektron interfeyslərinin avtomatlaşdırılmış layihələndirmə alətinin işlənməsi// Elmi xəbərlər, Cild 20, №3, səh. 77-84. Sumqayıt 2020.
6. Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии/ Пospelov Г.С. М.: Наука, 1988. – 280 с. ил.
7. Тематический выпуск. Перспективы автоматизированного проектирования. ТИИЭР – труды института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике, 1990, том. 78, №2.
8. Магаммедли Х.М., Зейналова С.М. Разработка инструментария автоматизированного проектирования специальных электронных интерфейсов ГПС / Труды научно-практической конференции с международным участием «Инженерные системы – 2019». Москва: РУДН, 2019. 536 с., стр. 504–512.

#### Summary

### DEVELOPMENT OF ARCHITECTURE OF A COMPUTER-AIDED DESIGN TOOL WORKING IN A MULTIFUNCTIONAL CAD ENVIRONMENT

*Zeynalova S.M.*

The article discusses the development and tasks of the architecture of a flexible manufacturing system (FMS) operating in the environment of a FMS of multifunctional electronic devices. To ensure the integrated operation of the FMS as part of the FMS and the implementation of the FMS in various industries, it is necessary to design non-standard electronic communication interfaces taking into account the characteristics of each specific production in order to establish their mutual connections at the stages of testing and application. In practice, a promising approach to solving this problem is considered to be the creation of a computer-aided design tool (CAD) oriented towards specialists of various purposes. One of the main problems of this type of CAD is its accessibility for specialists of various purposes, which can be achieved by increasing the intelligence of the CAD interface.

**Key words:** CAD, FMS, field of CAD, CAD framework.

#### Резюме

### РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО В МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СРЕДЕ САПР

*Зейналова С.М.*

В статье рассматриваются развитие и задачи архитектуры гибкой производственной системы (ГПС) функционирующей в среде ГПС многофункциональных электронных устройств. Для обеспечения комплексной работы ГПС в составе ГПС и внедрения ГПС в различные производства необходимо проектировать нестандартные электронные интерфейсы связи с учетом особенностей каждого конкретного производства с целью установления их взаимных связей на этапах тестирования и применения. На практике перспективным подходом к решению этой проблемы считается создание инструмента автоматизированного проектирования (ИАП), ориентированных на специалистов различного назначения. Одной из основных проблем данного типа ИАП является его доступность для специалистов различного назначения, что может быть достигнуто за счет повышения интеллектуальности интерфейса ИАП.

**Ключевые слова:** САПР, ГПС, Среда САПР, CAD framework

### PATTERNLƏRƏ ƏSASLANAN MÜRƏKKƏB MAŞINQAYIRMA ELEMENTLƏRİNİN AVTOMATLAŞDIRILMIŞ LAYİHƏLƏNDİRİLMƏ SİSTEMİ

**Rəsulov Rasim Zahid oğlu**

**Hüseynzadə Aysel Elxan qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[rasim.rasulov@sdu.edu.az](mailto:rasim.rasulov@sdu.edu.az) ; [guseynzade@sdu.edu.az](mailto:guseynzade@sdu.edu.az)

Məqalədə maşınqayırma sahəsi üçün layihələndirmə patternlərinin innovasiya metodologiyasına əsaslanan maşınqayırmanın mürəkkəb məmulatlarının avtomatlaşdırılmış parametrik layihələndirmə sistemi nəzərdən keçirilir. Patternlərin tətbiqi ilə layihələndirmənin əsas prinsiplərinə baxılmışdır. Belə yanaşmanın üstünlükləri, strukturu, funksiyaları və patternlərin tətbiqi ilə avtomatlaşdırılmış layihələndirmə sisteminin reallaşdırılması göstərilmişdir.

**Açar sözlər:** patternlər metodologiyası, maşınqayırmanın mürəkkəb məmulatlarının layihələndirilməsi, parametrləşdirilmiş model, ALS, avtomatlaşdırılmış layihələndirmə.

#### 1. Patternlərin tətbiqi ilə layihələndirilmə metodologiyası.

Hazırda praktiki olaraq bütün sənaye müəssisələrində layihələndirilən və buraxılan məmulatların çertyojlarının saxlandığı (məlumatlarının) elektron baza yaradılır. Bu onunla sərtlənir ki, yeni məmulatların işlənməsi zamanı 80% qovşaqlar və hissələr konfigurasiyada heç-bir əhəmiyyətli dəyişikliklərə məruz qalmır və mövcud olan çertyojları təshih edərək (düzəldərək) və onları yeni məmulatların prototipi kimi götürərək, işlənmə zamanını əhəmiyyətli dərəcədə azaltmaq olar [ 1 ].

Layihə müddətinin və onun maya dəyərini azaldılması maşınqayırmanın mürəkkəb məmulatlarının müəyyən məmulatlar ailəsi çərçivəsində az seriya və ya tək nüsxələrlə buraxılması zamanı daha aktual olur. Bu məsələnin effektiv həll etmə metodu məmulatlar ailəsinin parametrik modelinin yaradılması və ondan gələcəkdə istifadədir [2].

Parametrik modelləşdirmənin əsas üsulları və onların xüsusiyyətləri cədvəl 1-də verilmişdir.

*Cədvəl 1.*

*Parametrləşdirmə metodunun müqayisəsi*

<b>Parametrləşdirmə metodu</b>	<b>Məntiqi ifadələrlə iş</b>	<b>Parametrlərin qiymətinin modifikasiyası</b>	<b>Obyektlərin rabitəsinin modifikasiyası</b>	<b>Dəyişənlərin tətbiqi</b>	<b>Yeni parametrlərin əlavə edilməsi</b>	<b>Məhdudiyyətlərin avtomatik qoyulması</b>
Cədvəli parametrləşdirmə	-	+	-	+	-	-
Variasiyalı parametrləşdirmə	+	+	-	+	+	-
Iyerarxik parametrləşdirmə	+	-	+	-	-	+
Həndəsi parametrləşdirmə	-	+	+	-	+	+
Sinxron parametrləşdirmə	+	+	+	-	+	+

Ancaq, aparılan tədqiqatlar göstərir ki, müasir maşınqayırmanın bir sıra məsələlərinin həlli üçün mövcud olan parametrik modelləşdirmə alətləri kifayət qədər əlverişli olmur.

Maşınqayırmanın mürəkkəb məmulatlarında-parametrik asılılığın yaradılması, izlənməsi və modifikasiya edilməsi tələb olunan hissələr və quraşdırmalar sayı çoxdur, ALS tərəfindən verilən vasitələr isə kifayət qədər işin rahatlığını təmin etməyə imkan vermir. Maşınqayırma məmulatları modellərinin təhlili göstərmişdir ki, başa çatdırılmış layihə özünə mühəndis tərəfindən modelin dəyişdirilməsi üçün üznləməli və redaktə olunmalı minlərlə parametrləri daxil edir. Parametrik modelin səmərəsi və dəqiq planlaşdırılması zamanı rabitələrin sayını bir-neçə yüzliklərə qədər azaltmaq olar [3]. Ancaq, mütəxəssislərin tədqiqatlarına əsasən, layihəçi əsas məsələyə ziyan vurmadan fikrində 50 parametrdən artıq tuta bilməz [ 4,5 ].

Kiçik layihələr üçün parametrik modelləşdirmə alətlərinin tətbiqi layihələndirmə müddətini nəzərə qarpan səviyyədə artmasına səbəb olur. Layihə müəssisələrinin təcrübəsi onu göstərir ki, mühəndislər parametrik modellərin qurulmasına əlavə vaxt sərf etmək əvəzinə xırda modelləri tam yenidən qurmağa üstünlük verirlər [ 6 ].

Parametrik layihələndirmənin gələcək inkişafı pattern metodologiyasının tətbiqi ilə layihələndirmədir. Ümumi halda, pattern digər layihələndirmə kontekstlərinin tətbiq etmə üçün abstraktlaşdırılmış, tez-tez rast gəlinən və müvəffəqiyyətlə həll edilən layihələndirmə məsələsinin formalaşdırılmış həllidir. Patternlərin strukturu, məsələləri və eləcə də onların tətbiq edilməsi metodları həll edilən məsələlərdən və onların tətbiq edilməsi nəzərdə tutulan sahədən çox asılıdır. Tətbiq etmə sahəsindən asılı olaraq pattern işlərin yerinə yetirilməsi üzrə tövsiyələr, öz səmərəliliyini təsdiq etmiş standart konstruksiya və ya məsələnin həll qaydasının sadəcə mətnlə təsviri ola bilər. Patternlər artıq, memarlıq və proqramlaşdırma sahələrində özlərinin effektivliyini təsdiq etmişdirlər. Ancaq, aparılan patent tədqiqatlarına əsasən layihələndirmənin başlanğıc mərhələsində maşınqayırma sahəsi üçün pattern dillərinin işlənməsi və tətbiqi üzrə heç-bir layihə işləri aparılmamışdır.

Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, tək pattern maşınqayırma məmulatlarının parametrləmə prosesində yaranan bütün məsələləri tam həll etməyə qadirdir. Qeyd etmək lazımdır ki, pattern dillərinin iyerarxik strukturu çərçivəsində tətbiq edilməsi alınan həllərin effektivliyini xeyli yüksəldir. Beləliklə, pattern dilləri parametrləşdirmə mexanizmlərinin inkişafı yolunda növbəti addım olur. Patternlərin köməkliyi ilə layihələndirmə metodikalarının tətbiqi maşınqayırmanın mürəkkəb məmulatlarının layihələndirilməsinin avtomatlaşdırılmasına yeni tərəfdən baxılmasına, qovşaqlar və qrafik birləşdirilmələr səviyyəsində parametrləşmədən funksional bağlılıq səviyyəsində parametrləşməyə keçməyə imkan yaradır. Patternlər iyerarxiyası onların arasındakı üfüqi və şaquli rabitə ilə səciyyələnir və burada şaquli rabitələr həllərin

tətbiqinin ardıcılığını və daha aşağı səviyyəli patternlərdən daha yüksək patternlər səviyyəsinin alqoritminin formalaşdırılmasını göstərir. Üfüqi rabitələr bir səviyyəli patternlərin qarşılıqlı bağlılığını təmin edir və eləcə də həllin modifikasiyası üçün bir patternin digəri ilə əvəz edilməsinə imkan yaradır.

Müxtəlif sahələrdə patternlərin tətbiqinin nəticələrini öyrənərək, belə nəticəyə gəlmək olar ki, maşınqayırmada patternlərin tətbiq edilməsi aşağıdakı üstünlükləri əldə etməyə imkan yaradacaq:

1. Patternlərin tətbiqi layihəçiyə modellərin çoxlu sayda xırda parametrləri, onların bağlılıqları və uyğunluqları üzərində diqqəti cəmləmədən parametrləşdirməni aparmağa imkan verir;

2. Layihələndirmə patternlərinin cəmi, layihələndirmənin vahid lüğətidir və o, konstruktorların bir-biri ilə unifikasiya edilmiş (vahid şəkllə salınmış) ünsiyyət vasitəsidir;

3. Patternlərin tətbiqini layihələndirmə vasitəsi kimi özünə daxil edən iş metodikaları maşınqayırma məmullatları çoxluğunun yaradılması üzrə bir-sıra layihə mərhələlərinin yerinə yetirilməsini buraxmağa imkan verir və bununla layihələndirmə prosesini tezləşdirir;

4. Özünə hazır, sınaq edilmiş və texniki əsaslandırılmış həlləri daxil edən pattern kitabxanalarının mövcudluğu, layihələndirmə zamanı qəbul edilən qərarların vaxtını əhəmiyyətli dərəcədə qısaltmağa və kobud səhvlərin aradan qaldırılmasına imkan verir;

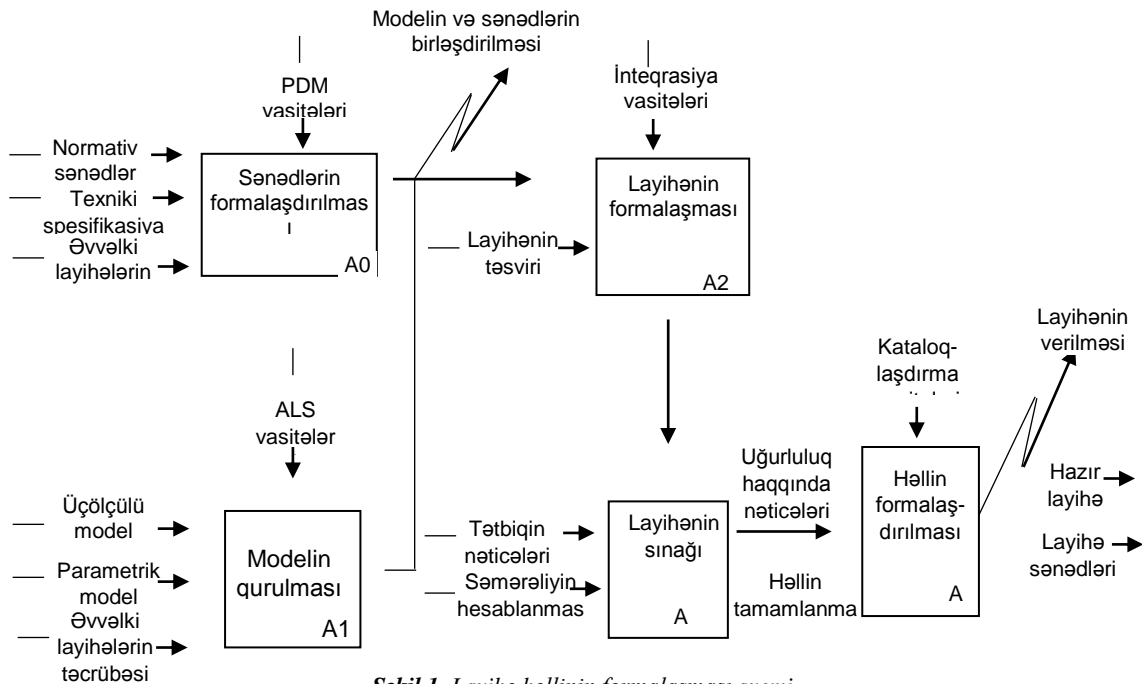
## 2. Sistemdə tətbiq edilən patternlərin daxili strukturu

Təqdim edilən sistemin köməkliyi ilə hazır həllin formalaşdırılması prosesi şəkl 1.-də təsvir olunmuşdur.

Şəkl.1 –dən görüldüyü kimi, “Pattern System” sistemi formalaşdırılan layihə həllinin yalnız ALS-də modelinin qurulmasını deyil, həm də sənəd komplekslərinin formalaşdırılmasını, layihə modelinin və onun təsvirinin vahid obyektə birləşdirilməsini, müxtəlif sınaqlar yolu ilə layihənin yoxlanmasını və nəticələrin nəzərə alınması ilə onun işlənilib tamamlanmasını təmin edir.

ALS sistemlərinin maşınqayırma məmullatlarının təqdim edilməsi xüsusiyyətini nəzərə almaqla, təsvir və təqim edilən həllin vacibliyini əsaslandıraraq və eləcə də həllin özünün saxlanması üçün sahələr toplusuna (komplektinə) malik olması zəruridir.

Analizə təqdim edilən modellər üzrə maşınqayırma həllinin aşağıdakı açar elementlərinin toplusu formalaşdırılmış və sistemin nüvəsinə daxil edilmişdir.



Şəkil 1. Layihə həllinin formalaşması sxemi

Sistemin ilkin layihələndirilməsindən sahənin proqramlaşdırma dilində konkret reallaşdırılmasına keçid zamanı “pattern” anlayışı müvafiq atributlarla əvəz edilmişdir və əlavə informasiyanın sistemləşdirilməsini və saxlanmasını sadələşdirən bir sıra sahələr əlavə edilmişdir.

## 3. “PatternSystem” avtomatlaşdırılmış layihələndirmə sisteminin imkanları

Patternlər əsasında layihələndirmə metodunun tətbiq edilməsi işlənmiş sistemin mühəndislər tərəfindən onların adət etdiyi alətlər və layihələndirmə metodlarının üstünlüklərindən istifadə etməyə imkan verir.

Standartlar əsasında layihələndirmə. Müəssisələrin əksəriyyəti layihələndirmə işlərini apararkən müxtəlif standartlardan istifadə edir (ОСТ, ГОСТ, СТП). Bir sıra müəssisələr üçün bu standartlar eləcə də istifadə edilən layihələndirmə metodikaları üçün əsas olur.

Maşınqayırma məmulatlarının layihələndirmə patternləri layihə həlli və üçölçülü modellər şəklində təşkilatların topladığı təcrübəni özündə saxlayır. Ona görə təşkilatların əsaslandığı norma və standartlar layihə həlləri və modellərlə birgə pattern dillərində saxlanılır. Patternlərin əlavə sahələri layihələndirmənin gedişində istifadə edilən standartları səciyyələndirməyə və sadalamağa və zərurət yaranarsa “PatternSystem” sisteminin tətbiqi ilə layihələndirmə zamanı bu informasiyanın təkrar axtarışı zərurətini aradan götürməyə imkan yaradır.

• **Hazır məmulatlar kitabxanaları əsasında layihələndirmə.**

Yaranmış layihələndirmə praktikası göstərir ki, artıq çoxdan müəssisələrin özlərinin layihə təcrübəsinin strukturlaşdırılmasına zərurət yaranmışdır. Son zamanlarda başqalarının layihə təcrübəsinin əldə edilməsi vasitəsi kimi hazır məmulatlar kitabxanaları geniş yayılır. Məmulatlar kitabxanasının mahiyyəti eynitipli məmulatların kataloqa salınması və sistemləşdirilməsindən ibarətdir. Elə həmin funksiyalar da patternlər əsasında təklif edilən layihələndirmə sisteminə daxil edilmişdir və uğurlu həllər kitabxanasının idarə olunması vasitəsi kimi qiymətləndirilir. Ancaq patternlərin obyektlərə daxili bağlanması, onların sistemdə kataloqa salınması yalnız “Modelləşdirmə obyekti” əlamətlərinə görə deyil, həm də “Həll edilən məsələ” kimi həyata keçirilməsinə və assosiasiya edilmiş obyektləri dinamik olaraq yenidən qruplaşdırmağa imkan verir.

• **Parametrik layihələndirmə.**

Modifikasiyaların operativ daxil edilməsi və yeni oxşar məmulatların yaradılması məqsədi parametrik modellərin yaradılmasına əsaslanır. Həllər sistemində əsas kimi saxlanan və istifadə olunan modelin strukturu müəssisədə istifadə olunan ALC-dəki modelin strukturu ilə üst-üstə düşməsi səbəbindən parametrik model tam olaraq həllər bazasına ötürülür və özünün iş qabiliyyətini saxlayır. Ancaq, “PatternSystem”-in alətlərinin bir sıra parametrləri açar parametrləri kimi qeyd edilir və proqram interfeysi onların sazlanmasına imkan verir.

• **Parametrik sıralar əsasında layihələndirmə.**

Parametrik sıraların tətbiqi məmulatların istismar xarakteristikalarının və onun qabaqcıl modifikasiyasının qiymətləndirilməsi üçün minimal sayda parametrlər toplusu vasitəsilə məmulatlar ailəsinin təsvirini nəzərdə tutur. Pattern strukturu özündə bütün parametrik asılılıqlarla verilmiş modeli, əsas parametrlərin standart tipini və ölçülərinin mümkün olan təsvirin, dəyişənlərin qiymətlərinin dəyişdirilməsi hesabına yeni məmulatların nüsxələri üçün vasitələri birləşdirir. Beləliklə “PatternSystem” parametrik sıraları yeni yaradılmış proqram vasitələri ilə tamamlayır.

## Ədəbiyyat

1. Шишкин В.В., Кандулов В.М. Анализ механизмов параметризации с точки зрения паттернов проектирования // Тез. Док. 43-й науч. – тех. Конф. – Ульяновск, 2009. – с.262.
2. Губич Л., Прочорова А. Подходы к автоматизации проектирования на базе средств параметризации САД/САМ – систем // САПР и графика. – 2000. -№ 12. С. 60-64.
3. Жигулин В. О том, как твердое тело может быть слишком твердым, или Взгляд на параметризацию сбоку // САПР и графика. – 2000. №1. – с. 87-90.
4. Третьяков С. Система проектирования электронных устройств OrCAD//САПР и графика. № 5, 2002.
5. Сушкин В.В. Обзор и исследование современных САПР конструкций радиоэлектронной аппаратуры. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. № 7, 2002.
6. Николаева И., Панченко В. Приложения КОМПАС в проектировании электротехнических устройств. // САПР и графика. № 3, 2000.

## Summary

### AUTOMATED DESIGN SYSTEM OF COMPLEX MACHINE-BUILDING ELEMENTS BASED ON PATTERNS

*Rasulov R.Z., Huseynzade A. E.*

The article considers an automated parametric design system for complex mechanical engineering products based on the innovative methodology of design patterns for the field of mechanical engineering. The basic principles of design using patterns are considered. The advantages of such an approach, its structure, functions and implementation of an automated design system using patterns are shown.

**Keywords:** pattern methodology, design of complex mechanical engineering products, parameterized model, CAD, automated design.

**Резюме**  
**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ШАБЛОНОВ**  
*Расулов Р.З., Гусейнзаде А.Э.*

В статье рассматривается автоматизированная система параметрического проектирования сложных изделий машиностроения, основанная на инновационной методологии шаблонного проектирования для области машиностроения. Были рассмотрены основные принципы дизайна посредством применения узоров. Показаны преимущества такого подхода, его структура, функции, а также реализация автоматизированной системы проектирования с использованием шаблонов.

**Ключевые слова:** методология паттернов, проектирование сложных машиностроительных изделий, параметризованная модель, САПР, автоматизированное проектирование.

## DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC INFORMATION SECURITY MODEL

**Jafarova Shalala Mehdi,**  
**Huseynova Leyla Ilham**  
**Kamalova Gunel Suleyman**  
*Sumgayit State University, Sumgayit, Azerbaijan*  
[shalala.cafarova@sdu.edu.az](mailto:shalala.cafarova@sdu.edu.az)

**Summary.** In modern times, the scale of using cloud services with extensive computational capabilities to solve complex problems is rapidly growing. Users located in different regions gain access to cloud infrastructures, which provides advantages both in efficiency and economic terms. Therefore, the development of a dedicated security mechanism ensuring system protection is considered essential. The application of such mechanisms increases the resilience of the system against potential failures.

**Keywords:** electronic security, fuzzy logic, cloud technology, automation, model, Petri net

In this study, an automated control system based on Petri nets (PN) is proposed for modeling information security in a cloud environment. Large-scale global research is being carried out in this field, and significant progress is being made toward the efficient distribution of computing and storage resources through cloud technologies. Modeling the protection of large information resources shared among numerous users in uncertain environments is of particular importance [1,2].

Various modeling tools—finite automata, logical and production models, semantic models, and Petri nets—are used to ensure the security of data stored on cloud platforms. Compared with these models, Petri nets are considered more flexible and multifunctional. Since the studied processes are represented through PN elements, the main characteristics of the system are analyzed, and the security structure is formed accordingly.

As a result of modeling, it becomes clear that when unauthorized access to information occurs, the system moves to a certain state. At this stage, the operations carried out and the conditions under which the system is satisfactory or insufficient are identified. The absence of strict execution order in Petri nets allows for faster and more precise analysis of cause-and-effect relations [3].

A user enters a password to access the system, and the correctness or incorrectness of the password is determined through the positions (places) and transitions of the Petri net. If the password is correct, the system is activated. Otherwise—if an unauthorized attempt is detected—the transition does not occur and access is denied. Based on this principle, it becomes possible to design an automated platform for managing information security in cloud technologies.

Figure 1 presents the Petri net model of information security in cloud technology. The symbols shown indicate the open and closed states of the system, accessibility of the mailbox, and correctness/incorrectness of the password entry [4].

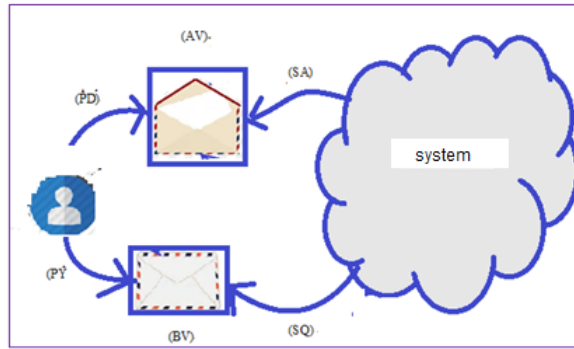
In the cloud technology security automation scheme, workflow activity is defined accordingly. The developed fuzzy model of information processing is represented by a fuzzy algebraic Petri net. In this case, the sets of places, transitions, and the input-output functions of each place and transition are determined.

The fuzzy algebraic Petri net is described as follows:

$$D=(P \cup F, T, A, V, \mu_0^R),$$

Here:  $P=\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ — set of p-type places,  $F=\{f_1, f_2, \dots, f_m\}$  – finite set of transitions,  $T=\{t_1, t_2, \dots, t_r\}$ — set of f-type places,  $A$ - finite alphabet.  $V: [(P \cup F) \times T] \cup [T \times (P \cup F)] \rightarrow A^*$  - mapping describing arcs between places and transitions;  $\mu_0^R: P \cup F \rightarrow A^* \times [0,1]^{\ell}$  -  $A^*$  - initial marking.

$$\ell = \text{card } X^f(a), a \in P \cup F [5].$$



**Fig. 1.** Information security model in cloud technology

This description indicates that conflicts in transitions of the fuzzy algebraic PN depend on the input and output positions of transitions. If the intersection of input and output places of transitions  $t_1$  and  $t_2$  is empty, the transitions do not conflict. Otherwise, the conflict condition holds, and the corresponding transitions compete.

As a result of the research, an automated model and algorithm for fuzzy algebraic PN-based information security in cloud technology were developed. The algorithm provides efficient conversion of external data to internal format, structural representation of information, and automatic detection of deadlock states.

Given the initial marking  $\mu_0$ , the sequence of transitions is determined as:  $\varphi = (t_3 t_2 t_1 t_4)$ .

Based on the results obtained, a graph diagram of the information flow model in cloud technology is constructed

## References

1. Jafarova S.M. Information security analysis algorithm in cloud technology.// Scientific and Practical Cyber Security Journal (SPCSJ) 4(4): 1-4 ISSN 2587-4667 Scientific Cyber Security Association (SCSA), Vol 4, №4, Georgia, 2020, p.1-4
2. Jafarova S.M. One approach to information security in cloud services.// Global Journal of Applied Sciences and Technology ISSN: 2694-3840, USA, Vol. 3 Issue 3, 2021, Impact Factor:2.6,p-1-3.
3. Bodyansky E.V., Kucherenko E.I., Mikhalev A.I. Neuro-phases of Petri networks in the modeling of complex systems. Monograph (scientific publication). Dnepropetrovsk: System Technology, 2005, 311 p.
4. Vyas J., Modi P. “Providing Confidentiality and Integrity on Data Stored in Cloud Storage by Hash and Meta-data Approach”, International Journal of Advance Research in Engineering, Science & Technology, Vol. 4, Issue 5, pp. 38-50, 2017.

## Xülasə

### ELEKTRON İNFORMASIYA TƏHLÜKƏSİZLİYİ MODELİNİN İŞLƏNMƏSİ

*Cəfərova Ş.M., Hüseynova L.I., Kamalova G.S.*

Müasir dövrdə mürəkkəb məsələlərin həlli üçün böyük hesablamalar tələb edən bulud xidmətlərindən istifadə sürətlə artır. Müxtəlif coğrafi məntəqələrdə fəaliyyət göstərən istifadəçilərin bulud infrastrukturuna çıxış əldə etməsi həm effektivlik, həm də iqtisadi baxımdan əhəmiyyətli üstünlüklər yaradır. Buna görə də sistemi qoruyan xüsusi təhlükəsizlik mexanizminin hazırlanması vacib sayılır. Belə mexanizmlərin tətbiqi sistemin mümkün nasazlıq və hücumlara qarşı dayanıqlığını artırır.

**Açar sözlər:** elektron təhlükəsizlik, qeyri-səlis məntiq, bulud texnologiyası, avtomatlaşdırma, model, Petri şəbəkəsi

## Резюме

### РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*Джафарова Ш.М., Гусейнова Л.И., Камалова Г.С.*

В современный период масштабы использования облачных сервисов, требующих больших вычислительных ресурсов для решения сложных задач, стремительно растут. Пользователи, работающие в различных регионах, получают доступ к облачным инфраструктурам, что обеспечивает значительные преимущества с точки зрения эффективности и экономичности. Поэтому разработка специализированного механизма защиты, обеспечивающего безопасность системы, является необходимой. Применение таких механизмов повышает устойчивость системы к потенциальным сбоям и внешним воздействиям.

**Ключевые слова:** электронная безопасность, нечеткая логика, облачные технологии, автоматизация, модель, сеть Петри

# MODELING SYSTEMS WITH VARIABLE PARAMETERS IN THE TIA ENVIRONMENT

**Alakbarli Fazil Hazi**  
**Giliyeva Nubar Alimurad**  
**Askerova Sahile Faig**

*Summgayit State Universtety, Sumqayit, Azerbaijan*

[fazil.alakbarli@sdu.edu.az](mailto:fazil.alakbarli@sdu.edu.az), [nubar.guliyeva@sdu.edu.az](mailto:nubar.guliyeva@sdu.edu.az), [sahile.askerova@sdu.edu.az](mailto:sahile.askerova@sdu.edu.az)

**Summary.** The material considers the simulation study of the automatic control system in the TIA portal environment. It is shown that Simatic type controllers do not have a transfer function implementation unit. This circumstance does not allow the simulation study of the control system in the TIA portal environment. Taking this into account, the material has developed a transfer function implementation unit of arbitrary order. An example of simulating a control system with variable parameters is given, using the developed unit. For the purposes of visual assessment, the results of regulation are considered in three variants: the parameters of the object and the controller are constant; the parameters of the object are variable, the parameters of the controller are constant; the parameters of the object are variable, the parameters of the controller are adaptive.

**Keywords:** control systems with variable parameters, simulation study, TIA portal, controller

## Introduction

Many real industrial processes for certain reasons occur in a non-stationary mode. The desired quality cannot be ensured if traditional control systems are used for their control.

Before industrial application of any system, it is tested by various methods and means. One of such methods is computer modeling. Although there are various software packages for modeling automatic control systems with fixed parameters, modeling of process control systems with variable parameters is not provided in these packages.

Currently, there are various application software packages and systems for simulating the study of the control system, including the automatic control system. The most widely used of them are the MATLAB package and its Simulink application. It should be noted that although the MATLAB package allows you to study the control system, the direct application of the result in industrial conditions requires special additional work. In this regard, it is more appropriate to simulate through the TIA (Totally Integrated Automation) portal, which is currently widely used in the automation of technological processes.

The TIA provides various regulators intended for the control system of real industrial objects. However, for the study of control systems before industrial use, there is no block implementing the transfer function of the object or the transfer function of the control part when using complex control algorithms. It is necessary to create such a block, otherwise it is impossible to study the simplest control systems by means of modeling.

## Statement of the problem

As already mentioned, the TIA does not provide for blocks for implementing transmission functions. This limits the use of complex control algorithms, which is the most important advantage of digital control, and their modeling before implementation in conditions close to industrial ones. The goal is to create a block capable of implementing various transmission functions, and using it to conduct a simulation study of a control system with variable parameters. Taking into account the above, in [1,2] methods for implementing transfer functions of the type

$$W(s) = \frac{b_1s + b_0}{a_1s + a_0} \quad (1)$$

$$W(s) = \frac{b_2s^2 + b_1s + b_0}{a_2s^2 + a_1s + a_0} \quad (2)$$

$$W(s) = \frac{b_0s^m + b_1s^{m-1} + \dots + b_{m-1}s + b_m}{a_0s^r + a_1s^{r-1} + \dots + a_{r-1}s + a_r} e^{-\tau s}, \quad m \leq r. \quad (3)$$

in the LAD programming language. These methods are based on solving differential equations on analog computers. The disadvantage of these methods is that it is impossible to create a universal program. The reason is that all coefficients are divided by the coefficient of the largest derivative of the output variable ( $y$ ). As can be seen, mathematically it is possible to obtain expression (1) from expression (2) or any simpler expressions from expression (3) through  $a_2 = 0$  and  $b_2 = 0$ , but this reason does not allow the program to be implemented, due to division by zero. On the other hand, the implementation of expression (3) is carried out in the form of determining its zeros and poles, which allow it to be reduced to the product of expressions (1) and (2). This, in turn, requires special preparatory work for each specific case and does not allow the implementation of transfer functions with variable parameters.

**Solution to the problem**

The way out of the situation is to replace expression (3) with a difference equation

$$A_0y[nT] + A_1y[(n - 1)T] + \dots + A_r y[(n - r)T] = B_0x[(n - k)T] + B_1x[(n - 1 - k)T] + \dots + B_m x[(n - m - k)T]. \quad (4)$$

K coefficients of the difference equation (4) from the coefficients of the transfer function (3) are obtained using the expressions

$$k = \left\lceil \frac{\tau}{T} \right\rceil, B_j = \sum_{i=j}^m (-1)^j C_i^j b_{m-i} T^{r-i}, j = \overline{0, m}, A_j = \sum_{i=j}^r (-1)^j C_i^j a_{r-i} T^{r-1}, j = \overline{0, r}.$$

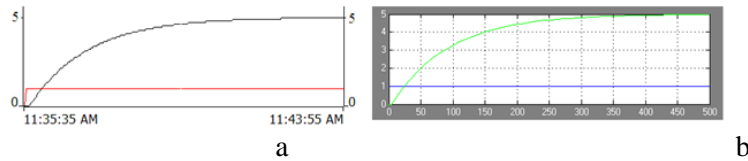
In these expressions,  $\left\lceil \frac{\tau}{T} \right\rceil$  is  $\frac{\tau}{T}$  the rounding of the ratio to an integer,  $T$  is the sampling interval,

$$C_i^j = \frac{i!}{j!(i - j)!} \quad (5)$$

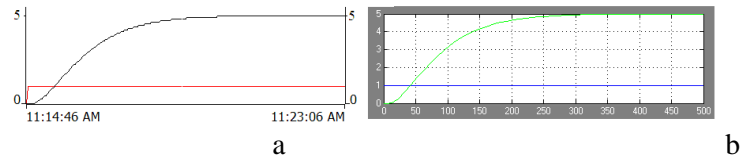
Replacing the transfer functions with a difference equation gives good results for small values of the sampling interval. It is well known that controllers usually perform regulation at very small time intervals, and the approach considered in this regard is correct from a practical point of view. Solving the difference equation (4) has the form:

$$y[nT] = \frac{\sum_{i=0}^m B_i x[(n - i - k)] - \sum_{i=1}^r A_i y[(n - i)]}{A_0} \quad (6)$$

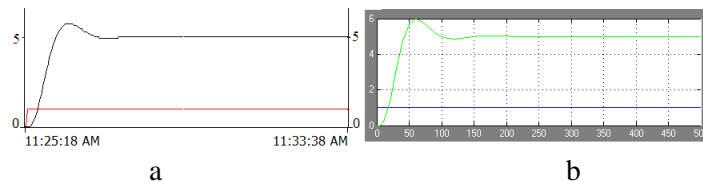
Software implementation of this expression is possible only in the SCL language, since in other languages (LAD, FBD, STL) array elements cannot be specified by indexed addressing. Fig. 1–Fig. 4 show the transient characteristics transfer functions of different orders obtained using the proposed method (a) and Matlab (b). Their comparison confirms the practicality of the method under consideration.



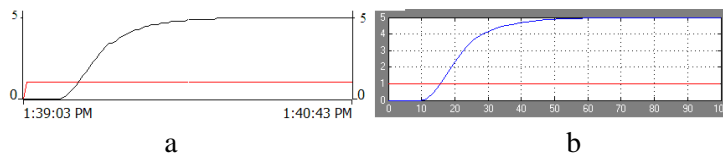
**Fig. 1.**  $W(s) = \frac{5}{90s + 1} e^{-5s}$



**Fig. 2.**  $W(s) = \frac{5}{2000s^2 + 90s + 1} e^{-5s}$



**Fig. 3.**  $W(s) = \frac{5}{250s^2 + 16s + 1} e^{-5s} :$



$$\text{Fig. 4. } W(s) = \frac{40s^3 + 30s^2 + 20s + 5}{400s^5 + 480s^4 + 294s^3 + 95s^2 + 17s + 1} e^{-10s}$$

A simulation study of a control system with variable parameters, consisting of an object with a transfer function, was carried out

$$W(s) = \frac{b_0(t)}{10s^2 + 15s + 1}, \quad b_0(t) = 0.5 + 2 \sin(0.1t)$$

and PI (proportional-integrating) controller with parameters

$$K_p = 0.5 \frac{y(t)}{u(t)}, \quad T_i = 20 \text{ sec.}$$

The results of the simulation modeling are shown in Fig. 5:

control system was carried out in the following sequence:

- Before part A, the controller task was 0 (zero), the controller was in normal mode, the control object with constant parameters, at the beginning of part A, the controller task was 1 (one);

- after the balanced value of the transient process (at the end of part A), the control object switches to the variable parameters mode, and the controller remains in the previous mode;

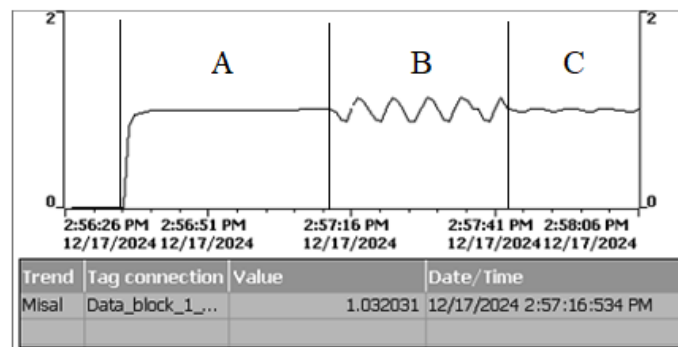


Fig. 5.

- At the end of part B, the controller is switched to adaptation mode.

As can be seen, the control system provides a high level of quality in segment A, in segment B it continues with undesirable fluctuations, and in segment C it continues with minor fluctuations.

### Conclusions

The existing methods of simulation study of control systems are analyzed and it is established that their capabilities for studying non-stationary systems are limited. An algorithm and a program of a block implementing the transfer function of a variable parameter object in the TIA environment are developed. A simulation study of a non-stationary control system in the TIA environment is conducted and it is established that the proposed algorithm and programs are capable of practical operation.

### References

1. Alekperli F.Kh., Askarova S.F., Hajiyeva E.M., Hasanli H.M. Implementation of control object transfer functions in the Simatic Manager environment. News of the National Aerospace Agency of Azerbaijan. 2018. No. 1. 57-63 pp.
2. Alekperli F.Kh., Ganjaliyeva G.K., Rakhimova M.R. Programmable controllers and WinCC Flexible (Programming and visualization). Sumgait, 2018.
3. Aliyev R.A. Automatic control. Textbook for higher technical schools of Baku, Maarif, 1993, 622 p.
4. Aliyev R.A. Aliyev R.R. Theory of automatic control. Textbook for higher technical schools. Baku, Maarif, 2007.
5. Rustamov G.A. Theory of automatic control. Part 1, 2003, 404 p.
6. Rustamov G.A. Theory of automatic tuning: modeling in Matlab / Simulink. Part I. 2nd edition. Baku, Science and Education Publishing House, 2012.
7. Alizade A.N., Namazov M.B., Aslanov M.S. MATLAB software package and symbolic mathematics. Educational materials.-Baku, NPM "Takhsil", 2005. 280 p.

**Xülasə**  
**DƏYİŞƏN PARAMETRLİ SİSTEMLƏRİN TİA MÜHİTİNDƏ SİMULYASIYALI TƏDQIQI**  
*Ələkbərli F.H., Giliyeva N.A., Əsgərova S.F.*

Materialda TİA mühitində dəyişən parametrlə tənzimləmə sisteminin simulyasiya vasitəsilə tədqiqinə baxılır. Göstərilir ki, Simatic tipli kontrollerlərin program təminatında ötürmə funksiyalarını realizə edən blok yoxdur və bu TİA portalda tənzimləmə sistemlərini simulyasiya vasitəsilə tədqiq etməyə imkan vermir. Bunu nəzərə alaraq materialda ixtiyari tərtibli dəyişən parametrlə ötürmə funksiyalarını realizə edən blok yaradılmış və dəyişən parametrlə tənzimləmə sisteminin simulyasiya nümunəsi verilmişdir. Əyani müqayisə məqsədilə nümunə üç variantda baxılmışdır: obyektin və tənzimləyicinin parametrləri sabitdir; obyektin parametrləri dəyişən, tənzimləyicinin parametrləri sabitdir; obyektin parametrləri dəyişən, tənzimləyici adaptivdir.

**Açar sözlər:** dəyişən parametrlə tənzimləmə sistemi, simulyasiyali tədqiq, TİA portal, kontroller

**Резюме**  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ С ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ В СРЕДЕ TIA**  
*Алақбарли Ф.Х., Гулиева Н.А., Аскерова С.Ф.*

В материале рассматривается имитационное исследование системы автоматического управления в среде портала TIA. Показано, что контроллеры типа Simatic не имеют блока реализации передаточной функции. Это обстоятельство не позволяет провести имитационное исследование системы управления в среде портала TIA. С учетом этого в материале разработан блок реализации передаточной функции произвольного порядка. Приведен пример моделирования системы управления с переменными параметрами с использованием разработанного блока. Для наглядной оценки рассматриваются результаты регулирования в трех вариантах: параметры объекта и регулятора постоянны; параметры объекта переменны, параметры регулятора постоянны; параметры объекта переменны, параметры регулятора адаптивны.

**Ключевые слова:** системы регулирования с переменными параметрами, симуляционное исследование, TIA портал, контроллер

**ÇEVİK İSTEHSALAT SAHƏLƏRİNİN TEXNİKİ NƏZARƏT SAHƏLƏRİNİN  
 İNFORMASIYA TƏMİNATI**

**Hüseynova Qənimə Hüseynqulu qızı**  
*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan,*  
[huseynovaqenime2023@gmail.com](mailto:huseynovaqenime2023@gmail.com)

**Xülasə.** İnformasiya təminatının verilənlərinə əsasən ÇİS-in texniki nəzarət üsulunun və tipinin seçilməsi üçün blok-sxem təklif olunub. ÇİS-in aktiv elementlərinin və məhsulun keyfiyyətinə texniki nəzarəti üçün ölçmə, tənzimləmə və idarəetmə sisteminin avtomatlaşdırma sxemi təklif olunub. Ayrı-ayrı verilənlər bazalarından təşkil olunan kompleks verilənlərin idarəetmə sistemi tətbiq obyektinin avtomatlaşdırılmış idarəetmə sisteminin arxitekturasına daxil olaraq, texniki nəzarət üçün tələb olunan cari verilənləri analiz edilmiş və nəticədə qərar qəbul edilmişdir.

**Açar sözlər:** texniki nəzarət, sənaye robotu, idarəetmə sistemi, manipulyator, sobalar

Alüminium buxarlandırıcıları texnoloji prosesində hazırlanan məhsulun keyfiyyətinə nəzarət etmək üçün istehsal xəttinin ilkin mərhələsindən başlayaraq hər bir modulda xüsusi texniki nəzarət qovşaqları quraşdırılmalıdır.

Tətbiq olunan ÇİS-də məhsulun keyfiyyətinə texniki nəzarət sisteminin avtomatlaşdırılması və idarə edilməsi məqsədi ilə buxarlandırıcılar istehsalatının modullarında texnoloji əməliyyatların, məhsulun keyfiyyətinə, idarəetmə sisteminin funksiyalarının etibarlılığına və dəqiqliyinə nəzarət prosesinin mərhələlərinin informasiya təminatı yaradılır [1,2].

Tətbiq olunan istehsalat xəttinin nəzarət sisteminin etibarlılığını təmin etmək üçün texnoloji avadanlıqların, qurğuların, avtomatik nəqliyyat xətlərinin, onlara xidmət edən sənaye robotlarının və manipulyatorlarının işçi zonaları müəyyən edilir (Cədvəl 1).

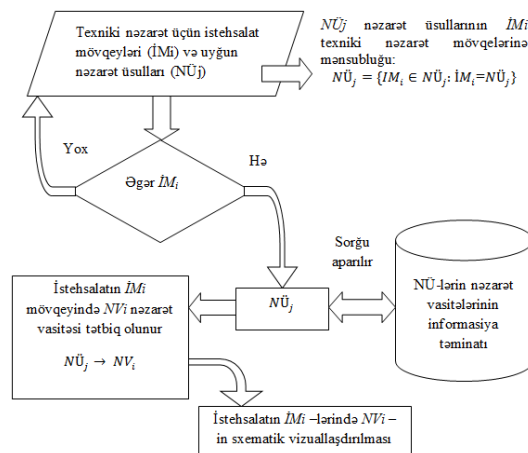
**Cədvəl 1.**

*ÇİS-in aktiv elementlərinin işçi zonalarının standart ölçülərinin verilənlər bazası*

Məsafələr	ÇİS-in avadanlıqları arasında olan məsafələr (mm)			
	1800 x 800	4000 x 2000	8000 x 4000	16000 x 6000
Frontal görünüş üzrə ÇİS-in avadanlıqları arasında olan məsafələr (a)	700	900	1500	2000
ÇİS-in avadanlıqlarının arxa tərəfləri arasında olan məsafələr (b)	700	800	1200	1500

ÇİS-in avadanlıqlarının üz üzə olduğu halda, aralarında olan məsafə	2000	2500	3000	3500
ÇİS-in avadanlıqlarından divara olan məsafələr	700	800	900	1000

Cədvəl 1-ə əsasən ÇASi-in aktiv elementlərinin TNZi-lərinin standart ölçüləri uyğun vasitələrin (texnoloji avadanlıqların (TAi), dəzqahların (Di), sənaye robotları (SRi), manipulyatorların (Mi), sobaların (Si) və avtomatik nəqliyyat vasitələrinin (ANVi) texniki nəzarət sistemlərinin (TNSi) işçi verilənlər bazalarında saxlanılır. ÇASi-in aktiv elementləri cari texnoloji əməliyyatları icra etdikdə, müvafiq TNZi-lərin standart ölçülərinə uyğun təhlil aparılır və TNSi-nin çıxış ölçmə siqnalları istehsalat modulunun kontrollerli idarəetmə sisteminə ötürülür. Ayırı-ayrı verilənlər bazalarından təşkil olunan kompleks verilənlərin idarəetmə sistemi (KVİS) tətbiq obyektinin avtomatlaşdırılmış idarəetmə sisteminin arxitekturasına daxil olaraq, texniki nəzarət üçün tələb olunan cari verilənləri (skan edilmiş, şablona uyğunlaşdırılması, dolayısı üsulla ölçülməsi, video görüntünün alınması və s.) analiz edir və nəticədə qərar qəbul edilir. Blok-sxem şəklində KVİS-in fəaliyyətinin mərhələli funksiyaları şəxk. 1-dəki kimi vermək olar.



Şəxk. 1. İstehsalatın texniki nəzarət vasitələrinin informasiya təminatı

$NÜ_j$  nəzarət üsullarının  $İM_i$  texniki nəzarət mövqələrinə mənsubluğu ( $NÜ_j = \{İM_i \in NÜ_j : İM_i = NÜ_j\}$ ) ifadəsinə əsaslanaraq NÜ-lərin nəzarət vasitələrinin informasiya təminatından tələb olunan  $NV_i$  seçilir və  $İM_i$  -lərində  $NV_i$  -in sxematik vizuallaşdırılması təmin olunur.

## Ədəbiyyat

1. Мамедов, Дж. Ф., Абдуллаев, Г.С., Мамедова, Ш.Т., Валиева, Б.А., Попова О.И. Автоматизированный выбор и проектирование элементов системы управления гибкого автоматизированного производства. Вестник Воронежского государственного технического университета, Воронеж, -2019, Т 15, №1, с. 107-111.
2. [Анзимиров, Л. В. SCADA TRACE MODE — Новые технологии для современных АСУТП // Автоматизация в промышленности. — 2007, - № 4, - с. 53-54.](#)

**Резюме**  
**ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УЧАСТКОВ И ЗОН**  
**ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ**  
*Гусейнова Г. Г.*

На основании представленной информации предложена структурная схема выбора способа и вида технического контроля ГПЗ. Предложена схема автоматизации системы измерений, регулирования и управления техническим контролем активных элементов ГПЗ и качества продукции. В архитектуру автоматизированной системы управления объектом применения была включена сложная система управления данными, состоящая из отдельных баз данных, проведен анализ текущих данных, необходимых для технического контроля, и по результатам принято решение.

**Summary**

**INFORMATION SUPPORT OF FLEXIBLE PRODUCTION AREAS AND TECHNICAL CONTROL AREAS**

*Huseynova G. H.*

Based on the information support data, a block diagram was proposed for selecting the method and type of technical control of the FPA. An automation scheme of the measurement, regulation and control system for technical control of the active elements of the FPA and product quality was proposed. The complex data management system, consisting of separate databases, was included in the architecture of the automated control system of the application object, the current data required for technical control were analyzed and a decision was made as a result.

**Keywords:** *technical control, industrial robot, control system, manipulator, furnaces*

**ELEKTROENERGETİKADA İOT TEXNOLOGİYALARI:  
RƏQƏMSAL ENERJİ SİSTEMLƏRİNƏ DOĞRU**

**Hüseynova Afət Südef qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[afat.huseynova@sdu.edu.az](mailto:afat.huseynova@sdu.edu.az)

**Xülasə.** İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının sürətli inkişafı sənayenin başqa sahələri ilə yanaşı elektroenergetika sahəsində də ciddi dəyişikliklərə səbəb olmuşdur. Rəqəmsal idarəetmənin tətbiqi elektrik enerjisinin ötürülməsi və paylanması proseslərinə fasiləsiz nəzarətin reallaşdırılmasını təmin etməyə imkan verir. Təqdim olunan məqalədə elektroenergetika sektorunda Əşyaların İnterneti (İoT) texnologiyalarının rolu, üstünlükləri, tətbiq sahələri, və qarşıda duran texniki iqtisadi məsələlər təhlil olunmuşdur. Həmçinin bu sahədə beynəlxalq və yerli rəqəmsal enerji texnologiya tətbiqləri araşdırılaraq tövsiyələr təqdim edilmişdir.

**Acar sözlər:** İoT texnologiyaları, elektroenergetika, ağıllı sayğac, ağıllı şəbəkə, EMS, Smart Grids, sensor, transformator

Enerji sistemləri global miqyasda dayanıqlılıq, çeviklik və effektivlik kimi tələblərlə qarşı-qarşıyadır. Ənənəvi modellər müasir tələbləri artıq tam qarşılaya bilmədiyindən, bu sahədə rəqəmsal idarəetmənin tətbiqi qaçılmazdır. İoT texnologiyaları bu baxımdan əsas hərəkətverici istiqamətlərdən biridir. Hazırda enerji resurslarının idarə olunması təkcə texniki aspektləri deyil, həm də ekoloji, iqtisadi və sosial amilləri əhatə edən kompleks yanaşma tələb edir. Enerji resurslarının məhdudluğu İqlim dəyişiklikləri, və artan tələbat burada innovativ texnologiyaların tətbiqini zəruri edir. Buna görə də İoT bu baxımdan idarəetmə səmərəliliyinin artırılması və enerji sistemlərinin modernləşdirilməsi üçün açar rol oynayır. İoT – internet üzərindən müxtəlif cihazların və obyektlərin qarşılıqlı əlaqəsini təmin edən texnologiyadır. Enerji sahəsində bu texnologiyalar aşağıdakılara əsaslanır:

- Sensorlar tətbiq etməklə məlumatların toplanması
- Real vaxt rejimi ərzində monitorinq və analiz;
- Qərar qəbul etmədə avtomatlaşdırılmış mexanizmlər.

Bu elektroenergetikada mövcud olan, - ötürmə və paylama zamanı yüksək enerji itkiləri, artan tələbatı operativ qarşılıyacaq çevik sistemlərin çatışmazlığı, qəza halları zamanı real vaxt rejimində cavab imkanlarının zəifliyi, ətraf mühitə mənfi təsir və davamlı olmayan enerji mənbələrinin istifadəsi kimi problemlərin həllində tətbiq edilə bilər [1]. Bununla əlaqədar elektroenergetikada İoT tətbiqləri kimi aşağıdakıları qeyd edə bilərik:

- ağıllı şəbəkələr ( Smart Grids), - real vaxt məlumatları əsasında işləyən bu sistemlər enerji tələbatını və təklifini balanslaşdırır, qəza vəziyyətlərinə operativ cavab verir.
- ağıllı sayğac (Smart Meters), - istehlakçının enerjiden istifadə vərdişləri real vaxtda izləyərək məlumatları mərkəzi sistemə ötürür. Bu, şəffaf tarif siyasətinə və itkilərin azalmasına şərait yaradır.
- enerji idarəetmə sistemləri (EMS), - İoT əsaslı EMS-lər sənaye obyektlərində və iri yaşayış komplekslərində enerji sərfiyyatını optimallaşdırmaq üçün tətbiq olunur.
- ağıllı Transformatorlar və Sensorlar, - bu texnologiyalar vasitəsilə transformatorların vəziyyəti və iş rejimi barədə məlumatlar real vaxtda əldə olunur. Bu da texniki xidmətin optimallaşdırılması və qəza risklərinin azalması ilə nəticələnir.

- yenilənə bilən enerji mənbələrinin inteqrasiyası, - günəş və külək enerjisi kimi dəyişkən enerji mənbələrinin şəbəkəyə inteqrasiyası üçün İoT texnologiyaları önəmli rol oynayır. Bu sistemlər sayəsində enerji istehsalı və istehlakı arasındakı tarazlıq effektiv şəkildə qorunur. Bu baxımdan beynəlxalq və yerli tətbiq nümunələri kimi aşağıdakıları qeyd edə bilərik:

- ABŞ və Almaniyada Smart Grid texnologiyalarının geniş tətbiqi[4];
- Azərbaycanda “Azərişiq” ASC tərəfindən pilot layihələr çərçivəsində ağıllı sayğacın tətbiqi[3];

- ABB, Siemens, Schneider Electric kimi şirkətlər qabaqcıl İoT həlləri[5].
- İoT texnologiyalardan istifadənin üstünlükləri və faydaları kimi
- Enerji səmərəliliyinin yüksəldilməsi, nasazlıqların vaxtında aşkarlanması,
- Ətraf mühitin mühafizəsi və karbon izinin azaldılması, istehlakçı mərkəzli idarəetmə və şəffahlıq, itkilərin və istismar xərclərinin azaldılması, şəbəkənin çevikliyinin artırılması və avtomatik balanslaşdırma imkanları,
- Resursların daha məqsədyönlü paylanması və real vaxtda cavabvermə imkanları;
- Rəqəmsal transformasiya nəticəsində əməliyyatların daha şəffah və izlənilən olması.

Bununla əlaqədar qarşıda kiber təhlükəsizlik riskləri və məlumat məxfiliyinin qorunması, yüksək ilkin investisiya tələbləri, standartlaşdırma problemləri və texnoloji uyğunluq məsələləri, insan resurslarının rəqəmsal biliklərinin artırılması zərurəti, infrastrukturun modernləşdirilməsi zamanı yaranan texniki uyğunluq problemləri kimi məsələlər durur [2].

Elektroenergetikada İoT texnologiyalarının tətbiqi gələcəyin enerji sistemlərinin təməlini təşkil edir. Bu məsələlərin həlli üçün rəqəmsallaşmaya önəm verilməli, enerji şirkətləri texnoloji investisiyalara üstünlük verməli, regionlar üzrə pilot layihələrin həyata keçirilməsi, uğurlu nəticələrin geniş miqyasda tətbiqi gələcək inkişaf üçün önəmli addımlar ola bilər. Enerji sisteminin rəqəmsallaşması yalnız texnoloji deyil, həm də strateji iqtisadi üstünlüklər yaradır.

### Ədəbiyyat

1. Gharavi, H., R. (2011). Smart Grid: The Electric Energy System of the Future, 2011.
2. IEEE Internet of Things Journal, 2023.
3. Azərişiq ASC illik hesabatları, 2022-2024.
2. Schneider Electric – Smart Grid Solutions, 2024.
3. Siemens AG- Grid Edge Technologies, 2024

### Summary

#### IOT TECHNOLOGIES IN ENERGY: TOWARDS DIGITAL ENERGY SYSTEMS

*Huseynova A.S.*

The development of information and communication technologies has led to major changes in the electric power industry, as well as in many other industries. This article analyzes the role, areas of application, advantages and technical and economic problems of the Internet of Things (IoT) technologies in the energy sector.

Keywords: Internet of Things technologies, electricity, smart meters, EMS, smart grids, sensor, transformer.

### Резюме

#### ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ: НА ПУТИ К ЦИФРОВЫМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ

*Гусейнова А.С.*

Развитие информационно-коммуникационных технологий привело к серьезным изменениям в электроэнергетике, как и во многих других отраслях промышленности. В представленной статье анализируются роль, области применения, преимущества и технико-экономические проблемы технологий Интернета Вещей (IoT) в энергетике.

**Ключевые слова:** Технологии Интернета вещей, электроэнергия, интеллектуальные счетчики, EMS, интеллектуальные сети, датчик, трансформатор

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ В ТЕОРИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**Ахундзаде Тунар Ровшан оглу**

*Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан*

[tunar.axundzada@gmail.com](mailto:tunar.axundzada@gmail.com)

**Резюме.** В тезисе дается комплексный анализ теории интеллектуализации информационных систем. Представлены основные понятия и классификации интеллектуальных систем. Объясняются различные области применения элементов искусственного интеллекта, включая структуры экспертных систем и их влияние на процессы принятия решений. Кроме того, всесторонне обсуждается концепция инженерии знаний и ее роль в информационных системах. В статье также рассматриваются тенденции развития современных интеллектуальных систем, выделяются их преимущества и ограничения. Подчеркивается важность применения интеллектуальных подходов в автоматизированных системах

**Ключевые слова:** интеллектуальные системы, искусственный интеллект, экспертные системы, инженерия знаний, информационные технологии принятия решений и эффективного управления данными.

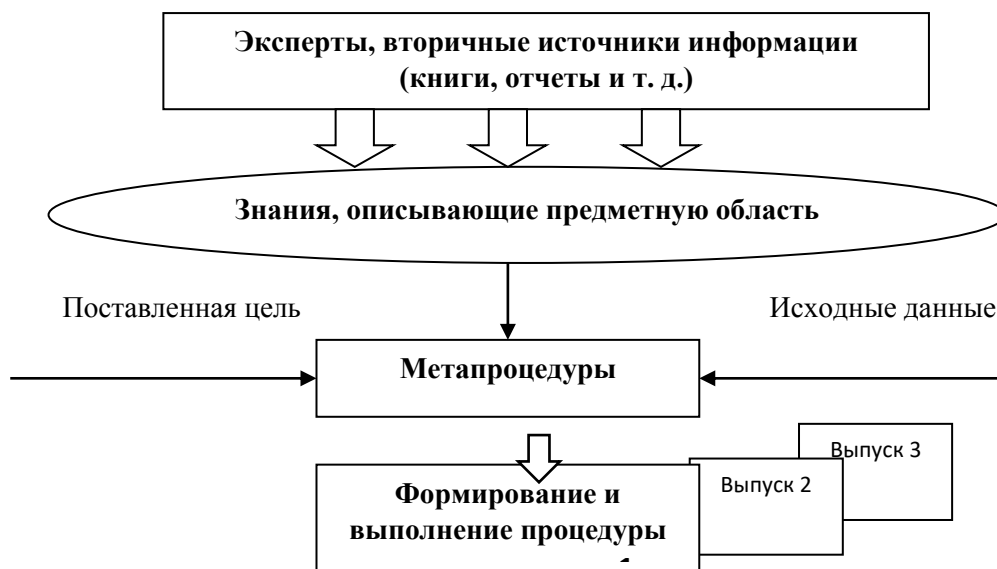
Как известно, искусственный интеллект – это область технологий, описывающая способность компьютеров выполнять определенные задачи, имитируя человеческий интеллект. Для начала определим элементы искусственного интеллекта – понятия «интеллектуальная система», «интеллектуализированная система» и «система с интеллектуальной поддержкой».

1. Интеллектуальные системы (IoS) – это интеллектуальные информационно-вычислительные системы, которые решают проблемы без вмешательства человека. ИС никогда не заменит людей, это просто интеграция человеческого интеллекта и вычислительных систем [1]. Другими словами, это интеграция нечеткости (приближенных расчетов) с точными методами расчета.

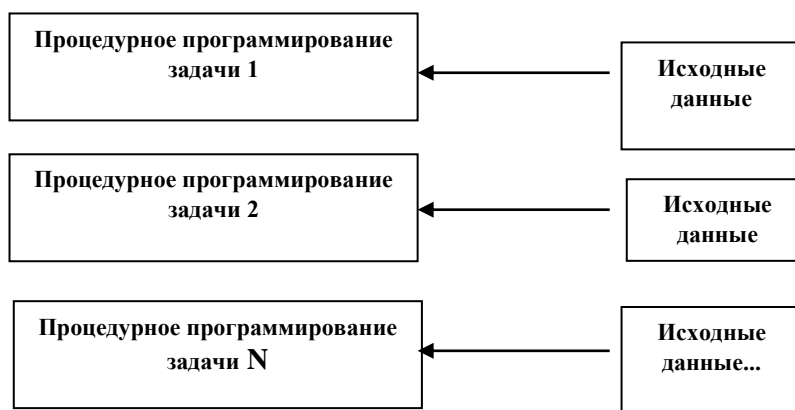
2. Интеллектуальная система – это искусственная вычислительная система с интеллектуальной поддержкой, в решении которой принимает участие человек.

3. Интеллектуальная система – это система, способная принимать собственные решения. Когда система принимает самостоятельные решения, под ней понимается система, которая получает и анализирует информацию, осмысливает ее, делает новые выводы, формулирует результат и в свою очередь корректирует и «улучшает» принятое комплексное решение. Другими словами, мы можем формально записать:

$InS = \langle PT, AT, ПТ, ИТ \rangle$  Здесь РТ, АТ, ПТ, ИТ – соответственно, указывают на необходимость комплекса математического, алгоритмического, программного и инструментального обеспечения. Данная технология называется технологией, основанной на знаниях, или технологией инженерных знаний (рис. 1).



*Рис. 1. Технология использования InS общего назначения (инженерных знаний)*



*Рис. 2. Традиционный подход к созданию индивидуальных InS (с использованием процедурного программирования)*

Специализированные ИС включают системы, решающие определенный класс задач, которые были определены при проектировании системы [2]. Для использования таких систем необходимо предоставить им данные, соответствующие выбранному применению. До недавнего времени при производстве специализированных ИС использовались традиционные технологии (процедуры) программирования, что позволяло им иметь высокую производительность. (рис 2).

### Литература

1. Balayev P.Ə. və b. İntellektual sistemlər və texnologiyalar, Bakı 2016, "MSV NƏŞR" nəşriyyatı, Dərs vəsaiti, 256 səhifə.
2. Пятаева А.В. и др. Интеллектуальные системы и технологии. Учебное пособие, СФУ, 2021.

**Xülasə**  
**İNFORMASIYA SİSTEMLƏRİNİN İNTELLEKTLEŞDİRİLMƏSİ**  
**NƏZƏRİYYƏSİNDƏ TƏYİN VƏ TƏSNİF OLUNMA**  
*Axundzadə T.R.*

Bu tezisdə informasiya sistemlərinin intellektuallaşdırılması nəzəriyyəsinin hərtərəfli təhlili verilmişdir. İntellektual sistemlərin əsas anlayışları və təsnifatları təqdim olunur. Süni intellekt elementlərinin müxtəlif tətbiqləri, o cümlədən ekspert sistemlərinin strukturları və onların qərar qəbul etmə proseslərinə təsiri izah edilir. Bundan əlavə, bilik mühəndisliyi anlayışı və onun informasiya sistemlərindəki rolu hərtərəfli müzakirə olunur. Məqalədə həmçinin müasir intellektual sistemlərin inkişaf tendensiyaları araşdırılır, onların üstünlükləri və məhdudyyətləri vurğulanır. Avtomatlaşdırılmış qərar qəbul etmə sistemlərində və məlumatların səmərəli idarə edilməsində intellektual yanaşmaların tətbiqinin vacibliyi vurğulanır.

**Açar sözlər:** intellektual sistemlər, süni intellekt, ekspert sistemləri, bilik mühəndisliyi, informasiya texnologiyaları.

**Summary**  
**DEFINITION AND CLASSIFICATION IN THE THEORY OF INTELLECTUALIZATION**  
**OF INFORMATION SYSTEMS**  
*Axundzade T.R.*

This article provides a comprehensive analysis of the theory of intellectualization of information systems. The fundamental concepts and classifications of intelligent systems are presented. Various applications of artificial intelligence elements, including expert systems' structures and their impact on decision-making processes, are explained. Additionally, the concept of knowledge engineering and its role in information systems is thoroughly discussed. The article also explores the development trends of modern intelligent systems, emphasizing their advantages and limitations. The importance of applying intelligent approaches in automated decision-making systems and efficient information management is highlighted.

**Keywords:** intelligent systems, artificial intelligence, expert systems, knowledge engineering, information technologies.

**NEFT SƏNAYESİ ÜÇÜN BLOKÇEYN TEXNOLOGİYASI ƏSASINDA**  
**RƏQƏMSAL TƏHLÜKƏSİZLİK MODELİNİN ANALİZİ**

<sup>1</sup>Əmiraslanov Bəhrüz Qurban oğlu

<sup>2</sup>Atakişiyev Camal Rauf oğlu

<sup>3</sup>Yusifov Elmar Alməmməd oğlu

<sup>1,2</sup>*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

<sup>3</sup>*Mari və Lui Pastör Universiteti, Besanson, Fransa*

[atakisiyev.camal599@gmail.com](mailto:atakisiyev.camal599@gmail.com) , [elmaryusifli@gmail.com](mailto:elmaryusifli@gmail.com)

**Xülasə.** Məqalədə neft sənayesinin rəqəmsal təhlükəsizlik problemlərinin həlli üçün blokçeyn texnologiyası əsasında qurulmuş yeni model təklif olunur. Modelin arxitekturası, ağıllı kontraktlar vasitəsilə əməliyyatların idarə edilməsi, kriptografik identifikasiya mexanizmləri və auditfunksiyaları təsvir olunur. Aparılan təhlillər göstərir ki, təklif olunan yanaşma mövcud sistemlərlə müqayisədə məlumatların dəyişdirilməzliyi, şəffaflıq və etibarlılıq səviyyəsini əhəmiyyətli dərəcədə artırmaqla yanaşı, kibercümlərə qarşı daha yüksək müqaviməti təmin edir.

**Açar sözlər:** blokçeyn, neft sənayesi, rəqəmsal təhlükəsizlik, ağıllı kontrakt, kriptografiya, audit

Neft sənayesi enerji təhlükəsizliyinin əsas təməl daşlarından biri olmaqla yanaşı, həm də mürəkkəb və global rəqəmsal infrastruktura malikdir. SCADA, ERP və tədarük zənciri kimi sistemlər sənayenin əsasını təşkil etsə də, bu sistemlər kibertəhlükəsizlik təhdidləri qarşısında həssasdır. Məlumatların mərkəzləşdirilməsi, tək nöqtədə uğursuzluq riski və şəffaf olmayan əməliyyatlar ənənəvi sistemlərin əsas çatışmazlıqlarındandır.

Blokçeyn texnologiyası özünün mərkəzləşdirilməmiş, şəffaf və dəyişdirilməz qeydlər saxlayan quruluşu ilə bu problemlərin həllində inqilabi potensial daşıyır[1].

Bu məqalədə neft sənayesi üçün nəzərdə tutulmuş blokçeyn əsaslı rəqəmsal təhlükəsizlik modelinin konseptual arxitekturası, onun komponentləri və praktiki tətbiq imkanları araşdırılır.

### **1. Mövcud təhlükəsizlik problemləri və blokçeyn imkanları.**

Neft sənayesində əsas təhlükəsizlik risklərinə aşağıdakılar aiddir:

-SCADA sistemlərinə hücumlar (məsələn, məlumatları dəyişdirmə və ya fiziki proseslərə nəzarəti ələ keçirmə).

-ERP sistemlərində məlumat saxtakarlığı və icazəsiz daxilolmalar.

-Tədarük zəncirində şəffaflığın olmaması və yoxlanılmanın çətinliyi.

Blokçeyn texnologiyası aşağıdakı həll yollarını təklif edir:

-Dəyişdirilməzlik: Qeyd alınmış hər bir tranzaksiya kriptografik olaraq təsdiqlənir və dəyişdirilə bilməz.

-Şəffaflıq: İcazə verilmiş iştirakçılar üçün əməliyyatların real vaxt rejimində izlənməsi.

-Mərkəzləşdirilməmə: Məlumatlar şəbəkə üzrə paylanır, bu da tək nöqtədə uğursuzluq riskini aradan qaldırır.

### **2. Təklif olunan rəqəmsal təhlükəsizlik modelinin arxitekturası.**

Təklif olunan model üç əsas təbəqədən ibarətdir:

-Fiziki təbəqə: Neft hasilatı, daşınması və emalı ilə bağlı sensorlar və IoT cihazları.

-Blokçeyn təbəqə: Mərkəzləşdirilməmiş qovluq (Hyperledger Fabric kimi icazə əsaslı platforma [2] və Ağıllı Kontraktlar[3])

-Tətbiq təbəqəsi: İstifadəçilər (operatorlar, auditorlar, menecerlər) üçün istifadəçi interfeysi və analitik alətlər.

Modelin əsas komponentləri:

-Ağıllı kontraktlar: Həssas əməliyyatları (məsələn, hasilatın qeydiyyatı, satış, tranzit) avtomatlaşdırır və əvvəlcədən müəyyən edilmiş qaydalara əsasən həyata keçirir.

-Kriptografik identifikasiya: Hər bir iştirakçı və cihaz üçün rəqəmsal imzalar və Hardware Security Modules(HSM) vasitəsilə güclü autentifikasiya[4].

-Auditlı: Bütün tranzaksiyalar blokçeyndə qeyd olunaraq, hər hansı bir anomaliyanın tez aşkarlanması və araşdırılması imkanı yaradır.

### **3. Modelin praktik tətbiqi və gözlənilən faydalar.**

Modelin prototipi test mühitində aşağıdakı addımlarla həyata keçiriləcək:

-Hyperledger Fabric şəbəkəsinin qurulması.

-Neft satışı və daşınması üçün nümunəvi ağıllı kontraktların yazılması.

-Sensor məlumatlarının blokçeynə şifrələnmiş formada yazılması.

### **4. Gözlənilən faydalar:**

*Təhlükəsizlik:* Kriptografiya və dəyişdirilməzlik sayəsində məlumatların həqiqiliyi və tamlığı qorunur[5].

*Səmərəlilik:* Ağıllı kontraktlar vasitəsilə əməliyyatlar avtomatlaşır, vaxt və xərc qənaəti edilir.

*Etibarlılıq:* Mərkəzləşdirilməmiş quruluş sistemin davamlılığını artırır.

*Audit imkanı:* Hər bir addımın şəffaf izi tam audit trail təmin edir.

### **Nəticə**

Təqdim olunan məqalədə blokçeyn əsaslı rəqəmsal təhlükəsizlik modeli neft sənayesinin qarşılaşdığı müasir kibertəhdidləri effektiv şəkildə həll etmək potensialına malikdir. Model, ənənəvi mərkəzləşdirilmiş sistemlərlə müqayisədə daha yüksək təhlükəsizlik, şəffaflıq və davamlılıq təmin edir. Gələcək tədqiqatlar modelin performans optimallaşdırılması və daha geniş miqyasda sənayedə tətbiqi üzrə testlərin aparılmasına yönəlmişdir.

### **Ədəbiyyat**

1. Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System.
2. Androulaki, E., et al. (2018). Hyperledger Fabric: A Distributed Operating System for Permissioned Blockchains. Proceedings of the Thirteenth EuroSys Conference.
3. Christidis, K., & Devetsikiotis, M. (2016). Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things. IEEE Access, 4, 2292-2303.
4. Tönü, U. (2020). Cybersecurity in the Oil and Gas Industry: A Review of Threats and Solutions. Journal of Petroleum Science and Engineering.
5. Azərbaycan Respublikasının "Kibertəhlükəsizlik haqqında" Qanunu.

**Summary**  
**ANALYSIS OF A DIGITAL SECURITY MODEL BASED ON BLOCKCHAIN TECHNOLOGY FOR THE OIL INDUSTRY**

*Amiraslanov B.G., Atakishiyeva J.R., Yusifov E.A.*

The article proposes a new model based on blockchain technology to address digital security challenges in the oil industry. The architecture of the model, the management of operations through smart contracts, cryptographic identification mechanisms, and audit functions are described. The conducted analyses show that the proposed approach, compared to existing systems, significantly increases data immutability, transparency, and reliability, while also providing greater resistance to cyberattacks. The oil industry, being one of the main pillars of energy security, also possesses a complex and extensive digital infrastructure. Although systems such as SCADA, ERP and supply chains form the backbone of the industry, they are vulnerable to cybersecurity threats. Centralized data management, single points of failure, and notransparent operations are among the main shortcoming soft traditional systems.

**Keywords:** blockchain, oil industry, digital security, smart contract, cryptography audit.

**Резюме**  
**АНАЛИЗ МОДЕЛИ ЦИФРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*Амирасланов Б.К., Атакишиева Дж.Р., Юсифов Э.А.*

В статье предлагается модель на основе технологии блокчейн для решения задач безопасности в нефтяной отрасли. Описаны архитектура модели, управление операциями посредством смарт-контрактов, механизмы криптографической идентификации и функции аудита. Проведенный анализ показывает, что предлагаемый подход значительно повышает неизменность данных, прозрачность и надежность по сравнению с существующими системами, а также обеспечивает более высокую устойчивость к кибератакам.

Нефтяная промышленность является одним из основных факторов обеспечения энергетической безопасности, а также сложной глобальной инфраструктуры. Хотя SCADA, ERP и системы управления составляют основу отрасли, эти системы уязвимы для различных угроз безопасности. Централизация данных, риск сбоя в точке атаки и непрозрачность операций являются одними из основных недостатков традиционных систем.

Технология блокчейн может кардинально изменить решение этих проблем благодаря своей децентрализованной, прозрачной и неизменяемой архитектуре хранения данных. В данной статье рассматриваются концептуальная архитектура, компоненты и практическое применение модели безопасности на основе блокчейна для нефтяной промышленности.

**Ключевые слова:** блокчейн, нефтяная промышленность, цифровая безопасность, смарт-контракт, криптография, аудит.

## MULTIAGENT SİSTEMLƏRİN TƏTBİQİ İLƏ TEXNİKİ QƏRARLARIN QƏBUL EDİLMƏSİ

**Səlimova Mehriban Rəşid qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[Mehriban.salimova@sdu.edu.az](mailto:Mehriban.salimova@sdu.edu.az)

**Xülasə.** Qərar qəbuletmə məsələlərini həll etmək üçün agentlərin öz aralarında əlaqəsinin təşkili üçün agentlər icması yaradılır. Bu zaman MAS-ın strukturu, həll yolu tapmaq üçün strategiyalar və informasiya təqdimatının strukturu hazırlanır.

Bu işdə texniki qərarların qəbul edilməsində iştirak edən agentlərin davranışları araşdırılır və tətbiq olunur.

**Açar sözlər:** Agent, intellektual, kooperativ, MAS, proqram modulu, alqoritm

Bir neçə agentin ünsiyyət qura bildiyi, bəzi məlumatları bir-birinə ötürə bildiyi, bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqədə olduğu və verilən tapşırığı həll edə bildiyi sistemə çoxagentli sistem (MAS) deyilir. Agentlər müəyyən mühitdə yerləşən və idarəetmə modullarından gələn əmrləri şərh etmək və yerinə yetirmək, həmçinin ətraf mühitə təsir göstərmək qabiliyyətinə malik olan bəzi obyektlərdir (bizim halda proqram modullarıdır) [1]. Ümumiyyətlə, agent həm proqram təminatı, həm də aparatdan ibarət ola bilər. MAS kooperativ, rəqabətli və qarışıq sistemlərə bölünür. Kooperativ MAS-da qərarlar birgə iş nəticəsində, rəqabətli MAS-da isə agentlərin fərdi hərəkətləri nəticəsində qəbul edilir. Buna görə də, yalnız MAS-ın korporativ strukturları özünü təşkil etmək xüsusiyyətinə malikdir, çünki yalnız bu halda agentlər bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqədə olurlar. Bu zaman bütün alternativ variantlar nəzərə alınır, həll yolu daim dəyişir ki, bu da son nəticədə problemin həllinin tapılmasına gətirib çıxarır. Süni intellekt prinsiplərinə əsaslanan MAS qurmaq çox çətinidir, belə ki, agentləri öz aralarında və koordinasiya mərkəzi ilə təşkil etmək, mühit yaratmaq, struktur dəyişikliklərini idarə etmək və s.lazım gəlir. Bundan əlavə, MAS-ın intellektual agentlərlə layihələndirilməsi işi resurs tutumlu işdir və onun mürəkkəbliyi agentlər arasında qarşılıqlı əlaqənin növündən asılıdır [2,3].

Daha yaxşı nəticə əldə etmək üçün agentlərin öz aralarında qarşılıqlı əlaqəsini təşkil etmək lazımdır; Bundan əlavə, agentlər intellektual xüsusiyyətlərə malik olmalıdırlar. Yəni bu vəziyyətdə sadə və smart agentlər uyğun deyil. Qərar qəbuletmə dedikdə, qeyri-müəyyənlik şəraitində informasiya çatışmamazlığı

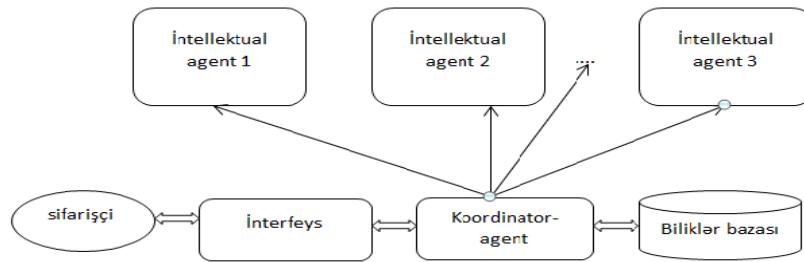
şərtlərinə verilmiş və ya əldə olunmuş həll variantları çoxluğundan bir və ya bir neçə daha uyğun və səmərəli olan alternativin seçilməsi başa düşülür.

Bu zaman qərar qəbulu aşağıdakılarla xarakterizə olunur: qeyri-səlis çoxluq elementlərinin olması, məqsəd funksiyalarının dəqiq təyininin olmaması, aydın həll alqoritminin yaradılmasının mümkünsüzlüyü və məhdud resurslar.

Agentlər icmasını yaratmaq üçün aşağıdakıları hazırlamaq lazımdır:

- MAS-ın strukturunu;
- həll yolu tapmaq üçün strategiyalar;
- informasiya təqdimatının strukturunu.

İnkişaf etdirilən sistemdə (Şəkil 1) hər bir intellektual agentin bilik bazasına (KB) çıxışı var və bu bilikləri digər agentlərlə mübadilə edə bilər. Agentlər heterojendir və problemin həlli üçün müxtəlif üsullara uyğundur.

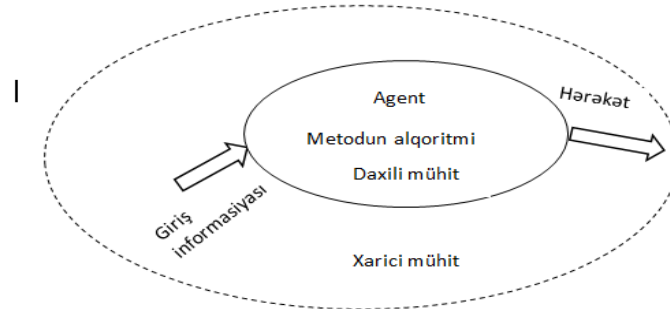


Şəkil 1. MAS-ın strukturunu.

Funksiyadan istifadə edərək agentin davranışını təsvir edirik:  $F(K,U)$

K metodundan istifadə etməklə daxiletmə məlumatını (o cümlədən sensorlardan) göstərir və agentin hərəkətini seçmək üçün təsadüfi U komponentini özündə saxlayır. Agentin hərəkətləri onun növü ilə müəyyən edilir, yəni sonuncu  $F(K,U)$  funksiyasından və ya ona daxil edilmiş əməliyyat alqoritmindən asılıdır (şək. 2).

Bundan əlavə, əməliyyat alqoritmi müəyyən bir ehtimalla hərəkətlər yaratmağı əhatə edir. Agentin hərəkətləri onun işinin uğurunu və ya faydasını maksimum dərəcədə artırmalıdır.



Şəkil 2. Agentin strukturunu.

Agentin davranış funksiyası üç hissədən ibarətdir: birincisi agentin konstrukturu tərəfindən qoyulur, ikincisi agentin hərəkətlərin işlənilməsində əməyi nəticəsində hesablanır, üçüncüsü isə agentin təcrübə topladığı zaman təlimi nəticəsində formalaşır. Əgər agentdə birinci hissə üstünlük təşkil edərsə, onda belə agent avtonom olmayacaq, üçüncü hissə üstünlük təşkil etsə, o zaman öz-özünə öyrənmə prosesinin arxalanacağı heç bir şey olmayacaq və buna görə də bilik toplana bilməyəcək. Şəkil 2-dən görüldüyü kimi, agentin işi təkcə ona tətbiq edilmiş alqoritmlərlə deyil, həm də xarici mühitin növü ilə müəyyən edilir.

O, aşağıdakı xüsusiyyətlərlə xarakterizə edilə bilər [4]:

- tam müşahidə oluna bilən və ya qismən müşahidə oluna bilən;
- deterministik və ya stoxastik;
- epizodik və ya ardıcıl;
- statik və ya dinamik;
- diskret və ya davamlı;
- tək agentli və ya çox agentli.

Ən mürəkkəb vəziyyət agentin qismən müşahidə olunan, stoxastik, ardıcıl, dinamik, davamlı və çoxagentli mühitdə işləməsini əhatə edir. Şəkillərdəki diaqramda MAS-ın işi aşağıdakı kimi təşkil edilir:

Agentlər eyni tipli problemləri həll edə bilsinlər, lakin fərqli üsullardan istifadə etsinlər. Sonra, bir hərəkət olaraq, agentlər tapşırığın həlli nəticələrini alternativ variantlar şəklində (metoddan asılı olaraq bir və ya bir neçə variant) istehsal edirlər. Agentlər arasında məlumat mübadiləsi üçün koordinator agent istifadə olunur. O, həll olunan problemin şərtlərini intellektual agentlər üçün başa düşülən formaya çevirir, həmçinin istifadəçi interfeysi vasitəsilə insan operatoru ilə məlumat mübadiləsi aparır. Bu agent vasitəsilə istifadəçi bilik bazasına daxil olur. Metodların paralelləşdirilməsi vəziyyətində koordinasiya agentinin funksiyalarına qərarlar haqqında daxil olan məlumatların sinxronizasiyası da daxildir.

## Ədəbiyyat

1. Intelligent Agents – Theories, Architectures, and Languages / Eds. M. Wooldridge, N.R.Jennings. – Springer – Verlag, 1995. – Lecture Notes in Artificial Intelligence, - V. 890, p 289.
2. Mamedov J.F., Huseynov A.H. Application of agent technology at computing option of flexible manufacture system element and composes structure // Science, Technology and Higher Education Materials of the international research and practice conference, Vol II, Westwood, Canada, 2012, p.454-460.
3. Смирнов А.Б., Шереметов Л.Б. Многоагентная технология проектирования сложных систем //Автоматизация проектирования. – 1998. – №3.
4. Hüseynov A.H., Məmmədova M.R. Avtomatlaşdırılmış layihələndirmədə agentyönlü əlavələrin işlənmə sisteminin arxitekturasının təyini.SDU, Elmi xəbərlər, təbiət və texniki elmlər bölməsi, cild 11, №3, 2011, səh. 103-108.

### Summary

#### MAKING TECHNICAL DECISIONS USING MULTI-AGENT SYSTEMS

*Salimova M.R.*

A community of agents is created to organize communication between agents to solve decision-making problems. At this time, the MAS structure, solution search strategies and information presentation structure are prepared. This work examines and applies the behavior of agents involved in technical decision making.

**Key words:** agent, intellectual, cooperative, MAS, software module, algorithm

### Резюме

#### ПРИНЯТИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ

*Салимова М.Р.*

Сообщество агентов создается для организации связи между агентами для решения задач принятия решений. В это время подготавливается структура МАС, стратегии поиска решения и структура представления информации. В этой работе исследуется и применяется поведение агентов, участвующих в принятии технических решений.

**Ключевые слова:** агент, интеллектуал, кооператив, МАС, программный модуль, алгоритм

## ŞƏBƏKƏLƏRDƏ İNFORMASİYANIN AXTARIŞI AGENTLƏRİNİN TƏŞKİLİ ÜSULLARI

### Səlimova Mehriban Rəşid qızı

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[Mehriban.salimova@sdu.edu.az](mailto:Mehriban.salimova@sdu.edu.az)

**Xülasə** Tezisdə çoxagentli sistemlər (ÇAS) və agent texnologiyalarının hazırkı vəziyyəti izah olunur. ÇAS birdən çox müstəqil agentin qarşılıqlı əlaqədə fəaliyyət göstərdiyi sistemlərdir. Agentlər məlumat toplama, analiz və qərar qəbul etmə qabiliyyətinə malikdir. Xüsusilə axtarış agentləri müxtəlif məlumat mənbələrindən avtomatik məlumat toplayır və inteqrasiya edir. ÇAS və agent texnologiyaları mürəkkəb problemlərin həllində və informasiya idarəçiliyində effektiv vasitədir.

**Açar sözlər:** çoxagentli sistemlər, agent, axtarış, obyekt yönümlü

Hazırda rəqəmsallaşma, süni intellektin və paylanmış sistemlərin durmadan yüksələn xətt ilə inkişafı nəticəsində multiagent texnologiyalara maraq durmadan artır və bu maraq nəticəsində tədqiqatlar aktuallaşır.

Çoxagentli sistemlər (ÇAS), birdən çox muxtar agentin məqsədlərə çatmaq və ya mürəkkəb problemləri həll etmək üçün bir-biri ilə və ətraf mühitlə qarşılıqlı əlaqədə olduğu bir texnologiyadır. Sistemdəki hər bir agent, ətraf mühit amillərindən və digər agentlərlə qarşılıqlı əlaqədən asılı olan xüsusi qərar qəbul etmə imkanlarına və məhdudiyətlərinə malik müstəqil bir vahiddir.

"Agent" anlayışı obyekt yönümlü proqramlaşdırma (OOP) nəzəriyyəsi və metodlarının inkişafından yaranmışdır [1]. Süni agent müəyyən dərəcədə subyektivliyə malik meta-obyekt kimi təmsil oluna bilər, yəni

digər obyektləri idarə etmək, onları yaratmaq və məhv etmək, ətraf mühit və digər agentlərlə qarşılıqlı əlaqədə olmaq qabiliyyətinə malikdir. Beləliklə, agent obyekt yönümlü proqramlaşdırmada ənənəvi obyektlərdən xeyli mürəkkəb olan aktiv süni obyektidir. O, müəyyən bir tapşırığa nail olmaq üçün obyektlərdən istifadə edə, onları idarə edə və ya onların vəziyyətini dəyişdirə bilər [3]. Buna görə də, ixtiyari agentin minimum əsas xüsusiyyətləri dəsti aşağıdakı xüsusiyyətləri əhatə edir:

- fəaliyyət,
- hərəkətləri təşkil etmək və həyata keçirmək qabiliyyəti;

Tətbiqi proqram sistemlərinin inkişafı və yeni texnologiyaların istifadəsi ilə əlaqədar olaraq agent texnologiyalarının tətbiqi üçün yeni praktik imkanlar açılır, xüsusilə **axtarış agentləri**. Qlobal şəbəkələrdə işləyən bu agentlər veb sahifələri və məlumat bazalarını avtomatik tarayaraq istifadəçilərin sorğularına uyğun nəticələr təqdim edir, beləliklə məlumatın avtomatlaşdırılmış toplanmasını və xidmətlərin effektivliyini təmin edir.

Axtarış agenti, bir sistemdə müəyyən məqsədə çatmaq üçün məlumat axtaran və analiz edən müstəqil proqram vahididir. O, adətən bu xüsusiyyətlərə malik olur:

Avtonomluq – öz qərarlarını özü verə bilər.

Müşahidə qabiliyyəti – mühitdə və ya verilənlər bazasında məlumatları toplayır.

Qərar qəbul etmə – hansı məlumatların faydalı olduğunu müəyyənləşdirir və növbəti addımı seçir.

Agent əsaslı texnologiyalar faydalı xüsusiyyətlərinə görə məlumat toplama tapşırıqları üçün geniş şəkildə hazırlanmışdır. HTTP, FTP, XMPP və digər rabitə protokollarında ixtisaslaşmış agentlər müxtəlif məlumat mənbələrindən mərkəzləşdirilmiş məlumat toplamağa imkan verir [2].

İş axınlarının ciddi şəkildə tənzimləndiyi korporativ şəbəkələrdə agent texnologiyalarından istifadə edərkən agentlər tapşırıqları yerinə yetirə bilirlər və onların davranışları baş verə biləcək geniş təsadüfi hadisələr üçün nəzərdə tutulmayıb. Qlobal şəbəkədə işləyərək agentlər mürəkkəb davranışa və/və ya müxtəlif məlumat mənbələri ilə qarşılıqlı əlaqədə olmaq üçün təşkilati sistemə malik olmalıdırlar.

Qlobal şəbəkədə biliklərin formalaşması xaos şəkildə baş verir, buna görə də informasiya mənbələri ehtiva etdikləri məlumatların növünə və xüsusən də strukturlaşma dərəcəsinə görə təsnif edilə bilər:

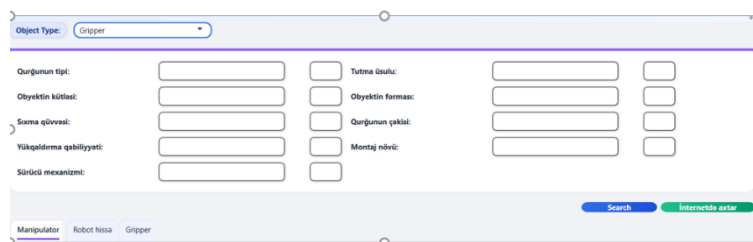
Strukturlaşdırılmış məlumatlar, axtarılan cədvəldəki bir sətir müvafiq sahələrdə təqdim olunan xüsusiyyətlərə və əvvəlcədən müəyyən edilmiş məlumat növlərinə malik bir obyekti təmsil edən formallaşdırılmış bir quruluşa malik məlumatlardır, məsələn, verilənlər bazası.

Yarımstrukturlu məlumatlar, HTML kimi işarələmə dilləri ilə işarələnmiş mətn məlumatları kimi zəif formallaşdırılmış bir quruluşa malik məlumatlardır. Obyektin vizual təsvirinin dəyişkənliyinə görə, informasiya resursu sahifəsinin mənbə HTML kodu kəskin şəkildə dəyişə bilər.

Strukturlaşdırılmamış məlumatlar, elektron poçtunun mətni, sosial media paylaşımı və s. kimi strukturlaşdırılmamış bir quruluşa malik məlumatlardır [4].

Müxtəlif növ məlumatları avtomatik olaraq toplamaq və inteqrasiya etmək qabiliyyəti agentin zəkəsindən asılıdır. Məsələn, informasiya portalından xəbər məqaləsi toplayarkən, agent reklam blokları və digər əlaqəsiz məlumatlarla birlikdə bütün HTML mənbə kodunu toplaya bilər və ya nəşrin komponent hissələrini çıxarıb məlumatları təmiz formada toplaya bilər.

Heterojen məlumatları emal edərkən, ayrıca bir agent sinfi daxil olan məlumat axınını təsnif edərək onun emalı üçün ən uyğun ağıllı agenti müəyyən edə bilər və bununla da emal olunan materialın keyfiyyətini təmin edə bilər. Buna əsasən, müxtəlif növ məlumatları emal etmək üçün agentlər intellektual komponentə malik olmalı, qarşılıqlı əlaqədə olduqları mühitə təsir göstərə bilməli və qərar qəbul etmək səlahiyyətinə malik olmalıdırlar. Şəkil 1-də Qlobal şəbəkədə fəaliyyət göstərən Axtarış agentinin interfeysi göstərilmişdir:



## Ədəbiyyat

1. Mammadov C.F., Huseynov A.H., Hasanova Y.M., Salimova M.R. Algorithmic and mathematical support for topology research of the corporative networks. *Advanced Mathematical Models & Applications*. Baku, 2022, №1, p.85-92.

2. Мамедова М.Р. Интеллектуального многоагентного система моделирование технических объектов «Уфимский государственный нефтяной технический университет» // Международная научно-техническая конференция аспирантов и молодых ученых «Наука. Технология. Производство», г. Салават, 2017, с.299-301.
3. Котенко И.В., Уланов А.В. Многоагентное моделирование защиты информационных ресурсов в сети Интернет // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2007. - №5.-с.74-88.
4. Батишев С.В., Скобелев П.О. Основные этапы разработки мультиагентных систем в инструментальной среде для создания интернет-приложений

**Резюме**  
**МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ АГЕНТОВ ПОИСКА ИНФОРМАЦИИ В СЕТЯХ**  
*Салимова М.Р.*

В тезисе рассматривается современное состояние многоагентных систем (МАС) и агентных технологий. МАС — это системы, в которых взаимодействуют несколько независимых агентов. Агенты обладают способностью собирать, анализировать и принимать решения. В частности, агенты поиска автоматически собирают и интегрируют информацию из различных источников. МАС и агентные технологии являются эффективными инструментами решения сложных задач и управления информацией.

**Ключевые слова:** многоагентные системы, агент, поиск, объектно-ориентированный подход

**Summary**  
**METHODS OF ORGANIZING INFORMATION RETRIEVAL AGENTS IN NETWORKS**  
*Salimova M.R.*

The thesis explains the current state of multi-agent systems (MAS) and agent technologies. MAS are systems in which multiple independent agents interact. Agents have the ability to collect, analyze, and make decisions. In particular, retrieval agents automatically collect and integrate information from various information sources. MAS and agent technologies are effective tools in solving complex problems and information management

**Keywords:** multi-agent systems, agent, retrieval, object-oriented

## V BÖLMƏ

### YÜKSƏK ENERJİ FİZİKASI

#### $(TlInTe_2)_{1-x}(TlYbTe_2)_x$ BƏRK MƏHLULLARINDA GENİŞ KONSENTRASIYA İNTERVALINDA TERMOEFFEKTİVLİK.

**İsmayılov Ramiz Məzahər oğlu**  
**İsmayılova Xədicə İkrəm qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*  
[ramiz.ismayilov.1979@mail.ru](mailto:ramiz.ismayilov.1979@mail.ru), [xedice-aliyeva@mail.ru](mailto:xedice-aliyeva@mail.ru)

**Xülasə.** [1]işində müəyyən olunub ki,  $(TlInTe_2)_{1-x}(TlYbTe_2)_x$  yarımkeçirici bərk məhlullarda valent zonasını parabolik qəbul etmək olar. Enerji spektrinin belə modelinin məlum olduğu kimi yükdaşıyıcıların effektiv kütlələri ilə qadağan zonasının eni arasındakı əlaqə standart hala uyğun gəlir. Tədqiq olunan temperatur oblastında  $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$  bərk məhlullarının bütün nümunələri üçün  $E_g > kT$  şərti ödənilir. Qadağan zonasının belə qiymətlərində Fermi səviyyəsi valent zonasının tavanına yaxın yerləşir ki, buda qeyri - əsas yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının kiçik olmasına səbəb olur. Bu isə  $T \sim 700K$  temperaturuna kimi termoelektrik hərəkət qüvvəsi əmsalının artması ilə nəticələnir.

**Açar sözlər:** bərk məhlul, termoeffektivlik, ölçüsüz keyfiyyət əmsalı, fonon, istilik müqavimət əmsalı, nizamsızlıq dərəcəsi, Fermi səviyyəsi, effektiv kütlə.

Termoelektrik enerji çevrilmələri öz dərin tarixinə və əldə olunan müvəffəqiyyətlərə baxmayaraq hələ də elm və texnikanın mühüm problemlərindən biri kimi qalmaqdadır. Hal – hazırda bu sahədə tədqiqatlar məlum materialların effektivliyini artırmaq, yeni materiallar əldə etmək və daha aşağı və daha yüksək temperaturalarda yararlı enerji çevrilmələri işləyib hazırlamaq istiqamətində aparılır [2,3].

$TlInTe_2$  birləşməsi təbəqəli – zəncirvari quruluşa malik  $TlSe$  tipli yarımkeçiricilər qrupuna daxildir.  $TlInTe_2 - TlYbTe_2$  sistem ərintilərinin temperaturdan asılı olaraq istilikkeçirməsi [4], elektrik keçiriciliyi və Hall effekti [5], həmçinin çevrilmə xassələri [6] tədqiq edilmişdir. Amma bu yarımkeçiricilərə dair  $T > 600K$  temperaturda geniş konsentrasiya intervalında ( $0 \leq x \leq 0.10$ ) termoeffektivliyə aid dərc olunmuş işlərin sayı çox olmadığından bu istiqamətdə elmi axtarışların davam etdirilməsi elmi – praktik cəhətdən maraqlıdır.

$TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$  bərk məhlulların elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı  $\sigma(T)$  tədqiq edilmişdir.  $lg\sigma = f\left(\frac{10^3}{T}\right)$  asılılığına əsasən müəyyən edilmişdir ki,  $TlInTe_2$ - də  $TlYbTe_2$ -nin miqdarı artdıqda qadağan olunmuş zonanın eni  $TlInTe_2$  üçün 0.70 ev – dan,  $TlIn_{0.90}Yb_{0.10}Te_2$  üçün 0.54 ev – a qədər dəyişir.

$TlInTe_2 - TlYbTe_2$  sisteminin bərk məhlullarında elektrik və istilik xassələrinin tədqiqi nəticəsində məlum olur ki, bərk məhlulların tərkibində itterbiumun miqdarı artdıqca elektrik keçiriciliyi iki tərtib artır, istilikkeçirmə isə əlavə səpilmə mexanizmlərinin meydana çıxması hesabına kəskin azalır. Termoeffektivliyin artması termoelektrik hərəkət qüvvəsi əmsalının yüksək olması ilə bağlıdır, bu yükdaşıyıcıların effektiv kütlələrinin böyük olmasına, böyük effektiv kütlə isə elektrik keçiricinin kiçilməsinə gətirib çıxarır. İstilikkeçirmənin fonon (qəfəs) toplananı elektron toplananından böyük olduqda  $Z$  – termoeffektivlik əmsalı aşağıdakı kimi ifadə oluna bilər.

$$Z = 1.2 \cdot 10^{-7} \frac{\mu}{\chi_{ph}} \left(\frac{m^*}{m_0} \cdot \frac{T}{T_0}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot e^r \quad (1)$$

burada  $\mu$  – yükdaşıyıcıların yürüklüyü,  $\chi_{ph}$  - fonon istilikkeçirməsi,  $T_0 = 300K$  otaq temperaturu və  $r$  – səpilmə mexanizminin parametridir.

Termoelektrik hərəkət qüvvəsi –  $\alpha$  və xüsusi elektrikkeçirmə əmsalı  $\sigma$  – nin temperatur asılılıqlarına dair qiymətlər [7] işindən götürülmüşdür.

Əldə olunan nəticələr əsasında aparılan hesablamalar onu göstərir ki,  $(500 \div 900)K$  temperatur intervalında  $TlIn_{0.90}Yb_{0.10}Te_2$  bərk məhlulunda termoelektrik effektivliyi  $\sim 4.5 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ -ə çatır. Bu tərkibdə itterbiumun artımı ilə elektrik keçiriciliyinin kəskin artması, istilikkeçirmənin isə azalması hesabına baş verir. İstilikkeçirmə əmsalının tərkibdən asılı olaraq azalması,  $TlInTe_2$ - də onun əsasında alınan  $(TlInTe_2)_{1-x}(TlYbTe_2)_x$  bərk məhlullara keçdikcə fononların əlavə səpilmə mexanizmlərinin (nöqtəvi defektlərdən səpilmə) meydana çıxması ilə əlaqədardır. Bu da termoelektrik effektivliyinin kəskin artmasına gətirib çıxarır.

Zona və istilik parametrlərinin hesabı göstərmişdir ki,  $TlIn_{0.90}Yb_{0.10}Te_2$  tərkibli bərk məhlul (500 – 900)K temperatur intervalında ən böyük termoeffektliyə malik olur ki, bu da onun orta temperaturlarda işləyən termoelektrik enerji çevrəcilərində perspektivli material kimi tətbiqinə imkan yaradır.

### Ədəbiyyat

1. Алиев Ф.Ф., Зарбалиев М.М, Агаева У.М. Энергетический спектр носителей заряда в твердых растворах  $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ . Физика и техника полупроводников. 2016., Т.50, вып.10, стр. 1297 – 1302.
2. Дмитриев А.В., Звягин Н.П. Современные тенденции развития физики термоэлектрических материалов. УФН, Т.180, №8, 2010, стр. 821 – 838.
3. Зарбалиев М.М. Твердые растворы  $TlIn_{1-x}Yb_xS_2$ . РАН, Неорганический материал. 2000, Т.36, №5, стр. 619 – 623.
4. Керимова Э.М. Кристаллофизика низкоразмерных халькогенидов. Баку: Элм. 2012. стр. 738.
5. Китасов В.А., Константинов П.П. Высокоэффективные термоэлектрические материалы ниже 200К. ФТП. 2020, Т.34, В.4, стр. 389 – 393.
6. Коржуев М.А., Лартев А.В. Эффективные массы электронов, дырок и холловские факторы в термоэлектрических материалах  $Ge_{1-x}Te$ . РАН. Неорганический материал. 2021, Е.29, №11, стр. 1462 – 1469.
7. Попов В.В., Смирнов И.А., Голубков А.В. Термо – э.д.с. системы  $Tm_{1-x}Sm_xS$ . ФТТ. 2017, Т.38, №5, стр. 1505 – 1510.

### Summary

#### $(TlInTe_2)_{1-x}(TlYbTe_2)_x$ THERMOEFFICIENCY OVER A BROAD CONCENTRATION RANGE IN SOLID SOLUTIONS.

*Ismailov R.M., Ismailova Kh.I.*

In [1], it was determined that the valence band in  $(TlInTe_2)_{1-x}(TlYbTe_2)_x$  semiconductor solid solutions can be assumed to be parabolic. As such a model of the energy spectrum is known, the relationship between the effective masses of the charge carriers and the width of the band gap corresponds to the standard one. The condition  $E_g > kT$  is satisfied for all samples of  $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$  solid solutions in the studied temperature range. At such values of the band gap, the Fermi level is close to the ceiling of the valence band, which causes the concentration of non – main charge carriers to be small. This results in an increase in the thermoelectric driving force coefficient up to the temperature  $T \sim 700K$ .

**Key words:** solid solution, thermoefficiency, dimensionless quality coefficient, phonon, thermalresistance coefficient, degree of disorder, Fermi level, effective mass.

### Резюме

#### ТЕРМОЭФФЕКТИВНОСТЬ В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ $(TlInTe_2)_{1-x}(TlYbTe_2)_x$ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ КОНЦЕНТРАЦИИ.

*Исмаилов Р.М., Исмаилова Х.И.*

В [1] установлено, что валентную зону в полупроводниковых твердых растворах  $(TlInTe_2)_{1-x}(TlYbTe_2)_x$  можно считать параболической. Поскольку такая модель энергетического спектра известна, соотношение эффективных масс носителей заряда и ширины запрещенной зоны соответствует стандартному. Условие  $E_g > kT$  выполняется для всех образцов твердых растворов  $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$  в исследованном температурном диапазоне. При таких значениях запрещенной зоны уровень Ферми близок к потолку валентной зоны, из – за чего концентрация неосновных носителей заряда мала. Это приводит к увеличению коэффициента термоэлектрической движущей силы вплоть до температуры  $T \sim 700K$ .

**Ключевые слова:** твердый раствор, термоэффективность, безразмерный коэффициент качества, фонон, коэффициент термического сопротивления, степень беспорядка, уровень Ферми, эффективная масса.

#### $TlIn_{1-x}Nd_xTe_2$ BƏRK MƏHLULLARININ KRİSTAL QƏFƏSDƏ SIXLIĞININ LOKAL DƏYİŞMƏLƏRİNİN İSTİLİK KEÇİRMƏSİNƏ TƏSİRİ

**Bayramov Coşqun Cümşüd oğlu**  
**Mustafayeva Ülviyyə Mustafa qızı**  
**Ötərxanova Güllü Nizami qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*  
[ulviyya.mustafayeva@sdu.edu.az](mailto:ulviyya.mustafayeva@sdu.edu.az)

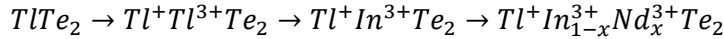
**Xülasə**  $TlIn_{1-x}Nd_xTe_2$  bərk məhlullarında fononların əsas səpilmə mexanizmlərini müəyyən etmək məqsədi ilə 300K temperaturda qəfəs istilikkeçirməsi üçün təcrübədən alınan qiymətləri ilə Klemens nəzəriyyəsinə əsasən üçfotonlu qayıdış prosesləri

və nöqtəvi defektlərdən səpilmələri nəzərə almaqla hesablanmış qiymətləri müqayisə olunmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, fononların dalğa vektorlarının normal proseslər hesabına dəyişməsi istilik müqavimətinin artmasına səbəb olur.

**Açar sözlər:** bərk məhlullar, istilikkeçirmə, fonon, sıxlığın lokal dəyişməsi, qrup sürəti, Debay temperaturu, nizamsızlıq dərəcəsi

$TlNdTe_2$  kristalının  $TlInTe_2$  – də radikal əvəzlənməsi hesabına bərk məhlulların alınması elektron və foton spektrlərinin həyəcanlanmasını yaratmaqla kristalın elektron və qəfəs alt sistemlərinin, həmçinin qəfəsin statik deformasiyasına səbəb olur [7;4].  $TlNdTe_2$  kristalının atomları arasındakı məsafə bərk məhlulun konsentrasiyasının artması ilə elə qiymət alır ki, aşqarlararası qarşılıqlı təsir həlledici  $TlInTe_2$  kristalın enerjisinə hiss olunan əlavəni verir ki, bu da öz növbəsində başlanğıc maddələrdə olmayan prinsipial fiziki xassələrin meydana çıxmasına səbəb olur [1].

$TlIn_{1-x}Nd_xTe_2$  bərk məhlulların istilik və elektrofiziki xassələrinin [5;2] işlərində öyrənilməsinə baxmayaraq kristal qəfəsdə sıxlığın lokal dəyişmələrinin qəfəs istilikkeçirməsinə təsiri öyrənilməmişdir. Bu səbəbdən qarşıya qoyulan əsas məsələ  $TlIn_{1-x}Nd_xTe_2$  bərk məhlullarında struktur defektlərinin istilik müqavimətinə rolunu araşdırmaqdır. Bu səbəbdən  $TlIn_{1-x}Nd_xTe_2$  bərk məhlulların istilik selinin laylara paralel ( $\chi''$ ) istilikkeçirmə əmsalının temperatur asılılığı araşdırılmışdır. Müəyyən olunmuşdur ki,  $[TlInNd]_x[TlInTe_2]_{1-x}$  bərk məhlullarının monokristallarında kationun atom kütləsi artdıqca istilikkeçirmə əmsalının qiyməti azalır. Buna səbəb məhlullarda lokal nöqtəvi defektlərdən səpilməsinin üstün rol oynamasıdır ki, bu da indium atomlarının neodim atomları ilə əvəz olunması ilə sıxlığın və elastiki xassələrin orta atom radiuslarının fərqi ilə müəyyən olunur. Elektrofiziki və quruluş tədqiqatlarından təsdiq olunduğu kimi  $TlIn_{1-x}Nd_xTe_2$  bərk məhlulları  $TlInTe_2$  birləşməsində indium atomlarının neodim atomları ilə tədricən əvəz etməklə alınır:



$In^{3+}$  və  $Nd^{3+}$  atomları izovalent olmaları səbəbindən atomlararası əlaqənin tipi dəyişmədiyindən elastiki xassələrin ciddi dəyişməsi biruzə vermir. Lakin  $In^{3+}$  və  $Nd^{3+}$  atomlarının kütlə fərqləri kifayət qədər böyük olması səbəbindən belə əvəzləmədə sıxlığın lokal dəyişməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. [4;1]

$TlIn_{1-x}Nd_xTe_2$  bərk məhlullarında 300 K temperaturda fononların səpilmə mexanizmini təyin etmək üçün qəfəs istilikkeçirməsi üçün təcrübi qiymətləri ilə Klemens [6] nəzəriyyəsinə müvafiq üçfotonlu qayıdış prosesləri və nöqtəvi defektlərdən səpilməni nəzərə almaqla hesablanmış qiymətləri müqayisə olunmuşdur. Bu halda [3] işlərinə əsasən tam relaksasiya müddəti belə ifadə oluna bilər:

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_0} + \frac{1}{\tau_{01}}$$

Burada  $\frac{1}{\tau_0} = A\omega^2$  və  $\frac{1}{\tau_{01}} = B\omega^2$  olub,  $\tau_0$  – defektlərdən səpilmədə,  $\tau_{01}$  – U proseslər halında relaksasiya müddətidir. Bu halda fonon istilik daşınması üçün istilikkeçirmənin ümumi tənliyində nəzərə alsaq, qəfəs istilikkeçirməsi üçün

$$\chi_n = \frac{3}{(2\pi)^3} \int \vartheta_q \cos \theta \tau(\bar{q}) d^3 \bar{q} C_f \quad (1)$$

$\vartheta_q$  – qrup sürəti,  $C_f$  – foton istilik tutumu,  $\tau(\bar{q})$  – fononlar üçün ümumi relaksasiya müddətidir. (1) ifadəsindən alırıq:

$$\chi_n = \frac{K_0}{2\pi^2 \bar{\vartheta}_0} \cdot \frac{\omega_0}{B} \arctg \left( \frac{\omega_D}{\omega_0} \right) \quad (2)$$

$\bar{\vartheta}_0$  – orta səs sürəti,  $\omega_0^2 = \frac{B}{A}$ ,  $\omega_D$  – Debay tezliyidir.

Defekt olmadıqda  $A = 0$  qəbul edilir, onda (1) və (2) – nin kombinasiyasından

$$\frac{\omega_0^2}{\omega_D^2} = \frac{B}{A\omega_0^2} = \frac{K_0}{2\pi^2 \bar{\vartheta}_0 \chi_n \omega_D A} \quad (3)$$

$$A = \frac{K_0}{2\pi \bar{\vartheta}_0^2 N} \cdot \Gamma$$

$\Gamma$  – qeyri -tarazlıq parametri olub

$$\Gamma = x(1-x) \left[ \left( \frac{\Delta \bar{M}}{\bar{M}} \right) + \varepsilon (\Delta \delta / \delta)^2 \right] \quad (4)$$

Sıxlığın lokal dəyişmələrini xarakterizə edən kəmiyyət,  $\Delta \bar{M} / \bar{M}$  – atomların aşqar atomları ilə əvəz olunması zamanı kütlənin dəyişməsidir. Əsas atomların aşqar atomları ilə əvəz olunması hesabına qəfəs sabitlərinin lokal dəyişməsi

$$\frac{\Delta \delta}{\delta} = \left( \frac{a_{aşqar} - a_{əsas}}{a_{əsas}} \right) \frac{\mu}{\mu+1}$$

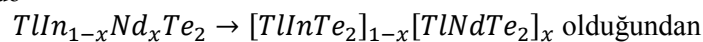
ifadəsi ilə hesablanı bilər. ( $\mu$  – Puasson əmsalıdır)

Tədqiq etdiyimiz  $TlIn_{1-x}Nd_xTe_2$  bərk məhlullarında qəfəs dəyişməsi çox kiçik olduğundan

$$A = \frac{1}{4\pi\theta_0^3} \cdot \Gamma = \frac{1}{4\pi\theta_0^3 \rho N_A / M} \quad (5)$$

və  $\Gamma = x(1-x)(\Delta\bar{M}/\bar{M})$

olar. Baxdığımız sistemdə



$$\frac{\Delta\bar{M}}{\bar{M}} = \frac{\bar{M}_{TlNdTe_2} - \bar{M}_{TlInTe_2}}{(1-x)\bar{M}_{TlInTe_2} + x\bar{M}_{TlNdTe_2}}$$

kimi hesablaya bilərik.  $\bar{M}_{TlInTe_2} = 143.6 \text{ q/mol}$ ,  $\bar{M}_{TlNdTe_2} = 150.956 \text{ q/mol}$

Qeyd olunduğu kimi  $In^{3+}$  atomlarını ( $R^{3+}(In) = 0.81\text{\AA}$ ) izovalent  $Nd$  atomları ( $R^{3+}(Nd) = 0.995\text{\AA}$ ) ilə hissə-hissə əvəz etdikcə nizamsızlıq əmsalı olan  $\Gamma$  – ni hesablayarkən elastiki xassələrin dəyişməsi çox kiçik olduğundan  $\varepsilon(\Delta\varepsilon/\varepsilon)^2 = 0$  qəbul edirik. Atom kütlələri üçün  $A(In) = 114.82$  və  $A(Nd) = 144.24$  nəzərə alsaq  $TlIn_{1-x}Nd_xTe_2$  bərk məhlulları üçün  $\Gamma(x = 0.01) = 0.235 \cdot 10^{-4}$ ,  $\Gamma(x = 0.05) = 1.12 \cdot 10^{-4}$ ,  $\Gamma(x = 0.1) = 2.12 \cdot 10^{-4}$  almış olarıq. Nizamsızlıq əmsalının bu qiymətlərini (4) ifadəsində nəzərə alsaq  $A$  – kəmiyyətini tapmış olarıq.  $TlIn_{1-x}Nd_xTe_2$  bərk məhlulları üçün  $\mu(TlIn_{0.99}Nd_{0.01}Te_2) = 574.8 \text{ q/mol}$ ,  $\mu(TlIn_{0.95}Nd_{0.05}Te_2) = 575.9 \text{ q/mol}$ ,  $\mu(TlIn_{0.90}Nd_{0.10}Te_2) = 577.35 \text{ q/mol}$  olduğundan  $A(x = 0.01) = 0.716 \cdot 10^{-41} \text{ san}^3$ ,  $A(x = 0.05) = 3.08 \cdot 10^{-41} \text{ san}^3$ ,  $A(x = 0.10) = 5.89 \cdot 10^{-41} \text{ san}^3$  qiymətləri alınır.

$(TlInTe_2)_{1-x}(TlNdTe_2)_x$  bərk məhlullarında  $Nd$  atomlarının metallik payının artmasının kimyəvi rabitə qüvvəsinə təsirini araşdırmaq məqsədi ilə kristal qəfəsdə atomların qeyri – harmoniklik dərəcəsinin harmoniklik dərəcəsinin kvadratına olan nisbəti ( $\gamma/\beta^2$ ) həmçinin entropiyanın dəyişməsi ( $S_t - S_0$ ) hesablanmışdır.

$$\alpha = \frac{\gamma}{\beta^2} \cdot \frac{k}{a} \quad (6)$$

$$S_t - S_0 = \frac{\alpha^2(T-T_0)}{\chi_T} \quad (7)$$

Burada  $k$  – Bolsman sabiti,  $a$  – qəfəs parametri,  $\alpha$  – istidən xətti genişlənmə,  $\chi_T$  – isə izotermik sıxılımadır.

(6) və (7) düsturları ilə hesablanmış qiymətlər cədvəl 1 – də verilmişdir.

$TlIn_{1-x}Nd_xTe_2$  bərk məhlulların kristal qəfəsində atomların qeyri -harmoniklik dərəcəsinin harmoniklik dərəcəsinin kvadratına nisbəti ( $\gamma/\beta^2$ ) və entropiya dəyişməsi ( $S_t - S_0$ ) :

T, K	$x = 0$		$x = 0.02$		$x = 0.05$		$x = 0.10$	
	$\gamma/\beta^2$ $10^5 N^{-1}$	$S_T - S_0$ $C/mol \cdot K$	$\gamma/\beta^2$ $10^5 N^{-1}$	$S_T - S_0$ $C/mol \cdot K$	$\gamma/\beta^2$ $10^5 N^{-1}$	$S_T - S_0$ $C/mol \cdot K$	$\gamma/\beta^2$ $10^5 N^{-1}$	$S_T - S_0$ $C/mol \cdot K$
90	2651	0.27	2647	0.21	2680	0.18	2710	0.17
100	3445	0.91	3412	1.14	3500	0.97	3600	0.84
120	4270	1.36	4231	1.42	4340	1.15	4370	0.92
140	5950	1.45	5490	1.54	5512	1.42	5540	1.34
160	6030	1.92	6010	1.87	6150	1.36	6200	1.23
180	6200	2.75	6145	2.41	6215	2.21	6310	2.04
200	7310	3.81	7290	3.04	7402	2.78	7500	2.61
250	8340	5.70	8315	4.64	8500	3.47	8710	3.24
350	8690	6.42	8671	5.36	8700	4.75	9030	3.70

Cədvəldən göründüyü kimi  $[TlInTe_2]_{1-x}[TlNdTe_2]_x$  bərk məhlullarında  $TlGdTe_2$ -nin çəki nisbəti artdıqca  $\alpha$  və  $\chi_T$  – nin qiymətlərində baş verən dəyişikliyə analogi olaraq  $\gamma/\beta^2$  və  $S_T - S_0$  fərqlinin qiymətlərində də dəyişiklik baş verir. Bütün tərkiblərdə temperaturun alınması ilə  $\gamma/\beta^2$  və  $S_T - S_0$  fərqlinin qiyməti də çoxalır. Bu cür dəyişikliyi tədqiq edilən  $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  bərk məhlullarında temperaturun artması ilə yuxarıda qiymətləndirdiyimiz kimi həm defektliyin həm də nizamsızlıq dərəcəsinin artması ilə əlaqələndirmək olar.

### Ədəbiyyat

1. Алиев Ф.Ф., Дамиров Г.М., Агаева У.М., Зарбалиев М.М. SDU – Elmi Xəbərlər, cild 15, №3, səh.18, 2015
2. Алиев Ф.Ф., Керимова Э.М., Алиев С.А. ФТП, 36(8), 932, 2002
3. Аскеров Б.М., Кинетические эффекты в полупроводниках. Ленинград, Наука, 1970, стр.303

4. Годжаев Э.М., Керимова Р.А. Неорг.материалы, 40(11), 1314, 2004
5. Зарбалиев М.М., Ахмедова А.М., Зарбалиева У.М. Вестник, БГУ, №1, стр.176, 2011
6. Зарбалиев М.М., Неорг.материалы 35(5), 560, 1999
7. Оруджов Г.С., Годжаев Э.М., Керимова Р.А. ФТТ, 48(1), 40, 2006

#### Summary

### EFFECT OF LOCAL VARIATIONS IN CRYSTAL LATTICE DENSITY ON THE THERMAL CONDUCTIVITY OF $TlIn_{1-x}Nd_xTe_2$ SOLID SOLUTIONS

*Bayramov C. C., Mustafayeva U. M., Oterkhanova G. N.*

In order to determine the main scattering mechanisms of phonons in  $TlIn_{1-x}Nd_xTe_2$  solid solutions, the experimental values for the lattice thermal conductivity at 300K were compared with the values calculated according to the Clemens theory taking into account three-photon return processes and scattering from point defects. It was found that the change in the phonon wave vectors due to normal processes leads to an increase in the thermal resistance.

**Keywords:** solid solutions, thermal conductivity, phonon, local density variation, group velocity, Debye temperature, degree of disorder

#### Резюме

### ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПЛОТНОСТИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $TlIn_{1-x}Nd_xTe_2$

*Байрамов Дж. Дж., Мустафаева У. М., Отерханова Г. Н.*

Для определения основных механизмов рассеяния фононов в твердых растворах  $TlIn_{1-x}Nd_xTe_2$  экспериментальные значения решеточной теплопроводности при 300 К сравнивались со значениями, рассчитанными на основе теории Клеменса с учетом процессов возврата трехфотонов и рассеяния на точечных дефектах. Установлено, что изменения волновых векторов фононов за счет нормальных процессов приводят к увеличению теплового сопротивления.

**Ключевые слова:** твердые растворы, теплопроводность, фонон, локальное изменение плотности, групповая скорость, температура Дебая, степень нерегулярности

## BÖHRAN TƏZYİQİNDƏN YÜKSƏK TƏZYİQLƏRDƏ KONVEKTİV İSTİLİK MÜBADİLƏSİ

**Abdullayeva Sevil Camal qızı**

*Sumqayıt Dövlət universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[abdullayeva.64@mail.ru](mailto:abdullayeva.64@mail.ru)

**Xülasə** Üfüqi boruların səthlərində n-heptan və n-hekstanın yüksək təzyiqli şəraitində istilik mübadiləsi və temperatur rejimi araşdırılmışdır. Bu şəraitdə istilikvermənin in-tensivliyinin artması *prosesi aşkar edilmişdir*.

**Açar sözlər:** *təzyiqli, temperatur, istilikvermə, kütlə sürəti, böhran təzyiqli.*

Böhran təzyiqlərində yüksək təzyiqlərdə konvektiv istilik mübadiləsi probleminə maraqlı yüksək effektiv istilik texnikası avadanlıqlarının hesabı, layihələndirilməsi, yaradılması və tətbiqi ilə əlaqədardır. «İstilikötürmə» kursundan məlumdur ki, konvektiv istilikvermə prosesində iştirak edən istiliyin miqdarı Nyuton – Rixman qanununa görə təyin edilir. Bu qanuna əsasən səth ilə mühit arasında verilən

yaxud da alınan istiliyin miqdarı ( $Q_{\tau}$ ) maye ilə bərk cismin toxunma səthinin sahəsi (F), onlar arasındakı temperatur fərqi ( $\Delta t = t_s - t_m$  yaxud da  $\Delta t = t_m - t_s$ ) və zamanla ( $\tau$ ) düz mütənasibdir

$$Q_{\tau} = \alpha F \Delta t \tau$$

Bu ifadədəki  $\alpha$  istilikvermə əmsalı olub istilikvermə prosesinin bütün mürəkkəbliyini özündə ümumiləşdirir. Böhran təzyiqlərində yüksək təzyiqlərdə mühitin istilik fiziki parametrlərinin kəskin dəyişməsinin nəticəsi olaraq konvektiv istilik mübadiləsi prosesi özünə məxsus xüsusiyyətləri ilə fərqlənir. Bu şəraitdə konvektiv istilikvermə prosesini səciyyələndirən istilikvermə əmsalı daha da mürəkkəbləşir. Bir çox amillərdən asılı olan bu mürəkkəb əmsal bir qayda olaraq eksperiment yolu ilə yəni təcrübələr aparmaqla təyin edilir. Odur ki, baxılan iş böhran təzyiqlərində yüksək təzyiqlərdə üzvi istilikdaşıyıcılar məcburi hərəkətin turbulent rejimində üfüqi borularda hərəkət edərkən prosesin rejim parametrlərinin

$$\frac{P}{P_{kr}} = 1,09 \dots 3,0; \quad \frac{T}{T_{kr}} = 0,52 \dots 1,02;$$

$$\frac{T_s}{T_{kr}} = 0,58 \dots 3,40; \quad q = (0,12, \dots 5,00) 10^6 \frac{Vt}{m^2}$$

$$\text{və} \quad \rho\omega = (300 \dots 3600) \frac{kq}{m^2 \cdot s}$$

dəyişmə intervalında istilikvermənin tədqiqinə həsr edilmişdir. Tədqiqatlar qərarlaşmış istilik rejimində məcburi dövrən konturlu qurğuda aparılmışdır. Tədqiqat qurğusu haqqında ətraflı məlumat verilir. Eksperiment zamanı daxili diametri (2 ... 5) mm, qalınlığı (0,46 ... 0,50) mm uzunluğu isə (100 ... 500) mm olan 12X18H10T və OX18H10T markalı paslanmayan poladdan hazırlanmış borulardan istifadə edilmişdir.

İstilikvermə əmsalı təyin edilərkən mümkün olan maksimal nisbi xəta 19%, orta kvadratik xəta isə 14% təşkil etmişdir. Sınaqların aparılma şəraitinin mürəkkəbliyini nəzərə almaqla bu nəticəni məqbul hesab etmək olar.

## Ədəbiyyat

1. Eyyubova K.S. "Böhrənətrafi və böhran təzyiqindən yüksək təzyiqlərdə mayələrin istilikverməsi" Texnika üzrə fəlsəfə doktoru alimlik dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiya. Azərbaycan ET Layihə-Axtarış Energetika İnstitutu. Bakı, 2011, 223s.
2. İsayev H.I., Eyyubova K.S., Rüstəmov E.B. "Mayələrin böhrənətrafi təzyiqlərdə şaquli borularda hərəkətində istilik mübadiləsi" // Kimya və neftkimya. Bakı 2006, №1, s 77-82

## Резюме

Абдуллаева С.Дж.

### КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН ПРИ СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ДАВЛЕНИЯХ

*Исследовано теплоотдача и температурный режим стенок горизонтальных труб при движении n-гептана и n-гексана в условиях сверхкритических давлений. Выявлено повышение интенсивности процесса теплоотдачи при условии  $t_c^b \geq t_m$ .*

**Ключевые слова:** давление, температура, теплоотдача, массовая скорость, критическое давление

## Summary

### CONVECTIVE HEAT TRANSFER AT PRESSURES HIGHER THAN THE CRITICAL PRESSURE

Abdullayeva S.C.

Heat transfer and temperature regime of horizontal tubes walls in n-heptane and n-hexane motion in the supercritical pressure conditions are investigated. Intensity increase process of heat transfer in the condition  $t_s^d \geq t_m$  is revealed.

**Key Words:** pressure, temperature, heat emission, mass velocity, critical pressure

## SUSTAINABLE EOR STRATEGIES FOR HEAVY OIL: SIMULATION-DRIVEN OPTIMIZATION IN CARBONATE RESERVOIR.

**Kuanyshev Aslan Nurhanovich**

**Suleimenova Raikhan Taupikhovna**

*Atyrau Oil and Gas University, Atyrau, Kazakhstan.*

[a.kuanyshev@aogu.edu.kz](mailto:a.kuanyshev@aogu.edu.kz)

**Summary** This article is part of "Optimization of EOR method selection for carboniferous high viscosity oilfields via reservoir behavior simulation:" thesis work proceeded for west-Kazakhstan oil structures. In this paper, discovered specific nature of carboniferous fields of heavy oil with problem of high heterogeneity, double porosity of layers, risk of early breakthrough of injected agents (water, gas and mixtures) and therefore dynamically changing requirements for sustainability and efficiency of EOR strategy. Solution for this challenge is presented through collaborating efficiencies of different stimulation methods via simulation modelling and forecasting the behavior of reservoir based on field data.

**Keywords:** Heavy-oil, carbonate reservoirs, EOR optimisation, reservoir simulation, dual-porosity, fracture networks, Pre-caspian basin.

## Introduction

Extraction of heavy oil is common challenge for reservoir engineering having multiple ways to solve depended on properties of fluid. Difficulty comes when designed EOR simulation faces carbonate reservoir with deviated not homogeneous porosity and permeability [1]. West Kazakhstan oilfields placed in pre-caspian basin are great example of complicated case for effective EOR application. "Western X" field has

OOIP of 2.5 mln ton of heavy oil with depth from 2800 to 3100 meters. Viscosity of oil vary from 80 to 175 mPa\*s with permeability coefficient lower than 0.7.

### **1. Current condition of field.**

The main problem of current application is premature breakthrough of injected agent. As pilot method used hot water injected: 13 injection wells with depth of 2800 to 2950 meters were tested with that method for over 6 month, affecting for 35 production wells. Initial parameters of production fluid extracted by natural pressure over 7000 psi were pretty applicable to continue fountain production method but rapid overall pressure losses lead to use hot water injection. Temperature drop down of final production and high water cut seemed usual for those project but according to injected water temperature above 80 Celsius degree further increasing layer flooding with water was too high risk for further energy and economical efficiency of whole oilfield. Further researches gave answer for that situation: initial high pressure and mobility of oil were original only for 2 layers between 2900 and 3100 meters. Therefore further application of hot water become logical decision for other layers to get same amount and production and quality of final extracted fluid.

Dropdowns from 7000 psi to 2800 psi and continuing trend became priority challenge for company operator. Regardless of pressure stabilizing and even local rising for multiple sectors of oilfield hot water injection method already gave negative consequences such as high water cut and enormous energy losses for application.

Recovering previous and near initial conditions of production properties became goal for our research. Carboniferous oilfields especially in pre-caspian basin is widely presented by upper-middle carbon (moscowian, bashkirian, Gzhelian stages). "Western X" field has reefal and dolomitized carboniferous limestones in basement of productive layers. Local experience of production of that layers in many cases is come with high energy consumptions due to complexity of extraction of heavy oil in cracks and caverns of non homogeneous structured rock of production layer. Resuming cumulated complexity of field presented by: dual porosity system of matrix and fracture zones, high viscosity of oil and therefore early breakthrough of water to production wells.

Common method by the company operator is further continuing thermal methods but now with steam injection to increase oil mobility despite the expenses on additional drilling and field tests. Same methodology applied as for "Western X" neighbor fields in 100km area and current results not so impressive: recovery factor is lower than 23% (maximum) due to steam channeling where injected steam follow most low resistance path in layer leaving oil untouched. Heat transfer in that cases also see challenges due to low matrix permeability and heterogeneous structure. Those fields has own procedures to increase recovery factor as standard thermal soaking and polymer flooding before next steam interaction which also much less effective due to lost of original state of layer and already altered structure of near well zone. Concluding all of that methods are confidently effective by showed worldwide and local practice but still has big consist of forecasting.

### **2. Solution proposed.**

To avoid massive expenses on orderly field tests of steam injection effectiveness, our research was focused on getting best EOR efficiency by mixing two methods of thermo-alkaline flooding [5] and hot water injection almost simultaneously but with great patience and careful monitoring.

Thermo Alkaline flooding in this rock type of double permeability where matrix is under 50 mD, and fracture zone achieve 620 mD should act as path interactor. As oilfield already has been alternated by hot water injection and breakthrough patterns are composited, thermo-alkaline flooding will enter high flow zones to break previous flow patterns.

Our solution integrates two complementary EOR techniques in a carefully sequenced protocol. The first stage employs hot water injection (60–80°C) to stabilize reservoir pressure and precondition the formation. This is followed by a tailored alkali-surfactant formulation (0.5%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + 0.5% biosurfactant[3]) designed to reduce interfacial tension below 0.1 mN/m while altering wettability (contact angle change  $\approx 25^\circ$ ). The process is monitored through real-time pressure/temperature surveillance and optimized using machine learning algorithms trained on data from analogous fields like Karachaganak.

The simulation framework, developed in tNavigator, accurately represents the dual-porosity nature of the reservoir. Key input parameters include matrix permeability (30 mD average), fracture permeability (750 mD), and oil viscosity (120 mPa\*s at 70°C). History matching confirms the model's predictive capability, with less than 5% deviation from actual pilot performance data.

Our proposal was to start injection process in 3 steps: hot water injection (80°C), alkali-surfactant slug of 0.8%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  with 0.5% biosurfactant, hot water injection (65°C).

Our recommendation to get assurance of effectiveness – in case of drilling new production wells should include system of permanent downhole gauges to get real time response from injection fluid flow, otherwise temperature and pressure indication will be taken on well head which is not give accurate data for each layer depth. Main parameters of temperature and pressure should be measured every 100 seconds of injection process.

### 3. Results and Discussion

Implementation of the hybrid method yielded significant improvements over conventional approaches. Pressure stabilization at 3,200 psi was achieved within six months, while water cut declined to 45% in previously problematic wells. The incremental production rate of 18,000 tons/year represents a threefold increase compared to standalone hot water injection.

These outcomes result from two synergistic mechanisms. First, the moderate-temperature hot water prevents thermal fracturing while sufficiently reducing oil viscosity. Second, the alkali-surfactant system preferentially enters fracture networks, creating a mobility buffer that redirects flow into oil-saturated matrix zones. Core flood experiments confirm a 20% increase in matrix sweep efficiency compared to pure thermal methods.

From an energy perspective, the hybrid approach demonstrates clear advantages. With energy intensity of 2.1 GJ/ton (versus 5.3 GJ/ton for steam), the process reduces CO<sub>2</sub> emissions by approximately 12,000 tons annually for a typical 20-well pattern. Economic analysis shows favorable metrics: 15million CAPEX with price 33-60\$ per barrel.

### 4. Conclusions

This study presents a technically and economically viable solution for challenging carbonate reservoirs on example of commonly faced “Western X”. The hybrid thermo-alkaline method addresses the fundamental limitations of conventional EOR through adaptive pressure maintenance via optimized hot water injection, precision chemical flooding tailored to dual-porosity systems and simulation-based optimization of injection parameters

Field results validate the simulation predictions, demonstrating consistent pressure maintenance and improved sweep efficiency. The method's lower energy requirements and emissions profile make it particularly suitable for operators targeting sustainable production enhancement. Future work will focus on expanding the chemical formulation database to accommodate broader reservoir conditions.

### References

1. Alvarado, V., & Manrique, E. (2010). Enhanced Oil Recovery: Field Planning and Development Strategies. Elsevier.
2. Kazempour, M., et al. (2019). "Dual-Porosity Modeling of Thermo-Alkaline EOR in Fractured Carbonates." Journal of Petroleum Science and Engineering, 178, 704–718.
3. Kumar, S., & Mandal, A. (2017). "Studies on Interfacial Tension Reduction for Heavy Oil Recovery Using Biosurfactants." Energy & Fuels, 31(4), 4100–4108.
4. "Polymer Flooding in Karachaganak Carbonates: Challenges and Solutions." SPE Europec Conference Proceedings. SPE-206543 (2020).
5. Vargo, J., et al. (2000). "Alkaline Hot Water Flooding for Heavy Oil in Carbonates." SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 3(06), 552–558. (SPE-62544-PA) ]
6. Wang, J., et al. (2021). "Machine Learning for EOR Optimization: A Case Study of Pre-Caspian Basin Fields." Fuel, 284, 119234.
7. Zhang, P., et al. (2018). "Alkaline-Surfactant-Polymer Flooding for Carbonate Reservoirs: Lessons from North Buzachi Field." SPE Journal, 23(04), 678–692. (SPE-189485-PA).

### Xülasə

#### AĞIR NEFT ÜÇÜN DAYANIQLI NAH STRATEGİYALARI: KARBONAT REZERVUARLARINDA SİMULYASIYA ƏSASLI OPTİMALLAŞDIRMA Kuanışev A. N., Süleymanova R. T.

Bu məqalə, "Karbon dövrünə aid yüksək viskozitəli neft yataqları üçün EOR metodlarının seçilməsinin rezervuar davranışının simulyasiyası vasitəsilə optimallaşdırılması" mövzusunda dissertasiya işinin bir hissəsidir və Qərbi Qazaxıstanın neft quruluşları üçün hazırlanmışdır. Burada ağır neftli karbon yataqlarının spesifik xüsusiyyətləri – yüksək heterojenlik, qatların ikiqat məsaməliliyi, enjeksiya edilən agentlərin (su, qaz və qarışıqların) erkən qırılma riski və nəticədə NAH strategiyasının davamlılığı və effektivliyi üçün dinamik dəyişən tələblər öyrənilmişdir. Bu problemə həll yolu kimi, sahə məlumatları əsasında rezervuarın davranışının simulyasiya modelləşdirilməsi və proqnozlaşdırılması yolu ilə müxtəlif stimullaşdırma metodlarının effektiv birləşdirilməsi təklif olunur."

**Açar sözlər:** Ağır neft, karbonat rezervuarları, NАН metodlarının optimallaşdırılması, rezervuar simulyasiyası, ikiqat məsaməlilik, çatlıq şəbəkələri, Xəzəryanı çökəklik.

**Резюме**  
**УСТОЙЧИВЫЕ СТРАТЕГИИ НАН ДЛЯ ТЯЖЕЛОЙ НЕФТИ: ОПТИМИЗАЦИЯ НА ОСНОВЕ**  
**МОДЕЛИРОВАНИЯ В КАРБОНАТНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ**  
*Куанышев А. Н., Сулейманова Р. Т.*

Данная статья является частью диссертационной работы на тему " Оптимизация выбора методов ЭОР для месторождений нефти с высокой вязкостью углеродного периода посредством моделирования поведения пластов " и предназначена для нефтяных структур Западного Казахстана. Здесь изучены специфические свойства месторождений тяжелого нефтяного углерода – высокая неоднородность, двойная пористость пластов, риск преждевременного разрыва впрыскиваемых агентов (воды, газа и смесей) и, как следствие, динамически меняющиеся требования к устойчивости и эффективности стратегии НАН. В качестве решения этой проблемы предлагается эффективное сочетание различных методов стимуляции путем имитационного моделирования и прогнозирования поведения резервуара на основе полевых данных."

**Ключевые слова:** тяжелая нефть, карбонатные резервуары, оптимизация методов НАН, моделирование резервуаров, двойная пористость, сети трещин, Каспийская впадина

**STRUCTURAL AND OPTICAL PROPERTIES OF Cu(In,Ga)(Se,S)<sub>2</sub> THIN FILMS OBTAINED BY SPUTTERING FROM TWO MAGNETRONS SIMULTANEOUSLY**

<sup>1</sup>Sabzalieva Ch. E., <sup>1,2</sup>Mursakulov N.N., <sup>1</sup>Abdulzade N.N.

<sup>1</sup>*Institute of Physics, Baku, Azerbaijan*

<sup>2</sup>*Institute of Radiation Problems, Baku, Azerbaijan.*

[ch.sabzaliyeva@mail.ru](mailto:ch.sabzaliyeva@mail.ru)

**Summary** Polycrystalline Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> and Cu(In,Ga)(Se,S)<sub>2</sub> thin films on flexible metallic foils were prepared by two-stage selenization of sputter-deposited Cu-Ga-In precursors. X-ray diffraction analysis was performed to determine the phase and crystal structure of Cu(In,Ga)(Se,S)<sub>2</sub> thin films. The phases and elemental depth profiles of these films prepared on different metallic flexible foils (titanium, molybdenum, aluminum and stainless steel ) were analyzed. The value of the band gap of the Cu(In<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>)Se<sub>2</sub> thin film obtained by the presented method varies in the range of (1.04-1.68) eV, depending on the value of x. Also, these thin films were obtained by sputtering from two magnetrons with shifted magnetic systems.

**Keywords:** Magnetron sputtering, polycrystalline, solar cell, thin film, precursors, photoelectric.

### 1.Introduction

The study of the electrical and photoelectric properties of Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> and Cu(In,Ga)(Se,S)<sub>2</sub> semiconductor materials and their thin films has shown that these films can be used in the preparation of various converters. The study of the photoelectric and optical properties of the photovoltaic Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> and Cu(In,Ga)(Se,S)<sub>2</sub> materials, which are widely studied as a solar cell, is an urgent issue of scientific and practical importance. One of the most convenient ways to obtain energy from renewable energy sources is to develop photovoltaic converters based on highly efficient copper-containing chalcogenide semiconductor materials [154]. These solar cells are commonly known as a copper indium gallium diselenide [Cu(In<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>)Se<sub>2</sub>], or CIGS, cells. Although laboratory-scale cell efficiencies have exceeded 20%, commercial CIGS solar cells typically have efficiencies between 12% and 14%. CIGS technology performs better in climates with extreme temperatures due to their temperature coefficient; they have a longer lifespan and perform better for different levels of solar irradiance than c-Si modules. Cu(In,Ga)(Se,S)<sub>2</sub> and Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> thin films are one of the most attractive materials for the development of third generation, high-efficient and low - cost thin film solar cells and modules. Cu(In,Ga)(Se,S)<sub>2</sub> and Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> - based thin-film solar cells have high conversion-efficiencies, long-term stability, and high radiation resistance. The use of flexible substrates instead of the rigid soda lime glasses offers new possibilities for the application of solar cells in space and terrestrial photovoltaic power system. These semiconductors are an excellent absorber materials for heterojunction solar cells and modules. The band gap energy of these absorber materials varies from 1.0 eV up to 2.4 eV [13,4]. This value can be perfectly adjusted to the solar spectrum.

The main purpose of the article is to study the physical mechanisms of structural and optical properties of Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub>, Cu(In,Ga)(Se,S)<sub>2</sub> thin films obtained by sputtering from two magnetrons with shifted magnetic systems.

### 2.Experimental

Among the physical methods, the method of obtaining precursors of metals included in chalcopyrites by thermal evaporation in vacuum or by magnetron sputtering method and then selenization of those metal layers in selenium vapor environment is more widely applied.

Cu(In,Ga)(Se,S)<sub>2</sub> solid solutions were synthesized by two - step annealing of Cu-In-Ga precursors in S/Se ambient. Total thickness about 1.0 μm Cu-In-Ga precursors were deposited onto the Corning glass substrate by ion-beam plasma evaporation in vacuum ( $6 \cdot 10^{-4}$  Pa) at substrate temperature of 100<sup>0</sup> C. At the first stage, the Cu-In-Ga precursors reached to S/Se vapor under N<sub>2</sub> flow for a period of 20-30 minut at T<sub>1</sub>=260<sup>0</sup> C. Then the temperature was raised 400<sup>0</sup> C or to (500 - 540)<sup>0</sup> C at 90 C min<sup>-1</sup> and thereafter held for 20 minut. With a thickness of (2 - 2.5) μm CIGSS films were obtained [3,15,5].

One of the main problems of this method the high diffusion of the Ga element towards the Mo layer, which carries the contact function on the back side. This is due to the difference in the reaction rates of the elements included in the combination. As a result of this phenomenon, it leads to the formation of a double layer, that is, a CuInSe<sub>2</sub> layer over the CuGaSe<sub>2</sub> phase. In addition, the accumulation of gallium in the back contact region makes it difficult to obtain a semiconductor material with a predetermined zone structure (width of the band gap, accelerating electric field, etc.) throughout the thickness of the film and makes it impossible to vary the optical properties of that material [20, 16, 18].

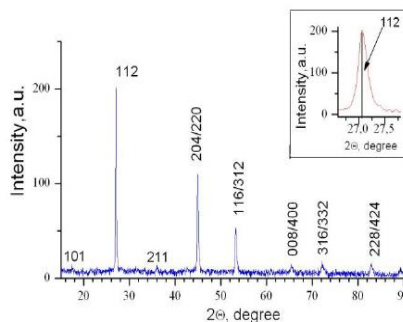
Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> thin films were obtained by the method of simultaneous sputtering of CuInSe<sub>2</sub> and CuGaSe<sub>2</sub> targets from two magnetrons with the magnetic systems shifted towards each other. CuInSe<sub>2</sub> and CuGaSe<sub>2</sub> targets with a thickness of 3 mm and a diameter of 50 mm were obtained by pressing the nanopowders of the materials under 16 t pressure. Magnetron sputtering from CuInSe<sub>2</sub> and CuGaSe<sub>2</sub> targets was carried out in an argon environment [2].

The surface morphology and depth profiles of the obtained films were investigated by JEOL 6400 SEM apparatus and Auger electron spectroscopy (AES) using a Perkin Elmer Physical Electronics model 590. The crystal structure of the materials was studied by X-ray diffraction (XRD) using a Siemens D-5000 diffractometer (having CuK<sub>α</sub> λ=1.5418 Å). The optical parameters of the reference CIGSS thin films on Corning glass substrates were determined from transmittance (T) and reflection (R) measurements in the range of (200-3000) nm at room temperature using a Carry 500 Scan UV-VIS-NIR spectrophotometer.

### 3. Results and discussion

In order to be sure of the accuracy of the results obtained during the study of the physical properties of the samples we studied, it is important to study the structural features of these compositions. The presence of defects in semiconductor materials affects their physical properties. X-ray diffraction analysis was performed to determine the phase and crystal structure of Cu(In,Ga)(Se,S)<sub>2</sub> thin films. All the major diffraction peaks associated with the chalcopyrite structure were detected for Cu(In,Ga)(Se,S)<sub>2</sub> films annealed at a relatively low (400<sup>0</sup> - 450<sup>0</sup>) C temperature range. It was determined that the peaks depend on the processing regimes and chemical composition of the material. X-ray diffraction pattern of Cu<sub>0.73</sub>In<sub>1.18</sub>Ga<sub>0.09</sub>S<sub>0.87</sub>Se<sub>1.13</sub> thin film annealed less than 520<sup>0</sup> C is given Fig.1. During the X-ray diffraction analysis, the characteristic (101), (103) and double split peaks - (116/312), (008/400), (228/424) of the chalcopyrite structure were clearly observed. Diffraction peaks of Cu(In,Ga)(Se,S)<sub>2</sub> solid solutions shift to a higher angle with increasing content of S and Ga in the composition. It shows that the diffraction peaks depend on the composition.

Single-phase Cu(In,Ga)(Se,S)<sub>2</sub> thin films with chalcopyrite structure with [112] preferred orientation were obtained under optimized conditions (T<sub>s</sub> - 520<sup>0</sup> C). The characteristic peak of the chalcopyrite structure obtained from the (101) peaks at 2θ = 17.42<sup>0</sup> and the (211) peak at 2θ = 36.08<sup>0</sup> diffraction angles were clearly observed for these layers [5,10].

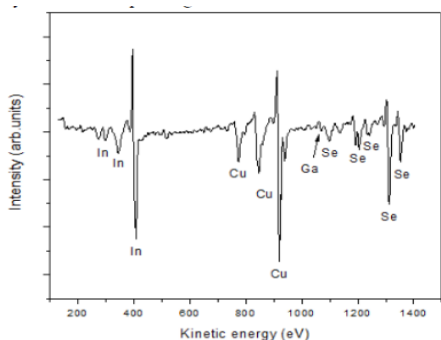


**Fig.1.** X-ray diffraction pattern of Cu<sub>0.73</sub>In<sub>1.18</sub>Ga<sub>0.09</sub>S<sub>0.87</sub>Se<sub>1.13</sub> thin film grown at 520<sup>0</sup> C

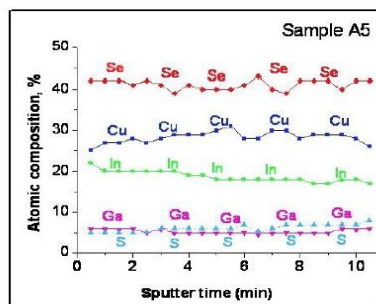
The Auger electron spectroscopy (AES) method is based on measuring the energy and current intensity of electrons emitted from a solid matter during the Auger effect. Auger electron spectra were analyzed to study the depth profile measurements of the investigated thin films. AES is a technique used to

study the surfaces of materials on a micro scale. The AES spectra of obtained  $\text{Cu(In,Ga)Se}_2$  thin films were investigated over a diapason of kinetic energies from 100 to 1400 eV, using the initial electron beam of energy 5 keV. A typical AES spectrum of CIGS thin films deposited on a glass substrate (Cu - 26.2 %, In - 24.8 %, Ga - 1.9 %, Se - 46.7 %) are shown in Fig.2. AES spectrum showed the availability of the following chemical elements: In at 298, 345 and 408 eV; Cu at 775, 848 and 921 eV, Ga at 1010 eV; Se at 1193, 1205, 1237, 1312 eV [17].

At the same time, AES measurements of  $\text{Cu(In,Ga)(Se,S)}_2$  thin films were performed. Auger electron image of  $\text{Cu(In,Ga)(Se,S)}_2$  thin films is shown in Fig. 3. The AES measurement for  $\text{Cu(In,Ga)(Se,S)}_2$  thin films showed the uniform distribution of elements Cu, In, Ga, S and Se through the depth of the layers. Therefore, it is expected that the highest concentration of sulfur will be located in the gallium-rich zone with small-sized granules for this layer.



**Fig. 2.** A typical AES spectrum of the  $\text{Cu(In,Ga)Se}_2$  film



**Fig. 3.** AES profiles of  $\text{Cu(In,Ga)(Se,S)}_2$  thin films grown under  $520^\circ\text{C}$ .

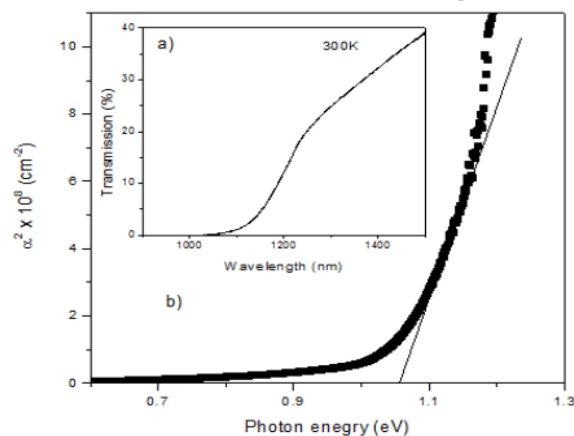
The optical properties of the four-layer  $\text{Cu(In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{)Se}_2$  thin films obtained on a glass substrate were studied by measuring both transmittance (T) and reflection (R) spectra. Fig. 4.(a) shows the transmittance spectrum taken at room temperature for the investigated  $\text{Cu(In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{)Se}_2$  thin films. A sample of  $\text{Cu(In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{)Se}_2$  obtained on a glass substrate shows ~ 35 - 45% transparency in the near-infrared region and has relatively sharp edge of an intrinsic absorption [6]. The absorption coefficient of the film was calculated using both transmittance and reflection coefficients with the following formula:

$$\alpha = -\frac{1}{d} \ln \frac{\sqrt{(1-R)^4 + 4T^2R^2} - (1-R)^2}{2TR^2} \quad (1)$$

where  $\alpha$  is the absorption coefficient, T and R are the transmission and reflection, d is the thickness of the film. The reflection spectrum of photons was conducted in the photon energy range of 1 - 2 eV, and the value of the reflection coefficient was determined to be around 0.21 for this film. In the case of allowed direct transitions the absorption coefficient is found as a function of the specific photon energy using the following equation:

$$\alpha = A(h\nu - E_g)^{1/2} \quad (2)$$

where  $E_g$  and A are optical band gap and a constant. The optical band gap of the  $\text{Cu(In,Ga)Se}_2$  film was defined by extrapolating of the linear part of the spectral dependence  $\alpha^2 \sim f(h\nu)$  to the photon energy axis. It is shown in the Fig. 4b. The value of the band gap was determined from transmittance measurements and is ~1.06 eV for the CIGS thin films [9, 1].



**Fig.4.** Transmittance (a) and  $\alpha^2 \sim f(h\nu)$  dependence (b) for a  $\text{Cu}(\text{In},\text{Ga})(\text{Se},\text{S})_2$  layer obtained on a glass substrate.

In this work, we have presented the possibility of obtaining  $\text{Cu}(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x)\text{Se}_2$  thin films by simultaneous sputtering from two magnetrons, the magnetic systems of which are shifted towards each other. With the improvement of the technology, the technological regimes for changing the band gap of the films towards the growth of CIGS thin films have been investigated [1,8,12]. Thus, depending on the choice of the technological regime, the possibilities towards growth of the films increasing or decreasing of the band gap, i.e. obtaining a varizon structure, was investigated. Based on the results of the study of the optical properties of thin  $\text{Cu}(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x)\text{Se}_2$  films obtained from two magnetrons at the same time by magnetron sputtering method, it can be concluded that with the applied method, can be obtained films with qualitatively required properties and it is possible, to overcome the deficiencies experienced by the diffusion of Ga element. Also, there is no need to obtain Cu-In-Ga precursors and their long-term temperature treatment at high temperatures in Se and S environment. The band gap  $E_g$  of the  $\text{Cu}(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x)\text{Se}_2$  material varies in the range of (1.04-1.68) eV depending on the value of  $x$  and is determined according to the law  $E_g(\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2)=1.08+0.6x$ . It should be noted that the value of  $E_g$  can be changed by adding other group III elements (for example, Al) or group VI elements (for example, S and Te) to the composition of the material. One of the ways to increase the efficiency of thin-film  $\text{Cu}(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x)\text{Se}_2$  (CIGS) based solar cells is to determine the optimal value of the material by changing the band gap width, so that at this value of  $E_g$  the efficiency of the solar cell takes a maximum value for this structure of the solar cell[11, 7, 19].

#### 4. Conclusions

Single - phase  $\text{Cu}(\text{In},\text{Ga})(\text{Se},\text{S})_2$  thin films with [112] preferred orientation were grown by two-step annealing in S/Se ambient of sequentially deposited Cu, Ga and In precursors. The shift of the (112) and (204/220) peaks towards a larger ( $2\theta$ ) diffraction angle corresponds to a decrease in the lattice parameters with the incorporation of S and Ga.

The Auger Electron Spectroscopy measurement for  $\text{Cu}(\text{In},\text{Ga})(\text{Se},\text{S})_2$  thin films showed the uniform distribution of elements Cu, Ga, In, Se and S through the depth of the films. These elements are regularly distributed in the material without formation additional phases.

The band gap of  $\text{Cu}(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x)\text{Se}_2$  films obtained from two magnetrons at the same time by magnetron sputtering method varies according to the law of  $E_g(\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2)=1.08+0.6x$  with the change of  $x$ .

In this work, the technology of obtaining  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  thin films from two magnetrons with the magnetic systems shifted towards each other by the method of magnetron sputtering was developed, and the optical properties of the thin films were studied. According to the results of the optical properties of the  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  thin films obtained by this method, it can be concluded that films with qualitatively required properties can be obtained with the applied method.

#### References

1. A.V.Mudry, Valery Gremenok, A.V. Karotki, Valery Zalesski, M. V. Yakushev, F. Luckert, Robert W. Martin. Journal of Applied Spectroscopy, vol. 77, No. 3, 2010, pages 371-376. DOI:[10.1007/s10812-010-9341-5](https://doi.org/10.1007/s10812-010-9341-5)
2. Enrico Jarzembowski , Matthias Maiberg , Florian Obereigner , Kai Kaufmann , Stephan Krause, Roland Scheer . Thin Solar Cells, 2015, volume 576, pages 75-80. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2015.01.004>

3. E. P. Zaretskaya, V. F. Gremenok, A. P. Odrinsky, N. N. Abdulzade, N.N.Mursakulov, Ch. E. Sabzaliyeva // Azerbaijan Journal of Physics. 2012, v. xviii, N2 p. 20-23. [http://physics.gov.az/Dom/2012/AJP\\_Fizika\\_02\\_2012\\_en.pdf](http://physics.gov.az/Dom/2012/AJP_Fizika_02_2012_en.pdf)
4. Kessler F., Herrmann D., Powalla M. Thin Solid Films, 2005, volume 480-481, pages 491-498. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2004.11.063>
5. Zhang H.X., Hong R.J. Ceramic s International, 2016, volume 42, issue13, pages 14543-14547. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.06.067>
6. Herz K., Kessler F., Wachter R., Powalla M, Schneider J., Schulz A., Schumacher U. Thin Solid Films. 2002. Volume 403 – 404, pages 384–389. [https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(01\)01516-4](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(01)01516-4)
7. Ramanathan K., Contreras M.A., Perkins C.L., Asher S., Hasoon F.S., Keane J., Young D., Romero M., Metzger W., Noufi R., Ward J., Duda A. Prog. Photovolt. Res. Appl., 11 (2003) 225. <https://doi.org/10.1002/pip.494>
8. Miaomiao Li, Fanggao Chang, Chao Li, Cunjun Xia, Tianxing Wang, Jihao Wang, Mengbo Sun, Procedia Engineering, 2012, volume 27, pages 12-19. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.12.419>
9. Novikov G F, Gapanovich M V. Phys. Usp. 2017, volume 60, pages 161–178. DOI:[10.3367/UFNr.2016.06.037827](https://doi.org/10.3367/UFNr.2016.06.037827)
10. Philip Jackson, Dimitrios Hariskos, Roland Wuerz, Oliver Kiowski, Andreas Bauer, Theresa Magorian Friedlmeier, Michael Powalla. 2015, volume 9, issue 1, pages 28-31. <https://doi.org/10.1002/pssr.201409520>
11. R. Wuerz, W. Hempel, and P. Jackson. Journal of Applied Physics 124, 165305 (2018). DOI:[10.1002/pssr.201409520](https://doi.org/10.1002/pssr.201409520)
12. Sławomir Gułkowski and Ewelina Krawczak. International Conference Energy, Environment and Material Systems, 2017, volume 19, pages 1-4. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20171903006>
13. Sin-Il Gu, Hyo - Soon Shin, Dong Hun Yeo, Youn Woo Hong, Sahn Nahm. Current Applied Physics, 2011, volume 11, issue 1, pages 599-5102. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2010.11.021>
14. Su-Huai Wei, S. B. Zhang, Alex Zunger. Applied Physics Letters, 1998, volume 72(24), pages 3199-3201, DOI:[10.1063/1.121548](https://doi.org/10.1063/1.121548)
15. Susanne Siebentritt, Current Option in Green and Sustainable Chemistry. 2017, volume 4, pages 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2017.02.001>
16. Tariq Alzoubi, Mohamed Moustafa. Modern Physics Letters B, volume 34, issue 05, pages 2050065. DOI: [10.1142/s0217984920500657](https://doi.org/10.1142/s0217984920500657)
17. Weon Cheol Lim, Jihye Lee and Yeonhee Lee Journal of Surface Analysis Vol.17, No.3 (2011) pp.324-327. <https://doi.org/10.1384/jsa.17.324>
18. Y. C. Lin, Z. J. Chen, and L. C. Wang. Applied Mechanics and Materials. 2012, volume 117-119 pages 1284-1288. DOI:[10.4028/www.scientific.net/AMM.117-119.1284](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.117-119.1284)
19. Yosuke Abe, Takahito Nishimura, Akira Yamada. IEEE Journal of Photovoltaics, 2025, volume 25, issue 1, pages 79-86. DOI: [10.1109/JPHOTOV.2024.3496479](https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2024.3496479)
20. Yordanka Trifonova, Vanya Lilova, Vladislava Ivanova, Teidora Stoyanova Lyubenova, Plamen Petkov. Journal of Hunan University, 2020, volume 50, No 6, pages 12-17. <https://doi.org/10.55463/issn.1674-2974.50.6.2>

#### Xülasə

### İKİ MAQNETRONDAN EYNİ VAXTDA TOZLANDIRILMA ÜSULU İLƏ ALINMIŞ CU(IN,GA)(SE,S)<sub>2</sub> NAZİK TƏBƏQƏLƏRİNİN QURULUŞ VƏ OPTİK XASSƏLƏRİ

*Səbzəliyeva Ç. E., Mursakulov N.N., Abdulzadə N.N.*

Polikristallik Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> və Cu(In,Ga)(Se,S)<sub>2</sub> nazik təbəqələri elastik metal folqalar üzərində, Cu-Ga-In prekursorlarının iki mərhələli selenizasiyası vasitəsilə hazırlanmışdır. Cu(In,Ga)(Se,S)<sub>2</sub> nazik təbəqələrinin faza və kristal quruluşunu müəyyən etmək üçün rentgen difraksiya analizi aparılmışdır. Müxtəlif elastik metal folqalar (titan, molibden, alüminium və paslanmayan polad) üzərində hazırlanmış bu təbəqələrin fəzaları və elementlərin dərinlik profilləri təhlil edilmişdir. Təqdim olunan üsulla əldə edilmiş Cu(In<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>)Se<sub>2</sub> nazik təbəqəsinin qadağan zonası x-in qiymətindən asılı olaraq (1.04–1.68) eV intervalında dəyişir. Həmçinin, bu nazik təbəqələr maqnit sistemləri sürüşdürülmüş iki maqnetrondan tozlandırma üsulu ilə hazırlanmışdır.

**Açar sözlər:** Maqnetron tozlandırma, polikristallik, günəş elementi, nazik təbəqə, prekursorlar, fotoelektrik.

**Резюме**  
**СТРУКТУРНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЁНОК  $Cu(In,Ga)(Se,S)_2$ , ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ**  
**ОСАЖДЕНИИ С ПОМОЩЬЮ ДВУХ МАГНЕТРОНОВ ОДНОВРЕМЕННО**  
*Сабзалиева Ч. Э., Мурсакулов Н.Н., Абдулзаде Н.Н.*

Поликристаллические тонкие плёнки  $Cu(In,Ga)Se_2$  и  $Cu(In,Ga)(Se,S)_2$  на гибких металлических фольгах были получены методом двухстадийной селенизации предварительно осаждённых прекурсоров Cu-Ga-In. Для определения фазового состава и кристаллической структуры тонких плёнок  $Cu(In,Ga)(Se,S)_2$  был проведён рентгенодифракционный анализ. Фазы и элементные глубинные профили плёнок, приготовленных на различных гибких металлических фольгах (титан, молибден, алюминий и нержавеющая сталь), были исследованы. Значение ширины запрещённой зоны тонкой плёнки  $Cu(In_{1-x}Ga_x)Se_2$ , полученной предложенным методом, изменяется в диапазоне (1.04–1.68) эВ в зависимости от величины x. Кроме того, данные тонкие плёнки были получены методом магнетронного распыления с использованием двух магнетронов со смещёнными магнитными системами.

**Ключевые слова:** магнетронное распыление, поликристаллический, солнечный элемент, тонкая плёнка, прекурсоры, фотоэлектрический.

## **ENERJİ OBYEKT LƏRİNİN İFRAT GƏRGİNLİKLƏRDƏN MÜASİR MÜHAFİZƏ VASİTƏLƏRİ** **İLƏ QORUNMASININ TƏDQIQI**

**Novruzova Hazarə İbrahim qızı**  
**Əhmədov Sərxan Elşən oğlu**  
*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*  
[Novruzovahazare75@gmail.com](mailto:Novruzovahazare75@gmail.com)

**Xülasə** Enerji obyektlərinin işçi gərginliklərdən qorunması müasir texnologiyaların tətbiqi ilə daha səmərəli və etibarlı şəkildə həyata keçirilir. Bu sahədə xüsusilə mikroprosessor əsaslı rele mühafizə sistemləri, avtomatik gərginlik tənzimləyiciləri və real vaxt monitoring qurğuları mühüm rol oynayır. Mikroprosessorlu relelər çevik parametrlərlə proqramlaşdırıla bilən, yüksək həssaslığa malik və sürətli reaksiya verən sistemlər kimi seçilir. Onlar nasazlıqları dəqiq müəyyənləşdirməklə, enerji sisteminin davamlı işləməsinə təmin edir və gərginliyin qəfil dəyişmələrindən yaranan zərərləri minimuma endirir. Avtomatik gərginlik tənzimləyiciləri enerji təchizatının sabitliyini qoruyaraq, həm istehlakçı avadanlıqların, həm də elektrik şəbəkəsinin uzunmüddətli istismarını təmin edir. Bu cihazlar şəbəkədəki yüklənmə dəyişikliklərinə operativ uyğunlaşaraq gərginlik səviyyəsini optimal diapazonda saxlayır. Digər tərəfdən, real vaxt rejimində işləyən monitoring sistemləri informasiya texnologiyalarının inteqrasiyası ilə enerji obyektlərinin bütün mühüm parametrlərini fasiləsiz izləyir və analiz edir. Bu işə qəza hallarının erkən aşkar olunmasına, profilaktik tədbirlərin vaxtında görülməsinə və sistemin dayanıqlığının artırılmasına imkan yaradır.

**Açar sözlər:** enerji obyektləri, işçi gərginlik, mühafizə vasitələri, rele sistemləri, dayanıqlı enerji.

### **Giriş**

Müasir dövrdə enerji sistemlərinin təhlükəsiz və dayanıqlı fəaliyyəti bir çox texniki və texnoloji məsələlərin kompleks şəkildə həllini tələb edir. Bu məsələlər arasında işçi gərginliklərdən qaynaqlanan nasazlıqların və qəza hallarının vaxtında aşkarlanması və qarşısının alınması xüsusi əhəmiyyət daşıyır. İdarəetmə sistemlərində müşahidə olunan gərginlik dəyişmələri və qeyri-sabitlik hallarının enerji obyektlərinə göstərdiyi təsirlər, bu sistemlərin istismar müddətini azaldır və eyni zamanda avadanlıqların sıradan çıxması ilə nəticələnən texniki və iqtisadi itkilərə səbəb olur. Xüsusilə transformatorlar, açar qurğular, avtomatlaşdırma sistemləri və idarəetmə blokları bu cür qeyri-sabitliklər qarşısında funksionallığını itirə və ya tamamilə sıradan çıxma bilər. Bu baxımdan müasir mühafizə vasitələrinin tətbiqi aktuallığını getdikcə artırır. Mikroprosessor əsaslı rele sistemləri, real vaxt rejimində işləyən nəzarət texnologiyaları və avtomatlaşdırılmış gərginlik tənzimləyiciləri enerji obyektlərində təhlükəsizlik səviyyəsinin yüksəldilməsinə, idarəetmənin çevik və optimal təşkilinə, həmçinin risklərin minimuma endirilməsinə geniş imkanlar yaradır.

Bu texnologiyalar işçi gərginlik siqnallarında baş verən dəyişiklikləri dərhal qeydə alaraq avtomatik cavab reaksiyası formalaşdırmaqla sistemi qısa müddətdə balans vəziyyətinə gətirə bilir. Bununla yanaşı, SCADA tipli rəqəmsal nəzarət platformaları və digər mərkəzləşdirilmiş idarəetmə vasitələri sistemin fasiləsiz izlənməsinə və idarə olunmasını təmin edir ki, bu da texniki təhlükəsizliyin möhkəmləndirilməsi ilə yanaşı, operativ qərarvermə proseslərinin də daha effektiv təşkilinə şərait yaradır. Artan enerji tələbatı və enerji sistemlərinin struktur baxımından mürəkkəbləşməsi fonunda bu tip texnoloji yeniliklərin tətbiqi zərurətə çevrilmişdir. Əldə olunan təcrübələr göstərir ki, bu sistemlərin tətbiqi yalnız sıradan çıxma hallarını azaltmaqla kifayətlənmir, eyni zamanda enerji resurslarından daha səmərəli istifadəni, xərclərin optimallaşdırılmasını və ümumi sistem etibarlılığını təmin edir. Bu mənada təqdim olunan tədqiqat işi, enerji obyektlərində işçi gərginliklərdən müasir mühafizə vasitələrinin texniki və funksional baxımdan təhlilinə yönəlmişdir. İşçi gərginliklər enerji sistemlərində avtomatlaşdırılmış idarəetmə, monitoring və siqnalizasiya funksiyalarını yerinə yetirmək üçün istifadə olunan 24V, 48V, 110V və 220V səviyyəli gərginlikləri əhatə

edir. Bu gərginliklər relelər, kontaktorlar, PLC sistemləri və digər həssas qurğular üçün əsas enerji mənbəyi hesab olunur. Onların sabitliyi avtomatlaşdırılmış sistemlərin etibarlı işləməsi üçün həlledici əhəmiyyət kəsb edir. Əgər bu gərginliklərdə dəyişikliklər, impulsar, qəfil sıçrayışlar və ya kəsintilər baş verərsə, bu hal texnoloji proseslərin pozulması, nəzarət sistemlərinin fəaliyyətsiz qalması və nəticədə istehsalatda fasilələrlə nəticələnə bilər. Belə halların əsas səbəbləri sırasında şəbəkədə baş verən qısaqapanmalar, izolyasiya pozuntuları, torpaqlama problemləri və enerji təchizatı mənbələrindəki nasazlıqlar yer alır. Bu cür texniki təhlükələr həm istehsalat prosesinə ciddi zərbə vurur, həm də iqtisadi baxımdan yüksək xərclərə səbəb olur. Enerji obyektlərində baş verən bir neçə dəqiqəlik fasilə belə, avadanlıqların sıradan çıxması, təmir və bərpa işlərinə əlavə vəsaitlərin yönəldilməsi, istehsalın dayanması və enerji itkiləri ilə müşayiət oluna bilər.

### **Nəticə**

Nəticə olaraq, işçi gərginliklərdən qaynaqlanan texniki və funksional nasazlıqların qarşısının alınması məqsədilə müasir mühafizə vasitələrinin tətbiqi enerji obyektlərinin təhlükəsiz və fasiləsiz fəaliyyətinin təmin edilməsində əsas rol oynayır. Mikroprosessor əsaslı rele sistemləri, avtomatik gərginlik tənzimləyiciləri və real vaxt rejimində işləyən monitoring texnologiyaları sayəsində işçi gərginlik zəncirində yaranan dəyişikliklərə sürətli cavab verilir, qəza riskləri minimuma endirilir və avadanlıqların istismar müddəti uzadılır. Bu texnologiyaların tətbiqi yalnız nasazlıqların qarşısını almaqla kifayətlənmir, eyni zamanda enerji sisteminin bütövlükdə optimallaşdırılmasına, itkilərin azaldılmasına və texniki xidmətlərin daha çevik həyata keçirilməsinə zəmin yaradır.

Araşdırmanın nəticələri göstərir ki, işçi gərginliklərinin keyfiyyət parametrlərinə nəzarət, enerjinin fasiləsiz ötürülməsi, SCADA və digər rəqəmsal nəzarət sistemləri ilə inteqrasiya, həm texniki təhlükəsizliyin, həm də iqtisadi səmərəliliyin təmin olunmasına xidmət edir. Bu isə enerji infrastrukturunun davamlı inkişafı və rəqəmsallaşma strategiyasının uğurla həyata keçirilməsi baxımından strateji əhəmiyyət daşıyır. Nəticə etibarilə, enerji sistemlərinin gələcək inkişafında müasir mühafizə texnologiyalarının tətbiqi qaçılmaz və prioritet istiqamətlərdən biri kimi dəyərləndirilməlidir.

### **Ədəbiyyat**

1. Корепанов, А. А. (1998). *Обоснование эффективности резистивного заземления нейтрали сетей 6(10) кВ* (Диссертация кандидата технических наук). Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург. 103 с.
2. Титенков, С. С. (2001). *Анализ перенапряжений при дугowych, феррорезонансных и коммутационных электромагнитных переходных процессах в сетях 6–35 кВ* (Диссертация кандидата технических наук). Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург. 217 с.
3. Костенко, М. В., Богатенков, И. М., Михайлов, Ю. А., & Халилов, Ф. Х. (1983). *Заземления в сетях высокого напряжения и средства защиты от перенапряжений*. Ленинград: Ленинградский политехнический институт. 72 с.
4. Костенко, М. В., Богатенков, И. М., Михайлов, Ю. А., & Халилов, Ф. Х. (2001). *Перенапряжения и защита от них в электрических сетях 35–220 кВ*. Самара: Самарский государственный технический университет. 320 с.

### **Summary**

#### **APPLICATION OF MODERN PROTECTION DEVICES FOR ENERGY FACILITIES FROM OVERVOLTAGES**

*Novruzova H. I., Ahmadov S. E.*

Protection of energy facilities from operating voltages is carried out more efficiently and reliably with the application of modern technologies. In this area, microprocessor-based relay protection systems, automatic voltage regulators and real-time monitoring devices play an important role. Microprocessor relays are distinguished as highly sensitive and fast-reacting systems that can be programmed with flexible parameters. By accurately identifying faults, they ensure the continuous operation of the energy system and minimize damage caused by sudden voltage changes. Automatic voltage regulators, by maintaining the stability of the energy supply, ensure the long-term operation of both consumer equipment and the electrical network. These devices promptly adapt to load changes in the network and maintain the voltage level in the optimal range. On the other hand, monitoring systems operating in real-time mode continuously monitor and analyze all important parameters of energy facilities with the integration of information technologies. This allows for early detection of accidents, timely implementation of preventive measures, and increased system stability.

**Keywords:** energy facilities, operating voltage, protection devices, relay systems, sustainable energy.

**Резюме**  
**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ОТ**  
**ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ**

Новрузова Х. И., Ахмадов С. Э.

Защита объектов энергетики от рабочих напряжений осуществляется более эффективно и надежно с применением современных технологий. В этой области особенно важную роль играют микропроцессорные системы релейной защиты, автоматические регуляторы напряжения и устройства мониторинга в реальном времени. Микропроцессорные реле выбираются как высокочувствительные, быстро реагирующие системы, которые можно запрограммировать с помощью гибких параметров. Они обеспечивают бесперебойную работу энергосистемы за счёт точного определения неисправностей и минимизации ущерба, вызванного резкими колебаниями напряжения. Автоматические стабилизаторы напряжения поддерживают стабильность электроснабжения, обеспечивая длительную работу как потребительского оборудования, так и электросети. Эти устройства оперативно адаптируются к изменениям нагрузки в сети, поддерживая уровень напряжения в оптимальном диапазоне. С другой стороны, системы мониторинга в реальном времени непрерывно отслеживают и анализируют все важные параметры энергетических объектов благодаря интеграции информационных технологий. Это позволяет заблаговременно выявлять аварийные ситуации, своевременно принимать профилактические меры и повышать устойчивость системы.

**Ключевые слова:** энергетические объекты, рабочее напряжение, устройства защиты, релейные системы, устойчивая энергетика.

**НЕГАТРОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ  $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$**

**Байрамов Джошкун Джумшут оглу**

**Абдулова Иззат Наджмадин кызы**

**Гулиева Севинж Шахин кызы**

*Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан*

[izzet.abdulova@mail.ru](mailto:izzet.abdulova@mail.ru)

**Резюме** В работе приводятся результаты исследований особенности поведения электронной подсистемы в процессе возникновения и формирования памяти в твердых растворах системы  $TlInTe_2-TlGdTe_2$ . Установлено, что все они обладают переключающими свойствами с памятью. Наличие в них области отрицательного сопротивления, наблюдаемые задержки перед переключением, образование нитевидных каналов и формирование электрической памяти можно объяснить как электронной, так и тепловой природой механизма переключения.

**Ключевые слова:** негатронные эффекты, твердые растворы, напряжение порогового переключения, отрицательное дифференциальное сопротивление, U и N просесы

Негатроника является одним из последних достижений электроники. Это направление связано с теорией и практикой создания и применения негатронов- электронных приборов, имеющих в определенном режиме отрицательное значение основного дифференциального параметра- активного сопротивления, емкости, индуктивности. Устройства на основе негатронов, являются потенциально-неустойчивыми и при измерении их параметров особое место занимает вопрос устойчивости. Использование различных физических эффектов внутри полупроводниковых структур при получении отрицательного сопротивления, обеспечивает прямое преобразование различных видов энергии внутри кристалла, что снижает энергетические затраты и при определенных условиях обеспечивает режим сверхчувствительности к различным энергетическим воздействиям [1-3]. Автор работы [2] рассуждая о дальнейшей перспективе развития негатроники, отмечает, что негатроны останутся основным элементом СВЧ генераторов и усилителей. По мнению автора, можно возражать, что современные успехи транзисторной технологии позволяют строить усилители и генераторы на транзисторах, например со структурой Шоттки, способных усиливать и генерировать сигналы на частотах в нескольких десятках гигагерц. Это действительно так. Но известно, что транзистор на таких частотах становится потенциально - неустойчивым, т.е. при определенных нагрузках между его электродами наблюдается отрицательное динамическое сопротивление, т.е. он по существу становится негатроном. Динамические негатроны имеют отрицательное значение основного дифференциального параметра в некотором определенном диапазоне частот. У статических негатронов на основной характеристике ( вольт - амперная для R- негатронов, кулон - вольтная для C- негатронов, вебер-амперная для L-негатронов) наблюдается падающий участок, где значение основного дифференциального параметра является отрицательным. Статические негатроны по форме основной характеристики делятся на негатроны N- и S- типа. Бистабильные халькогенидные переключатели работают на основе двух эффектов: переключение и образование памяти, т.е. стабильного канала повышенной проводимости сохраняющего свои свойства при отключении питания. Эффект переключения, сопровождающиеся образованием канала с большой плотностью

тока в однородном полупроводниковом веществе, хорошо изучен теоретически и экспериментально [5-7]. Считается, что образование памяти происходит в перегретой вестви шнура тока и связано с фазовым переходом первого рода из аморфного состояния в поликристаллическое, которое является термодинамически устойчивым и обеспечивают более высокую проводимость канала относительно аморфной среды. Такая модель основана на результатах физико-химических исследований вещества канала памяти халькогенидных переключателей. Однако существуют некоторые экспериментальные факты, необъяснимые с единственной точки зрения чисто термического фазового перехода. В последнее время бистабильное переключение наблюдалось также в различных монокристаллических веществах, в сложных полупроводниках, в диодных структурах на основе поликристаллов. Обнаруженное в ряде экспериментов влияние на процессы запоминания температуры образца магнитного поля, механическая давления и интенсивности света, нарушение симметричности вольт-амперных характеристик при различных контактах также не объясняются температурными эффектами в исследуемых веществах.

Доклад посвящен исследованию особенностей поведения электронной подсистемы в процессе возникновения и формирования канала памяти в твердых растворах  $TlInTe_2-TlGdTe_2$ . ( $0 \leq x \leq 0,08$ ). Объектами исследования являлись поликристаллы твердых растворов системы  $TlInTe_2 - TlYbTe_2$  взаимодействие в которой исследовано в работах [8-10], из которых следует, что в этой системе на основе исходного соединения  $TlInTe_2$  образуются твердые растворы при  $0 \leq x \leq 0,10$  мол. %  $TlGdTe_2$ . Режим синтеза твердых растворов и отжига их для получения равновесного состояния подробно описан в работах [8-11].

Экспериментальные ВАХ в статическом и динамическом режимах снимались по стандартной методике. В качестве исследуемых образцов применялись планарные и пленочноторцевые диодные структуры, представляющие собой слой исследуемых материалов, нанесенный на полированную графитовую подложку методом термического испарения. В качестве материала для контактов планарных структурах применялись медь или железо, нанесенные методом конденсации металлической плазмы на поверхность полупроводника. Толщина халькогенидного слоя варьировалась в пределах 5-50 мкм, однородность состава по толщине проверялась рентгенографическом микроанализом.

Исследование показало, что зависимости напряжения порогового переключения ( $U_{mn}$ ) от толщины образцов носит экспоненциальный характер:  $E_n(d) = const \cdot exp(-ad)$ , где  $d$ - толщина образца. Такой характер зависимости  $V_{nn}(d)$  свидетельствует о том, что в исследуемых образцах проявляется как электронная, так и тепловая природа механизма переключения. Такая модель позволяет объяснить наличие области ОС, наличие задержки перед переключением, образование нитевидных каналов и формирование электрической памяти в исследуемых объектах.

Методика эксперимента для экспериментального исследования особенностей поведения электронной подсистемы в процессе возникновения и формирования канала памяти основана на наблюдении и исследовании флуктуаций плотности тока при переключении корреляции их с процессами запоминания. Стационарные шумы, для которых среднеквадратичная величина амплитуды не зависит от времени в процессах обратимого переключения и шунтирования тока, исследовались в работах [5-6] для различных механизмов отрицательного дифференциального сопротивления. Настоящее исследование отличается тем, что в данном случае шунтирование тока сопровождается необратимыми процессами запоминания.

Зависимость амплитуды шума от силы тока через образец при уменьшении тока обладает стабильной ветвью, и при этом необратимые процессы не наблюдаются. Важно отметить, что переход к необратимым изменениям канала памяти происходит с определенной пороговой величины тока, с которой мы прерываем процесс расширения канала памяти. Таким образом, расширение канала памяти можно представить как флуктуационное развитие некоторого нелинейного электронного механизма, обладающего пороговой величиной плотности тока. Из исследований выяснения роли температурных эффектов в наблюдаемом явлении можно сделать вывод о том, что наблюдаемое явление расширения канала памяти не обусловлено температурным механизмом, а определяется плотностью тока в канале [7].

## Литература

1. Серьезнов А. Н., Филинюк Н. А., Касимов Ф.Д. и др. Негатроника. Новосибирск, Наука. Сибирское отделение РАН. 1995, 314с.
2. Филинюк Н. А. Достижения негатроники и перспективы ее развития/ труды третьей международной научно - технической конференции МЭП, Баку-Сумгаит, 2001,с. 31-33.

3. Филинюк Н. А., Касимов Ф.Д. Негатроника в XXI – столетии. Труды межд. конф. «Научно-технический прогресс и современная авиация». Баку.2009. с. 15-18.
4. Пашаев А. М., Касимов Ф.Д. Классификация негатронов и их параметров. Труды пятой международной научно- технической конференции «Актуальные проблемы физики». Баку-2008, с. 5-10.
5. Михайловский С.С., Виноградов М.С. О механизме образования «памяти» в аморфных халькогенидных переключателях // ФТП. 14, В.9, 1988,с.1720-1723.
6. Костылев С. А., Шкут В. А. Структура, физико- химические свойства и применение некристаллических полупроводников. Кишинев.1989, с.280-284.
7. Зарбалиев М. М. Особенности механизмов образования памяти и появления ОДС в твердых растворах  $TlIn_{1-x}Sm_xSe_2$ . Аз.ТУ. «Elmi əsərlər- Fundamental Elmlər». Bakı-2007, j.VI (21), №1, s.36-38.

#### Xülasə

### $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$ BƏRK MƏHLULLARINDA NEQATRON EFFEKTlər

*Bayramov C.C., Abdulova İ.N., Quliyeva S.Ş.*

Məqalədə  $TlInTe_2$  -  $TlGdTe_2$  sisteminin bərk məhlullarında yaddaşın meydana gəlməsi və formalaşması prosesində elektron alt sisteminin davranışlarının nəticələri araşdırılır. Onların hamısının yaddaşlı çevirmə xüsusiyyətlərinə malik olduğu müəyyən edilmişdir. Onlarda mənfi müqavimət oblastının mövcudluğu, çevirmədən əvvəl müşahidə olunan gecikmələr, sarpvari kanalların meydana gəlməsi və elektrik yaddaşının formalaşması həm elektron, həm də istilik mexanizmləri nöqtəyi-nəzərindən izah oluna bilər.

**Açar sözlər:** neqatron effektlər, bərk məhlullar, astana gərginliyi, mənfi diferensial müqavimət, U və N proseslər

#### Summary

### NEGATRONIC EFFECTS IN SOLID SOLUTIONS $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$

*Bayramov C. C., Abdulova I. N., Guliyeva S. Sh.*

The paper presents the results of studies of the behavior of the electronic subsystem in the process of the emergence and formation of memory in solid solutions of the  $TlInTe_2$ - $TlYbTe_2$  system. It is established that they all have switching properties with memory. The presence in them of a region of negative resistance, the observed delays before switching, the formation of threadlike channels and the formation of electric memory can be explained by both the electronic and thermal nature of the switching mechanism.

**Keywords:** negatron effects, solid solutions, threshold switching voltage, negative differential resistance, U and N transients,

## TLINSE<sub>2</sub> BİRLƏŞMƏSİNDƏ KİMYƏVİ RABİTƏNİN İSTİDƏN GENİŞLƏNMƏYƏ TƏSİRİ

### Xəlilova Rübabə Cavanşir

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[hey-m\\_1966@mail.ru](mailto:hey-m_1966@mail.ru)

**Xülasə** Geniş temperatur (80÷400)K və konsentrasiya ( $0 \leq x \leq 0,009$ ) intervalında  $TlInSe_2$  birləşməsində istidən xətti genişlənmə əmsalının temperatur asılılığı ( $\alpha(T)$ ) tədqiqi olunmuşdur. Bir sıra yarımkeçirici maddələrdə kimyəvi rabitəyə dair əvvəllər irəli sürülmüş anlayışlara görə  $TlInSe_2$  və onu əsasında alınan bərk məhlullar üçün  $\alpha$  hesablanmışdır və alınan qiymətlər təcrübü nəticələrlə yaxşı uzlaşır.  $\alpha$ -nın ölçülən qiyməti öz növbəsində tədqiq olunan maddələrlə kimyəvi rabitənin xüsusiyyətlərini daha ətraflı başa düşməyə imkan verir. Bu məqsədlə  $TlInSe_2$  birləşməsində atomların koordinatları əsasında ilk dəfə istidən genişlənmənin müxtəlif temperaturalarda nəzəri olaraq hesablanmış və onun təcrübü qiymətləri ilə müqayisə aparılmışdır.

**Açar sözlər:** Birləşmə, kimyəvi rabitə, anharmoniklər, monokristal, qadağan zonanın eni, assimetriya, tetroqonal ox, rabitə enrejisi

Təqdim olunan materialda (80÷400) K temperaturda  $TlInSe_2$  üçqat birləşməsinin istidən xətti genişlənmə əmsalının temperatur asılılığı tədqiqi olunmuşdur.  $TlInSe_2$  monokristal laylı-zəncirvari quruluşa malik TlSe tipli yarımkeçiricilər qrupuna daxildir. Bu birləşmədə atomlar arası qarşılıqlı təsirin və kimyəvi rabitənin xarakteri [1] işində öyrənilmişdir.

Renqenoqrafik və elektrofiziki tədqiqatlar göstərmişdir ki,  $TlInSe_2$  kristalı

$D_{4h}^{18}$ (J4/mcm) qrup simmetriyasına daxil olub tetroqonal sinqoniyada kristallaşır və elementar özəyin parametrləri Veeqard qanununa uyğun olaraq artır, qadağan zonasının eni isə temperatur artması ilə azalır [2]. İstilik və elastiqliyət xassələrinin temperaturdan və konsentrasiyadan asılılığı [3] işində öyrənilmişdir. Lakin bu tədqiqatlar  $TlInSe_2$  – də atomlar arası qarşılıqlı əlaqənin və kimyəvi rabitə

qüvvəsinin təbiətini araşdırmağa imkan vermir. Bu baxımdan tədqiq olunan maddənin istidən xətti genişlənmə əmsalının temperatur asılığını araşdırmaq elmi-praktik baxımdan xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

Kristallik qəfəsdə kimyəvi əlaqənin təbiəti və xarakteri haqqında əlavə məlumat almaq üçün geniş temperatur intervalında (80÷400) K TlInSe<sub>2</sub> kristalının istidən xətti genişlənmə əmsalının temperatur asılılığı kovalent rabitəli p-orbitalı üçün tədqiq edilmişdir.

[4]–işinə əsasən atomlar arası  $d_a$  məsafəsi tetraedrik radiusların cəmi şəklində göstərilə bilər

$$d_a = \sum r \exp b \left( \frac{1}{x} - x \right) \quad (1)$$

Burada b-sabiti yarımkəçiricilər üçün  $\sim 0,089$ -a bərabər götürülür. Atomların rəqslərinin anharmonikliyi əsas elektron səviyyələri p-olduqda, bu rəqslərin onların assimetrik üst-üstə düşməsi zamanı müşahidə oluna bilər. Bu halda atomlar arası məsafə

$$d_a^{\pm} = \sum r_T \exp b \left[ \frac{1}{x \pm y} - (x \pm y) \right] \quad (2)$$

olar,  $d^+$  -azalan,  $d^-$  -artan atomlararası məsafə, y-asimmetriyanın dərəcəsini təyin edən parametrlərdir. (1) və (2) əsasında nəzəri olaraq TlInSe<sub>2</sub> kristalının  $\alpha$  -sı ilə (3) şəklində hesablanıla bilər:

$$\alpha = f \left[ \frac{d_a^+ + d_a^- - 2d_a}{2d_a cT} \right] \quad (3)$$

Atomların koordinatları əsasında tetraedrdə atomlar arası ən qısa məsafə

$$J_n^{3+} - Se_2^- = 2,56 \text{ \AA}, Se^{2-} - Se^{2-} = 3,9 - 4,5 \text{ \AA}, \text{ səkkiztəpəliddə isə}$$

$$Tl^+ - Se^{2-} = 3,42 \text{ \AA}; Se^{2-} - Se^{2-} = 4,6 \text{ \AA}. \text{ Bu halda } J_n^{3+} - Se_2^-$$

rabitəsinin uzunluğu kovalent radiusların cəminə bərabər olduğundan  $J^{3+}(0,81), Se^{2-}(1,98 \text{ \AA})$  bərabər olur. Buradan TlInSe<sub>2</sub> üçqat birləşməsində əlaqənin kovalent xarakterli olması alınır. TlInSe<sub>2</sub> kristalında Se-Se=3,9÷4,5 Å = r<sub>1</sub>, Jn-Se=256 Å = r<sub>2</sub>, olduğundan elektronların p-orbitalı üçün  $x \approx 0,5$  olur.

$$\left. \begin{aligned} (3,5 \div 4,5) &= \sum r_k \exp \left[ \frac{1}{0,5+y} - (0,5+y) \right] \\ 2,56 &= \sum r_k \exp \left[ \frac{1}{0,5-y} - (0,5-y) \right] \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

sistemindən  $\sum r_k = 2,466 \div 2,488$  və  $y = 0,313 \div 0,353$  qiymətləri alınır. (3) bərabərliyində  $f = 1$  qəbul etsək istidən genişlənmə əmsalı üçün  $\alpha = 2,42 \cdot 10^{-6} K^{-1}$  qiyməti alınır. Təcrübi olaraq bu qiymət [3] işində  $\alpha = 2,35 \cdot 10^{-6} K^{-1}$  alınmışdır. Göründüyü kimi  $\alpha$ -üçün təcrübi qiymətlərlə nəzəri qiymətlər  $\sim 2.4\%$  xəta ilə üst-üstə düşür və bir – bir ilə yaxşı uzlaşır.

Beləliklə, TlInSe<sub>2</sub> halında bu maddədə kimyəvi rabitə haqqında tədqimatdan aydın olur ki, tetraqonal quruluşlu TlInSe<sub>2</sub> kristalında temperaturun artması ilə  $\alpha$ -nın artması müşayət olunur, çünki simmetrik şəkildə üst-üstə düşən p-orbitallarının ölçüləri assimetrik şəkildə üst-üstə düşənlərdən kiçikdir.

## Ədəbiyyat

1. Hüseynov Y.Y., Bayramov C.C., Mustafayeva Ü.M. TlIn<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> bərk məhlulların istilik və elastikiyyət xassələri: ISSN1028-8546.2013.Azerb.Journal of Physes №3., p. 6-9
2. Qurbanov M.M., Bayramov C.C., Məmmədov S.C. TlGd<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> bərk məhlulların rentgenquruluş analizi və istidən genişlənməsi. SDU-Elmi xəbərlər. 2015. Cild 15. №2.səh.6-10
3. Zərbəliyev M.M. Energu spektrum of Charge Carries in TlInSe<sub>2</sub> Solid Solituonis. JSSN 1063-7826. Electronic properties of Semikonduktors. 2016.Vol.50.№10.p.1273-1279
4. Наджафов А.И. Химический транспорт и физические свойства TlInSe<sub>2</sub>. Неорган. материалы.1991.Т.27. №3. стр.477- 480

## Summary

### EFFECT OF THERMAL EXPANSION ON CHEMICAL BONDING IN TlInSe<sub>2</sub>

Khalilova R. J.

The temperature dependence of the coefficient of linear thermal expansion ( $\alpha$  (T)) of the TlInSe<sub>2</sub> compound in the wide temperature (80÷400) K and concentration ( $0 \leq x \leq 0.009$ ) interval was studied. According to the previously proposed concepts of chemical bonding in a number of semiconductor materials,  $\alpha$  was calculated for TlInSe<sub>2</sub> and solid solutions obtained on its basis, and the obtained values agree well with the experimental results. The measured value of  $\alpha$ , in turn, allows us to understand in more detail the properties of chemical bonding with the studied substances. For this purpose, for the first time, thermal expansion at different temperatures was theoretically calculated based on the coordinates of atoms in the TlInSe<sub>2</sub> compound and compared with its experimental values.

**Keywords:** Compound, chemical bonding, anharmonics, single crystal, band gap, asymmetry, tetragonal axis, bonding energy.

**Резюме**  
**ВЛИЯНИЕ ТЕПЛООВОГО РАСШИРЕНИЯ НА ХИМИЧЕСКУЮ СВЯЗЬ В TlInSe<sub>2</sub>**

*Халилова Р. Дж.*

Изучена температурная зависимость коэффициента линейного термического расширения ( $\alpha(T)$ ) соединения TlInSe<sub>2</sub> в широком диапазоне температур (80÷400) К и концентраций ( $0 \leq x \leq 0,009$ ). Согласно ранее предложенным представлениям о химической связи в ряде полупроводниковых материалов, рассчитано  $\alpha$  для TlInSe<sub>2</sub> и твердых растворов на его основе, и полученные значения хорошо согласуются с экспериментальными результатами. Измеренное значение  $\alpha$ , в свою очередь, позволяет более детально понять свойства химической связи с изучаемыми веществами. Для этого впервые теоретически рассчитано тепловое расширение при различных температурах на основе координат атомов в соединении TlInSe<sub>2</sub> и проведено сравнение с его экспериментальными значениями.

**Ключевые слова:** Соединение, химическая связь, ангармонизм, монокристалл, запрещенная зона, асимметрия, тетрагональная ось, энергия связи.

## TlInS<sub>2</sub> KRİSTALININ İSTİDƏN GENİŞLƏNMƏSİ VƏ İZOTERMİK SİXİLMASI

**Səlimova Vəfa Vəli qızı**

**Sadıqova Sara Rəşid qızı**

**Şahsuvarova Qərənfil Əbdül qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[vafa.salimova@sdu.edu.az](mailto:vafa.salimova@sdu.edu.az), [sara.sadiqova@sdu.edu.az](mailto:sara.sadiqova@sdu.edu.az), [qaranfil.shahsivarova@sdu.edu.az](mailto:qaranfil.shahsivarova@sdu.edu.az)

**Xülasə.** TlInS<sub>2</sub> monokristalının izotermik sıxılma və istidən xətti genişlənmə əmsallarının temperatur asılıqları tədqiq edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, 210 K temperaturda ikinci növ faza keçidi baş verir. Təcrübi qiymətlər əsasında kristal qəfəsdə atomlararası orta kvadratik yerdəyişmə, Debay temperaturu, sabit təzyiqdə və sabit həcmdə istilik tutumları fərqi ( $C_p-C_v$ ), həmçinin Qrunayzen parametri hesablanmışdır. ( $C_p-C_v$ ) üçün termodinamik yolla hesablanmış qiymətlərlə empirik yolla hesablanmış qiymətlər arasında fərq TlInS<sub>2</sub> kristalının anizotropluğu ilə əlaqələndirilmişdir.

**Açar sözlər:** laylı-zəncirvari quruluş, Debay temperaturu, Qrunayzen parametri, ortakvadratik yerdəyişmə, monoklin sinqoniyə.

Üçqat halkogenidlər qrupu laylı və zəncirvari quruluşa malik olmaqla güclü anizotropiya xassələrinə görə bir sıra maraqlı fiziki xassələrə malikdir. Rentgenoqrafik və kolorimetrik tədqiqatlar, həmçinin elektrik keçiriciliyinin tədqiqi göstərmişdir ki, laylı-zəncirvari quruluşa malik TlInS<sub>2</sub> -də bir neçə faza keçidi mövcuddur [1]. [1]-ə əsasən TlInS<sub>2</sub> kristalı monoklin sinqoniyada kristallasaraq qəfəs parametrləri aşağıdakı qiymətlər alır:  $a=10.95$ ;  $b=10.95$ ;  $c=15.44A^0$ ,  $z=16$  fəza qəfəsi  $C_c-C_5^4$  olmaqla  $\sim 210$  K temperaturda  $\alpha(T)$  asılılığında anomaliya müşahidə olunur.

TlInS<sub>2</sub> kristalında müşahidə olunan faza keçidi (FK) haqqında əlavə məlumat almaq məqsədi ilə (77-400) K temperaturda istidən xətti genişlənmə və izotermik sıxılma əmsalının temperaturdan asılılığı öyrənilmişdir.

Tədqiqat məqsədi ilə TlInS<sub>2</sub> kristalı [2] əsasında sintez olunmuş və Bricmen üsulu ilə monokristalı alınmışdır. İstidən xətti genişlənmə və izotermik sıxılmanın tədqiqi [3] işində göstərilmiş qurğuda aparılmışdır. Hərtərəfli sıxılmanın ölçülməsi üçün sistem  $10^5 \sim 10^6$  Pa təzyiq altında helium qazı ilə sıxılmışdır. Q3-33 tezlik ölçünün həssaslığını artırmaq məqsədi ilə Şmidtinteqral sxemindən istifadə olunmuşdur. TlInS<sub>2</sub>-nin izotermik sıxılma əmsalının temperatur asılılığının təyini məqsədi ilə etalon nümunə Cu və Al-un uyğun temperaturlarında  $\chi_T$ -qiymətlərinin müqayisəsi aparılmışdır.

İstidən genişlənmə və izotermik sıxılmanın ölçü xətalari uyğun olaraq 1.5% və 4.5% olmuşdur.

Hər iki istidən genişlənmə  $\alpha(T)$  və izotermik sıxılmanın ( $\chi_T$ ) temperatur asılıqlarında  $\sim 210$  K temperaturunda sıcrayışlı keçid baş verir ki, bu da II növ faza keçidinə uyğun gəlir. İstidən xətti genişlənmə və izotermik sıxılma əmsallarının təcrübi qiymətləri əsasında Debay temperaturu ( $\theta$ ) və kristallıq qəfəsdə atomlarının ortakvadratik yerdəyişməsi ( $\sqrt{u^{-2}}$ ) hesablanmışdır.

$$\theta = \frac{19.37}{(AV^{\frac{2}{3}}\alpha)^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

$$\sqrt{u^{-2}} = \frac{4.3 \cdot 10^{-14} [D(\theta/T)]^{\frac{1}{4}}}{A^{-\theta}} \quad (2)$$

Burada,  $A^-$  atomun ortakvadratik kütləsi,  $V^-$  atomun həcmi,  $D(\theta/T)$ - Debay funksiyasıdır.  $\theta$  və  $\sqrt{u^{-2}}$ -nin (1) və (2)- düsturları ilə qiymətləri hesablanmışdır. Müəyyən olunmuşdur ki, temperaturun artması ilə  $\sqrt{u^{-2}}$ -nin qiymətləri artdığı halda,  $\theta$ -nin qiyməti azalır. Hesablanan kəmiyyətlərin temperaturdan

asılı olaraq belə dəyişməsi atomlararası kimyəvi rabitə qüvvəsinin qiymətinin azalması ilə izzah olunur.  $\alpha$  və  $\chi_T$ -nin təcrübi qiymətlərini bilməklə sabit təzyiqdə və sabit həcmdə istilik tutumların fərqi hesablanmışdır.

$$C_p - C_v = \frac{9\alpha^2 VT}{\chi_T} \frac{m}{M} \quad (3)$$

İstilik tutumları fərqi həmçinin Nernst-Lindman düsturu ilə də hesablanmış və alınan qiymətlərin (3) ilə müqayisəsi aparılmışdır.

$$C_p - C_v = 0.0214 C_p^2 \frac{T}{T_{\text{ar}}} \quad (4)$$

(3) və (4) ilə  $C_p$  və  $C_v$  ilə hesablanmış qiymətlərin müqayisəsi göstərilmişdir ki,  $(C_p - C_v)$  üçün (3) ilə hesablanmış qiymətlər (4) ilə hesablanmış qiymətlərdən kiçikdir. Bu isə onu göstərir ki (4) ilə hesablanmış qiymətlər yalnız metallar üçün ödəndiyi halda . laylı və zəncirvari quruluşa malik yarımkəçiricilər üçün (3) düsturu ödənilir.

TlInS<sub>2</sub> -də istidən genişlənmə, izotermik sıxılma həmçinin sabit təzyiqdə istilik tutumunun qiymətləri əsasında atomların rəqsinin anharmoniklik dərəcəsinə xarakterizə edən Qrunayzen parametrinin qiymətləri (5) ifadəsindən tapılmışdır.

$$\gamma = \frac{3\alpha\chi}{c_v \chi_T} \quad (5)$$

Hesablamalar göstərmişdir ki, TlInS<sub>2</sub> monokristalında temperaturun artması ilə Qrunayzen parametrinin qiyməti də artır və ~240 K-ə qədər sabit qiymət alır. Qrunayzen parametrinin belə qiymət alması onu göstərir ki, ~240 K-ə qədər TlInS<sub>2</sub> kristalında temperaturun artması ilə atomlararası rabitə azalır və ~240 K-dən sonra kimyəvi rabitə qüvvəsinin qiyməti dəyişməz qalır.

## Ədəbiyyat

1. Алиев В.А., Алджанов М.А., Алиев С.Н. Несоизмеримый фазовой переход в TlGaTe<sub>2</sub> // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 45. Вып.9. С. 418-420
2. Абдуллаева С.Г., Абдинбеков С.С., Гусейнов Г.Г. О кристаллической структуре соединений TlM<sup>III</sup>X<sub>2</sub> (M<sup>III</sup>-In, Ga; X-S, Se)// Докл.АН Фэ ССР.1980 Т.26.№ 8. С. 34-38.
3. Годжаев Э.М., Зарбалиев М.М., Курбанов М.М. Дилатометр для измерения ТКЛП твердых тел в широком интервале температур// Измерит. Техника. 1985. №11. С. 44-45.
4. Сирота Н.Н. , Чижевская С.Н. Физика и физикохимический анализ. М.:Госстрой,1957.186с.
5. Францевич И.Н. Вопросы порошковой металлургии и прочности материалов. Киев: Изд-во АНУССР,1956. Вып.3.22с
6. Тарасов В.В. Проблемы физики стекла. М.: Стройиздат, 1979. 169с.
7. Базаров Н.П. Термодинамика. М.: Высш. Шк., 1976.78с.
8. Курбанов М.М. Тепловое расширение и изотермическая сжимаемость TlGaSe<sub>2</sub>// Неорган. материалы.2001. Т.37 №12.С. 1447-1448.

## Summary

### THERMAL EXPANSION AND ISOTHERMAL CONTRACTION OF THE TLINS<sub>2</sub> CRYSTAL

*Salimova V.V., Sadiqova S.R. , Shakhshvarova Q.A.*

The temperature dependences of the isothermal compression and thermal expansion coefficients of the TlInS<sub>2</sub> single crystal were studied. It was found that a second-order phase transition occurs at a temperature of 210 K. Based on the experimental values, the mean square displacement between atoms in the crystal lattice, the Debye temperature, the difference in heat capacities at constant pressure and constant volume ( $C_p - C_v$ ), and the Gruneisen parameter were calculated. The difference between the thermodynamically calculated values for ( $C_p - C_v$ ) and the empirically calculated values was associated with the anisotropy of the TlInS<sub>2</sub> crystal.

**Keywords:** layered-chain structure, Debye temperature, Gruneisen parameter, root-mean-square displacement, monoclinic syngony.

## Резюме

### ТЕРМИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ И ИЗОТЕРМИЧЕСКОЕ СЖАТИЕ КРИСТАЛЛА TLINS<sub>2</sub>

*Салимова В.В., Садыгова С.Р., Шахшварова Г.А.*

Изучены температурные зависимости изотермического коэффициента сжатия и термического линейного расширения монокристалла TlInS<sub>2</sub>. Установлено, что при температуре 210 К происходит фазовый переход второго типа. На основании экспериментальных значений рассчитаны среднеквадратичное смещение между атомами в кристаллической решетке, температура Дебая, разность теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме ( $C_p - C_v$ ), а также параметр Грюнайсена. Разница между термодинамически рассчитанными значениями ( $C_p - C_v$ ) и эмпирически рассчитанными значениями объясняется анизотропией кристалла TlInS<sub>2</sub>.

**Ключевые слова:** Слоисто-цепочечная структура, температура Дебая, параметр Грюнайсена, среднеквадратичное смещение, моноклинная сингония.

# CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>2</sub>Cl PEROVSKİT TƏBƏQƏSİNİN SİNTEZİ VƏ OPTİK XASSƏLƏRİ

Nuriyeva Sevinc Qərib qızı

Məmmədova Səbinə Xəqani qızı

Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan

[snuriyeva@bsu.edu.az](mailto:snuriyeva@bsu.edu.az), [sabinamammadoffa@gmail.com](mailto:sabinamammadoffa@gmail.com)

**Xülasə.** Bu tədqiqatda qurğuşunsuz hibrid perovskit materialı CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>2</sub>Cl sintez edildi və onun adsorbsiya və parlaq xüsusiyyətləri öyrənilməsi. Materialın optik udma xüsusiyyətləri UV-görünən spektroskopiyaya ilə analiz edildi və geniş spektral diapazonda effektiv işıq udulmasını aşkar etdi. Lüminesan xüsusiyyətləri fotoluminesan (FL) spektroskopiyası ilə araşdırılmış və materialın görünən spektral diapazonda intensiv və dar zonalı şüalanma nümayiş etdirdiyi aşkar edilmişdir. Bu nəticələr CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>2</sub>Cl-nin optoelektronika və sensor texnologiyalarında potensial tətbiqlərini göstərir.

**Açar sözlər:** Metilammonium qalay diyodid xlorid (CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>2</sub>Cl), udulma spektri, fotoluminessensiya, qadağan olunmuş zonanın eni.

Son illərdə təmiz enerji texnologiyalarına artan maraq, günəş enerjisindən daha səmərəli və sərfəli istifadə yollarının axtarışını sürətləndirmişdir. Bu kontekstdə, yeni nəsil kristal struktura malik materiallar, xüsusilə perovskit əsaslı fotovoltaiq sistemlər tədqiqatçıların diqqətini cəlb edir. Perovskitlər dielektrik, ferroelektrik, termoelektrik, elektro-optik, keçirici və superkeçirici xüsusiyyətləri ilə yanaşı, qadağan olunmuş zona enerjisini dəyişə bilmə qabiliyyəti ilə tanınan perspektivli materiallardır. Bu materiallar, kubik kristal quruluşuna malikdir və iç-içə yerləşmiş oktaedrik təbəqəli strukturlardan ibarətdir. Temperatur və tərkibə bağlı olaraq, perovskitlər kubik, tetragonal və ortorombik fazalara keçid edə bilirlər [1]. Perovskitlərin yüksək işıq udma qabiliyyəti, uzun məsafəli elektron daşınması və aşağı qeyri-radiativ rekombinasiya dərəcələri, onları yüksək performanslı optoelektronika və effektiv fotovoltaiq cihazlar üçün cəlb etmişdir [2-3]. Son dövrlərdə aparılan araşdırmalar, bu sistemlərin səmərəliliyini artırmaq və uzunmüddətli sabitliyini təmin etmək istiqamətində mühüm irəliləyişlərə səbəb olmuşdur. Beləliklə, bu texnologiyalar, gələcəkdə geniş miqyasda tətbiq olunaraq, enerji sektorunda mühüm dəyişikliklərə yol açabilir.

Baxılan bu tədqiqat işində CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>2</sub>Cl perovskit təbəqəsinin sintezi və optik xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi həyata keçirilmişdir.

CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>2</sub>Cl perovskit təbəqəsinin sintezi iki mərhələdə edilmişdir. İlk mərhələdə metilamin (CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>) və hidrogen yodid (HI) turşusu ilə buz vannasında qarışdırılmış və alınan metilammonium yodid (CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>I) həlledicilərdən fırlanan buxarlandırıcı vasitəsi ilə ayrılaraq vakuum sobasında kristallaşdırılmışdır. İkinci mərhələdə isə metilamonim yodid və qalay (II) xlorid SnCl<sub>2</sub> duzları 60 °C temperaturda maqnit qarışdırıcıda qarışdıraraq sintez edilmiş CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>2</sub>Cl pastası “doctor blade” texnikası ilə şüşə üzərinə çəkilərək nazik təbəqə halına salınmış və 100 °C temperaturda vakuum sobasında 1 saat qurudulmuşdur.

Udulma spektrin təhlili göstərir ki, CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>2</sub>Cl perovskiti əsasən 820-880 nm arasında güclü udma qabiliyyətinə malikdir. Eyni zamanda udulma spektrinə əsasən CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>2</sub>Cl perovskit materialın qadağan olunmuş zona eni hesablanmış və alınmış qiymət Eg=1,55 eV olaraq təyin edilmişdir. Sintez edilmiş CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>2</sub>Cl perovskit materialının lüminessensiya spektri təhlilinə əsas emissiya piki 820 nm dalğa uzunluğunda qeydə alınmışdır. Bu nəticə, materialın yaxın infraqırmızı spektral bölgədə işıq yaydığını və dar qadağan olunmuş zona eninə malik olduğunu göstərir. Belə xüsusiyyətlər, onu optoelektronika və yaxın infraqırmızı diapazonunda çalışan cihazlar üçün perspektivli yarımkeçirici material kimi təqdim edir [3,4].

Sintez edilmiş CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>2</sub>Cl və CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>3</sub> perovskit təbəqəsinin müqaisəli təhlili zamanı Cl anionunun materiala daxil edilməsi sayəsində onun optik xassələrində müəyyən dəyişikliklər qeydə alınmışdır. Belə ki, Cl anionu daxil edilmiş CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>2</sub>Cl perovskit təbəqəsinin qadağan olunmuş zonasının artması ilə müşahidə edilmişdir. Bu artım, perovskitin adsorbsiya spektrində mavi istiqamətə dəyişməsinə, yəni material daha qısa dalğa uzunluqlarında işıq udmağa başlayır. Bu dəyişikliklər, perovskitin görünən işıq spektrində adsorbsiya qabiliyyətini azalda bilər, lakin eyni zamanda materialın kristal strukturu və termal sabitliyi yaxşılaşır. Bu xüsusiyyətlər, perovskitin uzunmüddətli stabil işləməsi üçün olduqca əhəmiyyətlidir. Bundan əlavə Cl anionu perovskit təbəqələrinin elektrik keçiriciliyinə və daşıyıcıların diffuziya uzunluğuna da təsir edə bilər. Bu dəyişikliklər, perovskitin optoelektronika tətbiqlərində, xüsusilə günəş batareyalarında və fotodetektorlarında istifadəsini daha da perspektivli edir [5].

1. Jingying Liu, Yunzhou Xue, Ziyu Wang, Zai-Quan Xu, Changxi Zheng, Bent Weber, Jingchao Song, Yusheng Wang, Yuerui Lu, Yupeng Zhang, and Qiaoliang Bao, Two-Dimensional CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub> Perovskite: Synthesis and Optoelectronic Application, ACS publications, 2016, doi:10.1021/acsnano.5b07791
2. Amal Bouich, Julia Mari-Guaita, Bernabé Mari Soucase, and Pablo Palacios, Manufacture of high-efficiency and stable lead-free solar cells through antisolvent quenching engineering, Nanomaterials, 2022, <https://doi.org/10.3390/nano12172901>
3. Sengodan S, Choi S, Jun A, Shin TH, Ju Y-W, Jeong HY, Shin J, Irvine JTS, Kim G. Layered oxygen-deficient double perovskite as an efficient and stable anode for direct hydrocarbon solid oxide fuel cells. Nat. Mater. 2015; 14: 205–209.
4. Y.Q. Huang, J. Sua, Q.F. Lia, D. Wangc, L.H. Xua, Y. Bai, Structure, optical and electrical properties of CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>2</sub>Cl single crystal, Elsevier, 2019, doi.org/10.1016/j.physb.2019.03.035
5. Paolo Fedeli, Francesco Gazza, Davide Calestani, Patrizia Ferro, Tullo Besagni, Andrea Zappettini, Gianluca Calestani, Enrico Marchi, Paola Ceroni, and Roberto Mosca, Influence of the Synthetic Procedures on the Structural and Optical Properties of Mixed Halides (Br, I) Perovskite Films, The Journal of Physical Chemistry, 2015, doi: 10.1021/acs.jpcc.5b03923

#### Summary

### SYNTHESIS AND OPTICAL PROPERTIES OF THE CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SN<sub>2</sub>CL PEROVSKITE LAYER

*Nuriyeva S. G., Mammadova S. Kh.*

In this study, the synthesis of the lead-free hybrid perovskite material CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>2</sub>Cl was carried out, and its adsorption and luminescence properties were investigated. The optical absorption characteristics of the material were analyzed using UV-Vis spectroscopy, revealing efficient light absorption across a wide spectral range. Luminescence properties were examined through photoluminescence (PL) spectroscopy, and it was determined that the material exhibits intense and narrow-band emission in the visible spectral range. These findings indicate the potential applications of CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>2</sub>Cl in optoelectronic and sensor technologies.

**Keywords:** Metilammonium tin diiodide chloride (CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>2</sub>Cl), absorption spectrum, photoluminescence, band gap.

#### Резюме

### СИНТЕЗ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОЯ ПЕРОВСКИТА CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SN<sub>2</sub>CL

*Нуриева С.Г., Маммадова С.Х.*

В этом исследовании была проведена синтез безсвинцового гибридного перовскитного материала CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>2</sub>Cl и изучены его адсорбционные и люминесцентные свойства. Оптические абсорбционные характеристики материала были проанализированы с использованием УФ-видимой спектроскопии, выявив эффективное поглощение света в широком спектральном диапазоне. Люминесцентные свойства были исследованы с помощью фотолюминесцентной (ФЛ) спектроскопии, и было установлено, что материал проявляет интенсивное и узкозональное излучение в видимом спектральном диапазоне. Эти результаты указывают на потенциальные применения CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>2</sub>Cl в оптоэлектронных и сенсорных технологиях.

**Ключевые слова:** Метиламмония олово-диодид хлорид (CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>2</sub>Cl), спектр поглощения, фотолюминесценция, запрещённая зона.

### Mn DOPİŇQ OLUNMUŞ TIGaS<sub>2</sub> KRİSTALIN OPTİK XASSƏLƏRİ

**Xəlilova Türkan R.,  
Hüseynova Kəmalə M.,  
Sadıqova Sara Rəşid qızı  
Şahsıvarova Qərənfil**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[turkanxelilova35@gmail.com](mailto:turkanxelilova35@gmail.com)

**Xülasə** TIGaS<sub>2</sub> kristalında 3% Mn atomu ilə dopinq etdikdə TIGa<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>S<sub>2</sub> kristal alınmışdır. Alınmış kristalda 110K temperaturdan 300K temperatura qədər optik xassələri tədqiq olunmuşdur. Udulma kənarının təqribən 25 meV dəyərində sürüşməsinə səbəb olmuşdur. 85-300K intervalında aparılan aşağı temperaturlu ölçmələr göstərmişdir ki, bu yeni bərk məhlullar üçün qadağan olunmuş zonanın eninin temperatur asılılığını xarakterizə edən dE<sub>g</sub>/dT təyin etmək mümkündür. TIGaS<sub>2</sub> kristallarından fərqli olaraq TIGa<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>S<sub>2</sub> bərk məhlullarında qadağan olunmuş zonanın temperatur əmsalı mənfəi qiymətə malikdir. Oxşar nəticə əvvəlki tədqiqatlarda TIGa<sub>1-x</sub>Co<sub>x</sub>S<sub>2</sub> bərk məhlulları üçün də əldə edilmiş ki, bu da Ga kationlarının qismən Mn və Co kationları ilə əvəzlənməsi zamanı TIGaS<sub>2</sub> monokristalının zona strukturunun yenidən qurulma mexanizmlərinin oxşarlığını göstərir.

**Açar sözlər:** optik udulma spektrləri, qadağan olunmuş zolağın eni, yarımkəçirici

## Giriş

TiMnS<sub>2</sub> birləşməsi vakuumlaşdırılmış kvars ampulalarda sintez edilmişdir. Bunun üçün ilkin komponentlər kimi TiGaS<sub>2</sub> və Mn birləşmələri toz halına gətirilmiş, molyar nisbətdə çəkilərək qarışdırılmış sintez edilmişdir. Sintez prosesi zamanı komponentlər ampulada yerləşdirərək sobada otaq temperaturundan 1000 K-ə qədər qızdırılmış və bu temperaturda 30 saat saxlanılmışdır. Daha sonra nümunələr eyni sürətlə soyudulmuşdur. Komponentlərin ampulanın daxili divarı ilə qarşılıqlı təsirinin qarşısını almaq məqsədilə sintez zamanı ampula fırladılmışdır. Bircins quruluş əldə etmək məqsədilə əlavə istilik emalı mərhələsində nümunələr 700K temperaturda 240 saat ərzində yetişdirilmişdir. Kristal quruluşunun müəyyənləşdirilməsi məqsədilə rentgen difraksiya analizləri aparılmışdır. Ölçmələr CuK $\alpha$  radiasiyalı DRON-3 tipli difrakometrə həyata keçirilmiş və bu zaman bucaq ayırma qabiliyyəti təxminən 0.1° olmuşdur. Alınmış difraktoqramlarının təhlili göstərmişdir TiGa<sub>0,97</sub>Mn<sub>0,03</sub>S<sub>2</sub> kristalının tetraqonal quruluşa malik olduğunu və birfazlı struktur təşkil etdiyini aydın şəkildə göstərir. Tədqiq olunan sinqoniya üçün kristal qəfəs parametrləri a=6.53 Å, c=23,96 Å, Z=8 və sıxlığı 3,71 q/sm<sup>3</sup> olmuşdur[1,2]. Fiziki-kimyəvi analizlər əsasında qurulan TiGaS<sub>2</sub>-TiMnS<sub>2</sub> sistemin vəziyyət diaqramı kvazibinar evtetik tipə aid olduğu təyin edilmişdir. Sintez prosesində birbaşa üsul tətbiq olunmuş yəni ilkin komponentlərin qarşılıqlı kimyəvi reaksiyası nəticəsində stexiometrik TiGaS<sub>2</sub> birləşmələri, həmçinin TiGa<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>S<sub>2</sub> (x=0,01;0,03) və TiGa<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> (x=0,01;0,03) tərkibləri alınmışdır. Hazırlanmış nümunələrdən istifadə etməklə Bricevan Stokbarger metodu vasitəsilə monokristallar yetişdirilmişdir ki, bu da yüksək keyfiyyətli kristal nümunələrin əldə edilməsinə imkan verir.

## Eksperimental üsullar

Sintez olunmuş nümunələrin fərdiliyini və faza tərkibini öyrənmək məqsədilə həm polikristallik materialdan, həm də onların monokristallarından difraktoqramlar qeydə alınmışdır. Eyni eksperimental şəraitdə aparılan difraksiya ölçmələri göstərmişdir ki, bütün sintez olunmuş tərkiblər və onların monokristalları birfazlı olub, əlavə fazaların əmələ gəlməsi müşahidə edilməmişdir. Difraktoqramların riyazi emalı nəticəsində alınan kristal-fiziki parametrlər cədvəl şəklində ümumiləşdirilir. RFA nəticələrinə əsasən, TiGaS<sub>2</sub> kristalında Ga<sup>3+</sup> ionlarının radiusu r=0.62 Å Mn<sup>3+</sup> ionları r=0,58 Å ilə qismən əvəz olunması tetraqonal quruluşun sabitləşməsinə xidmət edir. Bu isə göstərir ki, Mn aşqarı kristal qəfəsdə ciddi deformasiya yaratmadan mövcud simmetriyanı qoruyaraq, strukturu möhkəmləndirir.

*Sintez edilmiş TiGa<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>S<sub>2</sub> məhlulun kristallik məlumatları*

Tərkibi	Sinqoniya	Kristalın qəfəs parametrləri					Fəza qrupu	V, Å <sup>3</sup>	$\rho$ q/sm <sup>3</sup>
		a (Å)	b (Å)	c(Å)	$\beta$	z			
TiGaS <sub>2</sub>	monoklin	10.40	10.43	15.17	100°	16	P2 <sub>1/n</sub>	1056.831	5.560
TiGa <sub>0,99</sub> Mn <sub>0,01</sub> S <sub>2</sub>	tetraqonal	7.2692		29.8981		16	14mcm	1579.8535	5.684
TiGa <sub>0,97</sub> Mn <sub>0,03</sub> S <sub>2</sub>	tetraqonal	7.2658		29.9392		16	14mcm	1580.5457	5.676

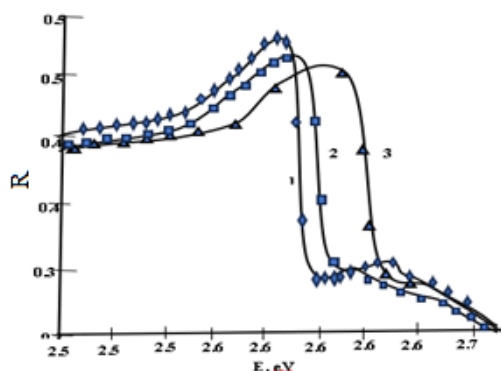
TiMnS<sub>2</sub> (M=Cr,Fe,Co) kristal- kimyəvi formuluna malik birləşmələr aparılmış rentgenqrafik, istilik və maqnit tədqiqatları nəticəsində aşağı ölçülü quruluşa malik olması qənaətinə gəlinməsinə imkan vermişdir. Maqnit ionlarının 3d – elektron quruluşunun maqnit xüsusiyyətlərə təsirini öyrənmək məqsədilə bu sinifə aid olan paramaqnit həssaslığı araşdırılmışdır. Maqnitləşmə ( $\sigma$ ) parametrləri Domenikallı tipli rəqqas maqnitometri, paramaqnit həssaslığı ( $\chi$ ) Faradey üsluna əsaslanan maqnit- elektrik tərəziləri vasitəsi ilə ölçülmüşdür. TiMnS<sub>2</sub> birləşməsi üçün hesablanmış effektiv maqnit momentinin təcrübi 4,7 $\mu$ B və nəzəri 4,9 $\mu$ B qiymətlərinin uyğunluğu, bu sistemdə Mn<sup>3+</sup> ionlarının elektron konfigurasiyasının düzgün müəyyənləşdirildiyini təsdiqləyir. Təcrübi nəticələrin analizi göstərir ki, kristal qəfəsin quruluş xüsusiyyətləri əsasında birləşmədə antiferromaqnit qarşılıqlı təsirlər mövcuddur. Mn<sup>3+</sup> ionlarından ibarət müsbət qatlar, həmçinin Ti və S<sup>2-</sup> ionlarından təşkil edir, lakin qonşu qatlar arasında zəif antiferromaqnit təsirlər müşahidə olunur. Bu iki qarşılıqlı təsirin superpozisiyası nəticəsində kristalda ümumi antiferromaqnit xassə formalaşır. Rentgen difraksiyası və maqnit ölçmələri isə TiMnS<sub>2</sub> kristallarının aşağı ölçülü sistemlərə aid olduğunu və onlarda antiferromaqnit qarşılıqlı təsirin reallaşdığını sübut edir.

TiGa<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>S<sub>2</sub> (x=0,01;0,03) bərk məhlullarının optik əksəlmə spektrləri təhlil edilmişdir. Ölçmələr üçün nümunələr 400-500 $\mu$ m qalınlığında lövhəciklər şəklində hazırlanmışdır. Işıq nümunələrə təbəqələrə normal istiqamətdən təxminən 5° bucaq altında göndərilmişdir. Spektral ölçmələr 77-300K temperatur intervalında aparılmışdır 0,01K dəqiqliklə temperatur sabitləşməsi təmin olunan KCBU-6M qurğusu və UTREKS kriostatı əsasında aparılmışdır. Ölçmələr zamanı MDR-6 monoxromatoru və FEU-100 fotoelektron qəbul edicisi istifadə olunmuşdur. Qurğunun spektral ayırma qabiliyyəti 2Å -dən yaxşı olmuşdur. Optik sistem tamamilə seçilmiş fokus məsafəsinə malik alüminium güzgülərdən yığılmışdır.

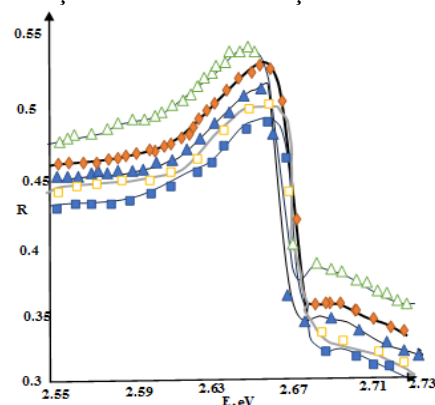
Monoxromatordan çıxan şüa sferik alüminum güzgülər vasitəsilə kristalın təbii kəsilmə səthinə demək olar, ki perpendikulyar istiqamətində yönləndirilmiş, kristaldan əks olunan şüa isə həmin güzgülər vasitəsilə fotoelektron gücləndiricinin giriş pəncərəsinə çatdırılmışdır.  $TlGaS_2$  monokristallarının və Mn dopinqi  $TlGa_{1-x}Mn_xS_2$  udulma kənarı ətrafındakı əksolunma spektrləri 110K temperaturda eynidir.(şəkil1) Lakin tərkibində manqan konsentrasiyası artdıqca əksolunma əmsalının qiyməti və spektrdəki piklərin kəskinliyi bir qədər azalır.

### Nəticə

Şəkil 1-dən görünür ki,  $TlGaS_2$  kristalında qalium atomlarının 3%-nin Mn atomları ilə əvəz olunması 110 K temperaturda udulma kənarının təqribən 25 meV dəyərində sürüşməsinə səbəb olmuşdur.



**Şəkil 1.**  $TlGa_{1-x}Mn_xS_2(x=0;0.01;0.03)$  110K  $T=110K$   $TlGa_{0.99}Mn_{0.01}$ ,  $TlGa_{0.97}Mn_{0.03}$  optik udulma əmsalı



**Şəkil 2.**  $TlGa_{0.97}Mn_{0.03}S_2$  monokristalının optik udulma spektrinin spektral asılılığı 1-300K ;2-200K;3-150K;4-110K;5-85K

Şəkil-2 dən 85-300K intervalında aparılan aşağı temperaturu ölçmələr göstərmişdir ki, bu yeni bərk məhlullar üçün qadağan olunmuş zonanın eninin temperatur asılığını xarakterizə edən  $dE_g/T$  təyin etmək mümkündür.  $dE_g/T = -7 * 10^{-5}$  eV/K-dir  $TlGaS_2$  kristallarından fərqli olaraq  $TlGa_{1-x}Mn_xS_2$  bərk məhlullarında qadağan olunmuş zonanın temperatur əmsalı mənfi qiymətə malikdir. Oxşar nəticə əvvəlki tədqiqatlarda  $TlGa_{1-x}Co_xS_2$  bərk məhlulları üçün də əldə edilmiş ki, bu da Ga kationlarının qismən Mn və Co kationları ilə əvəzlənməsi zamanı  $TlGaS_2$  monokristalının zona strukturunun yenidən qurulma mexanizmlərinin oxşarlığını göstərir[3,4].

Co atomları ilə aşqarlanmamış  $TlGaS_2$  kristalında çəp və düz enerji zonalarının aralığında 2.53 və 2.58 eV olaraq təyin edilmişdir. Bu dəyərlər Fe dopinqi tətbiq edilən  $TlGaS_2$  kristalında da müşahidə olunmuşdur və Fe dopinqi nəticəsində yaranan azalma çuxurların konsentrasiyasının yüksəlməsi ilə əlaqələndirilir [5].  $TlGa_{1-x}Co_xS_2$  bərk məhlullarının optik udulma sərhədinin bütün öyrənilən tərkiblər üçün birbaşa eksiton zolağı kimi formalaşdığını göstərmişdir. Eksiton zolağı 180K-ə qədər olan temperaturun daha da yüksəldilməsi ilə bu zolaq genişlənir, pilləli formaya keçir və nəticədə tamamilə itir. Kobaltla dopinq olunmuş nümunələrdə eksiton zolağının maksimumunun temperaturdan asılılıq əmsalı  $\partial E^{ex}/\partial T$  müsbət qiymət alır. Eksitonun əlaqə enerjisinin temperaturu cüzi dəyişməsi nəzərə alındıqda, bu müsbət əmsalın kristalın qadağan olunmuş zonanın eninin temperatur əmsalının müsbət olmasına dəlalət etdiyi qənaətinə gəlinir.  $\partial E^{ex}/\partial T$ -nin mütləq qiyməti azalır və bu onun adi mənfi işarə aldığı tendensiya göstərir. 77-180 K temperatur intervalında  $1,67 * 10^{-4}$  eV/K  $TlGa_{0.99}Co_{0.01}S_2$  üçün isə  $1,16 * 10^{-4}$  eV/K qədər dəyişir.  $TlInS_2$  monokristalları yarımkeçirici material kimi elektronika və optoelektronika sahələrində istifadə potensialına malikdir. Bu birləşmə səth baxımından sabit, oksidləşməyə qarşı davamlı və geniş enerji boşluğuna malik p-tip keçiricidir[6].

### Ədəbiyyat

1. Керимова Э.М., Асадов Ю.Г., Велиев Р.К., Гасанов А.И.. Синтез и рентгенофазовый анализ новых соединений  $TlMnS_2(Se_2, Te_2)$ . Известия НАН Азербайджана, серия физ.-мат. и тех. наук, физика и астрономия, 2002, т.22, №2, с.60-63.
2. Садыхов Р.З., Керимова Э.М., Асадов Ю.Г., Велиев Р.К... Магнитные свойства слоистых соединений  $TlCoS_2$  и  $TlCoSe_2$ , ФТТ, 2000, т.42, №8, с.1449-1450.

3. Гасанов Н.З., Керимова Э.М., Гасанов А.И., Искендерова П.М. Особенности оптических свойств монокристаллов твердых растворов  $TiGa_{1-x}Co_xS_2$ . Известия НАН Азербайджана, серия физ.-мат. и тех. наук, физика и астрономия, 2003, т.23, №2, с.80-82
4. A.I.Həsənov, E.M.Kərimova, N.Z.Həsənov, K.M.Hüseynova  $TiGa_{1-x}Co_xS_2$  bərk məhlulların tədqiqi. AMEA Fizika İnstitutu, Fizika 2007 vol XIII №5 seh-85
5. Xəlilova Türkan Keçid metalı (Co) ilə dopinq edilmiş  $TiGaS_2$  kristalının optik xassələri. Magistrantların XXV Respublika Elmi konfransı. 2025, SDU
6. Xəlilova Türkan, Hüseynova Kəmalə, Səmədov Muxtar, Mirəşova Şəbnəm, Manqan aşqarlı  $TiInS_2$  monokristallarının optik və maqnit xassələrinin tədqiqi. Azərbaycan Neft və Sənayə Universiteti, Book of Summarys-“MacroFrontiers2025” page 48

**Summary**  
**OF Mn-DOPED  $TiGaS_2$  CRYSTAL**  
*Khalilova T.R., Huseynova K.M., Sadiqova S.R., Shahsivarova G.*

A  $TiGa_{1-x}Mn_xS_2$  crystal was obtained by doping  $TiGaS_2$  with 3% Mn atoms. The optical properties of the synthesized crystal were studied in the temperature range from 110K to 300K. A shift of absorption edge by approximately 25 meV indicates a change in the band gap energy. Low-temperature measurements in the 85-300 K range have shown that it is possible to determine the temperature dependence of the forbidden band ( $dE_g/dT$ ) for these new solid solutions. Unlike the pure  $TiGaS_2$  crystal the temperature coefficient of the band gap in  $TiGa_{1-x}Mn_xS_2$  solid solutions has a negative value. The obtained results are consistent with earlier studies on  $TiGa_{1-x}Co_xS_2$ , which suggest that the substitution of Ga cations with Mn and Co cations leads to similar mechanisms of reconstruction of the band structure in the  $TiGaS_2$  single crystal.

**Keywords:** optical absorption spectra, restricted bandwidth, semiconductor

**Резюме**  
**КРИСТАЛЛА  $TiGaS_2$ , ЛЕГИРОВАННОГО Mn**  
*Халилова Т. Р., Гусейнова К. М., Садыгова С. Р., Шахсиварова Г.*

В кристалле  $TiGaS_2$ , легированном 3% атомов марганца, получен кристалл  $TiGa_{1-x}Mn_xS_2$ . В полученном кристалле были исследованы оптические свойства в диапазоне температур от 110 К до 300 К. Смещение края поглощения примерно на 25 мэВ указывает на изменение энергетической щели. Проведённые измерения при пониженных температурах (в интервале 85–300 К) показали возможность определения температурной зависимости запрещённой зоны ( $dE_g/dT$ ) для новых твёрдых растворов. В отличие от кристалла  $TiGaS_2$ , в твёрдых растворах  $TiGa_{1-x}Mn_xS_2$  температурный коэффициент запрещённой зоны имеет отрицательное значение. Полученные результаты согласуются с ранее проведёнными исследованиями для системы  $TiGa_{1-x}Co_xS_2$ , что подтверждает сходство механизмов перестройки зонной структуры монокристалла  $TiGaS_2$  при замещении катионов Ga на Mn и Co.

**Ключевые слова:** оптические спектры поглощения, ограниченная полоса пропускания, полупроводник

## **$A''B''C_2^VI$ TİP KRİSTALLARIN VƏ $TiIn_{1-x}LnSe_2$ BƏRK MƏHLULLARININ ENERJİ SPEKTRİ**

**Sərdarova Nailə Söhrab, Abdulova İzzət Nəcməddin**  
**İsgəndərova Aidə Firdovsi, Qəfərova Sürəyya Oqtay**  
*Sumqayıt Dövlər Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*  
[naila.sardarova@sdu.edu.az](mailto:naila.sardarova@sdu.edu.az), [izzet.abdulova@sdu.edu.az](mailto:izzet.abdulova@sdu.edu.az)

**Xülasə** Bərk məhlulların əmələ gəlməsi kristalın elektron və qəfəs iç və alt sistemlərində dəyişikliyə səbəb olur ki, bu da öz növbəsində qəfəsin statik deformasiyasına və elektron – fonon spektrinin həyacanlanmasına gətirib çıxarır. Bərk məhlulda həll olan  $TiLnSe_2$  üçqat birləşmələrin konsentrasiyaları artdıqca onların molekulları arasındakı məsafə kiçilir və nəhayət elə qiymətə çatır ki, aşqarlar arası qarşılıqlı təsir həlledici  $TiInS_2$  birləşməsinin kristalının elektron və fonon enerji spektrinə hiss olunacaq dərəcədə təsir etməyə başlayır, bu da ilkin birləşmələrə xas olmayan yeni xassələrin meydana çıxmasına səbəb olur ki, bu da tədqiqatçılar qarşısında elmi və praktiki tətbiq cəhətindən geniş imkanlar açır.

$TiIn_{1-x}LnSe_2$  bərk məhlullarının alınması və onlarda elektron, fonon enerji spektrini tədqiq etmək və lantanoid atomlarının bu enerji spektrinə təsirini araşdırmaqdır.

**Açar sözlər:** fonon enerji spektri, monokristal, elektrik keçiriciliyi, bərk məhlullar, qadağan zonasının eni, effektiv kütlə, defekt

Son illər öz maraqlı xüsusiyyətlərinə görə tərkibinə nadir torpaq elementləri – lantanoidlər daxil olan mürəkkəb birləşmə və bərk məhlullar tədqiqatçıların diqqətini cəlb etmişdir. Bu materiallar adətən yüksək ərimə temperaturuna, öz yarımkəçirici xassələrini geniş temperatur diapazonunda saxlamağına, böyük mexaniki möhkəmliliyinə, xarakterik yarımkəçirici xassələrinin stabilliyinə malik olmaqla bərabər və eyni zamanda tərkibi dəyişməklə onların xassələrinin idarə oluna bilmələri ilə fərqlənirlər. Belə obyektlərdən biri də  $TiInSe_2$ – $TiLnSe_2$  sistemlərində mövcud olan  $TiIn_{1-x}LnSe_2$  tərkibli bərk məhlullardır. Belə tərkiblər

yarımkeçirici materialların fiziki xassələr diapazonunu daha da genişləndirir. Müxtəlif təyinatlı mikro- və optoelektron qurğuların yaradılması ilə bağlı materialların tərkibini məqsədyönlü şəkildə dəyişməklə daha yüksək keyfiyyətlərə malik birləşmə və bərk məhlulların alınması, onların fiziki-kimyəvi xassələrinin öyrənilməsi, mümkün tətbiq sahələrinin araşdırılması aktual məsələlərdəndir.

TlInS<sub>2</sub>(Se<sub>2</sub>,Te<sub>2</sub>) üçqat birləşmələrində Tl atomları +1 valentliliklə kristal qəfəsə daxil olub, onun həndəsi fəza quruluşunu, İn atomları isə +3 valentliliklə birləşmələrin yarımkeçirici xassələrinin formalaşmasında əsas rol oynayırlar. Üçvalentli indium atomlarının ion radiusları üçvalentli lantanoid atomlarının ion radiuslarına yaxındır və bu baxımdan TlInS<sub>2</sub> birləşməsində üçvalentli indium atomlarının tədricən üçvalentli lantanoid atomları ilə əvəz oluna bilməsi real bir məsələ kimi qarşıya çıxır və nəticədə  $Tl^{+1}In_{1-x}^{+3}Se_2^{-2} \rightarrow Tl^{+1}In_{1-x}^{+3}Ln_x^{+3}Se_2^{-2}$  sxemi üzrə bərk məhlullar formalaşır. Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, baxılan sistemlərdə həllolma oblastları məhduddur[1].

$Tl^{+1}In_{1-x}^{+3}Ln_x^{+3}Se_2^{-2}$  bərk məhlullarının kristallarının xarakterik xüsusiyyətlərindən biri onlarda stexiometrik vakansiyaların yüksək konsentrasiyalarının ( $\sim 10^{18} \div 10^{20} \text{ sm}^{-3}$ ) və qadağan zonasında onlarla bağlı lokallaşmış enerji səviyyələrinin mövcudluğu, bu kəmiyyətlərin tərkibdə lantanoid atomlarının nisbi miqdarının artması ilə dəyişir. Bərk məhlulların əmələ gəlməsi kristalın elektron və qəfəs iç və alt sistemlərində dəyişikliyə səbəb olur ki, bu da öz növbəsində qəfəsin statik deformasiyasına və elektron – fonon spektrinin həyacanlanmasına gətirib çıxarır. İşdə məqsəd TlIn<sub>1-x</sub>LnSe<sub>2</sub> bərk məhlullarının alınması və onlarda elektron, fonon enerji spektrini tədqiq etmək və lantanoid atomlarının bu enerji spektrinə təsirini araşdırmaqdır. Tədqiq olunan TlIn<sub>1-x</sub>LnSe<sub>2</sub> bərk məhlulların monokristalları Bricmen üsulu ilə alınmışdır. Elektrofiziki parametrlərin ölçmələri 0,01 Pa vakuumda aparılır. Nümunələr orta ölçüləri  $(3 \times 4 \times 12) \times 10^{-9} \text{ m}^3$  olan düzbucaqlı paralelepiped şəklində hazırlanır. Nümunələrin uclarındakı temperatur xromel-alümel termocütləri vasitəsilə ölçülür[2]. Cərəyan ötürücü naqillər kimi termocütün alümel və ya xromel qollarından istifadə edilir.

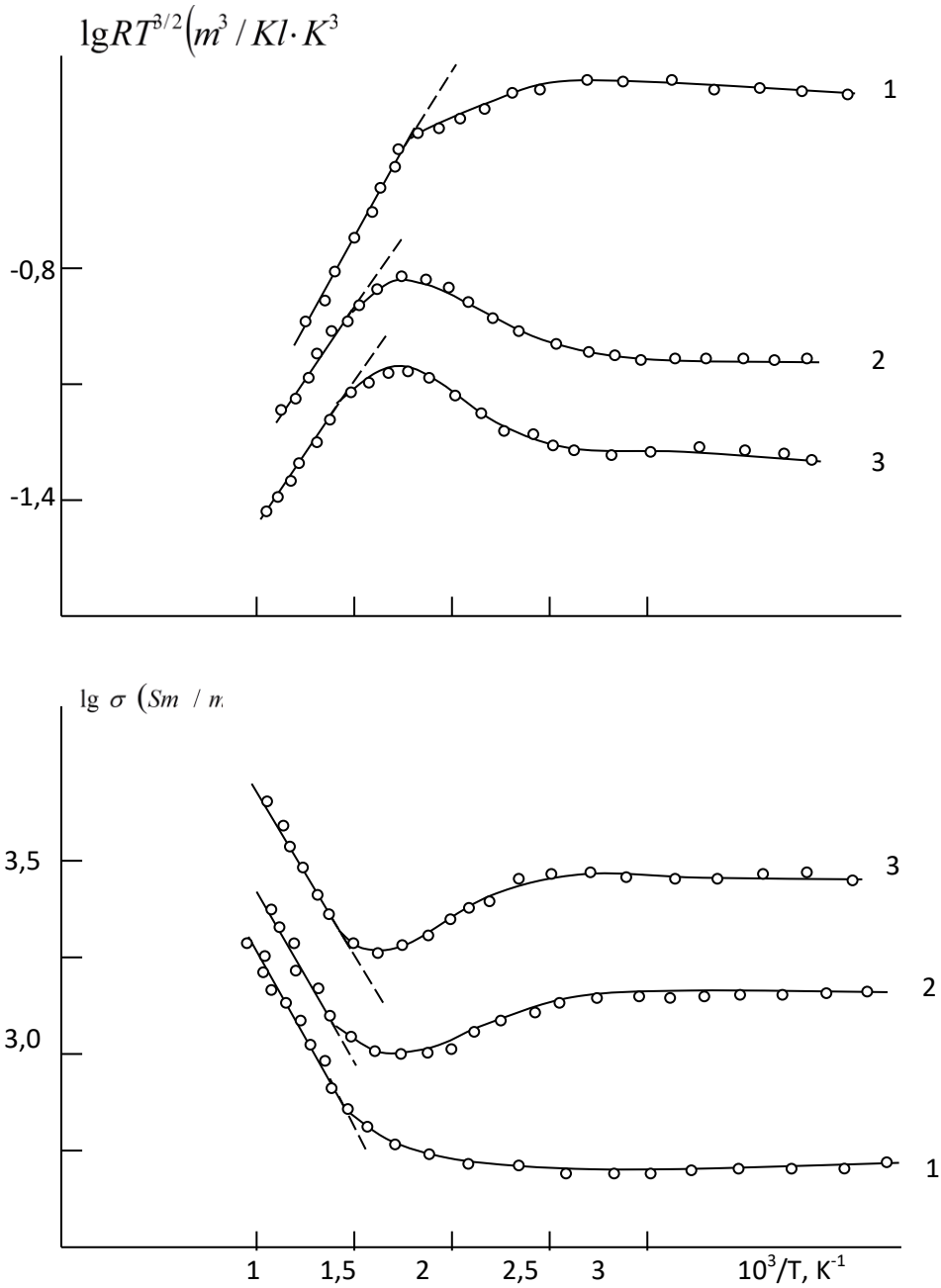
Nümunədə cərəyanın qiymətini təyin edərkən R-321, R-310 tipli (dəqiqlik 0,01%) etalon müqavimətlərdən istifadə olunur və belə ölçmələrdə cərəyan şiddəti mümkün qədər kiçik seçilir. Nümunənin xətti ölçüləri və zondlar arası məsafə dəqiqliyi  $5 \cdot 10^{-5} \text{ m}$  olan MİR-12 mikroskopu vasitəsilə ölçülür və bu zaman xəta 0,1-0,2% olur. Cərəyanın, nümunənin qalınlığının və eləcə də nümunədə gərginliyin ölçülməsi zamanı nisbi xəta hesablanmış və  $\sim 5\%$  olduğu müəyyən edilmişdir.  $\sigma$  - və R-in eyni zamanda ölçülməsi halında yürüklük ( $\mu$ ) hesablanmışdır.  $\mu$  -nün hesablanması zamanı xətanın qiyməti  $\sigma$  - və R-in xətalının cəminə bərabər olub 10% təşkil edir.

TlIn<sub>1-x</sub>LnXSe<sub>2</sub> bərk məhlullarının elektrik keçiriciliyi, Holl və termoelektrik əmsallarının temperatur asılılıqları polikristallik və monokristallik nümunələr üçün 300-1000K intervalında tədqiq edilmişdir [3]. Şəkil 1-də TlIn<sub>1-x</sub>LnSe<sub>2</sub> bərk məhlullarının elektrik keçiriciliyi və Holl əmsallarının temperatur asılılıqları  $\lg \sigma = f(10^3 / T, K^{-1})$  və  $\lg RT^{3/2} = f(10^3 / T, K^{-1})$  kimi göstərilmişdir. Əyrilərin aşağı temperaturlu hissələrində aşqar keçiricilik,  $\sim 600-650\text{K}$ -dən yüksək hissələrdə isə məxsusi keçiricilik müşahidə olunur. Yüksək temperaturlu hissələrdə əyrilərin meyillərinə görə tərkiblərin qadağan zonalarının eni müəyyən olunmuşdur. İstər elektrik keçiriciliyinin, istərsə də Holl əmsalının yüksək temperaturlu hissələrinin meyillərinə görə qadağan zonalarının müəyyən edilmiş qiymətləri kifayət qədər dəqiqliklə üst-üstə düşür.

Şəkildən görüldüyü kimi TlIn<sub>1-x</sub>LnSe<sub>2</sub> bərk məhlullarında  $\sim 500\text{K}$  temperatura kimi elektrik keçiriciliyi çox kiçik meyllə artmaqda davam edir. Belə asılılıq aşqar zona üzrə keçiriciliklə əlaqədar olub, kvazimetallik gediş adlanır. Bu hissədən sonra elektrik keçiriciliyinin nisbətən kəskin azalması müşahidə olunur və bu azalma tərkibdə neodimin artması ilə daha kəskin hissə olunur. Buna səbəb aşqar mərkəzlərin tükənməsi və nəticədə yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının sabit qalması ilə, onların qəfəsdən səpilmələri nəticəsində yürüklüyün məhdudlaşması baş verir ki, bu da elektrik keçiriciliyinin temperaturun artması ilə azalmasına gətirib çıxarır. Temperaturun sonrakı artımında elektrik keçiriciliyinin eksponensial artımı ilə məxsusi keçiricilik oblastı müşahidə olunur. Daha doğrusu, temperaturun kifayət qədər böyük qiymətlərində yükdaşıyıcıların istilik enerjiləri qadağan zonasını keçməyə imkan verir ( $kT > \Delta E_g$ ).

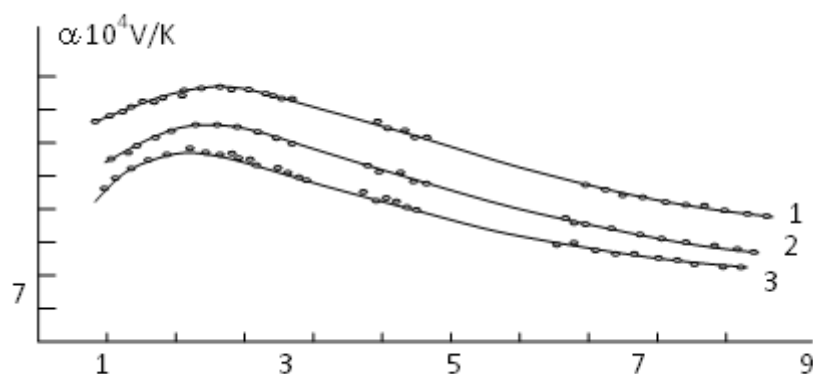
Şəkil 2-dən görüldüyü kimi elektrik keçiriciliyi və Holl əmsalının temperatur asılılıqları bütün tədqiq olunan bərk məhlullar üçün bir-biri ilə yaxşı uzlaşır.  $\sim 600-650\text{K}$  temperaturdan sonra temperaturun artması ilə yükdaşıyıcıların  $kT$  enerjisinin qadağan zonasını kütləvi şəkildə keçməsi ilə onların konsentrasiyasının artımı hesabına Holl əmsalının kəskin eksponensial qanunla azalması baş verir və bu da qrafikdə öz əksini tapır. TlIn<sub>1-x</sub>LnSe<sub>2</sub> bərk məhlullarında termoelektrik hərəkət qüvvəsinin temperatur asılılığı östərilmişdir. Bu asılılıqlara görə temperaturun aşağı qiymətlərində temperaturun artması ilə

yükdaşıyıcıların kimyəvi potensialları azalır və bununla mütənasib termo-e.h.q də artır. Temperaturun yuxarı qiymətləri isə yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının kəskin artımı termo-e.h.q-nin azalmasına səbəb olur. [4-5]



**Şəkil 1.**  $TlIn_{1-x}LnSe_2$  bərk məhlullarında Holl əmsalının ( $R$ ) və elektrik keçiriciliyi ( $\sigma$ ) temperatur asılılıqları. Əyrilər: 1- $x=0,01$ ; 2- $x=0,05$  və 3- $x=0,10$

Şəkildən göründüyü kimi tədqiq olunan bərk məhlullarda yükdaşıyıcıların Holl yürüklüyünün temperatur asılılığı yuxarı temperaturalarda ( $T > 300K$ )  $\mu \sim T^{-3/2}$  qanunu ilə dəyişir və bu da yükdaşıyıcıların akustik fononlardan səpilməsinə uyğundur. Şəkillərdən göründüyü kimi tərkibdə neodimin nisbi miqdarı artdıqca, elektrik keçiriciliyi kəskin artır, termo-e.h.q isə hiss olunacaq dərəcədə bütün temperatur oblastı boyunca kiçilir.



**Şəkil 2.**  $TlIn_{1-x}LnSe_2$  bərk məhlullarında yükdaşıyıcıların Hall yürüklüklərinin (a) və termo – e.h.q.-nin (b) temperatur asılılıqları: Əyrilər: 1- $x=0,01$ ; 2- $x=0,05$  və 3- $x=0,10$

$TlIn_{1-x}LnSe_2$  bərk məhlullarının bəzilərinin əsas yarımkəçirici parametrlərinin hesablanmış qiymətləri cədvəldə verilmişdir.

**Cədvəl**

$TlIn_{1-x}LnSe_2$  tərkibli bərk məhlullarının enerji spektrinin bəzi parametrləri (T=300K)

$TlIn_{1-x}Nd_xTe_2$	$\Delta\varepsilon_g, eV$ $\lg \sigma = f(10^3 / T)$ -dən	$\Delta\varepsilon_g, eV$ $\lg RT^{3/2} = f(10^3 / T)$ -dən	$\frac{\mu 10^{-2}}{m^2 / (V \cdot \text{san})}$ 300 K-də	$\alpha \cdot 10^2 \text{ V/K}$ 500 K-də	$m_p^* / m_0$
x=0,01	0,69	0,68	200	5,6	0,45
x=0,05	0,65	0,64	1354	4,43	0,40
x=0,10	0,58	0,57	1510	2,51	0,35

## Ədəbiyyat

1. Zərbəliyev M.M. Yarımkəçiricilər fizikası. Bakı, Təhsil NPM, 2008, 456 s.
2. Zərbəliyev M.M., Əhmədova A.M., Məmmədov E.H., Nağıyev Ə.V.  $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$  bərk məhlullarında istilikdaşınmanın xüsusiyyətləri. SDU, Elmi xəbərlər, 2007, səh.16-21.
3. Аверкин А.А., Кайданов В.И., Мельник Р.Б. О примесных состояниях атомов в зоне проводимости PbTe. ФТП. 2012. т.5. В.1. С. 91-95.
4. Алиев Ф.Ф., Агаева У.М., Дамиров Г.М., Мустафаев Х.А., Агаева Р.С., Валиева Б.А. Определение термодинамических параметров в области фазового перехода в  $Cu_{1,95}Ni_{0,05}S$ , SDU- nun Elmi Xəbərləri Təbiət və texnika elmlər bölməsi cild 16, səh.12-19. №1, 2016.
5. Алиев Ф.Ф., Агаева У.М., Дамиров Г.М., Зарбалиев М.М. Электрические и термоэлектрические свойства твердых растворах  $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ . Elmi xəbər. səh.18-22, с.15, №3, 2015.

## Summary

### ENERGY SPECTRUM OF A<sup>'''</sup>B<sup>'''</sup>C<sub>2</sub><sup>VI</sup>TYPE CRYSTALS AND $TlIn_{1-x}LnSe_2$ SOLID SOLUTIONS

Sardarova N. S., Abdulova I.N., Isgandarova A. F., Gafarova S. O.

The formation of solid solutions causes changes in the electronic and lattice internal and subsystems of the crystal, which in turn leads to static deformation of the lattice and excitation of the electron-phonon spectrum. As the concentrations of the  $TlInSe_2$  ternary compounds dissolved in the solid solution increase, the distance between their molecules decreases and finally reaches a value at which the interaction between the additives begins to noticeably affect the electron and phonon energy spectrum of the crystal of the soluble  $TlInS_2$  compound, which leads to the emergence of new properties not characteristic of the original compounds, which opens up wide opportunities for researchers in terms of scientific and practical application. To obtain  $TlIn(1-x)LnSe_2$  solid solutions and study their electron and phonon energy spectrum, and to investigate the effect of lanthanide atoms on this energy spectrum.

**Key words:** phonon energy spectrum, single crystal, electrical conductivity, solid solutions, band gap width, effective mass, defect

## Резюме

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР КРИСТАЛЛОВ ТИПА $A^3B^3C_2^{VI}$ И ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $TlIn_{1-x}LnSe_2$

Сардарова Н. С., Абдулова И. Н., Искендарова А. Ф., Гафарова С. О.

Образование твердых растворов вызывает изменения в электронных и решеточных внутренних подсистемах кристалла, что, в свою очередь, приводит к статической деформации решетки и возбуждению электронно-фононного спектра. С ростом концентрации растворенных в твердом растворе тройных соединений  $TlInSe_2$  расстояние между их молекулами уменьшается и, наконец, достигает значения, при котором взаимодействие между добавками начинает заметно влиять на электронный и фононный энергетический спектр кристалла растворимого соединения  $TlInSe_2$ , что приводит к появлению новых свойств, не характерных для исходных соединений, что открывает перед исследователями широкие возможности в плане научного и практического применения. Получить твердые растворы  $TlIn_{(1-x)}LnSe_2$  и изучить их электронный и фононный энергетический спектр, а также исследовать влияние атомов лантаноидов на этот энергетический спектр.

**Ключевые слова:** Спектр энергии фононов, монокристалл, электропроводность, твердые растворы, ширина запрещенной зоны, эффективная масса, дефект

## $A^3B^3C_2^6$ TİP KRİSTALLARIN İSTİLİKKEÇİRMƏSİNDƏ FONONLARIN SƏPİLMƏ MEXANİZMİ

İsgəndərova Aidə Firdovsi qızı

Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan

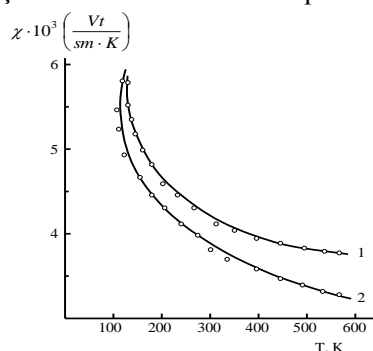
[aida.isgandarova@mail.ru](mailto:aida.isgandarova@mail.ru)

**Xülas.** İstilikkeçirmə əmsalının temperatur asılılıqlarının tədqiq etməklə  $A^3B^5$ ,  $A^3B^3C_2^6$  tipli bərk məhlul birləşmələrində fononların səpilməsi, istilik enerjisinin daşınması haqqında geniş məlumat almaq olur. Bu işdə stasionar metodla 120-600 K temperatur intervalında laylı quruluşa malik  $TlInSe_2$  kristalının istilikkeçirməsi həm laylar istiqamətində və həm də laylara perpendikulyar istiqamətdə tədqiq edilmişdir. Ölçmələr paralelopped şəklində olan nümunələr üzərində aparılmışdır. Tədqiq olunan kristalda istilikkeçirmə əmsalının temperatur asılılığı istilik enerjisinin daşınmasında temperaturdan asılı olaraq üçfononlu səpilmə prosesini sübut edir. Belə kristallar infraqırmızı, ultrabənövşəyi, rentgen və  $\gamma$ -şüalarına qarşı yüksək həssaslığa malikdirlər.  $TlInSe_2$  kristalı praktik əhəmiyyətə malik olub  $A^3B^3C_2^6$  tip birləşmələrə aid olan, fundamental xüsusiyyətləri özündə əks etdirən kristaldır.

**Açar sözlər:** bərk məhlul, istilikkeçirmə, səpilmə mexanizmi, laylı quruluş, zəncirvari quruluş,  $\gamma$ -şüaların təsiri, yaddaşlı çevirici

$A^3B^5$  tipli binar və  $A^3B^3C_2^6$  tipli bərk məhlul kristallarının istilik və elastiki xassələri, istidən genişlənməsi və izotermik sıxılmasının tədqiq etməklə bu kristallarının kimyəvi və struktur quruluşu haqqında kifayət qədər informasiya əldə etmək olur. [1,2,]. Eyni zamanda aparılan tədqiqatların nəticəsində kristalda olan müxtəlif təbiətli defektlər barədə geniş məlumat almaq olur. Bu məqsədlə üç qat birləşmələrdə istilik enerjisinin daşınması haqqında məlumat almaq üçün istilikkeçirmə əmsalının temperatur asılılıqlarının tədqiqi xüsusi əhəmiyyətə malikdir.

Tədqiq edilmişdir ki, əlavə olunan kənar element atomların miqdarından asılı olaraq maddənin qəfəs istilikkeçirməsi də azalır. Kristal qəfəsində mövcud olan müxtəlif təbiətli vakansiyalardan fononların səpilməsi ilə əlaqədar olaraq istilikkeçirmə əmsalının kəskin azalması baş verir. Məsələn,  $(GaSb)_x(GaTe)_{1-x}$  bərk məhlulunda konsentrasiyanın qiyməti GaTe –un 1 mol % -ə qədər azalır və 4 mol % -dən sonra istilikkeçirmə əmsalının qiyməti dəyişmir və  $\chi(T)$  asılılığında 120-400 K temperatur intervalında müşahidə olunan hissə xətti asılılıqdan fərqlənir. [1,2,3]. Qəfəs istilikkeçirməsinin nəzəriyyədən məlum olan asılılığı 300 – 400 K temperaturun intervalında müşahidə olunan xətti asılılıq ilə uzlaşır.



**Şəkil.**  $TlInSe_2$  kristalında istilikkeçirmə əmsalının temperatur asılılığı. (1 – laylara II; 2 – laylara I istiqamətdə)

İstilik müqavimətinin xətti temperatur asılılığından kənara çıxması baş verir. Buna səbəb

temperaturun dəyişməsi ilə optik fononların həyəcanlaşmasının artması ola bilər. Bu halda istilik enerjisinin daşınmasında optik fononların rolu artır və istilik keçirmədə əlavə mexanizmlər yaranır. Bu halda kristalın qəfəs düyünlərindən həm akustik fononların, həm də optik fononların səpilmələri artır.

Şəkildə TlInSe<sub>2</sub> kristalında istilikkeçirmə əmsalının temperaturdan asılı olaraq necə dəyişdiyi göstərilib.

Tərkibə nadir torpaq elementi olan lantanpid atomları daxil edildikdə İstilikkeçirmənin elektron komponenti çox-çox kiçik olduğundan ( $\chi_{el} \approx 10^{-7} \text{ Vt} / \text{sm} \cdot \text{K}$  tərtibindədir) istilikkeçirmə əmsalının temperatur asılılığı, eləcə də istilikkeçirmə əmsalının ədədi qiyməti tədqiq edilən kristallarda istilik enerjisinin daşınmasında qəfəs fononlarının iştirakını bir daha təsdiqləyir.

### Ədəbiyyat

1. Алиев М. Теплопроводность полупроводников, Б. 1963
2. Рагимова Н.А. Распад и аннигиляция экситонов в квазидвумерных монокристаллах  $A^3B^6$  и  $A^3B^3C_2^6$ , активированных редкоземельными ионами. Ваку, 1996.
3. Годжаев Э.М., Курванов М.М., Нагиев А.В. Тепловое расширение TlSe, ФТТ, 1982, т.24.

### Summary

#### SCATTERING MECHANISM OF PHONONS IN THE THERMAL CONDUCTIVITY OF $A^3B^3C_2^6$ -TYPE CRYSTALS

*Isgandarova A. F.*

By studying the temperature dependencies of the coefficient of thermal conductivity, it is possible to obtain extensive information about the transport of thermal energy in solid solution compounds of type  $a3b5$ ,  $A3B3C26$ . In this work, the thermal conductivity of the  $tlinse2$  crystal with a layered structure in the temperature range of 120-600 K was determined by the stationary method in the samples in the form of parallelepipeds both in the direction of layers and in the direction perpendicular to layers. The temperature dependence of the coefficient of thermal conductivity in the studied Crystal confirms the three-tone scattering process depending on the temperature in the transport of thermal energy. Such crystals have high sensitivity to visible, infrared, ultraviolet, X-ray and  $\gamma$ -rays.  $Tlinse2$  solid solution Crystal is one of the practically significant solid solution compounds with fundamental properties, which is included in the class of type  $a3b3C26$  compounds.

**Keywords:** solid solution, thermal conductivity, scattering mechanism, layered structure, chain structure,  $\gamma$ -ray effect, memory element

### Резюме

#### МЕХАНИЗМ РАССЕЙЯНИЯ ФОНОНОВ В ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ КРИСТАЛЛОВ ТИПА $A^3B^3C_2^6$

*Искендерова А. Ф.*

Изучая температурные зависимости коэффициента теплопроводности, можно получить обширные сведения о переносе тепловой энергии в твердых растворимых соединениях типов  $a3b5$ ,  $a3b3c26$ . В данной работе теплопроводность кристалла  $tlinse2$  со слоистой структурой в интервале температур 120-600 К исследована стационарным методом на образцах, имеющих форму параллелепипеда, как в направлении слоев, так и перпендикулярно слоям. Температурная зависимость коэффициента теплопроводности в исследуемом кристалле подтверждает процесс трехфононного рассеяния в зависимости от температуры при переносе тепловой энергии. Такие кристаллы обладают высокой чувствительностью к видимому, инфракрасному, ультрафиолетовому, рентгеновскому и  $\gamma$ -лучам. Кристалл твердого раствора  $tlinse2$  является одним из практически важных соединений твердого раствора с фундаментальными свойствами, который относится к классу соединений типа  $a3b3c26$ .

**Ключевые слова:** твердый раствор, теплопроводность, механизм рассеяния, слоистая структура, цепная структура, действие  $\gamma$ -лучей, элемент памяти

### PVDF/CdS/ZnS ƏSASLI NANOKOMPOZİTLƏRİN QURULUŞUNUN TƏDQIQI

**Hüseynova Sevda İlqar qızı**

**Hacıyeva Flora Vidadi qızı**

*Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan*

[sevdaxuseynova22@gmail.com](mailto:sevdaxuseynova22@gmail.com), [flora\\_1985@mail.ru](mailto:flora_1985@mail.ru)

**Xülasə** Bu tədqiqatda PVDF/CdS/ZnS əsaslı hibrid nanokompozitlərin quruluşu XRD, SEM və AQM analizləri ilə tədqiq edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, CdS və ZnS nanohissəcikləri PVDF matrisində bərk məhlul əmələ gətirmədən homogen şəkildə dispersiya olunur. Nanohissəciklərin konsentrasiyası kristal fazalara və səth morfolojiyasına təsir göstərir. Yüksək konsentrasiyalarda səthin kələ-kötürlüyü artır. Bu xüsusiyyətlər optoelektronika və lüminessent günəş elementləri üçün əhəmiyyətlidir.

**Açar sözlər:** nanokompozit, polivinildenflüorid, kadmium sulfid, sink sulfid, polimer

Verilmiş işdə polivinilidenflüorid (PVDF), kadmium sulfid (CdS) və sink sulfid (ZnS) nanohissəcikləri əsasında hibrid polimer nanokompozitlərin quruluşu tədqiq edilmişdir. CdS və ZnS nanohissəcikləri uyğun metal duzlarının natrium sulfid ilə çökdürülməsi prosesi vasitəsilə və setiltrimetilammonium bromid (CTAB) səthi aktiv maddəsinin iştirakı ilə sintez edilmiş və stabil hala gətirilmişdir. PVDF/CdS/ZnS əsaslı nanokompozitlər PVDF polimerini dimetilformamid (DMF) həlledicisində həll edilərək müxtəlif miqdarlarda CdS və ZnS nanohissəciklərinin PVDF+DMF sistemində daxil edilməsi nəticəsində əldə edilmişdir. PVDF/CdS/ZnS əsaslı nanokompozitlərinin rentgen diffraksiya analizi (XRD) aparılmış və müəyyən edilmişdir ki, CdS və ZnS nanohissəciklərinin polivinilidenflüorid matrisinə daxil edilməsi nəticəsində PVDF polimerinin  $\alpha$ -fazasına məxsus  $18,83^\circ$ ;  $26,80^\circ$ ;  $35,43^\circ$  və  $41,19^\circ$   $2\theta$  bucağındakı piklər və PVDF-in  $\beta$ -fazasına  $20,60^\circ$   $2\theta$  bucağında müşahidə olunan piklərin intensivliyinin azalması baş verir. Həmçinin təyin edilmişdir ki,  $24,9^\circ$  (002) və  $43,9^\circ$  (103)  $2\theta$  bucaqlarındakı maksimumlar vürsit tipli CdS-ə,  $30,5^\circ$  (101) və  $51,5^\circ$  (103) bucaqlarındakı maksimumlar isə vürsit tipli ZnS hissəciklərinə məxsusdur. PVDF/CdS/ZnS əsaslı nanokompozitlərin skanedic elektron mikroskopik (SEM) analizi aparılmış və müəyyən edilmişdir ki, CdS və ZnS nanohissəcikləri PVDF-də homogen şəkildə paylanmışdır. SEM analizlərinə əsasən PVDF1%/CdS/1%ZnS əsaslı nanokompozitdə CdS və ZnS nanohissəciklərinin orta ölçüləri 10-40 nm, PVDF10%/CdS/10%ZnS əsaslı nanokompozitdə isə 40-80 nm təşkil edir. Hibrid nanokompozitlərin həm XRD, həm SEM analizləri göstərmişdir ki, CdS və ZnS nanohissəcikləri PVDF matrisində bərk məhlul əmələ gətirmir, lakin ayrıca dispers faza kimi yerləşir. PVDF/CdS/ZnS əsaslı nanokompozitlərin atom-qüvvət mikroskopik (AQM) tədqiqatları aparılmış və müəyyən edilmişdir ki, CdS və ZnS nanohissəciklərinin miqdarı artdıqca nanokompozitlərin supermolekulyar quruluşunun dəyişməsi baş verir. Belə ki, PVDF1%/CdS/1%ZnS əsaslı nanokompozitinin histqramına əsasən nanokompozitlərin səthinin orta kvadratik kələ-kötürlüyünün qiyməti 10-70 nm, PVDF10%/CdS/10%ZnS əsaslı nanokompozitinin isə 20-140 nm təşkil edir. Nanokompozitlərin AQM analizi göstərir ki, nanohissəciklərin yüksək konsentrasiyalı nümunələrlə müqayisədə, nisbətən hamar və nizama salınmış struktur formalaşır.

### Ədəbiyyat

1. Garjan A., Farazin J., Givi G. et al. Formation of CdS/ZnS nanoparticles in polymer matrix by SILAR method: Experiments and exploring its optical properties with DDA calculations. *Optik*, 2021, 242, 166958.
2. Ramazanov M.A., Chianese A., Hajiyeva F.V., Novruzova A.A. Influence of thermal treatment on photoluminescent properties of PP/PbS/CdS nanocomposites. *International Journal of Modern Physics B*, 2020, 34(6).
3. Ramazanov M.A., Hajiyeva F.V., Babayev Y., Valadova G., Nuriyeva S.G., Shirinova H.A. Synthesis and optical properties of PVC-CdS-based nanocomposites. *Journal of Elastomers & Plastics*, 2020, 52(2), 159–166.

### Summary

#### STRUCTURAL INVESTIGATION OF PVDF/CDS/ZNS-BASED NANOCOMPOSITES

*Huseynova S.I., Hajiyeva F.V*

In this study, the structure of PVDF/CdS/ZnS based hybrid nanocomposites was investigated using XRD, SEM and AFM analyses. The results show that CdS and ZnS nanoparticles are uniformly dispersed in the PVDF matrix without forming a solid solution. Nanoparticle concentration affects both crystal phases and surface morphology. At higher concentrations the roughness increases and the structure becomes less regular. These structural features are important for applications in optoelectronic and luminescent solar cell layers.

**Keywords:** nanocomposites, polyvinylidene fluoride, cadmium sulphide, zinc sulphide, polymer

### Резюме

#### ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ PVDF/CDS/ZNS

*Гусейнова С.И., Гаджиева Ф.В*

В данной работе структура гибридных нанокomпозитов на основе PVDF/CdS/ZnS была исследована с помощью XRD, SEM и AFM анализов. Результаты показывают, что наночастицы CdS и ZnS равномерно диспергированы в матрице ПВДФ, не образуя твердого раствора. Концентрация наночастиц влияет как на кристаллические фазы, так и на морфологию поверхности. При более высоких концентрациях шероховатость увеличивается, а структура становится менее регулярной. Эти структурные особенности важны для применения в оптоэлектронных и люминесцентных слоях солнечных батарей.

**Ключевые слова:** нанокomпозит, поливинилиденфторид, сульфид кадмия, сульфид цинка, полимер

# TlIn<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>S<sub>2</sub> BƏRK MƏHLULLARI SABİT TƏZYİQDƏ VƏ SABİT HƏCMDƏ XÜSUSİ İSTİLİK TUTUMLARIN FƏRQİ

**Abdulova İ.N., Rzayeva A.S., Babayeva A.Ə., İbrahimova A.B., Quliyeva S.Ş**  
*Sumqayıt Dövlər Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*  
[izzet.abdulova@mail.ru](mailto:izzet.abdulova@mail.ru)

**Xülasə** TlIn<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>S<sub>2</sub> bərk məhlulların (77-400)K temperatur intervalında istidən xətti genişlənmə və izotermik sıxılma əmsallarının təcrübi qiymətləri əsasında (C<sub>p</sub> – C<sub>v</sub>) istilik tutumları fərqi hesablanmışdır. Alınmış qiymətlərin Lindman düsturu ilə hesablanmış qiymətlərin müqayisəsi aparılmışdır. Sabit həcmdə xüsusi istilik tutumunun qiymətlərinin təyini üçün klassik Mayer-Kelli tənliyindən istifadə olunmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, Lindman düsturu ilə hesablanmış (C<sub>p</sub> – C<sub>v</sub>) qiymətləri istilik parametri ilə hesablanmış qiymətlərdən böyük alınır.

**Açar sözlər:** Bərk məhlullar, istilik tutumu, ərinti Lindman parametri, entropiya, entalpiya, Gibbsin gətirilmiş enerjisi.

Təqdim olunan işdə TlIn<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>S<sub>2</sub> bərk məhlulları sabit təzyiqdə və sabit həcmdə xüsusi istilik tutumların fərqi hesablanmışdır. Bunun üçün [1] işində göstərilmiş termodinamik münasibətdən istifadə olunmuşdur.

$$C_p - C_v = \frac{9\alpha^2 VT}{\alpha_T} \quad (1)$$

İstilik tutumlarının fərqi TlIn<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>S<sub>2</sub> bərk məhlulları üçün, həmçinin Nernst-Lindeman düsturundan istifadə etməklə hesablanmışdır. [2]

$$C_p - C_v = 0,0214 C_p^2 \frac{T}{T_{\text{ar}}} \quad (2)$$

burada T<sub>ar</sub> – bərk məhlullar üçün ərimə temperaturudur. (1) və (2) düsturları ilə (C<sub>p</sub> – C<sub>v</sub>) üçün hesablanmış qiymətlər cədvəldə 1-də verilmişdir.

Cədvəldən görüldüyü kimi TlIn<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>S<sub>2</sub> bərk məhlullar üçün (1) düsturu ilə (C<sub>p</sub> – C<sub>v</sub>) fərqi üçün hesablanmış qiymətlər (2) düsturu ilə hesablanmış qiymətlərdən kiçikdir. Bu isə onunla əlaqədardır ki (2) düsturu mesatal və ərintilər üçün olmadığından, onu güclü anizotrop maddələrin istilik tutumunu hesablamaq üçün tətbiqi məqsədə uyğun deyil.

### Cədvəl.1.

*CP-CV istilik tutumları fərqi üçün istilik parametrləri ilə Lindeman düsturu ilə hesablanmış qiymətləri*

T, K	C <sub>p</sub> – C <sub>v</sub> , C/kq · K	
	(1) düsturu ilə	(2) düsturu ilə
80	2,24	6,45
90	2,56	6,52
100	2,81	7,12
120	2,98	7,95
140	3,14	8,14
160	3,42	9,05
180	3,51	9,66
200	3,65	10,22
250	3,71	11,55
300	3,92	12,44

Bərk cisimlərin istilik tutumu klassik Meyer-Kelli tənliyindən istifadə olunur.

$$C_p = a + bT + cT^{-2} \quad (3)$$

(1)-ifadəsi TlIn<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>S<sub>2</sub> bərk məhlullar üçün aşağıdakı şəkllə düşür. [3]

$$C_p = (258,08 \pm 0,8) + (37,9 \pm 0,4) \cdot 10^{-3} T - (27,91 \pm 0,38) \cdot 10^5 T^{-2} \quad (4)$$

(3)-tənliyinin korrelyasiya əmsalı 0,005-ə bərabərdir. (4) ifadəsindən istifadə etməklə TlIn<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>S<sub>2</sub> bərk məhlullar üçün termodinamik funksiyalardan entropiyanın dəyişməsi, entalpiyanın dəyişməsi və Gibbsin gətirilmiş enerjisi hesablanmışdır. (cədvəl.1.) Cədvəldən qiyməti Dyulonq-Pti qanununun 3RS qanunauyğunluğundan kənara çıxır. [4] (R-universal qaz sabiti, S- TlIn<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>S<sub>2</sub> formurunda atomların sayıdır). Onda bu halda məlum olduğu kimi, istilik tutumunun tədqiqatı zamanı sabit həcmdə (C<sub>p</sub>) istilik tutumundan -(C<sub>v</sub>) istifadə olunur. Bunun üçün aşağıdakı düsturdan istifadə olunmuşdur.

$$C_p = C_v + VT\alpha^2 / \alpha_T \quad (5)$$

Burada α – istidən genişlənmə, α<sub>T</sub> – isə izotermik sıxılma əmsalıdır.

Характеристик  $\theta$  – Дебай температуру iki üsulla tapılır; Birinci üsula görə  $C_p$  – nin qiyməti

$$C_p = 9D(\theta_D/T) \quad (6)$$

harada ki,  $D(\theta_D/T)$ -Debay funksiyasıdır. Onun qiyməti -  $TlIn_{1-x}Gd_xS_2$  bərk məhlullar üçün cədvəl.. verilmişdir.

İkinci üsulda isə istidən xətti genişlənmə əmsalının təcrübi qiymətlərini bilməklə (cədvəl.1.)

$$C_p = (1 - \frac{c}{a} \cdot \frac{1}{T^2}) + b \cdot T \quad (7)$$

düsturu ilə hesablanır. Buradan

$$C_v = 3RS(1 - \frac{\theta^2}{20} \cdot \frac{1}{T^2}) \quad (8)$$

alınır. Hər iki (6) və (8) düsturlar ilə hesablanmış

$\theta_D$  – üçün qiymətlər istilik parametrləri ilə hesablanmış qiymətlərlə 6% xəta ilə üst – üstə düşür

### Ədəbiyyat

1. Cicek Z., Yakut S., Deger D., Bozoglu D., Mustafaeva S., Ismailova P., Hasanov A.A., Ulutas K. Thickness dependence of dielectric properties of  $TlGaS_2$  thin films, Materials Science in Semi- conductor Processing, 166 (2023) 107733; <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2023.107733>
2. Gasanov N., Khallokov F. at all. Norwegian Journal of development of the International, pp 86-90, 124 (2024). <https://zenodo.org/records/10515000>
3. Zərbəliyev M.M., Əhmədova A.M., Məmmədov E.H., Nağıyev Ə.B.  $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$  bərk məhlullarında istilikdaşınmanın xüsusiyyətləri. SDU, Elmi xəbərlər, Təbiət və texniki elmlər bölməsi, 2007, s.16-21
4. İsmayılov R. M., Mustafayeva Ü.M., Bayramov C.C., İsmayılova X.İ., Abdulova İ.N.  $TlInSe_2 - TlGdSe_2$  sistem ərintilərinin istilik tutumu. Tətbiqi Fizika və Energetikanın aktual məsələləri. III Beynəlxalq Elmi konfransının materialları. Sumqayıt 27-28 oktyabr 2022.

### Summary

#### DIFFERENCE BETWEEN SPECIFIC HEAT CAPACITIES OF SOLID SOLUTIONS AT CONSTANT PRESSURE AND CONSTANT VOLUME $TlIn_{1-x}Gd_xS_2$

*Abdulova I.N., Rzayeva A.S., Babayeva A.A., Ibrahimova A.B., Guliyeva S.Sh.*

The difference in heat capacities ( $C_p - C_v$ )  $TlIn_{1-x}Gd_xS_2$  solid solutions was calculated based on the experimental values of the coefficients of linear thermal expansion and isothermal compression in the temperature range (77-400)K. The obtained values were compared with the values calculated using the Lindman formula. The classical Mayer-Kelly equation was used to determine the values of specific heat capacity at constant volume. It was found that the values of ( $C_p - C_v$ ) calculated using the Lindman formula are greater than the values calculated using the thermal parameter.

**Keywords:** solid solutions, heat capacity, alloy Lindman parameter, entropy, enthalpy, Gibbs free energy.

### Резюме

#### РАЗНИЦА УДЕЛЬНЫХ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ И ПОСТОЯННОМ ОБЪЕМЕ $TlIn_{1-x}Gd_xS_2$

*Абдулова И.Н., Рзаева А.С., Бабаева А.А., Ибрагимова А.Б., Гулиева С.Ш.*

Разность теплоемкостей ( $C_p - C_v$ ) рассчитывалась на основе экспериментальных значений коэффициентов линейного термического расширения и изотермического сжатия твердых растворов  $TlIn_{1-x}Gd_xS_2$  в интервале температур (77-400)К. Полученные значения сравнивались со значениями, рассчитанными по формуле Линдмана. Для определения значений удельной теплоемкости при постоянном объеме использовалось классическое уравнение Майера-Келли. Было обнаружено, что значения ( $C_p - C_v$ ), рассчитанные с использованием формулы Линдмана, больше значений, рассчитанных с использованием теплового параметра.

**Ключевые слова:** твердые растворы, теплоемкость, параметр Линдмана сплава, энтропия, энтальпия, свободная энергия Гиббса.

# INFLUENCE OF DEFECTS ON THERMAL AND ELASTIC PROPERTIES OF SOLID SOLUTIONS $(TlInS_2)_{1-x}(TlGdS_2)_x$

**Bayramov Joshkun Jumshud**

**Talifli Aysel Fizuli**

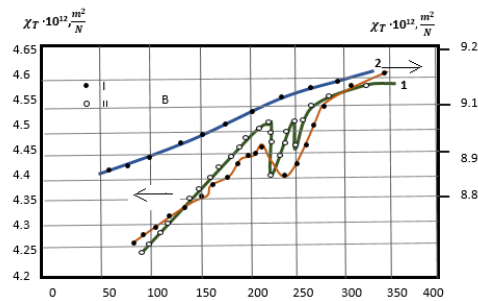
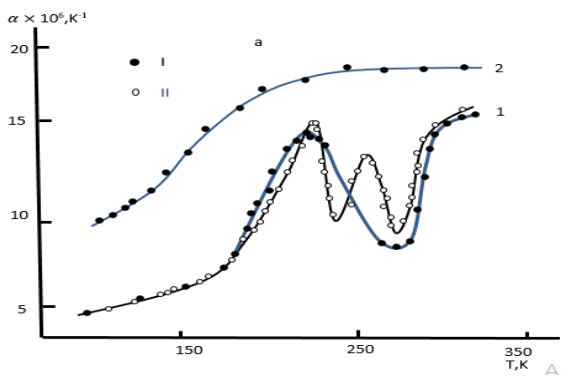
**Abdulova Izzet Nacmeddin**

*Sumgait State University, Sumgait, Azerbaijan*

[cosqun.bayramov.58@mail.ru](mailto:cosqun.bayramov.58@mail.ru), [izzet.abdulova@mail.ru](mailto:izzet.abdulova@mail.ru)

**Summary** Temperature and concentration dependences of thermal and electrophysical properties of alloys of the  $TlInS_2 - TlGdS_2$  systems are studied in the work [1]. However, these data are insufficient to clarify the nature of the bond and the strength of interatomic interaction in the  $TlInS_2$  compound and solid solutions of the  $TlInS_2 - TlGdS_2$  system, which is of particular interest for the analysis of thermal and elastic properties of this object. To obtain additional information about the chemical bond in the crystal lattice, its influence on the nature and magnitude, the temperature dependence of the heat capacity of thermal expansion ( $\alpha$ ) and isothermal compressibility ( $\chi_T$ ) were studied in a wide temperature (80-350 K) and concentration ranges.

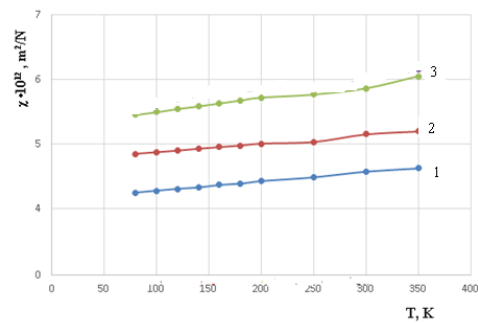
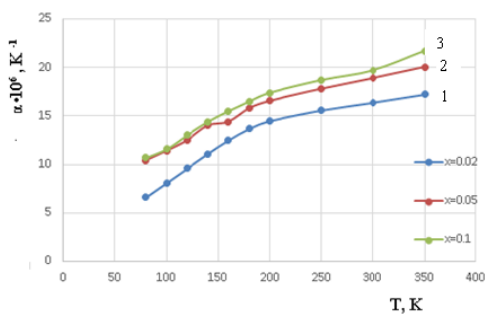
**Key words:** Solid solutions, isothermal compression, Debye temperature, band gap width, Gruneisen parameter, compaction density, thermal expansion



**Fig. 1.** Temperature dependence of the coefficient of linear thermal expansion of 1-  $TlInS_2$ , 2-  $TlGdS_2$  compounds ( $\circ$ -monocrystalline,  $\bullet$ -polycrystalline)

**Fig. 2.** Temperature dependence of the isothermal compression coefficient of  $TlInS_2$  and  $TlGdS_2$  compounds (symbols are the same as in Figure 2)

Fig. 1, 2 show the results of the study of the temperature dependence of the coefficient of linear thermal expansion ( $\alpha_L$ ) and isothermal compressibility ( $\chi_T$ ) in the range of 80-400 K in  $TlInS_2$ .



**Fig. 3.** Temperature dependence of the coefficient of linear thermal expansion of  $[TlInS_2]_{1-x}[TlGdS_2]_x$  solid solutions (markings are as in Figure 1)

**Fig. 4.** Temperature dependence of the isothermal compression coefficient of  $(TlInS_2)_{1-x}(TlGdS_2)_x$  solid solutions (the symbols are the same as in Figure 1)

It follows from the figure that for the single-crystal sample of  $TlInS_2$ , two anomalies are observed, which correspond to the temperature range of the ferroelectric and incommensurate – commensurate transitions [2]. For semicrystalline  $TlInS_2$ , only one anomaly is observed on the curve, covering a wider

temperature range, and the even boundary of anomalies observed in the case of a single-crystal sample disappears. The changes in the anomaly in the single-crystal and semi-crystalline samples of  $TlInS_2$  that we have discovered can also be associated with the influence of the “random field” and “random temperature” defects, since these defects create non-zero values of the order parameter independent of symmetry. In this connection, an electric field is created that strongly affects the incommensurate-commensurate phases.

The results of the studies of the temperature dependence of the linear thermal expansion and isothermal compressibility ( $\alpha_L$  и  $\chi_T$ ) of solid solutions  $(TlInS_2)_{1-x}(TlGdS_2)_x$  where  $0 \ll x \ll 0.1$  at  $80-400K$  are shown in Fig. 3, 4. It is evident that no anomalies are observed in the temperature dependences of  $\alpha_L$  and  $\chi_T$  in the studied temperature range. This indicates that there are no phase transformations in the specified temperature range. As follows from Fig. 4, 5, in all the crystals studied, the nature of the temperature dependence of both  $\alpha_L$  and  $\chi_T$  is almost the same, i.e., at relatively low temperatures,  $\alpha_L$  increases with increasing temperature and, starting from  $\sim 210K$ , the growth of  $\alpha_L$  somewhat weakens and gradually comes to a constant value. This behavior of  $\alpha_L$  and  $\chi_T$  in solid solutions  $(TlInS_2)_{1-x}(TlGdS_2)_x$  is explained by the identity of the types of crystal structure and chemical bonds between atoms. In order to identify the temperature increase of  $\alpha_L$ , the degrees of temperature dependence of  $\alpha_L$  were determined graphically at different temperature ranges  $80 \leq T \leq 200K$ . At  $x=0$ ,  $\alpha_L \sim T^{0.81}$ ;  $x = 0,02$ ,  $\alpha_L \sim T^{0.86}$ ;  $x = 0,05$ ,  $\alpha_L \sim T^{0.92}$ ;  $x = 0,10$ ,  $\alpha_L \sim T^{0.95}$ . Such a large change in the degree of temperature dependence of  $\alpha_L$  in solid solutions  $(TlInS_2)_{1-x}(TlGdS_2)_x$  is explained by the fact that during thermal expansion, along with a change in the size of the unit cell, the amplitude of oscillations of atoms in the crystal lattice also changes, which in turn leads to a change in the anharmonicity value.

The experimental data obtained by us on the values of  $\alpha_L$   $TlInS_2$  and various compositions of solid solutions  $(TlInS_2)_{1-x}(TlGdS_2)_x$  were used to calculate the Debye temperature ( $\theta_D$ ) and the root-mean-square dynamic displacements of atoms ( $\sqrt{\bar{u}^2}$ ) according to the following equations [3-4]

$$\theta_D = \frac{14,37}{(\bar{A} \cdot V^{3/2} \cdot \alpha)^{1/2}} \quad (1)$$

$$\sqrt{\bar{u}^2} = \frac{4,3 \cdot 10^{-14} [D(\theta_D/T)(\theta_D/T) + 1/4]}{\bar{A} \theta_D} \quad (2)$$

where  $\alpha_L$ - is the coefficient of linear thermal expansion,  $\bar{A}$  is the average atomic mass,  $V$  is the average atomic volume,  $D(\theta_D/T)$  is the Debye function [5-6]. The calculation data for the values of ( $\theta_D$ ) and ( $\sqrt{\bar{u}^2}$ ) using expressions (1) and (2) are presented in Table 2.

**Table 1.**

*The value of the Debye temperatures and the root-mean-square dynamic displacements of atoms in the crystal lattice of solid solutions  $(TlInS_2)_{1-x}(TlGdS_2)_x$*

T, K	X=0		X=0,02		X=0,05		X=0,10	
	$\theta_D, K$	$\sqrt{\bar{u}^2}, \text{Å}$	$\theta_D, K$	$\sqrt{\bar{u}^2}, \text{Å}$	$\theta_D, K$	$\sqrt{\bar{u}^2}, \text{Å}$	$\theta_D, K$	$\sqrt{\bar{u}^2}, \text{Å}$
80	335	0,066	392	0,072	323	0,080	313	0,084
100	314	0,075	353	0,081	306	0,091	300	0,093
120	290	0,085	325	0,092	292	0,101	283	0,104
140	266	0,098	302	0,103	280	0,111	269	0,115
160	240	0,113	285	0,115	270	0,120	260	0,126
180	206	0,139	272	0,126	263	0,131	252	0,137
200	182	0,166	264	0,136	257	0,141	245	0,148
220	178	0,177	259	0,145	253	0,149	240	0,160
240	220	0,115	256	0,153	250	0,158	236	0,168
280	174	0,120	255	0,167	248	0,172	232	0,185
310	171	0,122	254	0,175	247	0,179	230	0,196
350	170	0,123	253	0,187	246	0,194	228	0,210

It is evident that when replacing indium atoms with gadolinium atoms, the mean square dynamic displacement of atoms in the crystal lattice increases, and the Debye temperature decreases by  $(TlInS_2)_{1-x}(TlGdS_2)_x$ . The change in the Debye temperature with temperature indicates a deviation of the phonon spectrum from the Debye spectrum.

#### References

1. Müller D.(1974), Poltman F., Hahn H. Zur Struktur Ternäre Chalkogenides Thalliums mit Aluminium, Gallium und Indium //Z. Naturforsch. B. V. 29. № 1-2. S. 117-118.

- Guseiniov G.D.(2011), Mooser E., Kerimova E.M. et al. On some properties of  $TlInS_2(Se_2,Te_2)$  single crystals // Phys. Status solidi. . V. 34. № 1. P. 33-34.
- Şeşeq A.U., Qurtovoy V.G., Şevtsova V.V., Əliyev V.A. Kristalloqrafiya. 2014. T. 59. No 2. S. 231
- Z.Cicek, S.Yakut, D.Deger, D.Bozoglu, S.Mus- tafaeva, P.Ismailova, A.A.Hasanov, K.Ulutas. Thickness dependence of dielectric properties of  $TlGaS_2$  thin films, Materials Science in Semi- conductor Processing, 166 (2023) 107733; <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2023.107733>
- N.Gasanov, F.Khallokov at all. Norwegian Journal of development of the International, pp 86-90, 124 (2024). <https://zenodo.org/records/10515000>
- K.M.Guseinova, F.A.Mammadov et all, East European Journal of Physics,,pp 322-328 (4), (2024). DOI: [10.26565/2312-4334-2024-4-36](https://doi.org/10.26565/2312-4334-2024-4-36)

**Xülasə**  
 **$(TlInS_2)_{1-x}(TlGdS_2)_x$  BƏRK MƏHLULLARINDA DEFEKTLƏRİN İSTİLİK**  
**VƏ ELASTİQİYYAT XASSƏLƏRİNƏ TƏSİRİ**  
*Bayramov C.C, Talıflı A.F., Abdulova I.N.*

İşdə  $(TlInS_2)_{1-x}(TlGdS_2)_x$  sistemlərinin ərintilərinin istilik və elektrofiziki xassələrinin temperaturdan və konsentrasiyadan asılılıqları öyrənilmişdir [1]. Bununla belə, bu məlumatlar  $TlInS_2 - TlGdS_2$  sisteminin  $TlInS_2$  birləşməsində və bərk məhlullarında rabitənin xarakterini və atomlararası qarşılıqlı təsirin gücünü aydınlaşdırmaq üçün kifayət deyil ki, bu obyektin istilik və elastik xüsusiyyətlərinin təhlili üçün xüsusi maraq kəsb edir. Kristal qəfəsdə kimyəvi rabitə kristal daxilində olan defektlərə təsirini araşdırmaq məqsədilə onun istilik genişlənməsinin, istilik tutumunun temperaturdan asılılığı ( $\alpha$ ) və izotermik sıxılma qabiliyyəti ( $\chi_T$ ) geniş temperaturda (80-350 K) və konsentrasiya diapazonlarında tədqiq edilmişdir.

**Açar sözlər:** Bərk məhlullar, izotermik sıxılma, Debay temperaturu, qadağan olunmuş zona, Qrunayzen parametri, kipləşmə sıxlığı, istidən genişlənmə

**Резюме**  
**ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ НА ТЕПЛОВЫЕ И УПРУГИЕ СВОЙСТВА**  
**В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ  $(TlInS_2)_{1-x}(TlGdS_2)_x$**   
*Байрамов С.С, Талифлы А.Ф., Абдулова И.Н.*

В работе изучены зависимости теплофизических и электрофизических свойств сплавов систем  $(TlInS_2)_{1-x}(TlGdS_2)_x$  от температуры и концентрации [1]. Однако этих данных недостаточно для выяснения характера связи и силы межатомных взаимодействий в соединении  $tlns_2$  и твердых растворах системы  $tlns_2-tlgds_2$ , что представляет особый интерес для анализа теплоупругих свойств данного объекта. С целью изучения влияния химических связей в кристаллической решетке на дефекты внутри кристалла были исследованы температурная зависимость его теплового расширения, теплоемкости ( $\alpha$ ) и изотермической сжимаемости  $\chi_T(T)$  в широком диапазоне температур (80-350 K) и концентраций. Ключевые слова: твердые растворы, изотермическое сжатие, температура Дебая, запрещенная зона, параметр грюнайзена, плотность затвердевания, расширение при нагревании.

**Ключевые слова:** твердые растворы, изотермическое сжатие, температура Дебая, запрещенная зона, параметр грюнайзена, плотность затвердевания, расширение при нагревании

**ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ЭКСТРУДИРОВАННЫХ ОБРАЗЦОВ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ**  
 **$Bi_{0.85}Sb_{0.15}$  С РАЗЛИЧНЫМИ РАЗМЕРАМИ ЗЕРЕН.**

<sup>1,2</sup>Тагиев М.М., <sup>2,3</sup>Абдуллаева И.А., <sup>2</sup>Алиева Х.Ф.,  
<sup>2</sup>Абдинова Г.Д., <sup>4</sup>Мамедзаде А.М., <sup>2</sup>Пириева Т.И.

<sup>1</sup>Азербайджанский Государственный Экономический Университет, Г.Баку

<sup>2</sup>Институт Физики НАН Азербайджана, г.Баку, Аа-1143, Ваки, Пр. Г.Джавида, 131,

<sup>3</sup>Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана, г.Баку

<sup>4</sup>Институт Биофизики Министерство Науки и Образование Азербайджанской Республики  
[mail\\_tagiyev@mail.ru](mailto:mail_tagiyev@mail.ru)

**Резюме** Исследованы тепловые параметры экструдированных образцов твердого раствора  $Bi_{0.85}Sb_{0.15}$  в зависимости от размера зерна, условий отжига и напряженности магнитного поля в диапазоне температур  $\sim 77-300$  К. Выяснено, что экструзия поликристаллического материала  $Bi_{0.85}Sb_{0.15}$  приводит к образованию аксиальной текстуры, то есть часть зерен в поликристалле выстраивается так, что их тригональная ось параллельна оси экструзии и одновременно к появлению различных структурных дефектов в кристаллической решетке отдельных зерен.

**Ключевые слова:** теплопроводность, дефект, экструзии, текстура, зерен

Одной из актуальной задач современной техники низкотемпературного охлаждения с помощью твердотельных устройств является повышение термоэлектрической и магнитотермоэлектрической добротности материалов, используемых в холодильных устройствах

при температурах ниже  $\sim 200\text{K}$ , в частности монокристаллов твердых растворов висмута с сурьмой [1-3]. Присутствие в твердых растворах различных дефектов кристаллической структуры может существенным образом влиять на механизм переноса тепла и изменять теплопроводности. Степень текстуры при пластической деформации и концентрация структурных дефектов внутри зерен во многом определяются дисперсностью порошка, из которого экструдированы образцы.

Для изучения влияния размеров зерен на теплопроводность экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  синтезированный материал перед прессованием заготовок предварительно измельчали в фарфоровой чашке с ступкой с отбором фракции с размерами зерен 50, 100, 160, 200, 315, 630 и 1000 мкм. Исследовано влияния размеров зерен на теплопроводность в интервале температур 77-300K и напряженности магнитного поля до  $74 \times 10^4 \text{A/m}$ . Измерения проводились на образцах, не прошедших отжиг после экструзии, и на этих же образцах, прошедших послеэкструзионную термообработку при  $\sim 503 \text{K}$  в течение 5 часов в вакууме  $\sim 10^{-3} \text{Па}$ .

Теплопроводность твердых растворов системы Bi-Sb исследована неоднократно. Однако определение отдельных составляющих теплопроводности в этих системах при температурах выше  $\sim 90 \text{K}$  и их анализ почти не проводились. Это обусловлено тем, что при температурах выше  $\sim 90 \text{K}$  вклад биполярной составляющей в теплопроводность играет существенную роль, что затрудняет выделение решеточной и электронной составляющих с помощью метода измерения теплопроводности в сильных магнитных полях.

Общая теплопроводность полупроводников, применяемых в термоэлектричестве в области ниже  $\sim 300 \text{K}$  обусловлена, в основном, переносом тепловой энергии фононами и электронами проводимости. В свою очередь, обе эти составляющие теплопроводности чувствительны к структуре образца и содержанию дефектов в нем. Поэтому исследование теплопроводности в экструдированных образцах с различными размерами зерен в широком интервале температур и напряженности магнитного поля представляет научный и практический интерес.

Кроме того выяснено, что послеэкструзионный отжиг приводит к уменьшению плотности дислокации и концентрации дефектов в образцах. Поэтому особый интерес представляет исследования влияния отжига на теплопроводность твердых растворов  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$ .

Установлено что, теплопроводность образцов, прошедших оптимальный отжиг, больше теплопроводности образцов без отжига во всем интервале температур исследования. Такое поведение теплопроводности связано с тем, что отжиг приводит к уменьшению концентрации дефектов и высоты межзеренных потенциальных барьеров. Поэтому тепловое сопротивление у образцов без отжига больше, чем у отожженных образцов.

Для выявления влияния отжига на механизм теплопроводности и понимания фононных и электронных процессов в образцах  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  необходимо правильное определение составляющих теплопроводности.

Как показано в [4], для сплавов висмут-сурьма лишь до температур порядка 90-100 K с малой погрешностью прямыми измерениями в магнитных полях можно определить решеточную составляющую теплопроводности, которая при этих температурах описывается зависимостью

$$\chi_s \sim T^{-1} \quad (1)$$

С ростом температуры вклад биполярной составляющей в теплопроводность становится существенным, и растет погрешность при определении  $\chi_s$  указанным способом.

Для оценки решеточной теплопроводности при 80 K использованы зависимости общей теплопроводности  $\chi$  от электропроводности  $\sigma$ , измеренных при различных значениях напряженности магнитного поля [5,6]. В поперечном магнитном поле  $\sigma$  уменьшается с ростом H, при этом  $\chi_p$  в магнитном поле не меняется. В этом случае

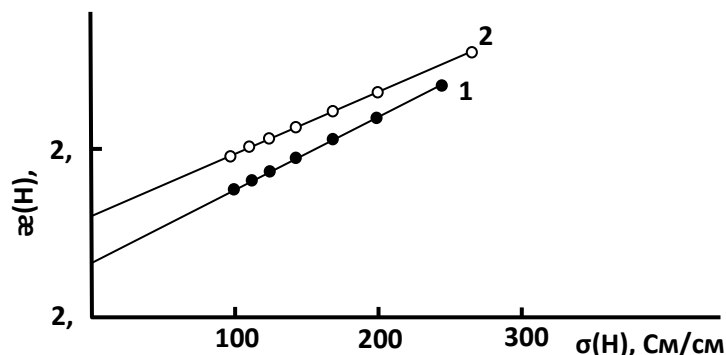
$$\chi(H) = \chi_p + \chi_s(H) = \chi_p + L\sigma(H)T \quad (2)$$

где  $\chi(H)$ ,  $\chi_s(H)$  - общая и электронная составляющие теплопроводности,  $\sigma(H)$ -электропроводность образца при данной напряженности H, L - число Лоренца.

Путем экстраполяции линейной зависимости  $\chi(H)$  от  $\sigma(H)$  к  $\sigma(H) \rightarrow 0$  определяли  $\chi_p$  для каждого образца (рис.1).

Прямолинейность графиков зависимости  $\chi(H)$  от  $\sigma(H)$  при 80K свидетельствует о справедливости выражения (2) в случае образцов  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$ , и о том, что при предельной напряженности магнитного поля  $74 \times 10^4 \text{A/m}$  при  $\sim 80 \text{K}$  число Лоренца L не зависит от напряженности магнитного поля. По данной методике при температуре  $\sim 80 \text{K}$  вычислены

решеточные составляющие теплопроводности для образцов без отжига и с оптимальным отжигом, которые равны, соответственно  $2,16 \cdot 10^{-2}$  и  $2,28 \cdot 10^{-2}$  Вт/см·К.



**Рис. 1.** Зависимость теплопроводности от электропроводности образцов твердого раствора  $Bi_{85}Sb_{15}$  при температуре  $T=80K$ .  
1 – без отжига, 2 – при отжиге 2 часа.

В этих образцах в интервале температур 80-300 К перенос тепла осуществляется фононами ( $\chi_p$ ) и электронами проводимости ( $\chi_э$ ), т.е.

$$\chi_o = \chi_p + \chi_э \quad (3)$$

Выяснено, что с ростом размеров зерен коэффициент теплопроводности образцов, прошедших и непрошедших термообработку уменьшается. Некоторая немонотонность зависимости  $\chi$  от  $d$  наблюдается при значениях размеров зерен до  $\sim 200$  мкм (особенно в случае образцов, непрошедших термообработку).

Для выделения  $\chi_p$  и  $\chi_э$  исследована зависимость коэффициента теплопроводности  $\chi$  образцов от  $H$ . Эксперименты показали, что во всех случаях с ростом  $H$  теплопроводность уменьшается. При этом, с уменьшением общей теплопроводности образца при  $H=0$  зависимость  $\chi$  от  $H$  ослабляется.

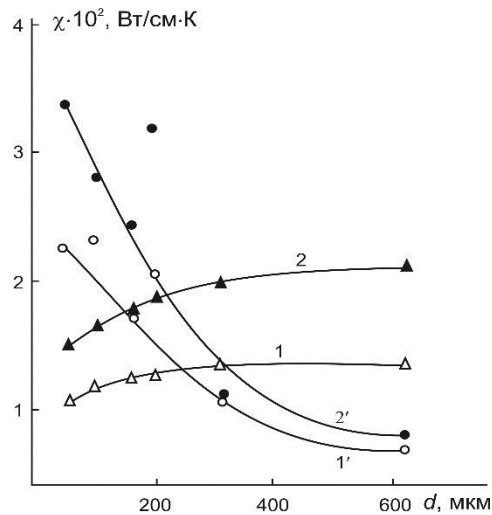
На рис. 2 представлены зависимости  $\chi_p$  и  $\chi_э$  образцов от размеров зерен. Видно, что в образцах, прошедших и непрошедших термообработку  $\chi_p$  с ростом  $d$  растет и после  $d \approx 315$  мкм почти насыщается. Электронная составляющая теплопроводности с ростом  $d$  в обоих случаях уменьшается.

Рост общей теплопроводности образцов  $Bi_{0,85}Sb_{0,15}$  с размерами зерен до  $\sim 200$  мкм после термообработки обусловлен, в основном, ростом его электронной составляющей.

Полученные экспериментальные результаты объясняются наличием текстуры и структурными дефектами, возникающими в образцах в процессе экструзии за счет пластической деформации. В образцах с размерами зерен  $\sim 50$  мкм концентрация структурных дефектов наибольшая. При  $d \approx 50$  мкм энергия, требуемая для ориентации зерен, наименьшая. Поэтому, в этом случае должна была наблюдаться наибольшая степень текстуры. Так как экструзия проводится при  $\sim 470$  К, по-видимому, в образцах с размерами зерен  $\sim 50$  мкм происходит частичное тепловое разрушение текстуры в процессе экструзии.

В конечном итоге, в образцах с размерами зерен  $\sim 50$  мкм степень текстуры меньше, чем в образцах с размерами больше  $\sim 50$  мкм. Из-за высокой концентрации структурных дефектов, в образцах с размерами зерен  $\sim 50$  мкм концентрация свободных носителей заряда также высокая. Поэтому  $\chi_э$  в образце, непрошедшем термообработку наибольшая, а  $\chi_p$  - наименьшая.

Термообработка приводит к уменьшению концентрации носителей заряда и решеточная теплопроводность при этом растет.



**Рис.2.** Зависимости электронной и ( $1'$ ,  $2'$ ) и решеточной ( $1$ ,  $2$ ) составляющих теплопроводности от размеров зерен образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  до ( $1$ ,  $1'$ ) и после отжига ( $2$ ,  $2'$ ).

Совместный анализ электрических и тепловых параметров экструдированных образцов твердых растворов  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  показывает, что в рассеивании фононов в образцах при  $\sim 77$  К преобладающую роль играет текстура, а электроны при  $\sim 77$  К, в основном, рассеиваются на структурных дефектах. С ростом размеров зерен концентрация структурных дефектов и носителей заряда уменьшается. При размере зерен  $\sim 200$  мкм создаются оптимальные условия для максимальной степени текстуры в образце.

Уменьшение концентрации структурных дефектов и рост степени текстуры с ростом  $d$  сопровождаются уменьшением электронной части и ростом фоновой части теплопроводности. С дальнейшим увеличением размеров зерен, из-за роста энергии ориентации зерен, степень текстуры в образцах при деформации несколько уменьшается. Одновременно ослабляется и разориентация зерен в процессе экструзии. Это приводит к насыщению решеточной части теплопроводности.

При термообработке происходит частичное разрушение текстуры и «залечивание» структурных дефектов, которые приводят к уменьшению концентрации носителей заряда тока, и решеточная теплопроводность при этом растет.

## Литература

1. Сидоренко Н.А., Дашевский З.М. Эффективные кристаллы Bi-Sb для термоэлектрического охлаждения при температурах  $T \leq 180$  К // ФТП. 2019. Т. 53. Вып. 5. С. 693-697.
2. Bulat L.P., Drabkin I.A., Pivovarov G.I., Osvensky V.B. On thermoelectric properties of nanoscale materials // Journal of Thermoelectricity. 2008. №4. pp.27-33.
3. Tagiyev M.M., Abdinova G.D., Barkhalov B.Sh // Extruded material based on  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  for thermoelectric converters. Russian Physics Journal. 2022. Vol. 64. pp.1592–1598.
4. Тагиев М.М. Влияние размеров зерен и термообработки на магнито-термоэлектрические свойства экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  // Российская АН «Термоэлектрики и их применения» С. Петербург, 2000
5. Oskotsky V.S., Smirnov I.A. Defects in crystals and thermal conductivity, L.: Science (1972) 160p.
6. Völklein F., Kessler E. Analysis of the lattice thermal conductivity of thin films by means of a modified Mayadas-Shatzkes model: The case of bismuth films. Thin Solid Films. Vol. 142, No. 2. pp. 169-181. [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(86\)90002-7](https://doi.org/10.1016/0040-6090(86)90002-7)

## Xülasə

### $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$ BƏRK MƏHLULU EKSTRUZIYA NÜMUNƏLƏRİNİN İSTİLİK XASSƏLƏRİNƏ DƏNƏCİKLƏRİN ÖLÇÜLƏRİNİN TƏSİRİ

Tagiyev M.M., Abdullayeva İ.A., Əliyeva X.F., Abdinova G.D., Məmmədşadə A.M., Piriyyəva T.İ.

$\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulunun ekstruziya edilmiş nümunələrinin istilik parametrləri dəcəklərin ölçüsü, termik işlənmə və maqnit sahəsindən asılılığı  $\sim 77$ – $300$  K temperatur diapazonunda tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki,  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulunun ekstruziya oxu istiqamətində aksial tekstura əmələ gəlir yəni, kristal dənəciklərin triqonal oxu ekstruziya oxuna paralel olur və eyni zamanda ayrı-ayrı dənəciklərin kristallik qəfəslərində defektlər yaranır.

**Açar sözlər:** istilik keçiriciliyi, defekt, ekstruziya, tekstura, dənəcik

**Summary**  
**THERMAL CONDUCTIVITY OF EXTRUDED SAMPLES OF  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  SOLID SOLUTIONS WITH DIFFERENT GRAIN SIZES**

**Tagiyev M.M., Abdullayeva I.A., Aliyeva Kh.F., Abdinova G.D., Mamedzade A.M., Piriyeva T.I.**

Thermal parameters of extruded samples of  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  solid solution were studied depending on grain size, annealing conditions and magnetic field strength in the temperature range of  $\sim 77\text{--}300$  K. It was found that extrusion of polycrystalline  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  material leads to the formation of axial texture, i.e. part of the grains in the polycrystal are aligned so that their trigonal axis is parallel to the extrusion axis and simultaneously to the appearance of various structural defects in the crystal lattice of individual grains.

**Keywords:** thermal conductivity, defect, extrusion, texture, grain

**SUBLİMASİYA ÜSULU İLƏ  $\text{SiO}_2$  NANOİSSƏCİYİNİN ALINMASI PROSESİNİN KOMPÜTER MODELLEŞDİRİLMƏSİ**

**Qurbanova Firəngiz Rövşən**

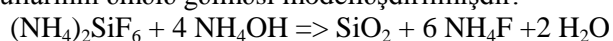
*Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan*

[qurbanovafirengiz0@gmail.com](mailto:qurbanovafirengiz0@gmail.com)

Nanotexnologiya sahəsindəki sürətli inkişaf nəticəsində yüksək təmizlikdə və optimallaşdırılmış strukturda nanohissəciklərin sintezinə olan tələbat artmaqdadır. Bu baxımdan, silisium dioksid ( $\text{SiO}_2$ ) əsaslı nanohissəciklər yüksək səth sahəsi, kimyəvi dayanıqlığı və funksional çevikliyi ilə müxtəlif sahələrdə- sensorlardan tutmuş enerji daşıyıcılarına qədər- geniş tətbiq sahəsi qazanmışdır. Nanohissəciklərin alınması üçün əhəmiyyətli eksperimental üsullar zaman, maliyyə və texniki çətinliklər baxımından ciddi məhdudiyyətlərə malikdir. Buna görə də son illərdə bu proseslərin kompüter əsaslı modelləşdirilməsi və simulyasiya edilməsi daha çox üstünlük təşkil etməyə başlamışdır.

**Açar sözlər:** silisium dioksid ( $\text{SiO}_2$ ), sublimasiya, comsol multiphysics, 3D simulyasiya, nanohissəcik.

Araşdırma prosesində COMSOL Multiphysics proqram təminatından istifadə olunmuş, burada istilik ötürülməsi, kütlə köçürülməsi, kimyəvi reaksiyalar və faza keçidləri kimi çoxfizikalı proseslər eyni platformada inteqrasiya edilmişdir. Bu yanaşma real şəraitdə baş verən proseslərin kompleks simulyasiyasına imkan verir və müxtəlif ssenarilər üzrə nəticələrin vizualizasiyasına şərait yaradır. Modelin qurulması zamanı əvvəlcə sublimasiya prosesində iştirak edən əsas maddə – heksaflorsilik ammonium ( $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ ) – nəzərdə tutulmuş, onun müəyyən temperatur şəraitində buxarlanması və sonradan ammoniyak ilə reaksiya nəticəsində  $\text{SiO}_2$  və  $\text{NH}_4\text{F}$  məhsullarının əmələ gəlməsi modelləşdirilmişdir.

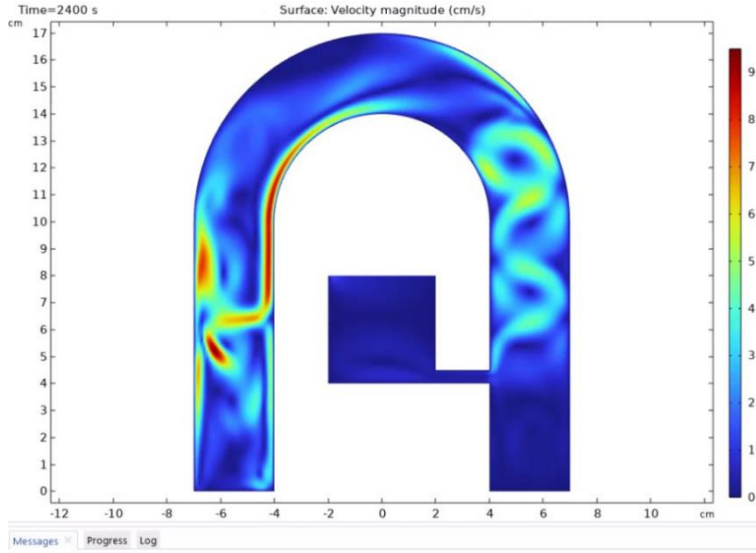


Modeldə temperatur diapazonu  $0 - 350^\circ\text{C}$  arasında təyin olunmuş və istilik axınlarının paylanması analiz edilmişdir. Eyni zamanda, difuziya prosesləri və hissəciklərin formalaşma kinetikasi nəzərə alınmışdır. Simulyasiya zamanı istifadə olunan əsas modul və komponentlər aşağıdakılardır:

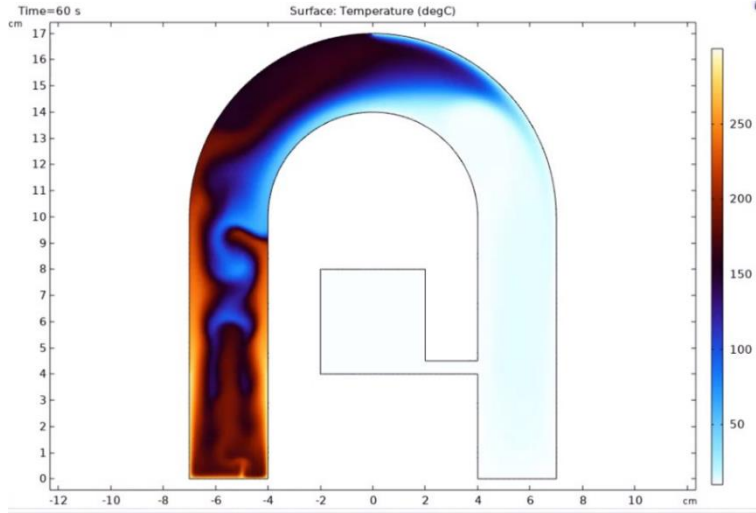
- Heat Transfer in Solids – istilik ötürülməsinin paylanmasını modelləşdirmək;
- Transport of Diluted Species – maddələrin yayılmasını analiz etmək;
- Chemical Reaction Engineering – kimyəvi reaksiya mexanizmlərini izləmək;
- Multiphysics Node – müxtəlif fiziki proseslərin eyni vaxtda qarşılıqlı təsirini nəzərdən keçirmək.

COMSOL mühitində aparılan simulyasiya nəticələri göstərmişdir ki, prosesin mühüm parametrləri- temperaturun paylanması, reaksiya zonalarının yerləşməsi və hissəcik formalaşması-  $\text{SiO}_2$  nanozərrəciklərinin keyfiyyətinə və ölçüsünə birbaşa təsir edir. Model çərçivəsində alınan temperatur profilləri müxtəlif mərhələlərdə materialın buxarlanmasını və diffuziya ilə yayılmasını əks etdirir. İstilik zonalarının qeyri-bərabər paylanması hissəciklərin qeyri-homogen formalaşmasına səbəb ola bilər. Bu baxımdan optimal temperaturun seçilməsi və sabit istilik rejiminin təmin olunması vacib amildir.

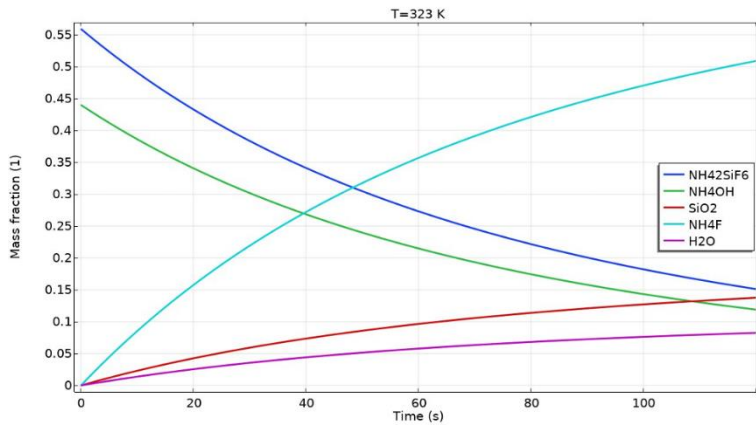
Model həmçinin maddələrin axın trayektoriyasını vizuallaşdırmağa, yüksək konsentrasiyalı hissələrin yerləşməsinə müəyyən etməyə və nəticədə nanoölçülü tozların əmələ gəldiyi zonaları proqnozlaşdırmağa imkan vermişdir. Qrafik analizlər nəticəsində sublimasiya başlanğıc mərhələsinin  $320\text{--}350^\circ\text{C}$  arasında baş verdiyi müşahidə olunmuşdur.  $\text{SiO}_2$  tozlarının sıxlığı və morfologiyası, temperaturun artması ilə birgə dəyişərək hissəciklərin ölçüsünü və spesifik səth sahəsini dəyişmişdir.



*Qrafik1. Sürətin paylanması*



*Qrafik 2. Temperatur paylanması*



*Qrafik 3. Kütlənin zamana görə dəyişmə inteqralı*

## Ədəbiyyat

1. Cəfərov M.A., Yevdokymenko V.O., Kamenskih D.S., Rüstəmov K.A., Cəfərov Z.A. Riyazi Model Desublimasiya şərtləri, Asiya Kimya Elmləri Jurnalının, cild 13, Sayı 2, Səhidə1-6 2023; AJOCS.97890 ISSN:2456-7795

2. Həsənov, A.Q. Nanosistemlərin riyazi modelləşdirilməsi və kompüter hesablanması / A.Q.Həsənov.- Bakı: "Ləman nəşriyyat poliqrafiya" MMC, -2013.-234s.
3. Бурункова Ю.Э., Денисюк И.Ю., Сембина С.А. Исследование влияния наночастиц SiO<sub>2</sub> на самоорганизацию акрилатных композитов отверждаемых ультрафиолетовым излучением// "Оптический журнал", 79,2,2012.с.67-71
4. Dmyto Kamenskyh, Tetiana Tkachenko, Lokman Hakan Tecer, Yevgenii Sheludko, Maarif Jafarov, Vitalii Yevdokymenko, Silikon kompleksi və koaqulyant nisbətının silikon dioksidin fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərinə təsiri, Təbiqi Nanoelm. <https://doi.org/10.1007/s13204-023-02841-2>
5. Introduction to Comsol Multiphysics s.6-96

#### Summary

### COMPUTER MODELING OF THE PROCESS OF OBTAINING SiO<sub>2</sub> NANOPARTICLE BY SUBLIMATION METHOD Gurbanova F.R.

This article presents the mathematical modeling and three-dimensional (3D) simulation of the synthesis process of SiO<sub>2</sub> nanoparticles via the sublimation method using the COMSOL Multiphysics software environment. The developed model allows for a comprehensive analysis of heat transfer, evaporation kinetics, mass diffusion, and the interplay of chemical reactions. The modeling results demonstrate that changes in temperature, pressure, and kinetic parameters significantly affect the particle size, surface area, morphology, and phase state. This approach provides a valuable scientific basis for the efficient planning of real experiments, optimization of technological processes, and theoretical justification of industrial-scale applications.

**Keywords:** Silicon dioxide (SiO<sub>2</sub>), Sublimation, COMSOL MULTIPHYSICS, 3D simulation, Nanoparticle.

#### Резюме

### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЧАСТИЦЫ SiO<sub>2</sub> МЕТОДОМ СУБЛИМАЦИИ Гурбанова Ф.Р.

В данной статье выполнено математическое моделирование и трёхмерная (3D) симуляция процесса получения наночастиц SiO<sub>2</sub> методом сублимации в программной среде COMSOL Multiphysics. С помощью построенной модели комплексно проанализированы теплоперенос, кинетика испарения, диффузия вещества и взаимное влияние химических реакций. Результаты моделирования показали, что изменения температуры, давления и кинетических параметров существенно влияют на размер частиц, площадь поверхности, морфологию и фазовое состояние. Такой подход создаёт важную научную базу для эффективного планирования реальных экспериментов, оптимизации технологических процессов и теоретического обоснования промышленного применения.

**Ключевые слова:** Диоксид кремния (SiO<sub>2</sub>), Сублимация, COMSOL MULTIPHYSICS, 3D-моделирование, Наночастица.

## POLIETİLEN VƏ MAQNƏTİT NANOHİSSƏCİKLƏRİ ƏSASINDAKI NANOKOMPOZİTLƏRİN İSTİLİK FİZİKİ XASSƏLƏRİNİN TƏDQIQI

Hüseynova Jalə Cavid qızı

Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan

[jaleguseinzade@gmail.com](mailto:jaleguseinzade@gmail.com)

**Xülasə** PE+Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> əsaslı polimer nanokompozitlərin quruluşu və istilik-fiziki xassələri tədqiq edilmişdir. XRD, SEM və AQM analizləri Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanohissəciklərinin polietilen matrisində paylanmasını və onların artması ilə PE-nin kristal quruluşunda dəyişikliklərin baş verdiyini göstərmişdir. Termogravimetrik analiz Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanohissəciklərinin əlavə olunması ilə nanokompozitlərin termal davamlılığının əhəmiyyətli dərəcədə artdığını ortaya qoymuşdur. DSC nəticələrinə görə, nanohissəciklər PE-nin ərimə və kristallaşma temperaturlarına cüzi təsir göstərir, kristallaşma dərəcəsində əsas dəyişikliklər isə yalnız yüksək Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> konsentrasiyalarında müşahidə olunur.

**Açar sözlər:** Polietilen, maqnetit, nanozərrəciklər, polimerin termal xassələri, nanokompozitlər.

PE+Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> əsasında polimer nanokompozitlərin quruluşu və istilik fiziki xassələri təqdim olunan işdə tədqiq edilmişdir. PE+Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> əsasında PE-polimer nanokompozitlərinin quruluşunun rentgen diffraksiya analizi (XRD) analizi göstərir ki, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanohissəciklərinin miqdarını polimerdə 3%-dən 40%-ə qədər artırıdınca nanohissəciklərin kristallitlərinin ölçüləri 5,14 nm-dən 12,01 nm-ə qədər artmış, polietilenin kristallitlərinin ölçüləri isə 14 nm-dən 4,88 nm-ə qədər azalmışdır. PE+Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> əsaslı nanokompozitlərin SEM analizi zamanı bəlli olmuşdur ki, maqnetit nanozərrəciklərinin polietilen matrisində orta ölçüləri 8-10 nm təşkil edir. Nanokompozitlərin atom-qüvvə mikroskopik (AQM) analizi göstərir ki, maqnetit nanohissəciklərini polimerə daxil edilməsi ilə nanokompozitlərin üstmolekulyar quruluşu dəyişir. PE+ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> əsaslı nanokompozitlərin istilik-fiziki xassələri termogravimetrik analiz metodu (TQA) və differensial skanedici kalorimetriya (DSC) vasitəsi ilə tədqiq edilmişdir. Nanokompozitlərin termogravimetrik (TQA)

analizi zamanı müəyyən edilmişdir ki,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanohissəciklərinin polietilen (PE) daxil edilməsi ilə onlar əsasdakı nanokompozitlərin termal davamlılığı artır və maksimal termodavamlılıq ilkin polimerə nisbətən  $150^\circ\text{C}$ -ə qədər yüksək temperaturlara doğru sürüşür.

Belə ki, PE üçün ilkin termodestruksiya temperaturu  $244^\circ\text{C}$  təşkil etdiyi halda, HDPE+3% $\text{Fe}_3\text{O}_4$ - $261^\circ\text{C}$ , HDPE+5% $\text{Fe}_3\text{O}_4$ - $278^\circ\text{C}$ , HDPE +10% $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -  $379^\circ\text{C}$  və HDPE+40% $\text{Fe}_3\text{O}_4$ - $395^\circ\text{C}$  təşkil edir.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanohissəciklərinin polietilenin termal davamlılığının artırması dəmir-oksit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) nanohissəciklərinin nanokompozitdə istilik ötürmə mərkəzləri rolunu oynamağı ilə bağlıdır. PE+ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  əsaslı nanokompozitlərin differensial skanedici kalorimetriya (DSC) analizi göstərir ki,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanohissəciklərinin daxil olması PE-nin həm ərimə temperaturuna, həm də kristallaşma temperaturuna cüzi təsir göstərir.

Bundan əlavə,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanohissəciklərinin PE-də aşağı konsentrasiyalarında nanokompozitlərin kristallaşma dərəcəsi əsasən dəyişmir. Kristallaşma dərəcəsinə əhəmiyyətli fərq yalnız  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanohissəciklərinin 40% miqdarında müşahidə olunur ki, bu da yüksək miqdarlarda nanohissəciklərin polimer matrisinə əlavə olunması nəticəsində nanokompozitlərin kristal quruluşuna təsir etdiyini göstərir.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dəmir-oksit nanohissəciklərinin çoxlu miqdarlarda polietilenin (PE) kristallaşma dərəcəsinə artırmasını nanohissəciklərin nukleasiya edici mərkəzlər rolunu oynayaraq polimerin kristallaşmasını artırmağı ilə izah olunur [1-3].

### Ədəbiyyat

1. Madh, G, Bhunia H, Bajpai P, Chaudhary V. Mechanical and morphological properties of high density polyethylene and polylactide blends. Polym. Sci. Eng. 2014; 34(9): 813-821. <https://doi.org/10.1515/polyeng-2013-0174>
2. Tarani E, Arvanitidis I, Christofilos D, Bikiaris D, Chrissafis K, Vourlias G. Calculation of the degree of crystallinity of HDPE/GNPs nanocomposites by using various experimental techniques: a comparative study. J. Mater. Sci. 2023; 58(4): 1621-1639. <https://doi.org/10.1007/s10853-022-08125-4>
3. Ramazanov MA, Maharramov AM, Ali-Zada RA, Shirinova HA, Hajiyeva FV. Theoretical and experimental investigation of the particle size distribution and magnetic properties of the PP+ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanocomposites. J. Thermoplast. Compos. Mater. 2019; 33(1): 125-137. <https://doi.org/10.1177/0892705718804578>

### Summary

Huseynova J.C.

#### INVESTIGATION OF THE THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF NANOCOMPOSITES BASED ON POLYETHYLENE AND MAGNETITE NANOPARTICLES

The structure and thermophysical properties of PE+ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -based polymer nanocomposites were investigated. XRD, SEM, and AFM analyses showed the distribution of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles in the polyethylene matrix and revealed changes in the crystalline structure of PE with increasing nanoparticle content. Thermogravimetric analysis demonstrated a significant improvement in the thermal stability of the nanocomposites with the addition of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles. According to DSC results, the nanoparticles have a slight effect on the melting and crystallization temperatures of PE, while noticeable changes in the degree of crystallinity are observed only at high  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  concentrations.

**Key words:** Polyethylene, magnetite, nanoparticles, thermal property of the polymer, nanocomposites

### Резюме

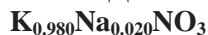
#### ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА И НАНОЧАСТИЦ МАГНИТА

Гусейнова Дж.Дж.

PE+ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -основанные полимерные нанокomпозиты, их структура и теплофизические свойства были исследованы. Анализы XRD, SEM и АСМ показали распределение наночастиц  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  в полиэтиленовой матрице и изменения кристаллической структуры ПЭ при увеличении их содержания. Термогравиметрический анализ выявил значительное повышение термической устойчивости нанокomпозитов при введении наночастиц  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Согласно результатам DSC, наночастицы слабо влияют на температуры плавления и кристаллизации ПЭ, а заметные изменения степени кристалличности наблюдаются лишь при высоких концентрациях  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

**Ключевые слова:** Полиэтилен, магнетит, наночастицы, термические свойства полимера, нанокomпозиты

# ПОЛУЧЕНИЕ, РЕНТГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ДТА ИССЛЕДОВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛА



<sup>1</sup>Казимова А.Ф., <sup>2,3</sup>Насиров В.И.

<sup>1</sup>*Азерб.Респуб.Министерство Науки и Образования Институт Физики, Баку, Азербайджан*

<sup>2</sup>*Азербайджанский Государственный Педагогический Университет, Баку, Азербайджан*

<sup>3</sup>*Азербайджанский Военный Институт им. Г.А.Алиева, Баку, Азербайджан*

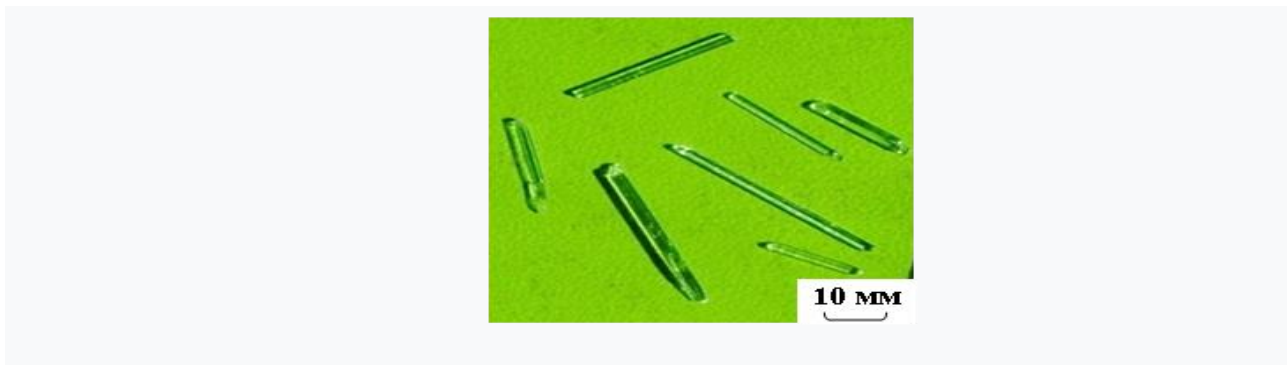
[aygun-kazimova-1981@mail.ru](mailto:aygun-kazimova-1981@mail.ru), [vaqif-nesir@mail.ru](mailto:vaqif-nesir@mail.ru)

**Резюме.** В данной работе методом изотермической кристаллизации получены монокристаллы соединения  $\text{K}_{0,980}\text{Na}_{0,020}\text{NO}_3$ , проведены рентгенографические исследования кристаллической структуры и термических свойств с использованием методов термогравиметрического анализа (TGA). Определены параметры кристаллической решеток при комнатной температуре и выявлены ключевые температурные переходы, включая фазовый переход при 132,47°C и эндотермическое разложение при 331,96°C. Термогравиметрический анализ показал значительную потерю массы ( $\Delta Y = 64,697\%$ ) в диапазоне 712–761°C, что согласуется с известными литературными данными о термическом разложении нитрата калия и нитрата натрия. Полученные результаты позволяют уточнить температурные характеристики разложения и фазовых превращений  $\text{K}_{0,980}\text{Na}_{0,020}\text{NO}_3$ , что может быть полезно для дальнейших исследований его термической стабильности и применения в различных технологических процессах.

**Ключевые слова:** Полиморфное превращение, рентген, модификация, энантиотроп, монокристаллы

Для исследования механизма полиморфных превращений необходимо изучить морфологию роста новых кристаллов при этих превращениях, взаимосвязи кристаллографических направлений между взаимными превращениями, а также кинетику процесса. В связи с этим в качестве объекта исследования удобно использовать оптически прозрачные кристаллы [1]. К веществам такого типа относятся нитратные соединения щелочных металлов, изучению структурных превращений в них посвящены многочисленные научные исследования, а обобщение полученных результатов отражено в [3-4]. Изучение влияния частичного замещения ионов  $\text{K}^+$  атомами других щелочных металлов в кристалле  $\text{KNO}_3$  на эти явления и характер полиморфного превращения имеет большое научное и практическое значение. Именно поэтому нами был проведен ряд исследований на кристаллах, полученных в результате частичного изоморфного замещения ионов  $\text{K}^+$  в  $\text{KNO}_3$  на ионы  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ , а также ионов  $\text{Rb}^+$  в  $\text{RbNO}_3$  на ионы  $\text{Cs}^+$  [5-7]. Известно, что  $\text{KNO}_3$  при комнатной температуре имеет орторомбическую решетку (структуру арагонита) с симметрией  $\text{Pnma}$  (II-фаза) [8]. При нагреве кристалла до температуры  $\sim 130^\circ\text{C}$  орторомбическая решетка превращается в ромбоэдрическую пр. группой  $\text{R3c}$ , близкую к симметричному кальциту (I-фаза). При охлаждении образца превращения  $\text{I} \rightarrow \text{II}$  происходит очень быстро. Таким образом, видно, что превращения  $\text{II} \leftrightarrow \text{I}$  является энантиотропными. Однако при охлаждении I-модификации во многих случаях наблюдаются два монотропных превращения [9]. При  $T \approx 124^\circ\text{C}$  фаза I может превращаться в новую ромбоэдрическую решетку симметрии  $\text{R3m}$  (фаза III). Лишь при  $T \approx 110^\circ\text{C}$  происходит превращение  $\text{III} \rightarrow \text{II}$ . Согласно [2,10]  $\text{NaNO}_3$  имеет ромбоэдрическую решетку с пространственной группой  $\text{R3-c}$ , параметры решетки при  $T=298\text{K}$ :  $a=5,069 \text{ \AA}$ ,  $c=16,82 \text{ \AA}$ . При температуре  $T=563\text{K}$  эта кристаллическая решетка превращается в другую ромбоэдрическую решетку с параметрами:  $a=5,089 \text{ \AA}$ ,  $c=8,668 \text{ \AA}$  и пространственной группой  $\text{R3-m}$ . Для выяснения механизма полиморфных превращений в твердых растворах нитрата натрия в нитрате калия нами запланирована серия исследований методами оптической микроскопии, рентгенографии и ДСК (Дифференциальная Сканирующая Калориметрия) анализ кристаллов  $\text{K}_{0,980}\text{Na}_{0,020}\text{NO}_3$ . Представленная работа является продолжением этих работ и посвящена изучению эффекта полиморфного превращения в кристаллах  $\text{K}_{0,980}\text{Na}_{0,020}\text{NO}_3$  полученных при частичной замещении ионов  $\text{K}^+$  ионами  $\text{Na}^+$  в  $\text{KNO}_3$  методами рентген дифракции и ДСК.

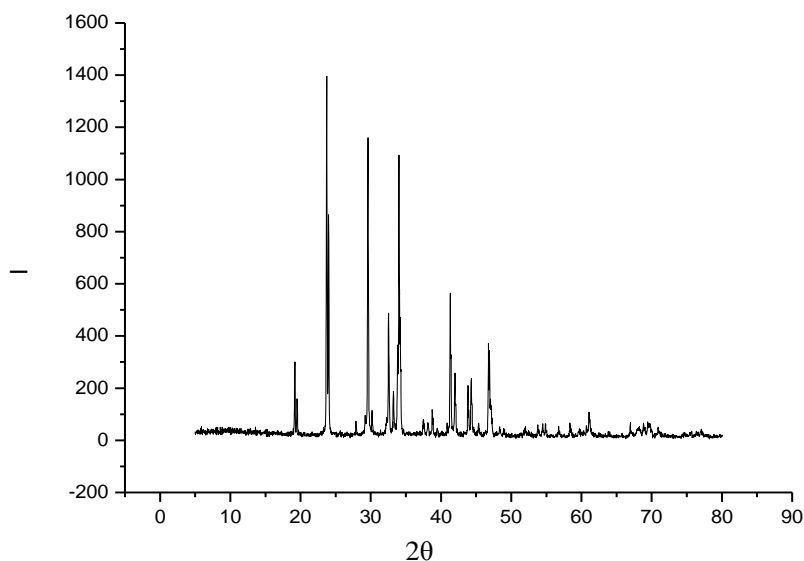
Монокристаллы II-модификации  $\text{K}_{0,980}\text{Na}_{0,020}\text{NO}_3$  получены из водного раствора при комнатной температуре методом изотермической кристаллизации. Для совершенства и чистоты полученных монокристаллов реактивы  $\text{KNO}_3$  марки «ЧДА» и  $\text{CsNO}_3$  марки «ХЧ» подвергались дополнительной очистке путем многократной кристаллизации. Полученные хорошо ограненные кристаллы имели разнообразные внешние формы: плоской пластинки или игл натянутых в кристаллографическом направлении [001] матричного кристалла, размерами в среднем  $1 \times 0,5 \times 10 \text{ мм}$  (Рис.1).



**Рис. 1.** Монокристаллы  $K_{0.980}Na_{0.020}NO_3$  полученные из водного раствора при комнатной температуре.

Рентгеновские исследования проведены на рентген дифрактометре D8 ADVANCE фирмы BRUKER. Рисунок 2. приведена рентген дифрактограмма полученная от  $K_{0.980}Na_{0.020}NO_3$  при комнатной температуре в интервале угол  $20^\circ < 2\theta < 80^\circ$ . Расчет дифрактограмм показывает, что исследуемые кристаллы при комнатной температуре имеют орторомбическую кристаллическую решетку. На основе полученных дифрактограмм вычислены параметры кристаллических решеток при комнатной температуре: для  $K_{0.980}Na_{0.020}NO_3$   $a=6.42460 \text{ \AA}$ ,  $b=5.41038 \text{ \AA}$ ,  $c=9.15583 \text{ \AA}$  пространственной группой  $Rm\bar{c}n$ . Анализ вычислений показывает, что частичное замещение ионов калия ионами натрия в  $KNO_3$  не сильно влияет на параметры решетки исследуемых кристаллов.

Дифференциальный термический анализ (ДТА) широко используется для исследования термических свойств нитратов, который регистрирует разницу температур между образцом и инертным эталоном при нагревании или охлаждении. Этот метод позволяет выявлять эндотермические и экзотермические процессы, такие как фазовые переходы, плавление и разложение.



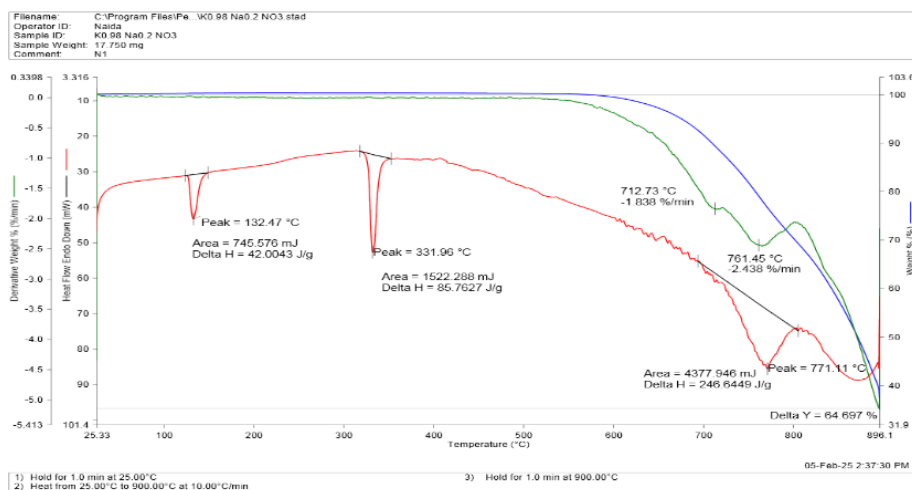
**Рис.2.** Рентген дифрактограмма полученная от  $K_{0.980}Na_{0.020}NO_3$  при комнатной температуре в интервале угол  $20^\circ < 2\theta < 80^\circ$

В кристалле  $KNO_3$  приблизительно при  $129^\circ\text{C}$  наблюдается эндотермический пик, связанный с фазовым переходом из орторомбической фазы в тригональную. Плавление происходит при  $334^\circ\text{C}$ . В кристалле  $NaNO_3$  фазовый переход из орторомбической в гексагональную структуру фиксируется около  $163^\circ\text{C}$ . Плавление наблюдается при  $308^\circ\text{C}$ . Термическое разложение и влияние примесей  $KNO_3$  и  $NaNO_3$  начинается при более высоких температурах (около  $600^\circ\text{C}$ ) с выделением кислорода и образованием соответствующих нитритов и оксидов.

Исследования проб солей проводили на синхронном термо анализаторе STA 6000 Perkin Elmer в температурном интервале  $25-900^\circ\text{C}$ . Образцы, массой 6-17 г, нагревали в атмосфере азота с

заданной постоянной скоростью  $\sim 10^{\circ}\text{C}$  в результате чего, были получены кривые ДСК в координатах  $\Delta H=f(T)$ , ТГ—в координатах  $\Delta m=f(T)$ , а также производные  $dm/dt=f(T)$ .

Были зафиксированы температуры плавления, температуры деструкции, в  $^{\circ}\text{C}$ , а также рассчитана энтальпия, в Дж/г и скорость изменения веса в %/мин в точках максимального изменения веса. В первое исследование проводилось в кристалле  $\text{K}_{0,980}\text{Na}_{0,020}\text{NO}_3$ . В пробе зафиксированы два эндотермических эффекта плавления: 1- при  $T=132,47^{\circ}\text{C}$  с энтальпией  $\Delta H=42,0$  Дж/г и 2 – при  $T=331,96^{\circ}\text{C}$  и с энтальпией  $\Delta H=85,76$  Дж/г. Деструкция пробы началась свыше  $600^{\circ}\text{C}$  и проходила в два этапа с максимальными температурами изменения веса:  $712,73$  и  $761,45^{\circ}\text{C}$ , которым соответствовала скорость изменения веса:  $-1,838$  и  $-2,438$  %/мин соответственно. Суммарная энтальпия деструкции  $\Delta H=246,64$  Дж/г (Рисунок 3).



**Рис. 3.** Дериwатограмма кристалла  $\text{K}_{0,980}\text{Na}_{0,020}\text{NO}_3$

Наши экспериментальные данные в целом соответствуют известным литературным данным о термическом поведении нитрата калия и нитрата натрия. Незначительные отклонения в температурах плавления и разложения могут быть связаны с особенностями нашего образца, такими как наличие примесей, взаимодействие компонентов. Результаты дифференциальной термической анализа используются для определения чистоты образцов, разработки термостойких материалов, исследования процессов горения и теплового разложения нитратов.

## Литература

1. Китайгородский А.М., Мньюх Ю.В., Асадов Ю.Г. Докл.АН СССР, 1963, т.48, №5, стр.1065-1068.
2. Traupeniers N. Le principe des etats correspondants et les diagrammes d'etat du tetrachlorure et du tetrabromure de carbone: Bruxelles: 1952. p. 92.
3. Насиров В.И. Полиморфизм в оптически прозрачных кристаллах. Баку, 1997, стр.166
4. Асадов Ю.Г., Насиров В.И. Докл.АН СССР. 1970, т.191, №6, стр.128
5. Асадов Ю.Г., Насиров В.И. Кристаллография, 1972, т.17, вып.5, с.991-994
6. Həziyeva A.F. Fəlsəfə doktoru dissertasiyası, Bakı, 2012
7. Nəsirov V.İ., Bayramov R.B., Həziyeva A.F. Fizikanın aktual problemləri Beynəlxalq konfransı. Bakı, BDU, 2013 səh.145-147
8. Насиров В.И., Хазиева А.Ф., Асадов Ю.Г., Амиров А.С. Докл.АН Азерб., 2011, №2, стр.33-38
9. Tahvonen P.E. X-ray investigation of molecular rotation in potassium nitrate crystals. Ann. Acad. Sic. Fennica, 1947. №44, p.20.
10. Brigman P.N. Proc. Ann. Acad. 51, 579, 1918

## Xülasə

### $\text{K}_{0,980}\text{Na}_{0,020}\text{NO}_3$ MONOKRİSTALININ ALINMASI, RENTGENOQRAFİK VƏ DTA TƏDQİQATLARI

*Kazımova A.F., Nəsirov V.I.*

İşdə izotermik kristallaşma yolu ilə  $\text{K}_{0,980}\text{Na}_{0,020}\text{NO}_3$  bərk məhlul monokristalları alınmış, rentgenoqrafik və termoqravimetrik analiz (TGA) üsulları ilə kristal quruluşu və istilik xüsusiyyətlərinin rentgenoqrafik tədqiqatları aparılmışdır. Otaq temperaturunda kristal qəfəs parametrləri və  $132,47^{\circ}\text{C}$ -də faza keçidi,  $331,96^{\circ}\text{C}$ -də endotermik parçalanma daxil olmaqla əsas temperatur keçidləri müəyyən edilmişdir. Termoqravimetrik analiz  $712\text{--}761^{\circ}\text{C}$  diapazonunda əhəmiyyətli kütlə itkisi ( $\Delta Y = 64,697\%$ ) göstərir ki, bu da kalium nitrat və natrium nitratın termik parçalanmasına dair məlum ədəbiyyat məlumatlarına uyğundur.

**Açar sözlər:** Termoqravimetrik analiz, monokristal, kristal qəfəs, endotermik

**Summary**  
**OBTAINING, X-RAY AND DTA STUDIES OF  $K_{0.980}Na_{0.020}NO_3$  MONOCRYSTAL**  
*Kazimova A.F., Nasirov V.I.*

In this work, single crystals of the compound  $K_{0.980}Na_{0.020}NO_3$  were obtained by isothermal crystallization, and X-ray studies of the crystal structure and thermal properties were carried out using thermo gravimetric analysis (TGA) methods. The crystal lattice parameters at room temperature were determined and key temperature transitions were identified, including a phase transition at 132.47°C and endothermic decomposition at 331.96°C. Thermo gravimetric analysis showed significant mass loss ( $\Delta Y = 64.697\%$ ) in the range of 712–761°C, which is consistent with the known literature data on the thermal decomposition of potassium nitrate and sodium nitrate.

**Keywords:** X-ray diffraction, polymorphic transformations, rhombohedral structure, endothermic peak

**ELECTRONIC STRUCTURE AND CHEMICAL BONDING of  $\alpha$ - $In_2Se_3$**

**Talifli Aysel Fizuli,**  
**Aliguliyeva Khayala Vaqif**

*Sumgayit State University, Sumgait, Azerbaijan*  
[aysel.talifli@sdu.edu.az](mailto:aysel.talifli@sdu.edu.az), [xayala.aliguliyeva@sdu.edu.az](mailto:xayala.aliguliyeva@sdu.edu.az)

**Summary** This study presents a combined experimental and theoretical investigation of the electronic  $\alpha$ - $In_2Se_3$ , employing ellipsometric measurements, and ab initio lattice dynamics calculations. Ellipsometric measurements and ab initio calculations demonstrate that the  $\alpha$ - $In_2Se_3$  crystal behaves as an indirect bandgap semiconductor with an approximate bandgap of 1.0 eV. Analysis of the density of states, projected onto atoms, shows that the valence band maximum primarily arises from the p-states of Se atoms, with a minor contribution from the p-states of In atoms. In contrast, the conduction band minimum mainly consists of the s states of In atoms and the p-states of Se atoms.

**Keywords:**  $In_2Se_3$ , spectroscopic ellipsometry, phonon dispersion, phonon density of states

The semiconductor compound  $In_2Se_3$  has attracted attention as a new semiconductor material for photovoltaic solar cells [1], ion batteries [2], photodetectors [3, 4], random access memory devices [5–7], and thermoelectric materials [8, 9].

Bulk  $In_2Se_3$  crystals exhibit various modifications of the crystal structure, are more heterogeneous, and lack mirror cleavage surfaces. Due to the technological challenges in crystal growth, these crystals remain poorly studied.

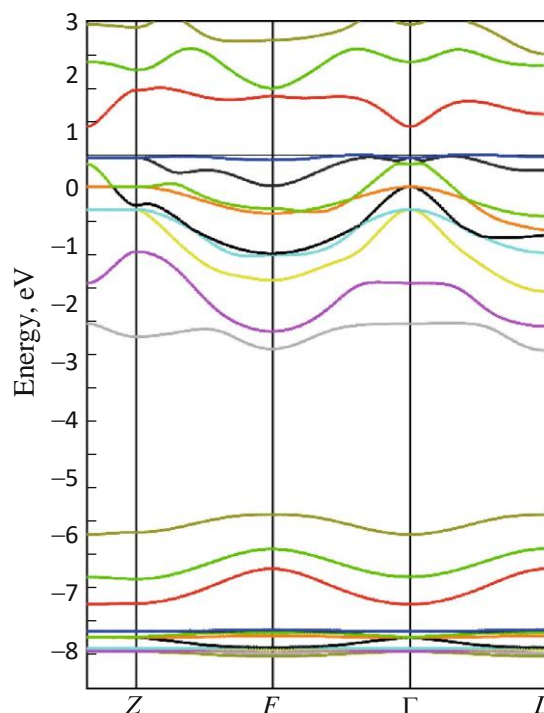
The goal of this work is to investigate the electronic spectra, compare the results with experimental data obtained from ellipsometric measurement, and based on this, refine the crystal symmetry of the  $In_2Se_3$  sample.

Analysis of the density of states, projected onto atoms, shows that the valence band maximum primarily arises from the p-states of Se atoms, with a minor contribution from the p-states of In atoms. In contrast, the conduction band minimum mainly consists of the s-states of In atoms and the p-states of Se atoms. By comparing Raman scattering results with ab initio calculations and conducting group-theoretical analysis, we identified the phonon modes of  $\alpha$ - $In_2Se_3$ .

The calculations of the band structure were performed at the symmetric points  $\Gamma$ ,  $Z$ ,  $F$ , and  $L$ , as well as along the lines connecting these points (Fig. 1). The valence bandwidth is approximately 15 eV and can be divided into three main groups (Fig. 1).

The maximum of the valence band (VBM) is located along the  $\Gamma$ - $L$  segment at a distance of about one-third from the  $\Gamma$  point along the  $\Gamma$ - $L$  line. The minimum of the conduction band (CBM), in turn, is found at the  $\Gamma$  point. Thus, our calculations indicate that the  $\alpha$ - $In_2Se_3$  crystal is an indirect-bandgap semiconductor with a bandgap of approximately 1.0 eV.

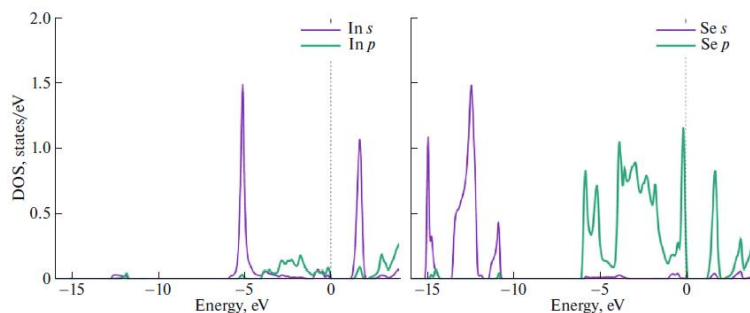
The direct transition at the  $\Gamma$  point is approximately 1.1 eV. To study the genesis of the electronic energy states and the nature of the chemical bonding, the projections of the density of states onto individual



**Fig. 1.** Band structure of  $In_2Se_3$ .

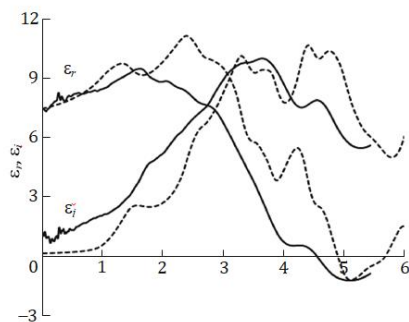
atoms were calculated (Fig. 2). Analysis of the atomic-projected electronic density of states of  $\alpha$ - $\text{In}_2\text{Se}_3$  shows that the lowest valence bands, located in the range of  $-15$  to  $-10$  eV, originate from the  $s$ -states of Se atoms. These bands, which are energetically far below the maximum of the valence band, do not participate in optical transitions and do not contribute to the semiconductor properties of the  $\alpha$ - $\text{In}_2\text{Se}_3$  crystal.

The next group of bands, located about 5 eV below the maximum of the valence band, is primarily formed by the  $s$ -states of In atoms and the  $p$ -states of Se atoms. Finally, the upper group in the energy range of  $-4$  to 0 eV is predominantly formed by the  $p$ -states of Se atoms with a small admixture of the  $p$ -states of In atoms. As shown in Fig. 3, the minimum of the conduction band is mainly formed by the  $s$ -states of In atoms and the  $p$ -states of Se atoms.



**Fig.2.** Atomic-projected density of electronic states for  $\alpha$ - $\text{In}_2\text{Se}_3$

To study the optical properties of the binary compound  $\text{In}_2\text{Se}_3$ , spectral ellipsometric investigations were conducted, which are highly sensitive and precise optical methods for studying the dielectric functions of compounds. This method is based on examining the change in the polarization state of reflected light after its interaction with the optical medium. The results of ellipsometric studies and ab initio calculations of the dielectric functions of  $\text{In}_2\text{Se}_3$  are shown in Fig. 3. Both theoretical and experimental  $\epsilon_r(\omega)$  curves indicate that the bandgap is approximately 1 eV. As seen in Fig. 3, the main features of the theoretically calculated dielectric functions qualitatively agree well with the ellipsometric measurements.



**Fig. 3.** Real and imaginary parts of the dielectric functions as a function of energy: (solid curves) experimental results, (dashed curves) theoretical dielectric function values.

This work presents a combined experimental and theoretical study of the electronic and vibrational properties of  $\alpha$ - $\text{In}_2\text{Se}_3$  using ellipsometric measurements, and ab initio lattice dynamics calculations. The ellipsometric measurements and ab initio calculations show that the  $\alpha$ - $\text{In}_2\text{Se}_3$  crystal is an indirect bandgap semiconductor with a bandgap of approximately 1.0 eV. Analysis of the atomic-projected density of states reveals that the maximum valence band is primarily formed from the  $p$ -states of Se atoms, with a small contribution from the  $p$ -states of In atoms. The minimum of the conduction band is primarily formed from the  $s$ -states of In atoms and the  $p$ -states of Se atoms.

## References

1. J. Herrero and J. Ortega, Sol. Energy Mater. 16, 477 (1987).
2. M. S. Whittingan, Prog. Solid State Chem. 12, 41 (1978).
3. Q. Li, Y. Li, J. Gao, S. Wang, and X. Sun, Appl. Phys. Lett. 99, 243105 (2011).
4. T. Zhai, X. Fang, M. Liao, X. Xu, L. Li, B. Liu, Y. Koide, Y. Ma, J. Yao, and Y. Bando, ACS Nano 4,

- 1596 (2010).
5. H. Lee, D. H. Kang, and L. Tran, Mater. Sci. Eng. B 119, 196 (2005).
  6. B. Yu, S. Ju, X. Sun, G. Ng, T. D. Nguyen, M. Meyyappan, and D. B. Janes, Appl. Phys. Lett. 91, 133119 (2007).
  7. Y. T. Huang, C. W. Huang, J. Y. Chen, Y. H. Ting, K.-C. Lu, Y. L. Chueh, and W. W. Wu, ACS Nano 8, 9457 (2014).
  8. J. Cui, X. Liu, X. Zhang, Y. Li, and Y. Deng, J. Appl. Phys. 110, 023708 (2011).
  9. J. Cui, X. Zhang, Y. Deng, H. Fu, Y. Yan, Y. Gao, and Y. Li, Scr. Mater. 64, 510 (2011).

**Xülasə**  
**A- $\text{In}_2\text{Se}_3$  BİRLƏŞMƏSİNİN ELEKTRON QURULUŞU VƏ KİMYƏVİ RABİTƏSİ**  
*Talifli A.F., Əliquliyeva X.V.*

Bu tədqiqat ellipsometrik ölçmələr və ab initio qəfəs dinamikası hesablamalarından istifadə edərək  $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$ -ün elektron xüsusiyyətlərinin birgə eksperimental və nəzəri araşdırmasını təqdim edir. Ellipsometrik ölçmələr və ab initio hesablamaları göstərir ki,  $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$  kristalı təxminən 1.0 eV qadağan olunmuş zonaya malik dolayı keçidli yarımkeçirici kimi davranır. Atomlar üzrə proyeksiyalanmış hallar sıxlığının analizi göstərir ki, valens zonasının maksimumu əsasən Se atomlarının p-hallarından, In atomlarının p-hallarının isə cüzi iştirakı ilə yaranır. Bunun əksinə olaraq, keçid zonasının minimumu əsasən In atomlarının s-hallarından və Se atomlarının p-hallarından ibarətdir.

**Açar sözlər:**  $\text{In}_2\text{Se}_3$ , spektroskopik ellipsometriya, fonon dispersiyası, vəziyyətlərin fonon sıxlığı

**Резюме**  
**ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА И ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ  $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$**   
*Талыфлы А. Ф., Алигулыев Х. В.*

Данное исследование представляет собой комбинированное экспериментальное и теоретическое изучение электронных свойств  $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$  с использованием эллипсометрических измерений и расчетов динамики решетки ab initio. Эллипсометрические измерения и расчеты ab initio показывают, что кристалл  $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$  ведет себя как непрямозонный полупроводник с шириной запрещенной зоны около 1.0 эВ. Анализ плотности состояний, проецируемой на атомы, показывает, что максимум валентной зоны в основном обусловлен p-состояниями атомов Se с незначительным вкладом p-состояний атомов In. В отличие от этого, минимум зоны проводимости в основном состоит из s-состояний атомов In и p-состояний атомов Se.

**Ключевые слова:**  $\text{In}_2\text{Se}_3$ , спектроскопическая эллипсометрия, фоновая дисперсия, фоновая плотность состояний

**TRİETANOLAMİN KOMPONENTİNİN KİMYƏVİ ÇÖKDÜRMƏ YOLU İLƏ ALINMIŞ CdSe NAZİK TƏBƏQƏSİNİN OPTİK XASSƏLƏRİNƏ TƏSİRİ.**

<sup>1,2</sup>**İbrahimova Leyla Nadir qızı**  
<sup>2</sup>**Hüseynəliyev Məmməd Hüseynəli oğlu**  
<sup>1</sup>*Naxçıvan Dövlət Universiteti, Naxçıvan, Azərbaycan,*  
<sup>2</sup>*Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Təbii Ehtiyatlar İnstitutu, Naxçıvan, Azərbaycan*  
[leyla.ibrahimova.1992@mail.ru](mailto:leyla.ibrahimova.1992@mail.ru)

**Xülasə** Otaq temperaturunda kimyəvi çökdürmə üsulu ilə şüşə altlıq üzərində kadmium selenidinin (CdSe) iki müxtəlif şərait üçün nazik təbəqələri alınmışdır. Dörd komponentdən (kadmium xlorid, ammonium hidrokسيد, trietanolamin (kompleks əmələ gətirici maddə) və natrium selenosulfat) və üç komponentdən (kadmium xlorid, ammonium hidrokسيد və natrium selenosulfat) ibarət məhlullardan alınan CdSe nazik təbəqələrinin optik xassələrinin müqayisəli təhlili aparılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, üçkomponentli məhluldan alınan CdSe nazik təbəqəsinin qadağan olunmuş zonasının eni dördkomponentli halla müqayisədə daha yüksək enerjilərə doğru sürüşür.

**Açar sözlər:** kompleks əmələ gətirici, CdSe, kimyəvi çökdürmə, natrium selenosulfat, nazik təbəqə, optik udma spektri, Tauc düsturu, qadağan olunmuş zona.

**Giriş.** Kadmium selenid CdSe, almazabənzər yarımkeçiricilər qrupuna daxil olmaqla iki polimorf modifikasiya şəklində kristallaşır: sfalerit tipli qəfəsi olan B3 (fəza qrupu F43m) kubik kristal strukturunda və termodinamik cəhətdən daha dayanıqlı olan vürçit B4 (fəza qrupu P63mc) tipli heksaqonal strukturunda.

CdSe n-tip yarımkeçirici olmaqla, kiçik qadağan olunmuş zonaya malikdir (sfalerit üçün 1.74 eV və wurtzite üçün 1.80 eV). Bu qiymətlər günəş işığının udulmasının və onun elektrik enerjisinə çevrilməsinin optimal bölgəsinə daxil edilir və yüksək udma əmsalı ilə birlikdə CdSe günəş elementləri hazırlanması üçün perspektivli material hesab olunur [1,2]. CdSe birləşməsi yarımkeçirici lazerlərdə [3], maye kristal displeylərdə, qamma-şüa detektorlarında və qaz analizatorlarında [4] aktiv mühit kimi istifadə olunur. Bundan əlavə, CdSe, fotorezistorların və işıq diodların [5,6], yüksək effektivli nazik təbəqəli tranzistorların

[7], optik gücləndiricilərin, fotokatalizatorların və fotokatalitik sistemlər üçün materialların [8] alınması üçün perspektivli birləşmədir.

Bu materialın geniş istifadə perspektivləri yeni sintez üsullarının işlənilib hazırlanması və ya köhnələrinin təkmilləşdirilməsi ehtiyacını diktə edir. CdSe-in nazik təbəqələrinin alınmasında elektrokimyəvi çökdürmə [9], çiləmə piroliz [10], SILAR [11], kimyəvi çökdürmə [12] üsullarından istifadə olunur ki, onlardan da kimyəvi çökdürmə üsulu öz effektivliyinə və ucuz başa gəlməsinə görə daha çox istifadə olunur.

Kimyəvi çökdürmə yolu ilə CdSe nazik təbəqəsinin alınması metodikası tərəfimizdən ətraflı şəkildə öyrənilmişdir [13].

**Təcrübi hissə** CdSe nazik təbəqəsinin kimyəvi çökdürmə yolu ilə alınması üçün istifadə olunan məhlul aşağıdakı qaydada hazırlanmış məhlulların hər birindən eyni qədər (həcm ölçüsü ilə 13 ml olmaqla) götürülməklə hazırlanır: 0,5 M kadmium xlorid ( $CdCl_2 \cdot 2,5H_2O$ ), 13,4 M (25%) naşatır ( $NH_3OH$ ), 7,4 M trietanolamine ( $C_6H_{15}O_3N$ ) və 0,2 M natrium selenosulfat ( $Na_2SSeO_3$ ).

Kimyəvi çökdürmə prosesi 60 ml-lik laboratoriya stəkanında, otaq temperaturunda aparılmışdır.

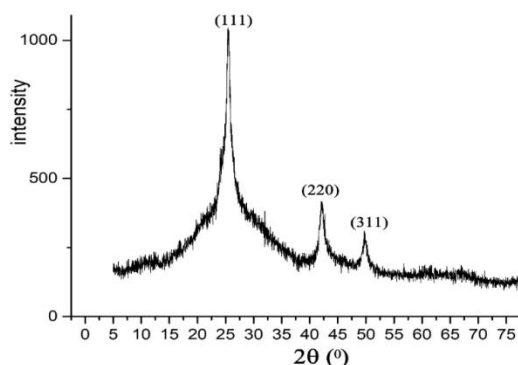
Natrium selenosulfat ( $Na_2SeSO_3$ ) 6 qram selen tozunun 10 qram natrium sulfitin ( $Na_2SO_3$ ) 100 ml distillə suyu məhlulunda 7 saat müddətində  $90^{\circ}C$  temperaturunda əks soyuducuda aparılan reaksiyası nəticəsində alınmışdır. Reaksiyadan sonra məhlul otaq temperaturuna qədər soyudulmuş, həll olmayan selen hissəcikləri filtr vasitəsilə məhluldan kənarlaşdırılmışdır. Nəticədə şəffaf natrium selenosulfat məhlulu alınmışdır [14].

[15] işində göstərilirdiyi kimi, CdSe-nin alınmasında selen komponenti olaraq natrium selenosulfatdan istifadə olunarkən məhlulda pH:9 olduqda daha yaxşı nəticələr almaq olar və yalnız pH: 9 olduqda kristallik strukturlu CdSe nazik təbəqəsinin alınması mümkündür ki, yuxarıda göstərilən qaydada hazırlanmış qarışıqda məhlulun pH-ı 9-a bərabər olmuşdur. Məhlulun pH-ın ölçülməsində “Аквилон pH-410” pH metrindən istifadə olunmuşdur.

Məhlula daxil edilməmişdən qabaq amorf şüşə altlıqlar (38x26x1 mm) bir neçə saat xrompik məhlulunda saxlanılmış, distillə suyunda yuyulmuş və havada qurudulmuşdur. Şüşə altlıqlar içərisində məhlul olan stəkana şaquli şəkildə yerləşdirilmişlər. Kimyəvi çökdürmə prosesi otaq temperaturunda ( $27^{\circ}C$ ), 48 saat müddətində yerinə yetirilmişdir və bu prosesdə fırlanma tətbiq olunmamışdır.

Prosesin gedişində ilk öncə stəkanın dibində ağ çöküntü alınır. Zaman keçdikcə (təxminən üç dörd saat sonra) bu çöküntü və stəkandakı şəffaf məhlul əvvəlcə tünd sarı rəng alır, daha sonra isə CdSe-ə uyğun olan qırmızı rəngə çevrilmiş olur. Bu prosesdən sonra süsə altlıq stəkandan çıxarılır, distillə suyunda yuyularaq qurudulur. Nəticədə süsə üzərində yaxşı adgeziyaya malik, bircins, qırmızı rəngli CdSe nazik təbəqəsi alınmışdır. Alınmış təbəqənin qalınlığı 200 nanometr (çəki üsulu ilə təyin olunmuşdur) olmuşdur.

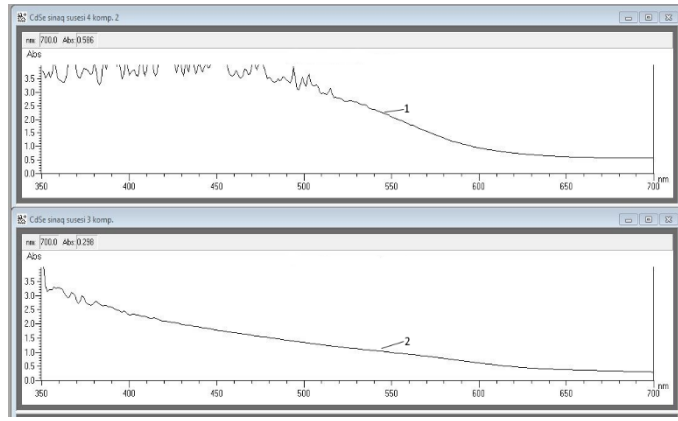
**Nəticələr və onların müzakirəsi.** Şəkil 1-də dördkomponentli məhlulda alınmış nazik CdSe nazik təbəqəsinin rentgen spektrini göstərilmişdir. Bu spektr alınan nazik təbəqənin polikristal təbiətə malik olduğunu göstərir. İki teta qiymətləri üçün  $25.3^{\circ}$ ,  $42^{\circ}$  və  $49.8^{\circ}$  bucaqlarda alınan maksimumlar müvafiq olaraq (111), (220) və (311) müstəvilərindən əks olunmanın nəticəsidir. (111) müstəvisi sfalerit (kubik) kristal strukturunda (JCPDS No. 190191) kristallaşan CdSe-nin əsas istiqaməti hesab olunur.



**Şəkil 1.** Dördkomponentli məhlulda alınmış nazik CdSe nazik təbəqəsinin rentgen spektri

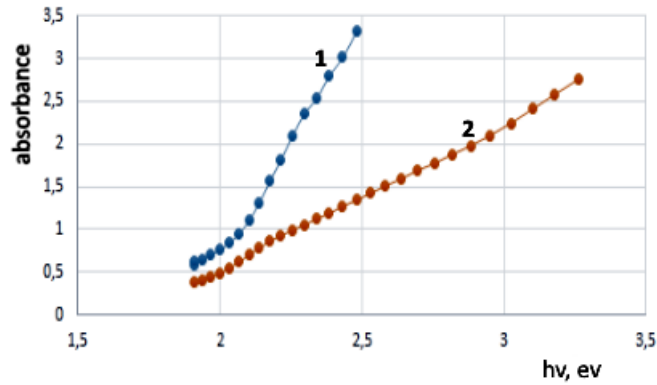
Optik udulmanın spektrləri U-5100 Spektrometrindən istifadə etməklə 200 ÷ 1100 nm dalğa uzunluğu diapazonunda çəkilmişdir.

Şəkil 2-də kimyəvi çökdürmə üsulu ilə dördkomponentli və üçkomponentli məhlullardan alınmış CdSe nazik təbəqələrinin optik udma spektrləri göstərilmişdir.



**Şəkil 2.** Dördkomponentli (1) və üçkomponentli (2) məhlullardan kimyəvi çökdürmə yolu ilə alınan CdSe nazik təbəqələrinin optik udma spektrləri.

Bu əyriyərdən kimyəvi çökdürmə yolu ilə dördkomponentli və üçkomponentli məhlullardan alınmış CdSe nazik təbəqələri üçün  $\alpha(h\nu)$  asılılıqları qurulmuşdur (şəkil 3).



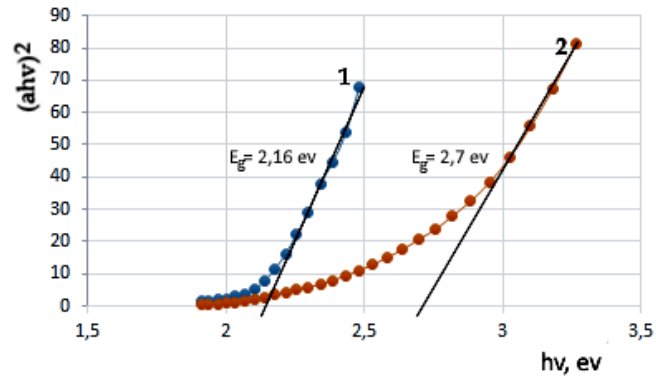
**Şəkil 3.** Dördkomponentli (1) və üçkomponentli (2) məhlullardan kimyəvi çökdürmə yolu ilə alınan nazik CdSe nazik təbəqələrinin  $\alpha(h\nu)$  asılılıqları.

Bildiyimiz kimi, udma spektrindən yarımkeçiricinin qadağan olunmuş zonasının enini hesablamaq üçün Tauç düsturundan istifadə edilir [16]:

$$(\alpha h\nu)^{1/n} = A(h\nu - E_g)$$

Burada  $A$  -sabit ədəddir,  $E_g$  -yarımkeçiricinin qadağan olunmuş zonasının eni,  $h\nu$ -fotonun enerjisidir.  $n$  - isə keçidin tipindən asılı olaraq dörd müxtəlif qiymətlər ala bilər. Belə ki, icazə verilmiş düz keçid üçün  $n = 1/2$ , icazə verilmiş çəp keçid üçün  $n = 2$ , qadağan olunmuş düz keçid üçün  $n = 3/2$ , qadağan olunmuş çəp keçid üçün  $n = 3$  [17]. CdSe düzzonalı yarımkeçirici olduğundan [18] bu birləşmə üçün  $n = 1/2$  münasibəti doğrudur.

Bu birləşmələrin qadağan olunmuş zonalarının enini tapmaq üçün  $(\alpha h\nu)^2$  -nin  $h\nu$  -dən asılılıq əyriyələri qurulmuşdur (şəkil 4).



**Şəkil 4.** Dördkomponentli (1) və üçkomponentli (2) məhlullardan kimyəvi çökdürmə yolu ilə əldə edilmiş CdSe nazik təbəqələri üçün  $(\alpha hv)^2 \sim f(hv)$  asılılıqları.

Bu asılılıqlardan düz xətt oblastının absis ( $hv$ ) oxu ilə kəsişməsinə əsasən müəyyən edilmişdir ki, kimyəvi çökdürmə yolu ilə dördkomponentli (1) və üçkomponentli (2) məhlullardan alınmış CdSe nazik təbəqələrinin qadağan olunmuş zonalarının eni uyğun olaraq  $E_g=2,16$  eV, prosedən sonra isə  $E_g = 2,7$  eV-a bərabərdir, yəni üçkomponentli məhluldan əldə edilən CdSe nazik təbəqəsinin qadağan olunmuş zonasının daha yüksək enerjilərə doğru sürüşməsi müşahidə edilmişdir.

#### Ədəbiyyat

1. Li C., Wang F., Chen Y. "Characterization of sputtered CdSe thin films as the window layer for CdTe solar cells" *Materials Science in Semiconductor Processing*, Vol.83. P.89-95, 2018.
2. Lokhande C.D., Lee E.-H., Jung K.-D. "Ammonia-free chemical bath method for deposition of microcrystalline cadmium selenide films" *Materials Chemistry and Physics*, Vol.91. P.200-204, 2005.
3. Wageh S. "Raman and photoluminescence study of CdSe nanoparticles capped with a bifunctional molecule" *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*. Vol.39. P.8-14, 2007.
4. Potyrailo R. A., Leach A.M. "Selective gas nanosensors with multisize CdSe nanocrystal / polymer composite films and dynamic pattern recognition" *Appl. Phys. Lett.* Vol.88. P.134110, 2006.
5. Li F., Li W.-N., Fu S.-Y., Xiao H.-M. "Formulating CdSe quantum dots for white light-emitting diodes with high color rendering index" *J. Journal of alloys and compounds*. Vol.647. P.837-843, 2015.
6. Dai X., Zhang Z., Jin Y., Niu Y., Cao H., Liang X., Chen L., Wang J., Peng X. "Solution-processed, highperformance light-emitting diodes based on quantum dots" *Nature*. Vol.515. P.96, 2014.
7. Gan F.Y., Shih I. "Preparation of thin-film transistors with chemical bath deposited CdSe and CdS thin films" *IEEE Transactions on electron devices*, Vol.49. Iss.1. 2002.
8. Kubacka A., Fernández-García M., Colón G. "Advanced Nanoarchitectures for Solar Photocatalytic Applications" *Chem. Rev.* Vol.112. P.1555-1614, 2012.
9. Mandal K. C., Savadogo O. *J. Mater. Sci.* 27,4355(1992).
10. Liu C. J., Wang J. H. *Appl. Phys. Lett.* 36,852(1980).
11. Chaudhari K.B., Narayani G.M., Deshpande N.G., Gosavi S.R. "Chemical synthesis and characterization of CdSe thin films deposited by SILAR technique for optoelectronic applications" *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, Vol.1. P.776-481, 2016.
12. Boudreau R. A., Rauh D. R. *J. Electrochem. Soc.*, 130,513(1983).
13. Huseynaliyev M.H., Qarayev A.M., Abdullayev N.M., Ibrahimova L.N. Optical properties of CdSe thin films obtained by chemical bath deposition (CBD) at room temperature / 17th International Conference on "Technical and Physical Problems of Electrical Engineering" (ICTPE-2019), İstanbul Rumeli University, İstanbul, Turkey, 18-19 October 2021, pp.
14. Kumar T. R., Vedamalai M. "Deposition of ZnSe thin film by chemical bath deposition and for photovoltaic application" *International Journal of Pure and Applied Mathematics Volume 119 No. 12*, p.6665-6675, 2018.
15. Поздин А.В., Смирнова Д.Д., Маскаева Л.Н., Марков В.Ф. и Русинов Г.Л. Гидрохимическое осаждение тонких пленок селенида кадмия селеносульфатом натрия Бутилеровские сообщения. 2019. Т.59. №9. С.29-39
16. Tauc J. (Ed.), *Amorphous and Liquid Semiconductors*, Plenum Press, New York, 159 (1974).

17. *Pankove J.I.* Optical Process in Semiconductors. USA, 1971, New Jersey, 448 p.  
18. *Kariper İ. A.* Optical and structural properties of CdSe thin film produced by chemical bath deposition  
Journal of Non-Oxide Glasses Vol. 8, No.1, 2016, p. 1 – 9

#### Summary

### THE INFLUENCE OF TRIETHANOLAMINE COMPONENT ON THE OPTICAL PROPERTIES OF THIN CDSE FILMS OBTAINED BY CHEMICAL BATH DEPOSITION

*Ibrahimova L.N. , Huseynaliyev M.H.*

Cadmium selenide (CdSe) thin films are deposited onto glass substrate employing chemical bath deposition (CBD) method at room temperature for two different conditions. A comparative analysis of the optical properties of CdSe thin films deposited from a solution containing four components (cadmium chloride, ammonium hydroxide, triethanolamine (complexing agent), and sodium selenosulphate) and from a solution containing three components (cadmium chloride, ammonium hydroxide and sodium selenosulphate) was carried out. A shift in the band gap of a CdSe thin film obtained from a three-component solution towards higher energies was observed.

**Keywords:** complexing agent, CdSe, chemical bath deposition, sodium selenosulphate, thin film, optical absorption spectrum, Tauc equation, band gap.

#### Резюме

### ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТА ТРИЭТАНОЛАМИНА НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК CDSE ПОЛУЧЕННЫХ ХИМИЧЕСКИМ ОСАЖДЕНИЕМ

*Ибрагимова Л. Н. , Гусейналиев М. Г.*

Тонкие пленки селенида кадмия (CdSe) осаждались на стеклянную подложку с использованием метода химического осаждения (CBD) при комнатной температуре в двух различных условиях. Проведен сравнительный анализ оптических свойств тонких пленок CdSe, нанесенных из раствора, содержащего четыре компонента (хлорид кадмия, гидроксид аммония, триэтаноламин (комплексообразователь) и селеносульфат натрия), и из раствора, содержащего три компонента (хлорид кадмия, гидроксид аммония и селеносульфат натрия). Было установлено, что ширина запрещенной зоны тонкой пленки CdSe, полученной из трехкомпонентного раствора, сдвигается в сторону более высоких энергий.

**Ключевые слова:** комплексообразователь, CdSe, химическое осаждение, селеносульфат натрия, тонкая пленка, спектр оптического поглощения, формула Тауца, запрещенная зона.

## KİMYƏVİ SENSORLARIN ANALİZİ

**Ağayeva Fəridə Şahbaz qızı**

**Məmmədova Radə Cahangir qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[farida.aghayeva@sdu.edu.az](mailto:farida.aghayeva@sdu.edu.az)

**Xülasə** Sensorlar (vericilər) fiziki sistemlərin vəziyyətləri haqqında məlumatları toplayan, qeyd edən, ötürən, emal edən və yayan bir qurğudur. Fiziki sistemlərin vəziyyətləri dedikdə, onun kimyəvi tərkibi, forması, quruluşu, mövqeyi və dinamikası haqqında məlumat başa düşülür. Müxtəlif növ sensorlar mövcuddur. Onların fəaliyyət prinsipləri müəyyən fiziki və ya kimyəvi hadisələrə və xassələrə əsaslanır. Nümunə olaraq temperatur sensorları, radarlar, akustik sensorlar, radiasiya səviyyəsini ölçən sensorları, təzyiq sensorları, hiqrometrlər və s. daxildir.

**Açar sözlər:** kimyəvi sensorlar, kimya sənayesi, filtrasiya əməliyyatları, təkfunksiyalı, həssas element.

Müvafiq sahələrdə (lazer fizikası, bərk cisimlər fizikası, mikroelektronika, mikroprosessor texnologiyası, materialşünaslıq, kvant elektronika, inteqrasiya olunmuş optika) əldə edilən nailiyyətlər sensorun inkişafında yeni istiqamətin - kimyəvi sensorların yaradılmasının inkişafına səbəb olmuşdur [4]. Kimyəvi sensorların ən perspektivli növlərindən biri, optik kimyəvi sensorlardır [3]. İnteqral-optik kimyəvi sensorlar onların arasında daha perspektivli sensordur [9-12]. Absorbsiya tipli inteqral-optik kimyəvi sensorların iş prinsipi tədqiq olunan mühitdə, müəyyən bir maddə üçün xarakterik olan dalğa uzunluqlarında yayılan dalğa ötürücü rejiminin lazer şüalanmasının intensivliyindəki dəyişiklikləri qeyd etməyə əsaslanır.

Bu araşdırmanın aktuallığı kimyəvi sensorlardan istifadə etməklə insan təhlükəsizliyi üçün vacib olan bir sıra digər qazların aşkarlanması perspektivləri ilə bağlıdır. Bu problemin həlli kimya sənayesi, neft-qaz sənayesi (istehsal, nəql, saxlama), ekologiya, tibb, hərbi texnologiya və s. sahələr üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Sensorları təsnif edərkən, tez-tez fiziki və ya kimyəvi hadisələrə və xüsusiyyətlərə görə onların iş prinsipi nəzərə alınır. Şəkil 2-də kimyəvi sensordan istifadə edərək ölçmənin ümumiləşdirilmiş funksional sxemi verilmişdir.

Sensorların bəzi əlamətlərinə görə aşağıdakı təsnifatı vermək olar [1-15].

Sensorların **giriş kəmiyyətlərinin** energetik xüsusiyyətləri onları giriş kəmiyyətlərinin növünə görə *aktiv və passiv* olaraq iki yerə bölməyə imkan verir. Aktiv sensorlarda giriş kəmiyyətlər energetik xarakterlidir (gərginlik, qüvvə və s.), passiv sensorlarda isə giriş kəmiyyətləri qeyri-energetik xarakterlidir (elektrik tutumu, müqaviməti və s.).

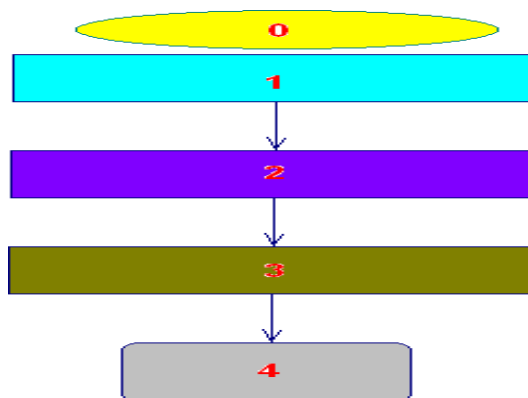
**Qəbul edilən və çevrilən kəmiyyətlərin** sayına əsasən, bir kəmiyyətlə işləyən birölçülü sensorları və bir neçə (n) giriş kəmiyyətini qəbul edən n-ölçülü (çoxölçülü) sensorları ayırmaq olar. Bundan əlavə, çoxölçülü sensorlar ümumi elementlərə malik ola bilər və buna görə də eyni sayda kəmiyyətləri qəbul edən birölçülü sensorlardan daha sadə ola bilər.

**Yerinə yetirilən (ölçmə) funksiyaların sayına** əsasən *təkfunksiyalı və çoxfunksiyalı* sensorlar fərqləndirilə bilər. Çoxfunksiyalı sensorlar əsas funksiya ilə yanaşı (ölçmə signalının böyüklüyünün qəbulu və yaradılması) bir sıra əlavə funksiyaları yerinə yetirə bilər. Belə sensorlara, prinsipcə, signalı cəmləyən, analoq və rəqəmsal sensorlar, tənzimlənən adaptiv iş rejimləri və parametrləri olan, metroloji xidmətə malik analoq və rəqəmsal və mikroprosessorlu sensorlar daxildir.

Çoxfunksiyalı sensorların əlavə funksiyalarına aşağıdakıları daxil etmək olar:

- verilənlərin emalı və filtrasiya əməliyyatları;
- xətalərin düzəldilməsi;
- signalın saxlanması;
- əlavə təsirlərdən müdafiə və s.

**Enerji və maddə çevrilmələrinin sayına əsasən, bir mərhələli və çox mərhələli** sensorlara ayrılır.



**Şəkil 1.** Kimyəvi sensordan istifadə etməklə ölçmənin funksional sxemi: 0 – tədqiq olunan mühit, 1 – kimyəvi həssas təbəqə; 2 – analitik signal çeviricisi; 3 – analoq-rəqəm çeviricisi; 4 - kompüter.

**İstehsal texnologiyasına əsasən,** sensorlar *elementli*, fərdi elementlər dəstindən hazırlanmış və *inteqral* növ, bütün komponentləri eyni vaxtda inteqral texnologiyadan istifadə edərək hazırlanmış sensorlara ayrılır.

Xüsusilə seçilən bioloji sensorlardır ki, burada həssas elementlər kimi bioloji hiss orqanlarının reseptor hissəsi, fermentlər və digər maddələr, həmçinin ölçmə signalını yaradan elektron hissə istifadə olunur.

**İnformasiya mənbələri ilə qarşılıqlı əlaqəsinə əsasən** sensorlar kontaktlı və kontaktsiz sensorlara bölünür.

**Ölçmə signalının növünə görə** sensorlar analoq və rəqəmsal olur. Analoq və rəqəmsal sensorların işini təhlil etmək üçün təhlil edilən signalın növünə uyğun olan riyazi aparatdan istifadə edilməlidir.

Hazırda sensorlar tərəfindən yerinə yetirilən funksiyaların sayının və mürəkkəbliyinin artması tendensiyası müşahidə olunur. Bu, xüsusilə əlavə qurğular daxil ola bilən inteqral sensorlar üçün xarakterikdir. Belə sensorlar məlumatın toplanması, işlənməsi, saxlanması və paylaşılmasına imkan verən ölçmə sistemlərinin yaradılması üçün əsas ola bilər (bax, məsələn, [2, 12]).

Müasir sensorlar üçün aşağıdakı əsas tələblər tətbiq olunur:

- yüksək keyfiyyət göstəriciləri: həssaslıq, dəqiqlik, xəttilik, oxunuşların təkrarolunma qabiliyyəti, cavab sürəti, bir-birini əvəz etmək, histerezisin olmaması və yüksək signal-küy nisbəti;
- yüksək etibarlılıq: uzun istismar müddəti, xarici mühitə davamlılıq, problemsiz işləmə;

- istehsal qabiliyyəti: kiçik ölçülər və çəki, konstruksiyanın sadəliyi, aşağı qiymət.

**Nəticə olaraq** onu qeyd etmək olar ki, ətraf mühitin və ilk növbədə atmosferin zərərli kimyəvi maddələrlə çirklənməsi hazırda insan sağlamlığına və ətraf mühitə təsir edən ən güclü və daimi amildir. Ətraf mühitin vəziyyətinin monitorinq vəzifələri müxtəlif parametrləri, xüsusən temperatur, təzyiq, rütubət, kimyəvi maddələrin konsentrasiyası və s. müəyyən etmək üçün sensorların işlənilib hazırlanmasını və yaradılmasını tələb edir.

Oxşar problemlər kimya, biotexnologiya və tibb kimi sahələrdə də aktualdır. Şübhəsiz ki, kimyəvi sensorların elektronika sənayesində və təhlükəsizlik sistemlərində, məsələn, hava nəqliyyatında, kömür sənayesində, hərbi və digər mühüm obyektlərdə istifadəsi perspektivlidir.

Optik kimyəvi sensorların əsas çatışmazlıqları aşağıdakılardır: işıq müdaxiləsinə kifayət qədər yüksək həssaslıq, həmçinin temperaturun təsirinə müəyyən həssaslıq (sensor istehsalında yarımkeçiricilərdən istifadə edildikdə).

İnteqral-optik dalğa ötürücülərinə əsaslanan sensorlar, məsələn, hava keyfiyyətinin monitorinq sistemlərində tətbiq tapa bilər. Qeyd etdiyimiz kimi, mayələrdə həll olunan maddələri, məsələn, biotibbi, fiziki-kimyəvi və ekoloji tədqiqatlarda öyrənmək üçün bu tip sensorlardan istifadə etmək yaxşı perspektivə malikdir. daha əlverişlidir.

### Ədəbiyyat

1. Виглеб Г. Датчики. – М.: Мир, 1989.
2. Како Н., Яманэ Я. Датчики и микро-ЭВМ. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1986.
3. Шмидт Д., Шварц А. Оптоэлектронные сенсорные системы. – М.: Мир, 1991.
4. Каттралл Роберт В. Химические сенсоры. – М.: Научный мир, 2000.
5. Граттан К.Т.В. Волоконно-оптические датчики и измерительные системы // Датчики и системы, 2001, № 3, С. 46-50.
6. Whitenett G., Stewart G., Atherton K., Culshaw B., and Johnstone W. Optical fibre instrumentation for environmental monitoring applications // J. Opt. A: Pure Appl. Opt., 2003, 5, pp. S140-S145.
7. Posani K.T., Tripathi V., Annamalai S., Weisse-Bernstein N.R., and Krishna S. Nanoscale quantum dot infrared sensors with photonic crystal cavity // Appl. Phys. Lett., 2006, 88, pp. 151104-1–151104- 3.
8. Hiroyuki S., Masahiro Y., Masuyoshi Y., Nagaaki O., Hideaki T., and Takashi O. Experimental evaluation of fingerprint verification system based on double random phase encoding // Optics Express, 2006, 14, pp. 1755-1766.
9. Wiesmann R., Muller L., Klein R., Neyer A. Low cost polymer-optical ammonia sensor // ECIO'95, Proceedings of 7<sup>th</sup> European Conference on Integrated Optics, April 3-6, 1995, Delft, The Netherlands, Wc A4, 453.
10. Чехлова Т.К., Тимакин А.Г., Попов К.А. Волноводные датчики концентраций веществ в газовых смесях и жидкостях // Приборы и техника эксперимента, 2002, 45, С. 145-148.
11. Egorov A.A., Egorov M.A., Tsareva Yu.I., and Chekhlova T.K. Study of the integrated-optical concentration sensor for gaseous substances // Laser Physics, 2007, 17, pp. 50-53.
12. Egorov A.A., Egorov M.A., Smoliakov R.B., Chekhlova T.K., Timakin A.G. Integrated-optical low-loss PbO<sub>2</sub> diffusion waveguide sensitive chemical sensor // Journal of Radio Electronics, No. 5, 2007.
13. Алейников А.Ф., Цапенко М.П. О классификации датчиков // Датчики и системы, 2000, № 5, С. 2-3.
14. Хансперджер Р. Интегральная оптика: Теория и технология. – М.: Мир, 1985.
15. Кулябина Е.Ю., Сидоренко М.В. Лихеноиндикационный мониторинг качества воздушной среды нижегородской области // Известия Самарского научного центра РАН. Биология и Экология, 2002, 4, С. 216-222.

### Summary

#### ANALYSIS OF CHEMICAL SENSORS

*Agayeva F. Sh., Mammadova R. J.*

Sensors (transmitters) are devices that collect, record, transmit, process and disseminate information about the states of physical systems. The states of physical systems mean information about their chemical composition, shape, structure, position and dynamics. There are various types of sensors. Their operating principles are based on certain physical or chemical phenomena and properties. Examples include temperature sensors, radars, acoustic sensors, radiation level sensors, pressure sensors, hygrometers, etc.

**Keywords:** chemical sensors, chemical industry, filtration operations, single-function, sensitive element.

**Резюме**  
**АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ**  
*Агаева Ф. Ш., Мамедова Р. Дж.*

Датчики (передатчики) — это устройства, которые собирают, регистрируют, передают, обрабатывают и распространяют информацию о состояниях физических систем. Под состояниями физических систем понимают информацию об их химическом составе, форме, структуре, положении и динамике. Существуют различные типы датчиков. Принципы их работы основаны на определенных физических или химических явлениях и свойствах. Примерами могут служить датчики температуры, радары, акустические датчики, датчики уровня радиации, датчики давления, гигрометры и т. д.

**Ключевые слова:** химические сенсоры, химическая промышленность, фильтрационные операции, однофункциональный, чувствительный элемент.

**INFLUENCE OF BiSe<sub>3</sub>Te<sub>6</sub> SEMICONDUCTOR ADDITIVE ON THE ELECTRICAL AND MECHANICAL STRENGTH OF LOW-DENSITY POLYETHYLENE COMPOSITES**

<sup>1,2</sup>Aliguliyeva Kh.V., <sup>1</sup>Aleskerova D.M., <sup>1</sup>Otarkhanova G.N., <sup>1,3</sup>Harunov A.T.,

<sup>4</sup>Rakhmetova M.T., <sup>4</sup>Abykanova B.T., <sup>5</sup>Aliyeva V.B.

<sup>1</sup>Sumgayit State University, Sumgayit, Azerbaijan

<sup>2</sup>Baku State University, Baku, Azerbaijan

<sup>3</sup>Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan

<sup>4</sup>Atyrau University named after Kh. Dosmukhamedov, Atyrau, Kazakhstan,

<sup>5</sup>Institute of Physics, Baku, Azerbaijan

[xayala.aliquliyeva@sdu.edu.az](mailto:xayala.aliquliyeva@sdu.edu.az), [geldar-04@aztu.edu.az](mailto:geldar-04@aztu.edu.az), [durdane.samedova@mail.ru](mailto:durdane.samedova@mail.ru),  
[asim.harunov@sdu.edu.az](mailto:asim.harunov@sdu.edu.az), [m.rahmetova@asu.edu.kz](mailto:m.rahmetova@asu.edu.kz), [bakitgul@list.ru](mailto:bakitgul@list.ru), [m.rahmetova@asu.edu.kz](mailto:m.rahmetova@asu.edu.kz)

**Summary** An extended study is provided on the effects of BiSe<sub>3</sub>Te<sub>6</sub> semiconductor additive on the electrical, mechanical, thermal and structural characteristics of LDPE composites. The research explores supramolecular structural evolution, interphase interactions, crystallization dynamics and long-term stability under electrical ageing. Results show that optimal additive concentration leads to enhanced dielectric strength, improved mechanical reliability and reduced oxidative degradation, while excessive content forms structural defects and decreases performance.

**Keywords:** polymer composites, electrical strength, mechanical strength, BiSe<sub>3</sub>Te<sub>6</sub>, spherulite structure, dielectric properties

## 1. Introduction

Polymer composites based on low-density polyethylene (LDPE) are widely used in electrical insulation systems, sensor technologies, flexible electronics, high-voltage cable production and electromechanical devices. The need for improved dielectric strength, mechanical durability and thermal stability has intensified research involving polymer modification with functional semiconductor fillers. BiSe<sub>3</sub>Te<sub>6</sub>, as a layered semiconductor compound with high charge mobility, anisotropic crystal morphology and favourable electronic properties, exhibits significant potential in enhancing charge trapping behavior, crystallization processes and supramolecular structural formation in LDPE matrices. The interaction between polymer chains and semiconductor particles plays a key role in modifying macromolecular alignment, spherulite nucleation, interphase interlocking, and stability under high electric fields. Such modifications influence breakdown resistance, elastic behaviour, microstructural homogeneity and long-term degradation kinetics. Therefore, studying the correlations among filler amount, dispersion quality, electrical response, mechanical integrity and structural transitions provides valuable insight for designing advanced electro-insulating composites.

## 2. Materials and Methods

LDPE/BiSe<sub>3</sub>Te<sub>6</sub> composites were prepared using hot-pressing at the melting point of the polymer matrix under 15 MPa pressure for 10 minutes. Filler concentrations ranged from 0.1 wt% to 10 wt%. The BiSe<sub>3</sub>Te<sub>6</sub> powder was pre-treated to achieve uniform granulometry and to minimize agglomeration. A twin-roll mixer ensured preliminary homogenization. Electrical strength was measured under AC conditions using a standardized electrode system; residual current was monitored after 1–2 hours of 100 V application. Mechanical tensile strength was obtained via micro-tensile testing using a double-paddle-shaped specimen. Dynamic mechanical analysis was performed to evaluate viscoelastic properties. Crystallinity levels were determined via DSC, while supramolecular morphology was observed using polarized optical microscopy and SEM.

## 3. Results and Discussion

### 3.1 Supramolecular structural evolution

Introduction of  $\text{BiSe}_3\text{Te}_6$  nanoparticles resulted in strong nucleation effects, producing fine spherulitic structures with increased packing density. At low additive concentrations (0.1–0.5%), the composite developed uniform, highly ordered crystal domains. However, greater than 3% filler content disrupted uniformity, inducing interphase defects and lowering mechanical cohesion.

### 3.2 Electrical strength enhancement

Optimal concentrations increased electrical strength by 25–45% due to charge trapping centers, reduced free-path length of electrons, and better distribution of internal electric fields. Excess filler content introduced conductive paths and local field intensification, reducing dielectric performance.

### 3.3 Mechanical performance

Enhanced mechanical strength correlated with improved spherulitic fine structures. Tensile strength increased by up to 30% at optimal  $\text{BiSe}_3\text{Te}_6$  levels. Beyond the optimum, particle agglomeration caused microcracks and stress concentration zones.

### 3.4 Electrical ageing and long-term stability

Composites with 0.3–1% filler demonstrated significantly reduced degradation rates. Dense supramolecular packing reduced oxygen diffusion, slowed oxidative reactions, and stabilized the polymer matrix under prolonged electric field exposure.

### 3.5 Thermal and viscoelastic characteristics

DSC analysis revealed a slight increase in melting temperature and crystallinity at optimal filler concentration. DMA showed improved storage modulus, indicating enhanced stiffness and reduced energy dissipation.

## 4. Conclusion

The comprehensive analysis confirms that  $\text{BiSe}_3\text{Te}_6$  semiconductor filler significantly improves the electrical, mechanical and structural characteristics of LDPE composites when used in optimal concentration. Key performance gains include enhanced dielectric strength, increased tensile strength, improved crystallinity, fine spherulitic morphology and higher resistance to electrical ageing. Excess filler content, however, leads to structural defects, reduced mechanical integrity and deterioration of dielectric properties. These findings demonstrate strong potential for LDPE/ $\text{BiSe}_3\text{Te}_6$  composites in advanced insulation technologies, high-voltage applications and electromechanical systems.

## References

1. Aleksandrov, E. L., Lebedev, E. A., & Ivanov, V. V. (2010). Switching effect in composite films based on polymer–semiconductor systems. *Journal of Composite Materials*, 44(12), 1457–1464.
2. Astafurov, S. V., Smolin, A. Y., & Psakhie, S. G. (2014). Influence of interphase boundaries on the physical properties of composite materials. *Physics of the Solid State*, 56(8), 1563–1570.
3. Chmotin, I. A., Kalinin, Y. E., & Sitnikov, A. V. (2004). Electrical properties of polymer composites with shungite filler. *Technical Physics*, 49(9), 1185–1189.
4. Ershova, O. V., Grigoriev, S. V., & Voronina, E. N. (2015). Modern composite materials: Structure, properties, and applications. *Journal of Materials Science*, 50(6), 2341–2352.
5. Fatyhov, M. A., Gusev, A. I., & Ivanov, D. A. (2006). Mechanical properties of composite materials depending on temperature. *Mechanics of Composite Materials*, 42(4), 347–354.
6. Kalinin, Y. E., Sitnikov, A. V., & Zolotukhin, I. V. (2004). Electrical properties of amorphous nanocomposites with metal inclusions. *Journal of Experimental and Theoretical Physics*, 99(3), 573–579.
7. Lusheikin, G. A. (2006). New polymer-containing piezoelectric materials and their applications. *Physics of the Solid State*, 48(7), 1321–1326.
8. Turik, A. B., & Garmashov, S. I. (2011). Dielectric losses in statistical mixtures of composite materials. *Journal of Applied Physics*, 109(8), 084103.
9. Gojayev, E. M., Zeynalov, S. A., Gulmammadov, K. J., Rahimov, R. S., & Mammadzade, N. F. (2013). New polymer composites with semiconductor fillers. *Azerbaijan Journal of Physics*, 19(2), 45–50.

### Xülasə

## **$\text{BiSe}_3\text{Te}_6$ YARIMKEÇİRİCİ ƏLAVƏSİNİN AŞAĞI SIXLIQLI POLİETİLEN KOMPOZİTLƏRİNİN ELEKTRİK VƏ MEXANİKİ MÖHKƏMLİYİNƏ TƏSİRİ**

*Əligüliyeva X. V., Ələsgarova D. M., Otarxanova G. N., Harunov A. T., Raxmetova M. T., Abikanova B. T., Əliyeva V. B.*

Genişləndirilmiş tədqiqatda  $\text{BiSe}_3\text{Te}_6$  yarımkeçirici əlavəsinin Aşağı Sıxlıqlı Polietilen (PE-LD) kompozitlərinin elektrik, mexaniki, istilik və struktur xüsusiyyətlərinə təsiri araşdırılmışdır. Kompozitlərin üst-molekulyar strukturlarının təkamülü, fazalararası qarşılıqlı təsirlər, kristallaşma dinamikası və elektrik qoçalması şəraitində uzunmüddətli dayanıqlığı ətraflı şəkildə öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, doldurucunun optimal miqdarı dielektrik möhkəmliyin artmasına, mexaniki etibarlılığın

yüksəlməsinə və oksidləşdirici deqradasiyanın azalmasına səbəb olur, halbuki əlavənin artıq miqdarı struktur qüsurlarının formalaşmasına və istismar göstəricilərinin zəifləməsinə gətirib çıxarır.

**Açar sözlər:** polimer kompozitlər, elektrik möhkəmliyi, mexaniki möhkəmlik,  $\text{BiSe}_3\text{Te}_6$ , sferolit strukturu, elektrofiziki xüsusiyyətlər

#### Резюме

### ВЛИЯНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ДОБАВКИ $\text{BiSe}_3\text{Te}_6$ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ И МЕХАНИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ КОМПОЗИТОВ НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ

*Алигулиева Х. В., Алескерова Д. М., Отарханова Г. Н., Харунов А. Т., Рахметова М. Т., Абиканова Б.Т., Алиева В.Б.*

В расширенном исследовании изучалось влияние полупроводниковой добавки  $\text{BiSe}_3\text{Te}_6$  на электрические, механические, термические и структурные свойства композитов из полиэтилена низкой плотности (PE-LD). Подробно изучены эволюция надмолекулярных структур композитов, межфазные взаимодействия, динамика кристаллизации и их долговременная стабильность в условиях электрического старения. Установлено, что оптимальное количество наполнителя приводит к повышению диэлектрической прочности, повышению механической надежности и снижению окислительного разложения, тогда как избыток присадки приводит к образованию структурных дефектов и ухудшению эксплуатационных характеристик. Ключевые слова: полимерные композиты, электрическая прочность, механическая прочность, волокно бисфенола А, структура сферолита, электрофизические свойства

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ МЫШЬЯКА ИЗ СУЛЬФАТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ БЕДНЫХ РУД И ОТХОДОВ, И ИЗУЧЕНИЕ ЕГО ВЛИЯНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

<sup>1</sup>Гулиева Айбениз Акиф гызы

<sup>2</sup>Рафиева Хиджран Латиф гызы

*Институт катализа и неорганической химии им. акад. М.Нагиева, Баку, Азербайджан*

*Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан*

[aybeniz.guliyeva.72@mail.ru](mailto:aybeniz.guliyeva.72@mail.ru), [Hicran\\_chem@mail.ru](mailto:Hicran_chem@mail.ru)

**Резюме.** Проанализированы результаты выщелачивания отходов переработки железной руды методом кучного выщелачивания. Представлена информация об обезвреживании мышьяка гидролитическим осаждением и получении селективных концентратов Cu, Zn, Co, Mn в процессе обогащения железной руды, подвергшейся орошению по данной технологии. Использовались отходы фабрики обогащения руды в Дашкесане и растворы полученные после орошения при переработке месторождения Северный Дашкесан. Приведены данные об эффективной нейтрализации мышьяка до допустимого уровня в технологических продуктах. В исследовании применены методы, обеспечивающие охрану окружающей среды и позволяющие комплексную переработку отходов.

**Ключевые слова:** железная руда, отходы, гидролитическое осаждение, кучное выщелачивание, мышьяк.

В течение многих лет на месторождениях по обогащению железной руды в Дашкесане (АО «Азербайджанский горно-обогатительный комбинат») осуществлялась переработка железной руды. В результате этой переработки на протяжении всех этих лет образовывались отходы. Отходы, полученные как при сухом, так и при мокром обогащении железной руды на фабрике, накапливались на хвостохранилище. Под воздействием дождевых вод эти отходы подвергались естественному выщелачиванию, что вызывало миграцию металлов в окружающую среду с дренажными водами и нарушало экологические нормы региона. Отходы, накопленные за годы эксплуатации месторождения железной руды, являются источником извлечения многих ценных металлов. На рисунке 1 представлены отходы, образованные в результате переработки железной руды в Дашкесане (обогатительный комбинат), как источник добычи.



**Рис. 1.** Отходы переработки Дашкесанского горно-обогатительного завода

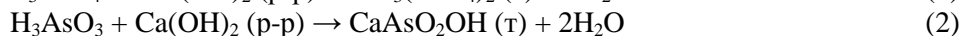
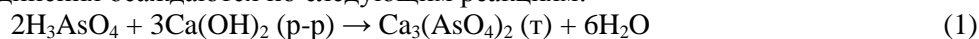
В работе [1] в качестве объекта исследования были взяты образцы отходов, полученные после мокрого обогащения на Дашкесанском обогатительном заводе. Первичный химический анализ различных образцов, отобранных с участка накопления отходов, был проведён с использованием рентгенофлуоресцентного спектрометра Bruker S2 Pikofox. Анализ показал, что в отходах наблюдается высокая концентрация Co, Cu, Mn и Al, а содержание Zn, Pb, Ir, Sr и As — низкое. Исследования, проведённые в разных точках участка, показали концентрацию компонентов в отходах. В лабораторных условиях испытания проводились методом фильтрации в колонках высотой 25 см и диаметром 3–4 см. Известное количество отходов загружалось в колонки и орошалось капельным методом раствором 1N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. После орошения состав полученных растворов был сложным и отличался по значению pH. В работе [1] установлено, что после шести орошений раствором 1N серной кислоты в раствор переходит 65,9% Co, 30,5% Cu, 25,1% Zn, 17,5% Mn, 4% Fe и 1,82% Al.

Обработка раствора и осаждение ценных металлов в виде гидратов проводились при температуре 400°C на стеклянных пластинах в лабораторном смесителе с электрическим нагревом и частотой вращения  $n = 600\text{--}1000$  об/мин. Время гидролитического осаждения составляло 0,5 часа, а через 24 часа раствор отделяли от осадка фильтрованием. pH раствора поэтапно повышали до значения 11 с помощью растворов извести и NaOH, а затем снижали раствором серной кислоты.

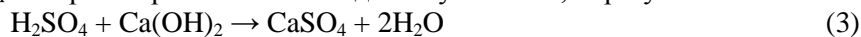
Измерения pH проводились портативным прибором pH/EC/IDS/IJ 9813-6. Установлено, что при кучном выщелачивании обогащённой железной руды мышьяк эффективно удаляется методом гидролитического осаждения, а также получают селективные концентраты Cu, Zn, Co и Mn. В качестве исследовательских материалов использовались отходы Дашкесанского обогатительного завода и растворы, полученные после выщелачивания месторождения Северный Дашкесан. В работе [2] сообщалось о зависимости отделения железа и мышьяка от ионов цветных металлов (Co, Cu, Mn, Zn) в растворах, полученных после перколяционного выщелачивания отходов серной кислотой.

В данном разделе рассматривается процесс очистки растворов от мышьяка, содержащегося в кобальтсодержащих минералах (кобальтин —  $\text{CoAsS}$  и скуттерудит —  $\text{CoAs}_3$ ), отобранных из отходов под микроскопом [3]. Одной из серьёзных проблем при переработке руд и отходов, содержащих кобальт, является значительное поступление железа и мышьяка в растворы.

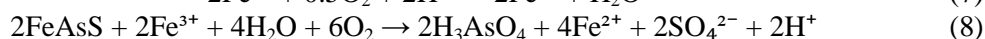
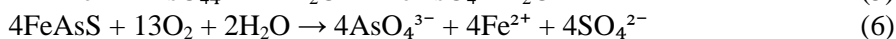
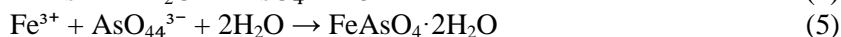
Полученные при переработке отходов результаты были проверены также на растворах, полученных из кобальтовых руд. Как правило, при обработке растворов, полученных гидрометаллургическими методами, на первом этапе производится очистка от железа и мышьяка. Наиболее распространёнными методами осаждения мышьяка из технологических растворов являются осаждение в виде сульфида ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ), кальций-арсената ( $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$ ) и железо(III)-арсената ( $\text{FeAsO}_4$ ) [4; 5, 6]. Мышьяк осаждается с использованием кальциевых соединений (гашёная, негашёная известь и известняк) [4]. При сернокислой переработке мышьяк содержащего сырья мышьяк переходит в соединения арсенита ( $\text{H}_3\text{AsO}_3$ ) и арсената ( $\text{H}_3\text{AsO}_4$ ). При обработке гашёной известью мышьяк содержащие соединения осаждаются по следующим реакциям:



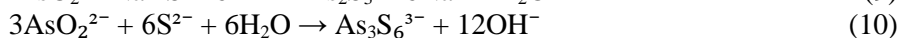
При этом сульфат-ион  $\text{SO}_4^{2-}$  из раствора также взаимодействует с  $\text{Ca}^{2+}$ , образуя



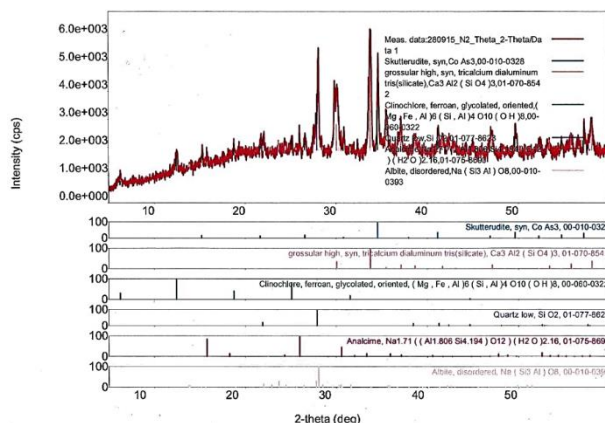
Нейтрализация и осаждение железистого арсенита и аморфного железо(III) арсената при низкой температуре были изучены автором работы [6] при соотношении  $\text{Fe}:\text{As} > 4$ :



Также изучено осаждение мышьяка в виде сульфида [5]:



Минералогический состав исследуемого Co-As-содержащего образца (образец I) следующий:  $\text{SiO}_2$  ( $\alpha$ -кварц) – 10,5%; полевой шпат – 20,41%; аналцим – 11,7%; клинохлор – 22,3%;  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_2)_3$  – 19,8%; скуттерудит  $\text{CoAs}_3$  – 10,2%; гематит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) – 5,1%.



**Рис. 2.** Рентгенофазовый анализ скуттерудита, отобранного под микроскопом.

Состав растворов, полученных после орошения в колонках фильтрации, следующий (образец I, при pH = 2): Al – 3,23 мг/л, Fe – 13,63 мг/л, Mn – 1,89 мг/л, Cu – 0,64 мг/л, Co – 5,8 мг/л, Zn – 89,16 мг/л; (образец II, при pH = 4,8): Ca – 223 мг/л, Mn – 13,83 мг/л, Co – 478 мг/л. С помощью физико-химических методов анализа были исследованы процессы окисления минеральных компонентов и изменение поверхностных свойств железорудных отходов Дашкесанского горно-обогатительного комбината. Установлено, что в условиях совместного осаждения железа и мышьяка из жидкой фазы, содержащей Cu, Zn, Co, Mn, Fe и As, изучена индивидуальность получаемого осадка. Установлено, что при pH = 2 из раствора образуется продукт гидролитического осаждения —  $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

### Литература

1. Gulieva A.A. Study of the surface properties of minerals in the composition of tails of Dashkesan iron ores // Azerbaijan Chemical Journal, –Baku: 2019.4, p.48-53
2. Haydarov A.A. Purification of sulphate contained technological solutions from arsenic by hydrolytic precipitation and receiving of selective Cu, Zn, Co, Mn concentrates / A.A.Haydarov, A.A.Guliyeva, A.B.Muradova [et al.] // Azerbaijan Chemical Journal, – Baku: – 2017. 4, – p. 78-84.
3. Quliyeva A.A. Kobalt tərkibli filizlərin emalından alınan sulfatlı məhlullardan arsenin  $\text{FeAsO}_4$  şəklində ayrılması // – Bakı: Azərbaycan Texniki Universiteti, Elmi Əsərlər, – 2019. № 2, – s. 150-158.
4. Nishumura, T., Iho, C.T., Tozawa, K., Robins, R.G. The calcium arsenic-water-air system // In: Proceedings of Impurity Control and Disposal, 15th Annual Hydrometallurgical Meeting, CIM, – Vancouver: – 1985. – p. 2
5. Gabb, P.J. The industrial separation of copper and arsenic as sulfides / P.J.Gabb, A.L.Davis // JOM, – 1999. 9 (51), – p. 18-19.
6. Jia, Y. Coprecipitation of arsenate with iron (III) in aqueous sulfate media: effect of time, lime as base and 60-ions on arsenic retention // Water Research, – 2008. 3 (42), – p. 661-668.

### Xülasə

#### **KASIB FİLİZ VƏ TULLANTILARIN SULFATLI TEXNOLOJİ MƏHLULLARININ ARSENSİZLƏŞMƏ PROSESİNİN TƏDQIQI VƏ ƏTRAF MÜHİTƏ TƏSİRİ.**

*Quliyeva A.A., Rafiyeva H.L.*

Dəmir filizinin emal tullantılarının topa həllolma üsulu ilə yuyulmasının nəticələri analiz edilmişdir. Bu üsul ilə suvarılan dəmir filizinin zənginləşdirilməsi nəticəsində As-ın hidrolitik çökdürmə yolu ilə təmizlənməsi və selektiv Cu, Zn, Co, Mn konsentratlarının qəbulu ilə alınan tullantılar haqqında məlumat verilir. Daşkəsən Filizsaflaşma fabrikinin tullantıları və Şimali Daşkəsən Co yatağının emalının suvarılmasından sonra alınan məhlullardan istifadə edilmişdir. Texnoloji məhsullardan arsenin tələbata uyğun həddə qədər zərərsizləşdirilməsi üzrə aldığımız nəticələr haqqında məlumat verilmişdir. Aparılmış tədqiqatlar ətraf mühitin mühafizəsini təmin edən üsullar və tullantıların kompleks emalına imkan verən metodlardan istifadə edilmişdir.

**Açar sözlər:** Dəmir filizi, tullantı, hidrolitik çökmə, topa həllolma, arsen.

### Summary

#### **RESEARCH OF THE ARSENIZATION PROCESS OF SULFATE TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF POOR ORE AND WASTES AND IMPACT ON THE ENVIRONMENT.**

*Guliyeva A.A., Rafiyeva H.L.*

The results of washing iron ore processing wastes by the ball dissolution method were analyzed. Information is provided on the wastes obtained as a result of enrichment of iron ore irrigated by this method, by hydrolytic precipitation of As and by the reception of selective Cu, Zn, Co, Mn concentrates. Wastes of the Dashkasan Ore Refinery and solutions obtained after irrigation of the processing of the North Dashkasan Co deposit were used. Information is provided on the results obtained on the neutralization of arsenic from technological products to the required level. The conducted studies used methods that can ensure environmental protection and methods that allow for complex processing of wastes.

**Key words:** Iron ore, waste, hydrolytic precipitation, ball dissolution, arsenic.

## AŞAĞI TƏZYİQ POLİETİLENİ NANODİSPERS DOLDURUCU VƏ QOZ QABIĞI KƏPƏYİ ƏSASINDA KOMPOZİTLƏRİN ALINMASI VƏ XASSƏLƏRİNİN TƏDQIQI

Nəzərəliyev X.Q., Şahnəzərli R.Z., Əbdürəhmanova M., Fəttayeva C.İ.

*Polimer Materialları İnstitutu, Sumqayıt, Azərbaycan*

[ipoma@science.az](mailto:ipoma@science.az); [shahnazarli@mail.ru](mailto:shahnazarli@mail.ru)

**Xülasə.** Azərbaycan Respublikası Abşeron rayonu Saray qəsəbəsi ərazisində aşkarlanmış mineral doldurucu, qoz qabığı kəpəyi və aşağı təzyiqliq polietileni əsasında yeni kompozisiya materialları hazırlanmışdır. Mineral Almaniya istehsalı olan START 1600 Linseiz cihazında nanohissəcik halına salınmışdır. Nanohissəciyin ölçüsü 20-95 nm-dir. Üzvi doldurucunun miqdarını sabit saxlamaqla, nanodoldurucunun 5; 10; 15 və 20 kütlə.%-i miqdarında aşağı təzyiqliq polietileni ilə modifikasiyasından müxtəlif kompozisiyalar alınmışdır. Alınan kompozisiyaların bəzi fiziki-mexaniki və teplofiziki xassələri öyrənilmişdir.

**Açar sözlər:** aşağı təzyiqliq polietileni, nanodoldurucu, qoz qabığı kəpəyi, kompozit, dartılmada möhkəmlilik həddi, nisbi uzanma, ərintinin axma göstəricisi, istiliyə davamlılıq.

Azərbaycanda Etilen-Propilen zavodunda istehsal olunan aşağı təzyiqliq polietileni (ATP) təmiz halda çox da geniş tətbiq sahələri olmayan sənaye polimeridir. Lakin müxtəlif polimerlər və doldurucularla modifikasiya olunduqda sənaye və kənd təsərrüfatının müxtəlif sahələrində yeni texnologiyalar əsasında daha üstün fiziki-mexaniki xassələrə malik ekoloji təmiz rentabelli polimer kompozisiya materiallarının alınmasına imkan yarada bilər. Kosmik texnikada, avtomobil sənayesində, gəmiqayırma, kənd təsərrüfatında və digər sənaye sahələrində istifadə olunacaq polimer materialların qarşısında qoyulan ən mühüm tələblərdən biri materialın yüksək möhkəmlilik həddinə və yüngüllüyə malik olmasıdır [1].

Yuxarıda qeyd olunan tələbləri nəzərə alaraq Abşeron rayonu Saray qəsəbəsində aşkarlanmış gips əsaslı nanodispers doldurucu aşağı təzyiqliq polietileni və qoz qabığı kəpəyi əsasında müxtəlif tərkibə malik kompozisiya nümunələri işlənilib hazırlanmış və onların bəzi fiziki-mexaniki xassələri öyrənilmişdir [2].

Bu yeni mineralın ölçüləri və tərkibi haqqında ətraflı analizlər “Enerji və Təbii Kaynaklar Bakanlığı Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Bakanlığı” (Cankaya/Ankara) tərəfindən həyata keçirilmişdir. Mineralın nanoölçüyə salınması Almaniya istehsalı olan STAPT 1600 Linseiz cihazında həyata keçirilmişdir. Nanohissəciyin ölçüsü 20-95 nm təşkil etmişdir.

Mineralın dispers sistemdə ölçülərinin paylanması isə Malven cihazında həyata keçirilmişdir. Mineralın ölçüləri 10-100 nm intervalında qeydə alınmışdır. Mineralın tərkibi daha çox faizə malik olan birləşmələrdən CaO – 32,5%, SO<sub>3</sub> – 45,90%, SiO<sub>2</sub> – 0,8%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,3%, hidratlar 20,20% və Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,1%-dən ibarətdir. Mineralın tərkibində olan hidratlar kompozisiyanın emalını daha yaxşılaşdırmağa imkan yaradır. Mineral doldurucunun tərkibində olan 32,5% CaO-in olması alınmış kompozisiyanın odadavamlılıq xassəsini artırır. Poliolefinlərin oksidləşməyə qarşı davamsız olmaları, uzun müddət günəş şüalarının təsirindən termooksidləşdirici destruksiyaya məruz qalmalarını nəzərə alaraq onların bu xassələrini yaxşılaşdırmaq üçün tərkiblərinə həm qeyri-üzvi nanodoldurucu, həm də üzvi doldurucu hesab olunan qoz qabığının kəpəyi əlavə edilmişdir [3].

Bu üsuldən istifadə etməklə tullantı polietilenləri torpağın tərkibinə çürüntü kimi vermək olar. Bununla da ətraf mühitin tullantılarla çirklənməsinin qarşısını almaq mümkün olar [4,5]. Üzvi doldurucu olan qoz qabığı kəpəyinin sabit kütlə.%-i nisbətində və qeyri-üzvi nanodoldurucunun kütlə.%-nin dəyişməsi ilə alınan kompozitlərin bəzi fiziki-mexaniki xassələri və quruluşları öyrənilmişdir.

Alınmış kompozisiya materiallarında üzvi doldurucu olan qoz qabığı kəpəyi 10 kütlə.%-i, qeyri-üzvi nanodoldurucunun miqdarı isə 5; 10; 15 və 20 kütlə.%-i nisbətində götürülmüşdür. Kompozisiyalar vərdənədə 150-160°C-də emal olunmuşdur. Nanodoldurucunun tərkibində 7%-ə qədər olan nanogil emal prosesini daha yaxşı aparmağa imkan yaratmışdır. Hazırlanmış kompozisiyalar press altında 160°C-də presslənərək onlardan standart kürəklər kəsilərək bəzi fiziki-mexaniki xassələri öyrənilmişdir.

Sənaye və kənd təsərrüfatının müxtəlif sahələrində istifadəsi mümkün hesab edilən bu kompozisiya materiallarının yuxarıda qeyd olunan nisbətlərə uyğun xassələri aşağıdakı sıra ilə: dartılmada möhkəmlilik həddi (σ) təmiz ASP 26,34 nisbi uzanması 620; kompozisiyalarda isə 28.45; 28.93; 29.51 və 29.75 MPa, nisbi uzanma isə müvafiq olaraq 21, 12, 8 və 7% müəyyən edilmişdir. Ərintinin axıcılıq göstəricisi (ƏAG) təmiz ASP-də 1.50, kompozisiyalarda isə uyğun olaraq 1.46; 1.48; 1.53 və 1.57 qiymətləri ilə xarakterizə olunmuşdur. Vikaya görə istiliyə davamlılıq isə təmiz ASP-də 160°C, kompozisiyalarda isə 160; 158; 157 və 155°C-ə uyğun gəlmişdir. Bu qiymətlərin təhlili ona əsas verir ki, kompozisiyanın tərkibinə verilən nanodoldurucunun miqdarı artdıqca xüsusi həcm qiyəti qanunauyğun olaraq azalır. Eyni zamanda kompozisiyanın tərkibində nanodoldurucunun miqdarı artdıqca dartılmada möhkəmlilik həddi artır, nisbi uzanma isə azalır. Alınan kompozisiyaların quruluşları isə İQ-spektr vasitəsi ilə öyrənilmişdir.

## Ədəbiyyat

1. Кац Г.С., Милевски Д.В. Наполнители полимерных композиционных материалов. Справочное пособие пер. с англ. // Под. ред. Бабаевского, Химия, 1981, 736 с.
2. Nazaraliyev Kh.G., İsmailov İ.A. Preparation of new composite materials based on low-pressure polyethylene and mineral found on the territory of the Absheron region. "ITWCCST 2022 6<sup>th</sup> International Turkic World Conference on Chemical Sciences and Technologies", Baku, 2022.
3. Nəzərəliyev X.Q. Yüksək təzyiqlik polietileni, təbii mineral doldurucular əsasında alınmış kompozitlərin fiziki-mexaniki və termomexaniki xassələrinin tədqiqi. // Akad. N.M.Seyidovun 90 illik yubileyinə həsr olunmuş "Katalizatorlar, olefinlər əsaslı yağlar" mövzusunda respublika elmi konfransı. 19-20 may, 2022.
4. Попов А. А., Зыкова А. К., Масталыгина Е. Е. Биоразлагаемые композиционные материалы (Обзор). // Химическая физика, 2020, Т. 39, № 6, стр. 71-80
5. Подденежный Е.Н., Дробышевская Н.Е., Бойко А.А., Шаповалов В.М., Дробышевский Н.С., Ашрапова Т.Ф. Биоразлагаемые композиционные материалы на основе крахмала и смеси полиолефинов. // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. 2021, № 1, с.53-60

## Резюме

### ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ, НАНОДИСПЕРСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ И ПОРОШКА СКОРЛУПЫ ГРЕЦКОГО ОРЕХА

*Назаралиев Х.Г., Шахназарли Р.З., Абдурахманова М.А., Фаттаева Дж.И.*

Изготовлены композиционные материалы на основе полиэтилена низкого давления, порошка из скорлупы грецких орехов и минерального наполнителя, обнаруженного в Апшероне Азербайджанской Республики. Минерал измельчен до наноразмерных частиц на оборудовании START 1600 Linseiz производства Германии. Размер наночастиц составил 20-95 нм. В состав композиции вводили одинаковое количество органического наполнителя. Количество минерального наполнителя составило 5–20 масс.%. Изучены некоторые физико-механические и теплофизические свойства полученных композиций

**Ключевые слова:** полиэтилен низкого давления, нанонаполнитель, порошок ореховой скорлупы, композит, предел прочности при растяжении, относительное удлинение, показатель текучести расплава, теплостойкость.

## Summary

### PREPARATION AND INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF COMPOSITIONS BASED ON LOW-PRESSURE POLYETHYLENE, NANODISPERSE FILLER AND WALNUT SHELL POWDER

*Nazaraliyev Kh.G., Shahnazarli R.Z., Abdurahmanova M.A., Fattayeva J.I.*

New composite materials based on low density polyethylene, walnut shell powder and mineral filler found in Absheron of the Azerbaijan Republic have been developed. The mineral has been ground to nanoscale particles on equipment START 1600 Linseiz in Germany production. The size of the nanoparticles was 20-95 nm. The same quantity of the organic filler were added to the composition. The quantity of the mineral filler was 5–20 mass%. Some physical-mechanical and heat-physical properties of the obtained compositions have been studied.

**Key words:** low-pressure polyethylene, nanofiller, walnut shell powder, composite, tensile strength, relative elongation, melt flow index, heat resistance.

## “GISELA-6” CALAQALTISININ BÖYÜMƏ VƏ NƏSİLVƏRMƏ QABİLİYYƏTİNİN ARTIRILMASINA TƏSİR EDƏN KƏHRƏBA TURŞUSU + CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O KOMPLEKS BİRLƏŞMƏNİN TƏTBİQİ

<sup>1</sup>Əliyeva A., <sup>2</sup>Mahmudov E, <sup>1</sup>Babayeva T., <sup>2</sup>Qurbanov O.

<sup>1</sup>Sumqa yıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan

<sup>2</sup>Azərbaycan Dövlət Aqrar Universiteti, Gəncə, Azərbaycan

[azada.aliyeva@sdu.edu.az](mailto:azada.aliyeva@sdu.edu.az)

**Xülasə** Sağlam bitki istehsalı üçün müasir elmin qarşısında duran əsas prioritet məsələlərdən biri də, artan dünya nüfusunun sağlam qida ilə təmin etmək üçün kütləvi sürətdə meyvə bitkiləri artırılmaqdadır. Bunun üçün yeni növ meyvə calaqaqlarının asan və tez bir zamanda artırılması üçün yeni biostimulyatorlar in vitro şəraitdə tətbii əsas məsələlər sırasındadır. Bitki biostimulyatorları, tərkibindəki qida maddələrindən asılı olmayaraq bitkilərdə nəsilvərmə qabiliyyətini artırmağa, abiotik stresslərə dözümlülüyünü artırmağa və istehsal edilən məhsulun keyfiyyət xüsusiyyətlərini artırmaq məqsədi ilə istifadə edilən maddələrdir. Bitkilər torpaqlarda müxtəlif qida elementləri kimi kobalt (Co) mikroelementi biokimyəvi proseslərə təsir edir və nəticədə bitkilərin boy və nəsilvərmə qabiliyyətlərini artırır. İn vitro şəraitdə mikrokonal çoxalma prosesində inisiasiya mərhələsində artırılmış albalı meyvəsi üçün yeni calaqaqlı hesab edilən “Gisela-6” cinsi kompleks birləşmənin təsiri ilə böyümə və inkişafda müsbət nəticələr göstərmişdir. “Gisela-6” calaqaqlısı müxtəlif iqlim tiplərinə uyğunlaşa bilən yarı cırdan albalı anacdır. İstifadə edilmiş 1 mq, 1,5 mq, 2 mq Kəhrəba turşusu + CoCl<sub>2</sub> x 6H<sub>2</sub>O kompleks birləşməsi standart qida mühitinə nisbətən in vitro mikrokonal çoxalma prosesinin inisiasiya mərhələsində albalı meyvəsi üçün yeni calaqaqlı hesab edilən “Gisela-6” cinsinin inkişafına daha yaxşı nəticə göstərmişdir.

**Açar sözləri:** İn Vitro, böyümə, bioloji aktiv birləşmə, Murashige & Skoog, kəhrəba turşusu, kobalt.

## Giriş

Bitki biotexnologiyasının qarşısında duran əsas prioritet məsələlərdən biri də, artan dünya nüfusunu sağlam qida ilə təmin etmək məqsədi ilə kütləvi sürətdə bitkiləri artırmaqdır. Bunun üçün yeni növ calaqaqların asan və tez bir zamanda artırılması üçün yeni biostimulyator *in vitro* şəraitdə tətbiqi prioritet məsələlər sırasındadır. Bitki biostimulyatorları, tərkibindəki qida maddələrindən asılı olmayaraq bitkilərdə nəsilvermə qabiliyyətini artırmağa, abiotik streslərə dözümlülüyünü artırmağa və məhsulun keyfiyyət xüsusiyyətlərini artırmaq məqsədi ilə tətbiq edilən maddələrdir.[1] Bitki biostimulyatorlarından həm kənd təsərrüfatında, həm də bağçılıqda kütləvi bitki istehsalında istifadə olunur. Ətraf mühitdə abiotik amillərə torpağın tərkibi, duzluluq, turşuluq, yüksək və aşağı temperatur, quraqlıq, çirklənmə, rütubət, yağış, külək və ya ultrabənövşəyi şüalanma daxildir. Əlverişsiz ətraf mühitin yaratdığı stress sağlam məhsuldarlığı əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər, çünki bitkilər məhsuldarlığı qorumaq məqsədi əvəzinə stresslə mübarizə aparmaq üçün daxili enerji ehtiyatlarından istifadə edərək mübarizə aparırlar. Bitkilərdə daxili enerjini isə biostimulyatorlar təmin edir.[2] Əsasən biostimulyatorlar yosunlardan və ya digər bitkilərin ekstraktlarından əldə edilərək bitkilərdə böyüməyə və stressə uyğunlaşmaya təsir göstərir. Yosunlardan alınmış ekstraktlar, zülal hidrolizatları, humik və fulvik turşular və digər mürəkkəb maddələr əsas qidalanmadan kənar xüsusiyyətlərə malikdir və bitkilərdə böyümə və stressə davamlılığı artırır. [3] Bitkilərdə inkişafa təsir edən və biostimulyatorların tərkib hissəsinə daxil olan əsas maddələrdən kəhrəba turşusunu və  $\text{CoCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$  misal çəkmək olar. Bitkiçilikdə kəhrəba turşusundan istifadənin digər biostimulyatorlardan fərqi bitki xəstəliklərinə qarşı müalicədən ibarətdir. Buna görə də, əlavə biostimulyator və adaptogen kimi istifadəsi bitkilər üzərində həm ekoloji, həm də iqtisadi baxımdan perspektivli nəticələr göstərmişdir. Kəhrəba turşusundan biogen böyümə stimulyatoru kimidə istifadə edilir. Kəhrəba turşusunu bitkilərdə tənəffüslə əlaqəli metabolik proseslər nəticəsində əmələ gəlir. Bitkilərdə Krebs dövründə fumarin turşusunun əmələ gəlməsi prosesində də, kəhrəba turşusunu müstəsna rol oynayır. [4] Aparılmış tədqiqat işləri nəticəsində məlum olmuşdur ki, çiçəklənən kələm bitkisi üzərində tətbiq edilən kəhrəba turşusu quraqlıq stressinə dözümlülüyü artırır. [5] Bitkilərdə nəsilvermə və boy artmanı nizamlayan digər element isə  $\text{CoCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ -dir. bitkilərin mineral qidalanmasında əhəmiyyətli irəliləyişlər əldə edilmişdir. Bitkilərin torpaqlardan mənimsədiyi əsas mikro elementlərdən biri kobalt (Co) mikroelementidir. Kobalt (Co) elementi kobalamin və vitamin B<sub>12</sub> və onun törəmələrinin əsas elementi və prokariyotlarda və heyvanlarda müxtəlif zülalların komponenti hesab edilir. [6] Müxtəlif qida elementləri kimi Co mikroelementi bitkilərdə biokimyəvi proseslərə təsir edir və nəticədə bitkilərin nəsilvermə qabiliyyətlərini artırır. *In vitro* şəraitdə mikroklonal çoxalma prosesində inisiasiya mərhələsində artırılmış "Gisela-6" cinsi yeni kompleks birləşmənin təsiri ilə böyümə və inkişafda müsbət nəticələr göstərmişdir. "Gisela-6" calaqaqlısı müxtəlif iqlim tiplərinə uyğunlaşa bilən yarı cırtan albalı anacdır.

## Material və tədqiqat metodları

*In vitro* şəraitdə mikroklonal çoxalma prosesi zamanı albalı növü üçün istifadə edilən "Gisela-6" calaqaqlısının *in vitro* şəraitdə mikroklonal çoxaldılma zamanı nəsilvermə qabiliyyətinin artırılması məqsədi ilə biostimulyator rolunu oynayacaq kompleks birləşmə sintez edilmişdir. Kompleks birləşmə sintez edilərkən götürülmüş əsas maddələr Kəhrəba turşusu və  $\text{CoCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$  olmuşdur. Götürülmüş maddələrin ekvivalent çəki nisbətləri gözlənilməklə 250 ml laboratoriya stəkanına 0,120 q (0,01 mol) Kəhrəba turşusu 0,84 q  $\text{NaHCO}_3$  tökülərək 40 ml distillə edilmiş suda (40-50 °C) maqnit qarışdırıcı üzərində 2 dəqiqə qızdırılaraq qarışdırılmışdır. Daha sonra 250 ml kimyəvi stəkana  $\text{CoCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$  duzu 110 q çəkilərək (50-60 °C) maqnit qarışdırıcı üzərində 3 dəqiqə qızdırılaraq qarışdırılmışdır. Hər iki məhlulu qarışdırdıqdan sonra qaranlıq otaqda 20 °C temperaturda soyudulmuşdur. Soyudulmuş məhlulda 24 saatdan sonra çöküntü əmələ gəlmişdir. Daha sonra içərisində çöküntü olan məhlulu süzgəç kağızından süzülərək çöküntü ayrılmışdır. Ayrılmış çöküntü süzgəç kağızından götürülərək 1 mq miqdarda analitik tərəzidə çəkilmişdir. Çəkilmiş maddə qalıqları 100 ml ultra distillə suyunda həll edilmişdir.

Bitki biotexnologiyasının vəzifələrindən biri *in vitro* şəraitdə mikroklonal çoxaltma prosesi zamanı bitkilərin sürətli və sağlam şəkildə nəsilvermə qabiliyyətinin yüksəldilməsidir. Bu səbəbdən də, *in vitro* şəraitdə bitkilərin inisiasiya və proliferasiya mərhələsində əkilmiş bitki nümunələrinin inkişafı üçün həm boy artmaya həm də yarpaq səthinin inkişafına təsir edəcək və onların nəsil vermə mərhələsində biostimulyator rolunu oynayacaq kompleks birləşmənin tətbiqinə başlanılmışdır. Aparılmış tədqiqat işi zamanı standart qida mühitində Murashige & Skoog (MS, 1962) dəyişiklik edilərək yarpaqlarda fol turşusunun daha yaxşı sintez etməsinə və bitkilərin boy artımına və nəsil vermə qabiliyyətinə təkan verəcək kəhrəba turşusu +  $\text{CoCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$  kompleks birləşməsi tətbiq edilmişdir.

*In vitro* şəraitdə mikroklonal çoxalma prosesi zamanı istifadə edilən standart Murashige & Skoog (MS, 1962) və tərkibində hazırlanmış kompleks birləşmə olan qida mühiti aşağıdakı kimidir:

## Standart MS mühiti

	Reaktivlər	Çəki(mg)	Çəki(gr)
Makroduzlar	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	16500	16,5
	KNO <sub>3</sub>	1900	1,9
	MgSO <sub>4</sub> x 7H <sub>2</sub> O	3700	3,7
	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1700	1,7
	CaCl x 2H <sub>2</sub> O	4400	4,4
Dəmir	FeSO <sub>4</sub> x 7H <sub>2</sub> O	557	5,57
	Na <sub>2</sub> EDDT x 2H <sub>2</sub> O	745	7,45
Mikroduzlar	MnSO <sub>4</sub> x 4H <sub>2</sub> O	2200	2,20
	ZnSO <sub>4</sub> x 7H <sub>2</sub> O	800	0,80
	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	610	0,61
	KJ	83	0,083
	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> x 2H <sub>2</sub> O	25	0,025
	CuSO <sub>4</sub> x 5H <sub>2</sub> O	2,3	0,0023
	CoCl <sub>2</sub> x 6H <sub>2</sub> O	2,3	0,0023



Şəkil 1. Standart qida mühitinə əkilmiş eksplan

Tətbiq edilərkən standart qida mühitinin mikroelement tərkibindən CoCl<sub>2</sub> x 6H<sub>2</sub>O duzu çıxarılaraq əvəzində 1 mq, 1,5 mq, 2 mq kəhrəba turşusu + CoCl<sub>2</sub> x 6H<sub>2</sub>O kompleks birləşməsi əlavə olunmuşdur. Hazırlanmış kompleks birləşmə analitik tərəzidə 1 mq, 1,5 mq, 2 mq çəkilərək 100 ml distillə edilmiş suda həll edilmişdir. Məhlullar hazırlanarkən 10 dəqiqə maqnit qarışdırıcı üzərində kompleks birləşmə tam həll olana qədər qarışdırılmışdır. Hazırlanmış ana məhlullardan 1000 ml qida mühiti hazırlamaq məqsədi ilə hər üç nümunədən 1000 ml götürülmüşdür. Hazırlanmış qida mühitinə əkilmiş bitki nümunələri süni iqlim kameralarına yerləşdirilmişdir. Bitkilərin optimal inkişafı üçün iqlim kameralarında temperatur 21-25 °C nəmlik isə 70-90% nizamlanmışdır. Tətbiq nəticəsində məlum olmuşdur ki, bitkilər həm inisiyasiya həm də proliferasiya mərhələsində standart qida mühitindən daha yaxşı inkişaf etmişdir. Müşahidələr nəticəsində məlum olmuşdur ki, bitkilərin yarpaq səthi daha yaxşı inkişaf etmiş, boy artımı və nəsilvermə qabiliyyəti yüksəlmişdir. Modifikasiya olunmuş qida mühitinin tərkibi aşağıdakı kimidir:

## Modifikasiya olunmuş MS mühiti

	Reaktivlər	Çəki(mg)	Çəki(gr)
Makroduzlar	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	16500	16,5
	KNO <sub>3</sub>	1900	1,9
	MgSO <sub>4</sub> x 7H <sub>2</sub> O	3700	3,7
	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1700	1,7
	CaCl x 2H <sub>2</sub> O	4400	4,4
Dəmir	FeSO <sub>4</sub> x 7H <sub>2</sub> O	557	5,57
	Na <sub>2</sub> EDDT x 2H <sub>2</sub> O	745	7,45
Mikroduzlar	MnSO <sub>4</sub> x 4H <sub>2</sub> O	2200	2,20
	ZnSO <sub>4</sub> x 7H <sub>2</sub> O	800	0,80
	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	610	0,61
	KJ	83	0,083
	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> x 2H <sub>2</sub> O	25	0,025

CuSO <sub>4</sub> x 5H <sub>2</sub> O	2,3	0,0023
Kəhrəba turşusu + CoCl <sub>2</sub> x 6H <sub>2</sub> O	1; 1,5; 2	0,001; 0,0015; 0,002



**Şəkil 2.** Modifikasiya olunmuş qida mühitinə əkilmiş eksplant

Aparılmış elmi-tədqiqat işindən belə bir nəticəyə gəlinmişdir ki, tədqiqat prosesində istifadə edilmiş kompleks birləşmə 3 fərqli miqdarda inisiyasiya mərhələsi üçün qida mühitində istifadə edilmişdir. İstifadə edilmiş 1 mq, 1,5 mq, 2 mq kəhrəba turşusu + CoCl<sub>2</sub> x 6H<sub>2</sub>O kompleks birləşməsi standart qida mühitinə nisbətən *in vitro* mikroklonal çoxalma prosesinin inisiyasiya mərhələsində albalı meyvəsi üçün yeni calaq altı hesab edilən "Gisela-6" cinsinin inkişafına və nəsilvermə qabiliyyətinə daha yaxşı nəticə göstərmişdir. İn Vitro şəraitdə sürətli, sağlam və ətraf mühitdə baş verən dəyişikliklərə dözümlü hesab edilən və bağçılığın inkişafında geniş istifadə edilən calaq altılarının artırılması və artırılmış bitki nümunələrinin istehsalat prosesində tətbiq edilməsi müasir bitki biotexnologiya elminin qarşısında duran prioritet məsələlərdəndir.

#### Ədəbiyyat

- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Drobek, M., Fraç, M., & Cybulska, J. (2019). Plant Biostimulants: Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic Stress—A review. *Agronomy*, 9(6), 335. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060335>
- Van Oosten, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., & Maggio, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0089-5>
- [https://www.researchgate.net/publication/339817470\\_FEATURES\\_OF\\_THE\\_USE\\_OF\\_SUCCINIC\\_ACID\\_AS\\_A\\_BIOSTIMULATOR\\_AND\\_PLANT\\_ADAPTOGEN](https://www.researchgate.net/publication/339817470_FEATURES_OF_THE_USE_OF_SUCCINIC_ACID_AS_A_BIOSTIMULATOR_AND_PLANT_ADAPTOGEN)
- Kiliç, T. (2023). Seed treatments with salicylic and succinic acid to mitigate drought stress in flowering kale cv. "Red Pigeon F1." *Scientia Horticulturae*, 313, 111939. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111939>
- Hu, X., Wei, X., Ling, J., & Chen, J. (2021c). Cobalt: an essential micronutrient for plant growth? *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.768523>

#### Summary

#### APPLICATION OF THE SUCCINIC ACID + COCL<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O COMPLEX COMPOUND TO ENHANCE THE GROWTH AND REPRODUCTIVE CAPACITY OF THE "GISELA-6" ROOTSTOCK

*Aliyeva A., Mahmudov E., Babayeva T., Gurbanov O.*

One of the main current priorities of modern science for healthy plant production is the mass propagation of fruit crops to meet the growing global population's demand for healthy food. Therefore, the application of new biostimulants under *in vitro* conditions for the rapid and easy propagation of new fruit rootstocks is of particular importance. Plant biostimulants are substances used to enhance reproductive capacity, increase tolerance to abiotic stress, and improve the quality characteristics of the produced crop, regardless of the nutrient content. Among various soil nutrients, the cobalt (Co) microelement affects biochemical processes and consequently promotes plant growth and reproductive ability. During the initiation phase of the *in vitro* microclonal propagation process, the use of a complex compound demonstrated positive results in the growth and development of the cherry rootstock "Gisela-6," considered a new candidate. "Gisela-6" is a semi-dwarf cherry rootstock that can adapt to different climate types. The application of 1 mg, 1.5 mg, and 2 mg of a complex compound of Succinic acid + CoCl<sub>2</sub> × 6H<sub>2</sub>O showed better results in the initiation stage of *in vitro* microclonal propagation of the "Gisela-6" rootstock compared to the standard nutrient medium.

**Keywords:** In Vitro, growth, bioactive compound, Murashige & Skoog, succinic acid, cobalt.

**Резюме**  
**ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО СОЕДИНЕНИЯ ЯНТАРНОЙ КИСЛОТЫ +  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$**   
**ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РОСТА И РЕПРОДУКТИВНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОДВОЯ "GISELA-6"**  
*Алиева А., Махмудов Э., Бабаева Т., Гурбанов О.*

Одним из приоритетных направлений современной науки в области производства здоровых растений является массовое размножение плодовых культур с целью обеспечения растущего населения мира здоровой пищей. В связи с этим актуальным становится использование новых биостимуляторов в условиях *in vitro* для быстрого и лёгкого размножения новых подвоев плодовых растений. Биостимуляторы растений — это вещества, которые используются для повышения репродуктивной способности, устойчивости к абиотическому стрессу и улучшения качественных характеристик урожая, независимо от содержания питательных веществ. Микроэлемент кобальт (Co), как один из элементов питания в почве, влияет на биохимические процессы и, как следствие, способствует росту и репродуктивной способности растений. В процессе микроразмножения *in vitro* на стадии инициации использование комплекса веществ оказало положительное влияние на рост и развитие подвоя вишни сорта "Gisela-6", рассматриваемого как новый кандидат. Подвой "Gisela-6" — это полукарликовое растение, способное адаптироваться к различным климатическим условиям. Применение 1 мг, 1,5 мг и 2 мг комплексного соединения янтарной кислоты +  $\text{CoCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$  дало лучшие результаты на стадии инициации *in vitro* микроразмножения подвоя "Gisela-6" по сравнению со стандартной питательной средой.

**Ключевые слова:** *In Vitro*, рост, биологически активное соединение, Murashige & Skoog, янтарная кислота, кобальт.

## MODIFICATION OF SODIUM ALGINATE AND ITS APPLICATION FIELDS

**Ibrahimova Nargiz Elshan**  
**Nazarova Roya Zakir**  
*Baku Engineering University, Baku, Azerbaijan*  
[nibrahimova5@std.beu.edu.az](mailto:nibrahimova5@std.beu.edu.az)

**Summary** Sodium alginate is a natural and biodegradable polymer that is unique in that it has no negative effects on the environment or human health. ([2] Lee & Mooney, 2012) This material, which comes from plants, mostly seaweed, is thought to have great potential for application in drug delivery systems because of its excellent biocompatibility and lack of toxicity. The literature points out that it has been effectively used in targeted drug delivery and controlled release systems. ([3] Mortimer et al., 2022) Considering these properties, in the study, curcumin was extracted from turmeric root by various methods and modified with sodium alginate.

**Keywords:** sodium alginate, modification, biopolymer, crosslinking, hydrogel

### Introduction

Brown algae's cell walls are the main source of sodium alginate (SA), an anionic polymer. Along the polymer chain, it is made up of two essential monomeric units:  $\beta$ -D-mannuronic acid (M) and  $\alpha$ -L-guluronic acid (G), which are organized in different sequences. These structural elements are essential in establishing the polymer's physical characteristics. Sodium alginate has become a very appealing material for use in pharmaceutical formulations, biomedical applications, and the food sector because of its exceptional gel-forming properties, high biocompatibility, and biodegradability. ([1] Draget, Skjåk-Bræk, & Smidsrød, 1997) Its potential for usage in food-grade thickeners or stabilizers, scaffolds for tissue engineering, and drug delivery systems is further increased by its capacity to form stable hydrogels in mild environments.

### Modification methods

Numerous modification techniques have been devised to improve sodium alginate's qualities and increase its range of applications. By enhancing its mechanical, chemical, and biological qualities, these techniques aim to make it more appropriate for particular industrial, biomedical, and environmental applications. Some of the most popular methods of alteration are:

1. Ionotropic gelation, which involves the interaction of alginate chains with divalent cations like calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), barium ( $\text{Ba}^{2+}$ ), or strontium ( $\text{Sr}^{2+}$ ), is one of the most popular methods for modifying sodium alginate. ([3] Mortimer et al., 2022) Usually utilized in the creation of hydrogels, this ionic crosslinking causes the creation of a soft, three-dimensional network structure. Because of their mild gelation conditions and biocompatibility, these gels are particularly useful in biomedical applications, such as scaffolds for tissue engineering and drug delivery systems.

2. Grafting, which involves chemically bonding functional monomers or other polymers to the alginate backbone, is another essential method. Polylactic acid (PLA), acrylic acid, and polyethylene glycol (PEG) are a few examples. ([4] Mulyasari et al., 2022) Grafting allows alginate-based materials to gain new characteristics like improved mechanical stability, hydrophobicity, or antibacterial activity, increasing their potential for a range of industrial and medicinal applications.

3. Another common method is chemical crosslinking, which uses substances like genipin, glutaraldehyde, or carbodiimide. By creating dense and stable networks, this technique enhances the hydrogel's structural integrity. These materials are especially well-suited for applications where long-term mechanical performance is crucial, such as tissue adhesives, wound dressings, or implantable biomedical devices.

4. Additionally, blending polymers is a simple yet efficient method of modifying sodium alginate. This method involves physically combining alginate with other biopolymers, such as carrageenan, gelatin, or chitosan. By integrating the benefits of each component, the resultant composite materials frequently exhibit enhanced qualities, such as increased flexibility, biological activity, or resistance to degradation, which qualifies them for multipurpose biomedical and food-related applications.

To improve sodium alginate's structural qualities for possible functional uses, we modified it in our study using the ionic crosslinking method, which is a useful and biocompatible technique.

#### Application Areas

Due to its unique qualities and adaptability, including gel-forming ability, biocompatibility, and biodegradability, modified sodium alginate has drawn a lot of interest from a wide range of sectors. ([1] Draget, Skjåk-Bræk, & Smidsrød, 1997) Consequently, it finds use in a variety of industries, such as environmental technology, food, cosmetics, and medicines. ([4] Mulyasari et al., 2022; Shitrit et al., 2023) A description of its main application areas is provided below:

**Drug Carriers:** Sodium alginate makes drugs with controlled release. Its gelling qualities can be adjusted to encapsulate and release the active medicinal ingredients gradually.

**Drug delivery and wound care:** Gels based on alginate are utilized in wound-healing applications. This substance promotes skin renewal and offers defense against germs.

**Stabilizers and Food Additives:** In order to improve the stability of ice cream, juices, and beverages, modified sodium alginate is utilized in the food sector as an emulsifier and gelling agent.

**Food packaging:** Due to its eco-friendliness and biodegradability, sodium alginate is utilized as a natural material for food packaging. ([5] Shitrit et al., 2023).

**Enzyme carriers:** Sodium alginate can be utilized as a carrier to immobilize a variety of enzymes in biotechnology and catalysis. This method can be made more efficient by modifying it.

**Skin Care Products:** Face masks and other cosmetics use sodium alginate. Its alteration is advantageous for protecting and hydrating the skin.

**Water purification:** Modified sodium alginate is a valuable substance for environmental remediation since it may be used to eliminate contaminants from water, particularly heavy metal ions.

#### Experimental Part

In the experimental part of this study, curcumin was first extracted from turmeric using two different methods: ultrasound-assisted extraction (UAE) and Soxhlet extraction.

##### Ultrasound-Assisted Extraction (UAE):

Ground turmeric was mixed with 96% ethanol and extracted in an ultrasonic bath. The resulting solution was subjected to solvent evaporation using a rotary evaporator. As a result, yield was 5.5%.

##### Soxhlet Extraction:

Turmeric was extracted with 96% ethanol using a Soxhlet apparatus. The yield of this process was 8.4%.

Following the extraction, curcumin was used in the synthesis of composite materials based on chitosan and sodium alginate.

##### The synthesis of the curcumin-containing composite was performed as follows:

Chitosan was dissolved in 2% (v/v) acetic acid solution. Sodium alginate was dissolved in distilled water. An aqueous curcumin solution was mixed with the chitosan solution at room temperature under stirring. The chitosan and sodium alginate solutions were then combined and stirred. The pH of the mixture was adjusted using 1 M NaOH solution. A 2% (w/v) CaCl<sub>2</sub> solution was added dropwise to the prepared mixture under continuous stirring. After preparation, the mixture was left to stand for 3 days. The solid product was then filtered and dried at 40 °C.

#### Conclusion

Following the research, infrared (IR) spectroscopy was used to examine the samples to verify that the alteration procedure was effective. When the infrared spectra were compared, peak variations at specific wavelengths showed that the synthesis process had taken place. The stability and possible uses of the modified sodium alginate sample were further examined in artificial stomach (SGF), intestinal (SIF), and colon (SCF) fluids, which simulate various bodily conditions.

## References

1. Draget, K. I., Skjåk-Bræk, G., & Smidsrød, O. (1997). Alginate-based new materials. *International Journal of Biological Macromolecules*, 21(1–2), 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.06.003>
2. Lee, K. Y., & Mooney, D. J. (2012). *Alginate: Properties and biomedical applications*. *Progress in Polymer Science*, 37(1), 106–126. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.06.003>
3. Mortimer, C. J., Powell, J., & Williams, R. (2022). *Recent Advances in Alginate-Based Hydrogels for Drug Delivery Applications*. *Gels*, 8(6), 359. <https://doi.org/10.3390/gels8060359>
4. Mulyasari, R., Sari, R. M., Saputra, R. R., Anugrah, D. S. B., Syamsu, K., & Khairurrijal. (2022). *Recent advances in sodium alginate-based composites for biomedical and environmental applications*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(5), 108118. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108118>
5. Shitrit, Y., Lutzky, N., Shoseyov, O., & Davidovich-Pinhas, M. (2023). *Biodegradable and edible alginate-based food packaging materials: Properties and applications*. *Trends in Food Science & Technology*, 136, 426–438. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.03.005>

### Xülasə

#### NATRIUM ALGINATININ MODİFİKASIYASI VƏ ONUN TƏTBİQ SAHƏLƏRİ

*Ibrahimova N.E., Nəzərova R.Z.*

Natrium alginat ətraf mühitə və insan sağlamlığına heç bir mənfi təsiri olmayan təbii və bioloji parçalana bilən polimerdir. ([2] Lee & Mooney, 2012) Bitkilərdən, əsasən də dəniz yosunlarından əldə edilən bu materialın əla biouyğunluğu və toksiklik olmaması səbəbindən dərmanların çatdırılma sistemlərində tətbiqi üçün böyük potensiala malik olduğu düşünülür. Ədəbiyyat onun məqsədyönlü dərman çatdırılması və idarə olunan buraxılış sistemlərində effektiv şəkildə istifadə edildiyini göstərir. ([3] Mortimer və digərləri, 2022) Bu xüsusiyyətləri nəzərə alaraq, tədqiqatda kurkumin müxtəlif üsullarla sarıkökdən ekstraksiya edilmiş və natrium alginat ilə modifikasiya olunmuşdur.

**Açar sözlər:** natrium alginat, modifikasiya, biopolimer, çarpaz əlaqə, hydrogel

### Резюме

#### МОДИФИКАЦИЯ АЛЬГИНАТА НАТРИЯ И ОБЛАСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

*Ибрагимова Н.Э., Назарова Р.З.*

Альгинат натрия — это натуральный и биоразлагаемый полимер, который уникален тем, что не оказывает негативного воздействия на окружающую среду или здоровье человека. ([2] Lee & Mooney, 2012) Этот материал, получаемый из растений, в основном из морских водорослей, считается обладающим большим потенциалом для применения в системах доставки лекарств из-за его превосходной биосовместимости и отсутствия токсичности. В литературе отмечается, что он эффективно используется в системах целевой доставки лекарств и контролируемого высвобождения. ([3] Мортимер и др., 2022) Учитывая эти свойства, в исследовании куркумин был извлечен из корня куркумы различными методами и модифицирован альгинатом натрия.

**Ключевые слова:** натриевая альгинат, модификация, биополимер, сшивание, гидрогель

## SUSTAINABLE WATER MANAGEMENT AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

<sup>1</sup> Guliyev Aloysat, <sup>2</sup> Babayeva Tunzala, <sup>3</sup> Abdullayeva Maya,

<sup>1</sup> Yelmarli Terlan, <sup>2</sup> Aliyeva Azada, <sup>1</sup> Guliyev Nicat

<sup>1</sup>Institute of Soil Science and Agrochemistry, Baku, Azerbaijan

<sup>2</sup>Sumgayit State University, Sumgayit, Azerbaijan

<sup>3</sup>Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan

**Summary** This study is devoted to the analysis of the physical and chemical properties of groundwater and surface water sources (ganats and rivers) located in the Fuzuli region. Since the minerals, pollutants and organic substances contained in river waters can affect the quality of ganats water, the physical and chemical properties of rivers located in the area and playing a major role in agriculture were studied. Mainly, heavy metals and salinity levels in rivers can limit the use of ganats water. It was found from the studies that the amount of precipitation can increase or decrease the volume of river waters and their impact on groundwater. Within the framework of the study, the pH, electrical conductivity, hardness, mineralization and concentration of calcium, magnesium, sodium and other ions of water were determined. As a result of the analysis, the quality of ganats and river waters was assessed and their ecological suitability for use was assessed. However, ganats water, which is a reliable water source, should be analyzed regularly, because the concentration of heavy metals can change. The results obtained are important in terms of water resources management and ecosystem protection in this region. This study provides practical recommendations for sustainable water resources in the context of climate change, as well as in arid and semi-arid regions, and highlights the importance of water resource sustainability. The article also contributes to the Sustainable Development Goals (2, 6, 12, 13, 15).

**Keywords:** ganats systems, agricultural impact, Karabakh region, soil management, sustainable

## Introduction

The area of Fuzuli district is 1.39 thousand km<sup>2</sup>. The center is the city of Fuzuli. Fuzuli district is located in the southwest of the Republic of Azerbaijan, bordering the Islamic Republic of Iran along the Araz River in the southeast and south, Jabrayil in the southwest, Khojavand in the west and northwest, Agjabadi in the north, and Beylagan in the east[6].

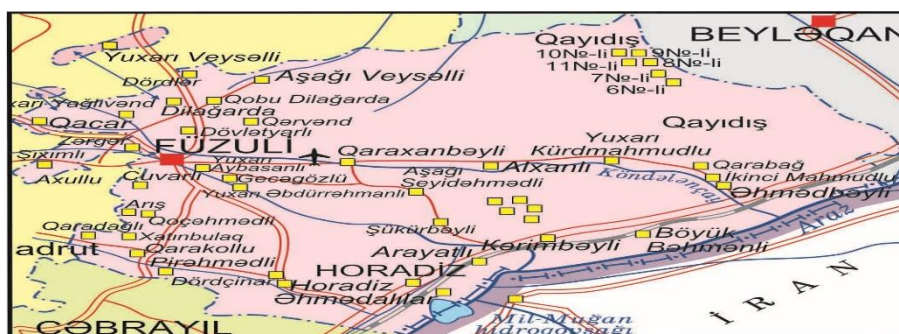


Fig 1. Fuzuli district map

The region is mainly suitable for growing winter wheat, cotton, corn, grapes, fruits, and vegetables. Irrigation of these crops is mainly carried out through river waters and ganats. Kondalanchay, Guruchay, and ganats are used as convenient and sustainable water sources for agriculture. Water sources with a stable and sufficient water flow are more reliable for agriculture, depending on how much water a river or ganat can provide throughout the year. Seasonal changes in river water levels affect the irrigation regime. Ganats, on the other hand, can provide more stable water throughout the year.

Fuzuli region is one of the areas with ancient ganat systems in Azerbaijan. Ganats are traditional irrigation and water supply systems built mainly to bring water from underground water sources to the surface. Ganats in Fuzuli region were built by the local population centuries ago. They were mainly used for drinking water supply and irrigation of agricultural fields. Kahrizs consist of several main elements: a water source (underground springs or seepage waters), tunnels for regulating water flow, and outlet points (mouths or wells). These ganats played an important role in terms of agriculture and water resources management, especially in arid climates. We conducted our research on whether rivers and ganats were suitable for agricultural use in Fuzuli region after the liberation of Karabakh from occupation. In general, the study and restoration of ganats in the Fuzuli region is of great importance for the water management and ecological history of Azerbaijan[3,4].

It is important to invest in the maintenance and rehabilitation of the drainage system infrastructure to withstand extreme weather events. This includes strengthening tunnels and wells to prevent subsidence. (Table 1).

## Material and Methods

This study was conducted on rivers and the ganat system in the Fuzuli district, Karabakh region of Azerbaijan. Specific locations were recorded using GPS coordinates to ensure accurate documentation and replication of the ganat systems and rivers. The results of the “Complete chemical composition analysis of water samples taken from ganats located in the Fuzuli district” were verified based on existing indicators.

The inspection was compared with reference to the 98/83 EC directive and the AZS 929:2023 regulatory documents. The state standard “Drinking water. Hygienic requirements and quality control” AZS 929:2023, which is in force in the territory of the Republic of Azerbaijan, was developed in accordance with the “Water and Health Protocol” to the UN Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes, and a new standard was developed taking into account the working document of this standard approved in April 20223. World Health Organization European Office, Directive 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption, ISO standards 5667-1:2006, 5667-3:2012, 7888:1995, 10523:2008, 7027:1999, 11923:1997, 15705:2002, 5815-1:2023, 8288:1986, SanPin 2.1.4.1074-02, USEPA standards [2,7].

**Table 1.**

*Information on monitoring of ganat located in the Fuzuli region (Karabakh, plain part of the Lesser Caucasus Mountains) (physical analysis)*

Residence Place	The name of Garant	Coordinates of Garant			Coordinates of Kahriz Length of Ganat, in m	Number of wells, pcs.	Depth of the main well, in m	Water consumption in different periods, l/sec (annual average)			Technical condition of the ganat during the research period
		X	Y	H				1938-1941	1987	2024	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
West of the village of Horadiz	Namazlı	39 <sup>0</sup> 27" 09"	47 <sup>0</sup> 14" 06"		1500	25	12,0	3,0	3,0	0	-
In the mulberry garden, west of the village of Horadiz	Topa	39 <sup>0</sup> 27" 36"	47 <sup>0</sup> 13" 15"	260	800	18	8,60	10	10	2	Needs repair
West of Horadiz village, next to the cemetery	Yenicə	39 <sup>0</sup> 27" 43"	47 <sup>0</sup> 13" 17"		850	2,0	11,0	3,5	3,5	1,50	Some wells are open. Needs repair
In the center of the village of Gochahmadli	Çinar bulaq	39 <sup>0</sup> 32" 16"	47 <sup>0</sup> 07" 16"	800	300	20	16,0	6,0	6,0	2,0	Must be restored
West of the village of Gochahmadli	Shirlan	39 <sup>0</sup> 31" 58"	47 <sup>0</sup> 06" 25"	75	650	18	12,0	5,0	5,0	1,5	-
East of the village of Gorazilli, near the Fuzuli-Hadrud highway	Hacı-Şükür	39 <sup>0</sup> 29" 53"	47 <sup>0</sup> 05" 25"	540	1800	27	10,5	13,0	13,0	4,5	Must be restored
East of Dilagarda village, next to the village secondary school	Bəhbətli	39 <sup>0</sup> 40" 41"	47 <sup>0</sup> 08" 58"		500	10	10,75	1,0	-	0,5	Must be restored
2.0 km west of the village of Ashagi Abdulrahmanli	Əhməd Əli	39 <sup>0</sup> 31" 49"	47 <sup>0</sup> 15" 51"		2000	18	15,6	4,0	<b>4,0</b>	1,0	All wells need repair and capping.

**Results and Discussion Features of Garant and Tea**

In Fuzuli region, the main irrigation sources are the Garant, Guruchay and Kondalanchay. Guruchay is the left tributary of the Araz, flowing through the Khojavend and Fuzuli regions. It is 82 km long and has a basin area of 201 km<sup>2</sup>. It receives most of its water from rainfall (75-80%). The river floods due to spring rainfall. The flow during floods is 30-35 times higher than the annual flow. In July-August, the river water decreases significantly, and in some years it dries up completely. Rainfall in the autumn causes small floods. The average annual water flow of the river is approximately 1.91 m<sup>3</sup>/sec, and its volume is 60.3 million m<sup>3</sup>. 65% of its annual flow occurs in spring, 22% in summer, 7% in autumn, and 6% in winter. The water consumption during intensive irrigation is 3-5% of the annual flow. The average annual siltation varies between 150-250 g/m<sup>3</sup>. Its water is hydrocarbonate-calcium, with an average mineralization of 300-500 mg/l. During floods, the water of the Guruchay is completely discharged into the Dovlyatyarli reservoir. It is widely used in irrigation works in the summer months.

The Kondalanchay is the left tributary of the Araz. It flows through the territories of Khankendi, Khojavend and Fuzuli regions and flows into the Araz near the village of Bala Bahmanli. The length of the river is 89 km, and the basin area is 166 km<sup>2</sup>. It originates from springs emerging from Chakhmagdag (1780 m) on the Karabakh volcanic plateau. The largest tributary is considered to be the Kechalchay (length 29 km) from the left. Its flow is mainly formed by rain (59%) and groundwater (29%), partly snow (12%). In spring (March-May), rain water causes floods in the river. In some years, autumn rains also cause small floods. During the flood period, up to 60-70% of the annual flow volume passes. The average annual water

consumption of the river is 0.63 m<sup>3</sup>/sec, and its volume is 19.9 million m<sup>3</sup>. Of this, 45% flows in spring, 22% in summer, 17% in autumn, and 16% in winter. The flow during the intensive irrigation period (July and August) accounts for 3-5% of the annual flow volume. The river's water consumption is 7.89 m<sup>3</sup>/sec.

Table 2 shows the chemical composition of rivers used for irrigation in Fuzuli region. Here, the pH value of river water is in the range of 8.17-8.1, indicating that it is slightly alkaline. This is a normal indicator in natural waters and is related to several factors: If there are bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ions in river waters, the pH of the water is slightly alkaline. Also, the absence of carbonate ion CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> is an indicator that the pH is slightly alkaline. When the EC value is 56 -35.4 μS/cm, the water is very clean and low in minerals. Such water can give good results in agriculture and irrigation. The hardness of the water is in the range of 2.8 mg-eqv/L to 4.50 mg-eqv/L, it belongs to the category of medium hard water and can be used for drinking water and irrigation purposes. The dissolved oxygen in water is 77.6% in the Kondalan River and 83.7% in the Guruchay. This indicates that the river waters are well aerated. In the Kondalanchay, Ca<sup>2+</sup> ion is 63.40 mg/l, Mg<sup>2+</sup> ion is 16.27 mg/l, and in the Guruchay, Ca<sup>2+</sup> is 39.9 mg/l, Mg<sup>2+</sup> ion is 10.4 mg/l. -. Calcium and magnesium ions are within the norm in both rivers. The analyzes show that the chloride and sulfate levels are normal and may not cause problems in irrigation. However, there may be a risk of accumulation in the soil in long-term use. The suitability for irrigation water is assessed according to FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) and other international standards. According to FAO, Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) concentration is generally considered safe for irrigation if it is below 5 mg/l. However, high ammonium levels can cause soil acidification, toxic effects on plants, and oxygen deficiency. In Kondalanchay, the ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) ion is 0.16 mg/l, and in Guruchay, the ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) ion is 0.05 mg/l. Both indicators are suitable for irrigation in terms of ammonium ion. According to generally accepted standards: Although the FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) irrigation water standards do not set a specific limit for nitrite, in general, high concentrations of nitrogen compounds (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) can harm plants and soil ecosystems. The amount of nitrite ion (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) in Kondalanchay is 0.12 mg/l, and in Guruchay, the amount of nitrite ion (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) is 0.1 mg/l. This water is suitable for irrigation in terms of nitrite, because the concentrations are very low and there is no possibility of harmful effects. The concentration of nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ion is one of the important indicators for assessing water quality. According to the recommendations of the World Health Organization (WHO) and other environmental standards: The maximum limit of nitrate for drinking water is 50 mg/L. The Kondalan River is also considered to be slightly polluted water with 4.50 mg/L of nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ion. Nitrate can enter from natural sources (soil rocks, riverbed) or from anthropogenic influences (agricultural fertilizers, wastewater). The Kurujay River has 1.4 mg/L of nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ion. It is considered almost clean water, since this level is normal in natural waters. These results show that the Kondalan River has some degree of nitrate pollution, but it does not exceed the critical limit. The Kurujay, on the other hand, appears to be ecologically cleaner. The phosphate level in both rivers is low. This also indicates that the rivers are not very polluted and are ecologically healthier. The sum of ions in the water indicates its richness in minerals. The water of both rivers falls into the fresh water category. The sum of ions in the Kondalan River is higher than in the Kurujay, which indicates its greater mineral content.

**Table 2.**

*Physico-chemical properties of water samples taken from Kondalanchay and Guruchay in Fuzuli district (08.04.2024) ( chemical analysis)*

<b>Physical and chemical parameters of water</b>	<b>Kondalanchay</b>	<b>Guruchay</b>
Hydrogen indicator, pH	8,17	8,1
Dissolved oxygen %	77,60	83,7
Electrical conductivity μS/cm	56	35,4
Codulosity mg-eq/l	4,50	2,8
Calcium ion, Ca <sup>2+</sup> mq/l	63,40	39,9
Magnesium ion, Mg <sup>2</sup> mq/l	16,27	10,4
Chloride ion, Cl <sup>-</sup> mq/l	35,70	22,4
Sulfate ion, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mq/l	142,10	89,7
Hydrocarbonate ion, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mq/l	151,53	111,1
Carbonate ion, CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> mq/l	0,00	0,0
Ammonium ion, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mq/l	0,16	0,05
Nitrite ion, NO <sub>2</sub> mq/l	0,12	0,1
Nitrate ion, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mq/l	4,50	1,4
Orthophosphate ion, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mq/l	0,02	0,0
	411,97	274,9

The Kondalen River and the Guruchay River flow through different areas of Fuzuli, and their waters can have a significant impact on the groundwater cycle. In addition to providing surface runoff, these rivers also help in the infiltration of groundwater into the riverbed. The water level and flow rate of these rivers can affect the kahrizs and change the amount of groundwater. When the river flow is high, the water level in the kahrizs increases, otherwise it decreases. The waters of rivers such as the Kondalen River and the Guruchay can be polluted by agricultural activities, industrial and domestic waste. These pollutants can seep into the groundwater and deteriorate the quality of the ganats. Rivers can change the chemical composition of the water, especially during floods. For example, high nitrate and phosphate levels in rivers can mix with groundwater and cause an increase in these substances in the kahrizs. The water level of the rivers in Fuzuli can decrease during drought periods, reducing the level of the ganat waters. The decrease in river water during these periods leads to a decrease in groundwater.

### Conclusion

The study found that the rivers and traditional irrigation systems of the studied region play an important role in the sustainable water supply of agricultural areas. These water sources, in addition to being compatible with the principles of environmental protection, support the sustainability and productivity of agricultural activities. Also, this approach contributes to the implementation of several of the UN Sustainable Development Goals - in particular, 2 (Eradicate hunger), 6 (Clean water and sanitation), 12 (Responsible production and consumption), 13 (Combat climate change) and 15 (Conservation of terrestrial ecosystems). Thus, the integration of local water resources - especially natural and traditional systems - into sustainable development strategies is considered an environmentally efficient and socio-economically beneficial approach [8].

Acknowledgement This work was supported by the Azerbaijan Science Foundation (Grant No: AEF-MQM-QA-2-2023-3(45)- 05/05/3-M-05). We would also like to extend our gratitude to the anonymous reviewers whose insightful comments and suggestions significantly contributed to the improvement of this manuscript

### References

1. Babayeva, T., Guliyev, A., İslamzade, T., İslamzade, R., Hacıyeva, X., Ashurova, N., Aliyeva, A., Maksudov, S., 2024. Impacts of irrigation with Cd-contaminated water from Sugovushan Reservoir, Azerbaijan on total cadmium and its fractions in soils with varied textures. *Eurasian Journal of Soil Science* 13(2): 145-152.
2. FAO, 1985. Water quality for agriculture. Irrigation and drainage paper No. 29. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 174p.
3. Guliyev. A, Babayeva. T, İslamzade. R, İslamzade. T, Yelmarlı, T...2024. Sustainable agriculture through qanat systems in Karabakh: Water and soil characteristics in the context of climate change. *Eurasian Journal of Soil*. Volume 13, Issue 4, Sep 2024, Pages 303 – 311.
4. Guliyev, A., 2016. Evolution of the qanat (kahriz) systems in the arid countries of the caucasus and central Asia. In: *Underground aqueducts handbook*.
5. Guliyev. A., 2021. *Azerbaijan Ganats*. Elm, Azerbaijan 256 p.
6. On hydrometeorology and natural environment monitoring in the Karabakh and East Zangezur economic regions. 2022. Report. Ministry of Ecology and Natural Resources. Baku.
7. WHO, 2017. Guidelines for Drinking-water Quality, 4th Edition, incorporating the 1st addendum. World Health Organization, Geneva. 631p.
8. <https://sdgs.un.org/goals>

### Xülasə

**SU İDARƏÇİLİYİNİN VƏ ƏTRAF MÜHİTİN QORUNMASININ TƏMİN EDİLMƏSİ A. Quliyev. T. Babayeva. M. Abdullayeva. T. Elmarlı. A. Əliyeva., Quliyev N.**

Bu tədqiqat Fusuli bölgəsində yerləşən yeraltı və yerüstü su mənbələrinin (göllər və çaylar) fiziki və kimyəvi xüsusiyyətlərinin təhlilinə həsr edilmişdir. Çay sularında olan minerallar, çirkəndiricilər və üzvi maddələr göllərin suyunun keyfiyyətinə təsir göstərə bildiyindən, ərazidə yerləşən və kənd təsərrüfatında mühüm rol oynayan çayların fiziki və kimyəvi xüsusiyyətləri öyrənilmişdir. Əsasən ağır metallar və çaylarda duzluluq səviyyəsi çay suyunun istifadəsini məhdudlaşdırır bilər. Tədqiqatlar göstərir ki, yağış miqdarı çay sularının həcmi və yeraltı sulara təsirini artırır və ya azalda bilər. Tədqiqat çərçivəsində kalsium, maqnezium, natrium və digər su ionlarının pH, elektrik keçiriciliyi, sərtliyi, minerallaşması və konsentrasiyası müəyyən edilmişdir. Təhlil nəticəsində göllərin və çay sularının keyfiyyəti, eləcə də onların ekoloji cəhətdən istifadəyə yararlılığı qiymətləndirilib. Bununla birlikdə, etibarlı bir su mənbəyi olan çayların suyu mütəmadi olaraq analiz edilməlidir, çünki ağır metalların konsentrasiyası dəyişə bilər. Tapıntılar bu bölgədəki su ehtiyatlarının idarə edilməsi və ekosistemlərin qorunması üçün vacibdir. Bu tədqiqat iqlim dəyişikliyi kontekstində, eləcə də quraq və yarı quraq bölgələrdə davamlı su ehtiyatlarına dair praktik

tövsiyələr verir və su ehtiyatlarının davamlılığının vacibliyini vurğulayır. Məqalə Davamlı İnkişaf Məqsədlərinə də töhfə verir(2, 6, 12, 13, 15).

**Açar sözlər:** çay sistemləri, kənd təsərrüfatına təsir, Qarabağ bölgəsi, torpaqların idarə edilməsi, davamlı inkişaf

#### Резюме

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА

*Гулиев А., Бабаева Т., Абдуллаева М., Елмарлы Т., Алиева А., Гулиев Н.*

Данное исследование посвящено анализу физических и химических свойств подземных и поверхностных водных источников (озер и рек), расположенных в регионе Фузули. Поскольку минералы, загрязнители и органические вещества, содержащиеся в речных водах, могут влиять на качество воды озер, изучались физические и химические свойства рек, расположенных в этом районе и играющих важную роль в сельском хозяйстве. В основном тяжёлые металлы и уровень солёности в реках могут ограничивать использование воды рек. В ходе исследований было установлено, что количество осадков может увеличивать или уменьшать объём речных вод и их влияние на грунтовые воды. В рамках исследования были определены рН, электрическая проводимость, твёрдость, минерализация и концентрация кальция, магния, натрия и других ионов воды. В результате анализа было оценено качество озер и речных вод, а также их экологическая пригодность для использования. Однако воду рек, которая является надёжным источником воды, следует регулярно анализировать, поскольку концентрация тяжёлых металлов может меняться. Полученные результаты важны для управления водными ресурсами и защиты экосистем в этом регионе. В данном исследовании даются практические рекомендации по устойчивым водным ресурсам в контексте изменения климата, а также в засушливых и полузасушливых регионах, и подчеркивается важность устойчивости водных ресурсов. Статья также вносит вклад в цели устойчивого развития (2, 6, 12, 13, 15).

**Ключевые слова:** системы рек, воздействие на сельское хозяйство, регион Карабах, управление почвами, устойчивое развитие

## GEOMƏKAN VƏ AEROKOSMIK MƏLUMATLAR ƏSASINDA ŞƏKI-ZAQATALA ZONASININ DAĞ-MEŞƏ ÖRTÜYÜNÜN EKOLÖJİ MONİTORİNQİ

**Məmmədov H.N., Valehov N.S., Valehova F.A.**

*Milli Aviasiya Akademiyası, Bakı, Azərbaycan*

*Milli Aerokosmik Agentlik, Bakı, Azərbaycan,*

[nvalehov@mail.ru](mailto:nvalehov@mail.ru)

**Xülasə** Tədqiqatın əsas məqsədi CİS və aerokosmik üsullardan istifadə etməklə Şəki-Zaqatala iqtisadi rayonunun meşə örtüyündə baş verən dəyişikliklərin qiymətləndirilməsindən ibarətdir. Toplanmış məlumatlara əsasən Landsat 8-9 peyk təsvirləri əsasında lokal ərazilərin sahələri müəyyən edilmiş və təsnifat obyektlərinin elektron kartoqrafik təqdimatı əsas məsələ kimi araşdırılmışdır. Məqalədə əsasən CİS texnologiyasının proqram paketlərindən istifadə etməklə tədqiqat obyektinin topoqrafik xəritəsi əsasında ərazinin relyefinin rəqəmli modeli qurulmuş, meyllik xəritəsi yaradılmış, tədqiqat obyektini əks etdirən kosmik şəkillər vizual və avtomatlaşdırılmış dəşifrənmə prosesləri vasitəsilə emal olunmuş, alınan bütün nəticələr qruplaşdırılaraq ərazidəki torpaq və bitki örtüyünün vəziyyəti qiymətləndirilmiş və xəritələşdirilmişdir.

**Açar sözlər:** geoməkan, bitki örtüyü, təsnifatlaşdırma, NDVI indeksi, İSODATA, CİS.

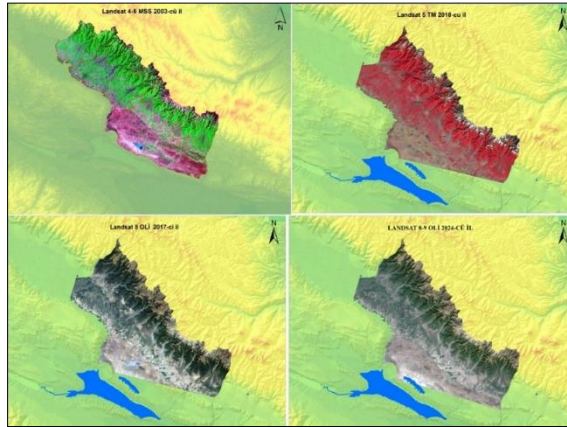
### 1. Giriş.

Peyk təsvirləri Yer kürəsinin örtüyünü və onda baş verən dəyişiklikləri müşahidə etmək üçün perspektiv üsuldur. Aerokosmik monitorinq təsvir üslubunu ayırd etmək üçün müəyyən üsullarını tətbiqini tələb edir. Tipik olaraq, dəyişikliklərin aşkarlanması prosedurlarına eyni məkan dəqiqliyi, spektral dəqiqlik və spektral şüalanma ilə və müəyyən dərəcədə günün eyni vaxtında peykdə eyni sensor tərəfindən yaradılan məlumatlar daxil edilməlidir. Məsələdən zondlama məlumatları müxtəlif tətbiqlərin monitorinqinə kömək edən mühüm məlumatları təqdim edir, məsələn, təsvirin birləşməsi, dəyişikliklərin aşkarlanması və torpaq örtüyünün təsnifatı. Peyk görüntüləri Yer resursları və ətraf mühitlə bağlı məlumat əldə etmək üçün istifadə edilən əsas üsuldur. Populyar peyk görüntüləri məlumatları müxtəlif xəritəçəkmə proqramları vasitəsilə asanlıqla onlayn əldə edilə bilməsidir. NDVI indeksi bitki örtüyünün təqdimatında məkan vizuallaşdırılmasının rəqəmsal emalının ən dəqiq üsuludur [1]. Tədqiqatın əsas məqsədləri 2003-2024-cü illər üçün Normallaşdırılmış Bitki Örtüyü İndeksi (NDVI), Yaşıl Normallaşdırılmış Fərq Bitki örtüyü İndeksi (GNDVI) istifadə edərək tədqiq olunan ərazinin bitki örtüyünün dəyişməsinə qiymətləndirməkdir.

### 2. Tədqiqat ərazisi və məlumatların əldə edilməsi.

Tədqiqat ərazisi kimi Şəki-Zaqatala iqtisadi rayonu götürülmüşdür. Şəki-Zaqatala iqtisadi rayonunun daha çox inkişaf etmiş şəhəri Şəkidir. Rayon ərazisinin ümumi sahəsi 8,96 min kv.km-dir və ölkə ərazisinin 10,3 %-ni təşkil edir. İqtisadi rayonun relyefi yüksək dağlıq və dağətəyi hissələrə bölünür. Ərazidə dağ-çəmən, dağ-çəmən-meşə, qonur-dağ-meşə, qəhvəyi-dağ-meşə, çəmən-qəhvəyi, boz-dağ-qəhvəyi, dağ-şabalıdı, şabalıdı, boz, çəmən-meşə və çəmən torpaqlar geniş yayılmışdır. Region respublikamızın ən meşəli

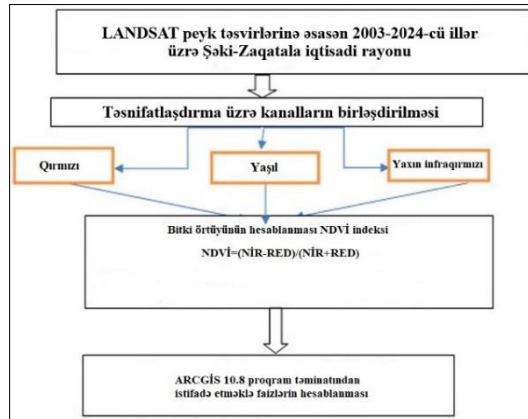
ərəzilərdən biridir və ərazinin düzənlik sahələrində qızılağac (*Alnus sp.*), qanadmeyvə yalan qoz (*Pterocarya pterocarpa*), hibrid qovaq (*Populus hybrida*), uzunsaplaq pəlid (*Quercus longipes*) növlərindən ibarət düzən meşələri mövcuddur. Şəkil 1-də tədqiqat ərazisinin müxtəlif illər üzrə peyk təsvirləri göstərilmişdir.



Şəkil 1. Tədqiqat ərazisinin RGB kompozisiyasında Landsat peyk təsvirləri

### 3. Tədqiqatın aparılma metodikası.

CİS-də tədqiqat zamanı əldə edilən ilkin məsafədən zondlama materiallarından deyil, onların emalı nəticəsində əmələ gələn törəmələrdən istifadə olunur. Radiometrik və həndəsi təhrifləri, atmosfer təsirlərini və s. aradan qaldırmaq üçün peyk məlumatları rəqəmsal olaraq əvvəlcədən işlənir. Mənbə şəkillərinin vizual keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq üçün parlaqlığı və kontrastı dəyişdirmək, səs-küyü aradan qaldırmaq üçün filtrasiya etmək və ya kənarları və incə detalları vurğulamaq üçün prosedurlar tətbiq oluna bilər. Aerofotoşəkillərdən istifadə edərkən, transformasiya və ya ortofoto çevrilmə prosesində aradan qaldırılabilən təsvirlərin meyl bucaqlarının və relyefin yaratdığı təhriflərə diqqət yetirmək lazımdır. Bitki örtüyünün xəritələşdirilməsi ilə bağlı peyk təsvirlərinin əsas anlayışları, mövcud təsvir mənbələri və təsnifat üsulları təqdim edilmiş, və müqayisə edilmişdir [2,3]. Aparılan tədqiqatda Landsat 8 peyk təsvirlərinə əsasən Şəki-Zaqalata zonasında bitki örtüyünün nisbəti müəyyən edilmiş və aşağıdakı şəkildə işin yerinə yetirilmə ardıcılığı göstərilmişdir.



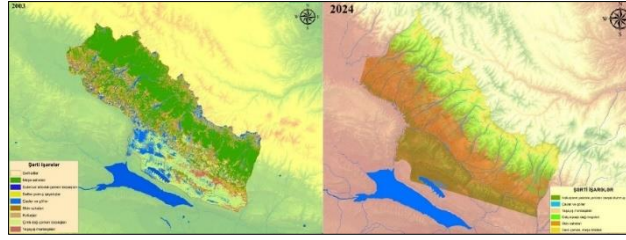
Şəkil 2. Tədqiqatın aparılması metodu

Peyk məsafədən müşahidə verilənlərinin əsas məqsədlərindən biri müşahidə olunan məlumatların interpretasiyası və təsnifatına əsaslanır. Təsnifatlaşdırma prosesi çoxsaylı spektralların ədədi qiymətlərinə əsaslanır və iki metodla aparılır: *Supervised* və *Unsupervised* təsnifatları.

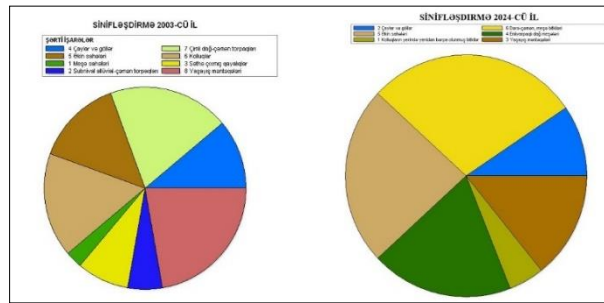
*Supervised* təsnifatında istifadəçi rəqəmli təsvirlərdə bitki örtüyünün gər bir sinfi üçün nümunələri seçir. Bitki örtüyü növlərinin nümunəsi *training sites* adlanır. Burada təsvirləri təsnif edən proqram təminatı hər sinfə bənzəyən əraziləri tapır. Sonda isə *supervised* təsnifatının *maximum likelihood* və *minimum-distance classification* alqoritmləri istifadə olunur [4].

*Unsupervised* təsnifatında isə piksellər əksətmə xüsusiyyətlərinə görə təyin edilir və bu qruplaşmalar klasterlər adlanır. Əvvəlcə istifadəçi klasterlərin sayını və hansı diapazonda istifadə edəcəyini müəyyən edir. Bu məlumatlara əsasən təsvirləri təsnif edən proqram təminatında klasterlər yaradılır. Həmin klasterləri yaratmaq üçün isə *K-means* və *ISODATA* kimi müxtəlif təsvirləri klasterləşmə alqoritmlərindən istifadə edilir. Bəzən istifadəçi bitki örtüyünün hər bir klasterini özü təyin edir və bir bitki örtüyünün bir neçə klasteri olur. Belə olduqda isə istifadəçi bitki örtüyünün növlərinə və tiplərinə əsasən uyğun olan klasterləri

birləşdirir. Təsnifat prosesi tədqiq olunan bitki örtüyünün məlumatlarının onun real yerləşdiyi yerə görə təqdim edilməsidir və bu prosesi həyata keçirmək üçün istifadə olunan tədqiqat ərazisi gözlənilən hər bir növ üçün təlim nümunələrini tələb edir [4]. Aparılmış təsnifatlaşdırma nəticəsində meşə ərazisini, əkin sahələrini, çaylar və gölləri, çılpaq torpaqları və yaşayış məntəqələri təsvir edən xəritə və qrafikləri tərtib edilmiş və şəkil 3 və 4-də göstərilmişdir.

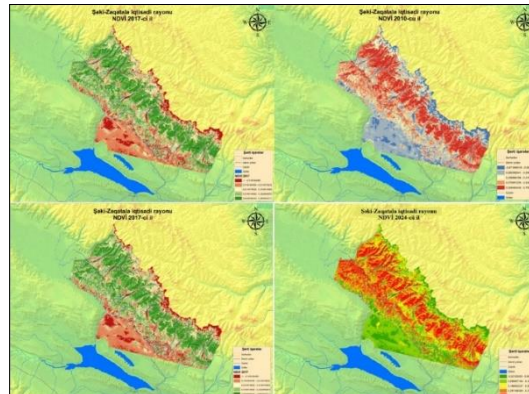


**Şəkil 3.** Tədqiqat ərazisinin təsnifatlaşdırma nəticəsində alınmış xəritələri



**Şəkil 4.** Tədqiqat ərazisinin 2003-2024-cü illər üzrə qrafikləri

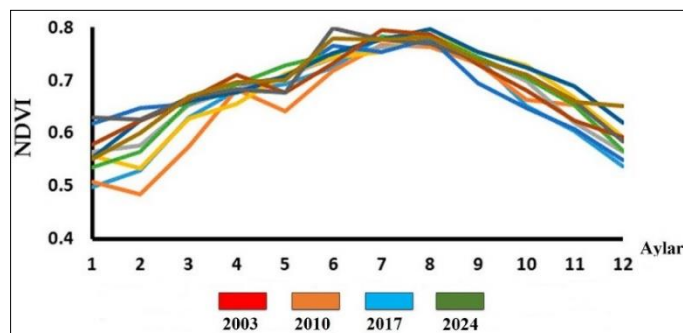
Ən çox tətbiq olunan bitki örtüyü indeksi olan NDVI fotosintetik aktivliyin mövcudluğunu qiymətləndirir. Bitki örtüyü onu Yer səthində mövcud olan digər obyektlərdən asanlıqla fərqləndirən unikal spektral xüsusiyyətə malikdir. Bitkilər mavi və qırmızı oblastda işığı udur, yaşıl və yaxın infraqırmızı oblastda isə əks etdirir, xüsusilə də əks etmə yaxın infraqırmızı oblastda əhəmiyyətlidir. Bu proses bütün dünyada yaşıl yarpaqlı bitkilərin konsentrasiyasını kəmiyyətcə müəyyən etmək üçün bitki örtüyü indeksinin hesablanması üçün əsas metod hesab edilir. Normallaşdırılmış bitki örtüyü indeksi (NDVI) bitki sağlamlığının və sıxlığının öyrənilməsində ən geniş istifadə olunan peyk indeksidir. Bitki örtüyü indeksi qırmızı və yaxın infraqırmızı oblastlarda əks etmədən istifadə etməklə hesablanır. Bu diapazon nəzəri olaraq -1 və +1 intervalı arasındadır, burada artan müsbət qiymətlər yaşıl bitki örtüyünün artdığını, mənfi qiymətlər isə su, boş torpaq, buz, qar və ya buludlar kimi bitki olmayan səth xüsusiyyətlərini göstərir [5,6]. Qeyd etmək lazımdır ki, NDVI qiymətlərindən əldə olunan məlumatların digər NDVI məlumatları ilə münasibətdə, məsələn, zamanla bitki örtüyünün monitorinqi və ya oxşar xüsusiyyətlərə malik müxtəlif bölgələrin müqayisəsi üçün monitorinq aparılan bitki örtüyündə fotosintetik aktivliyin səviyyəsini göstərir. Əsas NDVI indeksi təsviri bitki örtüyünün mövcud və aktiv olduğu yerin göstəricisini təyin edir, lakin ondan kənarında olduqda məhdud qiymətlərə malik olur. Ümumiyyətlə, nəticə müsbətdir və hüceyrənin bitki örtüyünə malik olduğunu göstərir.



**Şəkil 5.** Tədqiqat ərazisinin 2003, 2010, 2017 və 2024-cü illər üzrə NDVI indeksləri

Şəkil 4 və 5-də 2003-2024-cü illər üzrə vegetasiya indeksinin hesablanması nəticələri göstərilmişdir. Tədqiqat ərazisinin şimal-qərbinə və cənub-qərbinə düşən ərazilər 5,98%-dən 5,39%-ə qədər

qiymətlərlə sağlam bitki örtüyü ilə əhatə olunmuşdur. Bu rəqəmlərdən məlum olur ki, yüksək bitki örtüyü sıxlığı ancaq 2003-cü ildə olub. Bundan sonra antropogen dəyişikliklər və ya digər səbəblərdən bu ərazidə bitki örtüyü məhv olmaya başlayıb, 2010-2017-ci illərdə torpaq məhsuldarlığında itkilər baş vermişdir [7]. Beləliklə, aşkar olunmuş ən yüksək qiymət 2012-ci il üçün 4,39 % təşkil etmişdir. Bu isə öz növbəsində 2003-2024-cü illər ərzində bitki örtüyünün aşağı və ya aşağı mülayim bitki örtüyünə çevrilməsini açıq şəkildə göstərir.



Şəkil 6. NDVI indeksinin 2003-2024-cü illər üzrə qrafikləri

### Nəticə

Bu tədqiqatın nəticələrindən qeyd etmək olar ki, peyk təsvirlərindən istifadə etməklə bitki örtüyü 2003-cü ildə 5,98%, 2010-cü ildə 4,39 %, 2017-ci ildə 4,24% azalmışdır. 2003-2024-cü illər ərzində meşə sahəsi təxminən (15.02 -10.92) % azalıb, bundan sonra həmin ərazilərdə əhalinin məskunlaşması ilə əlaqədar yaşayış məntəqələrinin artımı müşahidə olunmuşdur və bu artım insanların quraq torpaqların becərilməsinə marağı ilə əlaqələndirilə bilər. NDVI və su sahəsi arasındakı statistik əlaqə NDVI indeksinin bitki örtüyünə nəmlik şəraitinin göstəricisi kimi effektivliyinin əhəmiyyəti ilə əks olunur. Şəki-Zaqatala iqtisadi rayonu üçün NDVI indeksi torpaqdan istifadə örtüyünün spektral əks olunmasından asılıdır. Belə ki, su, torpaq və şəhər ərazisi kimi heç bir bitki örtüyünü əks etdirməyən NDVI-nin aşağı qiyməti; yaşıl rəng sahəsi kənd təsərrüfatı torpaqları və bitki örtüyünü təmsil edir.

### Ədəbiyyat

1. Bonnesoeur, V.; Locatelli, B.; Guariguata, M.R.; Ochoa-Tocachi, B.F.; Vanacker, V.; Mao, Z.; Stokes, A.; Mathez-Stiefel, S.-L. Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: A systematic review. *For. Ecol. Manag.* 2019, 433, 569–584. [CrossRef]
2. N.S.Valehov, F.A.Valehova. Application of NDVI Index and Supervised Classification Methods on Sentinel-2A and Landsat 5 TM Satellite Images in ArcGIS Software. National Aviation Academy, Baku Azerbaijan National Aerospace Agency, Institute of Ecology, Baku Azerbaijan. Published in: *Engineering Headway*. ISSN: 2813-8333, Vol. 7, pp 181-186. <https://doi.org/10.4028/p-OsfCt0>. © 2024 Trans Tech Publications Ltd, Switzerland.
3. A.N.Bədəlova., H.N.Məmmədov., N.S.Valehov., F.A.Valehova. Multispektral peyk təsvirlərindən istifadə etməklə abşeron milli parkının bitki örtüyünün dinamikasının emalı və qiymətləndirilməsi. VII international scientific conference of young researchers. 28-29, April 2023, Baku, Azerbaijan. 1480-1484.
4. Thanh Noi, P.; Kappas, M. Comparison of Random Forest, k-Nearest Neighbor, and Support Vector Machine Classifiers for Land Cover Classification Using Sentinel-2 Imagery. *Sensors* 2018, 18, 18.
5. He, Y.; Yang, J.; Guo, X. Green Vegetation Cover Dynamics in a Heterogeneous Grassland: Spectral Unmixing of Landsat Time Series from 1999 to 2014. *Remote Sens.* 2020, 12, 3826.
6. Pal, M.; Mather, P.M. Support vector machines for classification in remote sensing. *Int. J. Remote Sens.* 2005, 26, 1007–1011.
7. Löw, F.; Dimov, D.; Kenjabaev, S.; Zaitov, S.; Stulina, G.; Dukhovny, V. Land cover change detection in the Aralkum with multi-source satellite datasets. *GISci. Remote Sens.* 2021, 59, 17–35.

### Резюме

#### ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГОРНО-ЛЕСНОГО ПОКРОВА ШАКИ-ЗАКАТАЛИНСКОЙ ЗОНЫ НА ОСНОВЕ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ И АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Валехова Ф., Валехов Н.

Основной целью исследования является оценка изменения лесного покрова Шеки-Закатальского экономического района с использованием ГИС и аэрокосмических методов. На основе собранных данных были определены площади локальных территорий по спутниковым снимкам Landsat 8, и в качестве основного вопроса исследовано электронное

картографическое представление объектов классификации. В статье на основе топографической карты объекта исследования построена цифровая модель рельефа местности, создана карта тренда, космические снимки, отражающие объект исследования, обработаны с помощью процессов визуального и автоматизированного декодирования, все полученные Результаты были сгруппированы, а состояние почвы и растительности на участке оценено в статье, нанесенной на карту.

**Ключевые слова:** геопространственный, растительность, классификация, индекс NDVI.

#### Summary

### ECOLOGICAL MONITORING OF MOUNTAIN-FOREST COVER OF SHAKI-ZAGATALA ZONE BASED ON GEOSPATIAL AND AEROSPACE DATA

*Valehova F., Valehov N.*

The main purpose of the study is to evaluate the changes in the forest cover of Sheki-Zagatala economic region using GIS and aerospace methods. Based on the collected data, the areas of local areas were determined based on Landsat 8 satellite images, and the electronic cartographic presentation of classification objects was investigated as the main issue. In the article, based on the topographical map of the research object, a digital model of the relief of the area was built, a trend map was created, space images reflecting the research object were processed through visual and automated decoding processes, all the obtained results were grouped and the condition of the soil and vegetation in the area was evaluated in the article. mapped.

**Keywords:** geospatial, vegetation, classification, NDVI index.

## İSTİLİK ELEKTRİK STANSİYALARININ ATMOSFERƏ TƏSİRİ

**Əhmədova R.R., Seyidova G.M., Rüstəmovə G.C., Nəsirova İ.M.**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

*[gulnara.rustamova@sdu.edu.az](mailto:gulnara.rustamova@sdu.edu.az), [rahila.ahmadova@sdu.edu.az](mailto:rahila.ahmadova@sdu.edu.az)*

**Xülasə.** İstilik elektrik stansiyalarından ətraf mühitə çirkləndirici maddələr atılır. Bu çirkləndirici maddələr atmosferə, hidrosferə, biosferə, litosferə təsir göstərir. Xüsusi maddələrin atılması müxtəlif xəstəliklərə və bir çox partlayışlara yol açır. Belə ki, azot tərkibli maddələrin atmosferə atılması zamanı xroniki xəstəlik, kükürd tərkibli maddələrin atılması zamanı dəri xəstəlikləri yaranır. Atmosfer havasına his, dudu, kül, tam və natamam yanma məhsullarının atılması həm global istiləşməyə, həm istixana qazlarının artmasına, həm də su və hava çirklənməsinə səbəb olur. Bundan əlavə turş yağışların yağmasına səbəb olur.

**Açar sözlər:** İES, kükürd-dioksid, azot oksidləri, istixana qazları, turş yağışlar, benzapiren, tullantı.

Ətraf mühitə təsir edən ən böyük stansiyalardan biri istilik elektrik stansiyasıdır. Bu stansiyalardan atılan atqılar həm atmosferə həm litosferə həm də hidrosferə böyük təsir göstərir. Belə ki, istilik elektrik stansiyaları digər stansiyalara baxanda nisbətən ucuz üzvi yanacaqlarla işləyən stansiyadır. Bu yanacaqlara çox vaxt kömür və mazutu misal göstərmək olar ki, burada kömür 40%, neft 27% və qaz 21% əsas enerji resursu kimi götürülür. İstilik elektrik stansiyalarında yanacaq yandırıldığı zaman ətraf mühitə xüsusilə də atmosferə bir çox yanma məhsulu; uçucu kül, natamam yanma məhsulu, kükürd və onun oksidləri, azot və onun oksidləri yaranır. Tərkibində neft və neft məhsulları olan tullantıların ətraf mühitə atılması nəticəsində su və su hövzələri çirklənir ki, bu da orada yaşayan heyvanları və bitkilərin məhv olmasına səbəb olur. Bundan əlavə suya atılan atqılar vasitəsilə torpaq qatının da çirklənməsi prosesi baş verir. Torpaqların dərin qatlarında yerləşən qrunt suları da bu vasitə ilə yararsız hala gəlir. Ətraf mühitə atılan su adətən buxar qazanlarının, turbinlərin və digər əsas komponentlərin yuyulması və qapalı su dövrünün olması ilə baş verir. Su anbarında toplanan suyun fəsilələr üzrə temperaturu dəyişir belə ki, yayda temperatur 3°-dən qış fəslində isə 5°-dən nə az nə də çox olmamalıdır. Atmosferə təsirdən başqa istilik elektrik stansiyalarının insan orqanizminə eləcə də heyvanlara təsiri böyükdür. Atılan tüstülərin bir hissəsi olan azot və azot oksidləri insan orqanizminə təsir edir. Azot di oksidin bioloji aktivliyi olduqca yüksəkdir, bu da insana təsir edən zamanı gözlərə, tənəffüs orqanlarına eləcə də gözün selikli qişasına güclü təsir edir. Azotun atmosferə atılması yalnız insan orqanizminə deyil həm də atmosfer havasına ziyan vurur.[1]

Elektrik stansiyalarından atılan tullantı suları nəticəsində yaranmış çirkləndiricilərin hər biri müəssisənin yer aldığı ərazidə biosferi məhv edir. Nəticədə isə biosfer müxtəlif transformasiyalara və qarşılıqsız təsirlərə məruz qalır ki, burada çökdürülən yağış suları vasitəsi ilə yuyularaq litosferə və hidrosferə ötürülür. İstilik elektrik stansiyalarından atmosferə atılan tullantılar atmosferdə yağış buludları ilə birləşərək zəhərli yağışların yağmasına səbəb olur. Turş yağışların ətraf mühitə ziyanı həddindən artıqdır. Bu cür yağışlar daha çox sənaye rayonları sayılan Şimali Amerika, Qərbi Avropa, Yaponiya, Çin, Rusiya yerlərdə daha çox yayılmışdır. Turş yağışlar neft və kömür məhsullarının yanması nəticəsində atmosferə atılan kükürd di oksidin rütubətli birləşərək sulfat turşusu əmələ gətirərək yağış və qara qarışaraq yerə enməsi vasitəsilə yaranır. Sulfatdan başqa azotun oksidi də turş yağışın digər yaranma mənbəyidir. Turş yağışların ətraf mühitdə çoxalması bitkilərin qidalanması üçün lazım olan elementlərin azalmasına, su rejimini dəyişərək istənilməyən dəyişikliklərin olmasına səbəb olur. Tərkibində ağır metalın duzları olan maddələr

həm bitkilərin həyat tərzini məhv edir, həm də üzvi maddələrin parçalanmasına kömək edən bakteriyaları və digər orqanizmləri öldürür. Bundan əlavə turş yağışlar tarixi abidələrin, yaşayış binalarının o cümlədən beton, əhəng və metaldan hazırlanan binaların konstruksiyalarının aşınmasına səbəb olur.[2]

Turş yağışları ağac qabıqlarına, bitki köklərinə bir başa təsir edərək tez məhv olmasına səbəb olur. Bu proses ən çox qida zəncirində təsir edir çünki turş yağışların təsirində məruz qalan torpaqlar əkin üçün yararsız hala gəlir. Bu zaman isə qida çatışmazlığı yaranır və əgər yağışlar həddindən artıq olarsa bu zaman aclıq yarana bilər. Məlumdur ki, istilik elektrik stansiyalarının ətraf mühitə təsiri stansiya daxilində yandırılan yanacağın növündən asılıdır. Əgər yanan yanacaq təbii qazdırsa bu zaman atmosfərə atılan əsas çirkləndirici maddə azot və onun oksidləri hesab olunur. Stansiyalarda yandırılan təbii qazdan alınan azot oksidləri daş kömürün yandırılması zamanı alınan tullantılardan təxminən 20% az olur. Belə hesab edilir ki, yanacaq kimi təbii qaz daha əlverişlidir. İstilik elektrik stansiyalarından atmosfərə aşağıdakı yanma məhsulları atılır; tam yanma məhsulu kimi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ; natamam yanma məhsulu kimi  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ ; azot oksidləri kimi  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$ ; kül hissəcikləri, natrium duzları, his və vanadium birləşmələri yaranır. Atmosfərə həm istilik elektrik stansiyalarından, həm də digər sənaye zavodlarından atılan tullantıların yüksək miqdarı  $\text{CO}_2$ -dir. Son illərdə ətraf mühitə 15 milyard ton tullantı atılır ki, bunun 22%-i 37 istilik elektrik stansiyalarının payına düşür. Ölkə daxilində ətraf mühitə atılan karbon qazının miqdarı 9 milyondur ki, bu da təxminən ortalama dünyadan atılan karbon qazının təxminən 6 %-ə bərabərdir. Atmosfərə atılan natamam yanma məhsulu kimi istifadə olunmuş məhsullardan birində kükürdün birləşmələri. Bu birləşmələrə adətən  $\text{SO}_2$  və  $\text{SO}_3$ -dür. Bu birləşmələr tərkibində kükürd və kükürd birləşmələri olan yanacaqlar yandırılarkən əmələ gəlir. Yanma məhsullarının tərkibində olan kükürdün miqdarı  $\text{SO}_2$ -də 95-99% aralığındadır və  $\text{SO}_3$ -ün miqdarı 1-5%-dir. Buxar turbinlərində və qazanın konventik qaz yolunda  $\text{SO}_2$ -nin bir hissəsi  $\text{SO}_3$ -ə çevrilir  $\text{SO}_2$  ətraf mühit üçün o qədər təhlükəli deyil, lakin  $\text{SO}_3$  ətraf mühitə çox ziyan vurur. İstilik elektrik stansiyalarından atmosfərə atılan ən təhlükəli maddələrdən birində politsiklik aromatik karbohidrogenlərin bir üzvi olan benz-a-pirendir. Əgər yanma prosesinə hava çatmasa bu zaman  $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$  məhsulu yəni benz-a-piren yaranır və maksimal yanma temperaturu 700-800°C-dir. Atmosfərə atılan digər təhlükəli maddələrdən birində azot və azot birləşmələri. Atmosfərə buraxılan azot oksidi atmosferin şəffaflığını azaldır və duman əmələ gəlməsinə kömək edir. Külün tərkibində olan vanadium pentaoksidi çox zərərli və bu insanların və heyvanların tənəffüs yollarına daxil olduqda kəskin qıcıqlanmaya səbəb olur. Bu məhsulların miqdarının azalması üçün ilk öncə qazan ocağındakı temperatur aşağı salınmalıdır. Buna səbəb isə yuxarı temperaturla yanan yanacaqda daha çox təhlükəli maddələr, zərərli birləşmələr olur.

Bərk yandırılan zaman ətraf mühitə daha çox kül atılır. Maye yanacaq yandırılan zaman cüzi miqdarda kül atılır lakin qaz şəklində olan yanacaqlar yanan zaman ətraf mühitə atılan atıqların tərkibində kül demək olar ki, yoxdur. Müasir dövrdə atmosfərə kül hissəciklərinin az atılması üçün bərk yanacaqlar olan məhsulların yandırılması zamanı çox miqdarda yüksək effektivliyə malik kül tutucu qurğulardan istifadə olunur. Bunun sayəsində atmosfərə daha az kül hissəcikləri atılır. Stansiyalardan atılan bu tullantıların ətraf mühitdə artması nəticəsində bir çox ekoloji problemlər yaranmağa və artmağa başlayır.[3] Bu ekoloji problemlər əsasən aşağıdakılardır: Stansiyalarda baş verən yanma prosesi nəticəsində atmosfərə bir çox istixana qazlarının xüsusilə də karbondioksid ( $\text{CO}_2$ ), azot oksidləri və kükürd dioksid və. s kimi zərərli maddələr atılır. Atılan bu maddələr atmosferdə yığılaraq global istiləşməni artması və iqlim dəyişikliyinə səbəb olar. 2. Hava təmizliyinin pozulması: Atmosfərə atılan kimyəvi maddələr və zərərli qatıqların artması havanın keyfiyyətini pozur və insan sağlamlığı üçün böyük təhlükə yarada bilər. Hava kirliliyi respirator xəstəliklərin artması və digər nəfəs yolları problemlərinin artmasına səbəb ola bilər. 3. Turşu təsir:  $\text{SO}_2$  və  $\text{NO}_x$  kimi kimyəvi maddələr atmosfərə atılaraq orada turş yağışların artmasına və yağış suyu və digər təmiz suların daxilinə qarışaraq kimyəvi təsir göstərir. Əmələ gələn həmin bu su, su ekosistemində və torpaq keyfiyyətinə böyük təsir göstərir, heyvanlara və bitkilərə çox böyük ziyan vurur. 4. Nəqliyyat probleminin artması: İstilik elektrik stansiyalarının sürətlə işləməsi üçün yanacaq maddələrinin daşınması və enerji nəqli infrastrukturunun qurulmasına yan yana nəqliyyatlardan istifadə olunur. Bu da global nəqliyyat emissiyalarının artmasına səbəb olur. 5. Su təsiri: İstilik elektrik stansiyalarının su istehsal etməsi və bu istehsal olunmuş suların istifadə edilməsi su ekosistemində daha çox da göl, çay, dəniz, dənizlərin ekoloji balansını pozur.

## Ədəbiyyat

- 1."Enerji ehtiyatları, elektrik enerjisi istehsalı və ətraf mühit" – K.M.Abdullayev, R.K.Məmmədov, Y.İ.Lətifov. II cild. Bakı, 408 s.
- 2."Ekologiya, ətraf mühit və insan" Q.Ş.Məmmədov, M.Y.Xəlilov. Bakı – 2006, 608 s.

3. "İstilik elektrik stansiyalarının buxar və qaz turbinləri" – K.M.Abdullayev, F.İ.Kərbəliyev, C.P.Məmmədova, Ş.N.Nəsirov. Bakı -2013
4. [https://www.saveplanet.su/articles\\_114.html](https://www.saveplanet.su/articles_114.html)
5. <https://1905.az/az%C9%99rbaycan-istilik-elektrik-stansiyasi-%C9%99sasliyeni%C9%99nqurmadan-sonra-istifad%C9%99y%C9%99-verilib/>

#### Summary

### THERMAL POWER PLANTS IMPACT ON THE ATMOSPHERE

*Ahmadova R.R., Seyidova G.M., Rustamova G.C., Nasirova I.M.*

Thermal power plants emit pollutants into the environment. These pollutants affect the atmosphere, hydrosphere, biosphere, lithosphere. The release of specific substances can lead to impacts and many explosions. Thus, chronic cleaning occurs when nitrogen harmful substances are released into the atmosphere, and skin damage occurs when sulfur harmful substances are released. The release of its, soot, ash, complete and incomplete combustion products into the atmosphere causes both global warming, an increase in greenhouse gases, and water and air pollution. It also causes acid rain.

**Keywords:** Thermal power plants, sulfur dioxide, nitrogen oxides, greenhouse gases, acid rain, benzopyrene, waste.

#### Резюме

### ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА АТМОСФЕРУ

*Ахмедова Р.Р., Сеидова Г.М., Рустамова Г.Ч., Насирова И.М.*

Тепловые электростанции выбрасывают загрязняющие вещества в окружающую среду. Эти загрязняющие вещества влияют на атмосферу, гидросферу, биосферу, литосферу. Выброс специфических веществ может привести к ударам и многочисленным взрывам. Так, хроническая очистка происходит при выбросе в атмосферу вредных веществ азота, а повреждение кожи происходит при выбросе вредных веществ серы. Выброс ее, сажи, золы, продуктов полного и неполного сгорания в атмосферу вызывает как глобальное потепление, увеличение парниковых газов, так и загрязнение воды и воздуха. Он также вызывает кислотные дожди.

**Ключевые слова:** Тепловые электростанции, диоксид серы, оксиды азота, парниковые газы, кислотные дожди, бензапирен, отходы.

### EFFECT OF UV IRRADIATION ON THE CONCENTRATION OF HYDROCARBONS IN OIL FRACTION

<sup>1</sup> İdrisov Tariel, <sup>2</sup> Gurbanov Muslum, <sup>3</sup> Gulieva Ulviye, <sup>4</sup>Orujova Gulnar

<sup>1</sup> "Ekol Engineering Services" CJSC, Ecology Department, Baki, Azərbaycan

<sup>2,3,4</sup> Institute of Radiation Problems, Baki, Azərbaycan

[tariel.idrisov@mail.ru](mailto:tariel.idrisov@mail.ru), [u.guliyeva@irp.science.az](mailto:u.guliyeva@irp.science.az)

**Summary** In this study, the FTIR spectroscopic method was used to investigate the effect of ultraviolet (UV) irradiation on the concentration and structural changes of hydrocarbons in crude oil fractions (resins and asphaltenes). The aim of the research was to determine how the amount and structural characteristics of hydrocarbons in these fractions change depending on the irradiation duration (20, 60, and 90 minutes). The results showed that the intensity of absorption bands (Abs) observed in FTIR spectroscopy decreased with increasing photolysis duration, and certain changes were detected in the wavenumber regions of 3000–2900 cm<sup>-1</sup>, 2900–2800 cm<sup>-1</sup>, and 1600–1400 cm<sup>-1</sup>.

**Keywords:** crude oil, FTIR spectroscopy, hydrocarbons, photolysis.

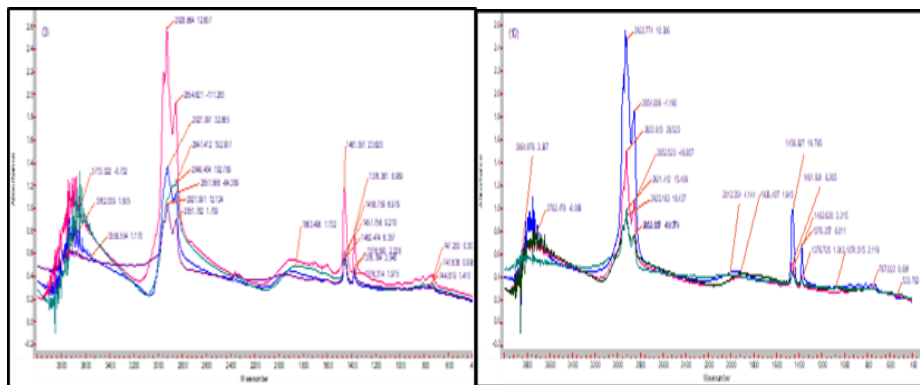
Since crude oil fractions undergo various physicochemical changes -such as evaporation and dissolution-after being spilled onto the sea surface, the composition of the oil that remains on the surface for an extended period and is exposed to sunlight differs significantly from that of the oil trapped in ice. Volatile components evaporate into the atmosphere, while many of the heavier components settle at the bottom of the seawater[1].As a result, some fractions of the oil are subjected to photochemical processes, highlighting the need to study the photochemical stability of these oil fractions [3, 4].

Crude oil was separated into oil (52%), tar (37.5%), and asphaltene (1.4%) fractions in accordance with the GOST 11858 methodology [2]. Each fraction was then analyzed using Fourier transform infrared (FTIR) and ultraviolet (UV) spectroscopy. The crude oil fractions were irradiated under static conditions at room temperature using the full radiation spectrum of a medium-pressure PRK-4 mercury lamp. The irradiation was conducted in 50 ml quartz ampoules to ensure transparency and stability during exposure.

The aim of this study is to investigate the effect of UV irradiation time on the concentration and structural transformation of hydrocarbons in different crude oil fractions (oil, tar, and asphaltene), using FTIR spectroscopic method.

The IR spectrum of the initial crude oil fractions revealed absorption bands corresponding to the vibrations of C-H bonds in saturated (700-800, 1380, 1470, 2800-3000  $\text{cm}^{-1}$ ) and aromatic (700-900, 3050  $\text{cm}^{-1}$ ) compounds, C=C bonds in aromatic rings (1610  $\text{cm}^{-1}$ ), C=C groups (1680, 1710  $\text{cm}^{-1}$ ), as well as C-O and O-H bonds in esters, and hydrogen bonds in the -OH groups of alcohols and phenols (3000-3500  $\text{cm}^{-1}$ ). Similar absorption bands were also observed in the resin and asphaltene fractions.

Following the separation of crude oil into its fractions using appropriate methods, each fraction was subjected to photolysis for durations of 20, 60, and 90 minutes. The photolysis processes of the oil, tar, and asphaltene fractions were then studied using IR spectroscopy to analyze the changes in their chemical structures.



**Fig. 1.** IR spectra of the initial resin fraction samples irradiated for different times

**Fig. 2.** IR spectra of samples of the initial asphaltene fraction irradiated at different times.  
initial, 90, 60 min, 20 min

The Abs values of the samples decrease as the irradiation time increases in the absorption bands observed in the IR absorption spectrum of the tar fraction (Fig. 1). During the photolysis of the asphaltene fraction (Fig. 2), the Abs value in the 3000-2900  $\text{cm}^{-1}$  and 2900-2800  $\text{cm}^{-1}$  regions first decreases with increasing irradiation time, and then an increase in Abs is observed. A decrease in Abs values is observed with increasing irradiation time in the 1600-1400  $\text{cm}^{-1}$  and 1400-1300  $\text{cm}^{-1}$  regions.

**Table 1.**

*Comparison of peaks observed in the IR spectra of samples of photolyzed and primary resin fraction at different times.*

Tar fraction				
3000-2900 $\text{cm}^{-1}$	2900-2800 $\text{cm}^{-1}$	1600-1400 $\text{cm}^{-1}$	1400-1300 $\text{cm}^{-1}$	800-600 $\text{cm}^{-1}$
initial Abs=2.6	initial Abs=1.9	initial Abs=1.1	initial Abs=0.7	initial no peak
20 min Abs=1.35	20 min Abs=1.1	20min Abs=0.65	20 min Abs=0.4	20 min Abs=0.25
60 min Abs=1	60 min Abs=0.9	60 min Abs=0.6	60 min Abs=0.48	60min Abs=0.25
90 min no peak	90 min Abs=1.2	90min Abs=0.6	90 min Abs=0.4	90min Abs=0.3

As can be seen from the table 1, the Abs values of the samples decrease as the irradiation time increases in the observed absorption bands.

A comparison of the peaks observed in the IR spectra of the initial asphaltene fraction samples photolyzed at different times is given in Table 2.

**Table 2.**

*Comparison of peaks observed in the IR absorption spectra of samples of photolyzed and primary asphaltene fraction at different times.*

Asphaltene fraction				
3000-2900 $\text{cm}^{-1}$	2900-2800 $\text{cm}^{-1}$	1600-1400 $\text{cm}^{-1}$	1400-1300 $\text{cm}^{-1}$	800-600 $\text{cm}^{-1}$
inital Abs=2.43	inital Abs=1.9	inital Abs=0.95	inital Abs=0.6	The peaks are stacked on top of each other.
20 min Abs=0.93	20 min Abs=0.75	20 min Abs=0.45	20 min Abs=0.36	
60 min	60 min	60 min	60 min	

Abs=0.97	Abs=0.75	Abs=0.45	Abs=0.4	
90 min	90 min	90 min	90 min	
Abs=1.43	Abs=1.08	Abs=0.57	Abs=0.3	

As can be seen from Table 2 during the photolysis of the asphaltene fraction, the Abs value in the 3000-2900  $\text{cm}^{-1}$  and 2900-2800  $\text{cm}^{-1}$  regions first decreases with increasing irradiation time, and then an increase in Abs observed [5, 6]. In the 1600-1400  $\text{cm}^{-1}$  and 1400-1300  $\text{cm}^{-1}$  regions, a decrease in Abs values observed with increasing irradiation time.

The composition of the oil fraction of oil is different from that of the tar fraction. The oil fraction does not contain a large amount of condensed aromatic rings, but consists mainly of normal paraffins. The tar fraction, unlike the oil fraction, contains hydrocarbons in the form of condensed aromatic cycles with a large amount of branched paraffin chains.

## References

1. Fathalla, E. M. (2007). *Degradation of crude oil in the environment: Toxicity arising through photochemical oxidation in the aqueous phase* (p. 13). Alexandria, Egypt.
2. GOST 11858. *Petroleum and its products: Method for the determination of asphaltic resinous substance content*.
3. Guliyeva, N. K., Ibadov, N. A., Aliyeva-Chicek, S. F., & Aliyev, S. M. (2015). Radiation resistance of tar fractions of bituminous oil. *Journal of Radiation Research*, 2(1), 71.
4. Hajiyeva, S. R., Samadova, A. A., Guliyeva, N. G., & Vustafayev, I. I. (2018). Transformations of various hydrocarbon groups in oil degradation on the water surface. *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology*, 5(1), 25–31.
5. Idrisov, T. S., Kurbanov, M. A., & Iskenderova, Z. I. (2015). Фотохимические превращения сырой нефти под действием уф-излучения [Photochemical transformations of crude oil under UV radiation]. *Актуальные проблемы химии высоких энергий*, 200–203.
6. Idrisov, T. S., Gurbanov, M. A., & Gulieva, U. A. (2021). Study of photochemical transformation of oil and its components (summary). *Journal of Radiation Researches*, 8(2), 36–41. Baku. <https://jradres.az>

## Xülasə

### UV ŞÜALANMASININ NEFT FRAKSIYASINDA KARBOHİDROGEN KONSENTRASIYASINA TƏSİRİ

*İdrisov T., Qurbanov M., Quliyeva Ü., Orucova G.*

Tədqiqat işində FTIR spektroskopik metodu vasitəsilə xam neftin fraksiyalarında (qatran və asfalten) ultrabənövşəyi (UB) şüalanmanın təsiri altında karbohidrogenlərin konsentrasiyası və struktur dəyişiklikləri araşdırılmışdır. Tədqiqatın məqsədi, bu fraksiyalarda karbohidrogenlərin miqdarı və struktur xüsusiyyətlərinin şüalanma müddətindən (20, 60 və 90 dəqiqə) asılı olaraq necə dəyişdiyini müəyyən etməkdir. Alınmış nəticələr göstərmişdir ki, FTIR spektroskopiyasında müşahidə olunan udma zolaqlarının intensivliyi (Abs) fotoliz müddətinin artması ilə azalır və 3000–2900  $\text{sm}^{-1}$ , 2900–2800  $\text{sm}^{-1}$  və 1600–1400  $\text{sm}^{-1}$  dalğa ədəd intervallarında bəzi dəyişikliklər müşahidə edilir.

**Açar sözlər:** Neft, FTIR spektroskopiya, karbohidrogenlər, fotoliz.

## Резюме

### ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ УГЛЕВОДОРОДОВ В НЕФТЯНОЙ ФРАКЦИИ

*Идрисов Т., Гурбанов М., Гулиева У., Оруджова Г.*

В данном исследовании с использованием метода Фурье-инфракрасной (FTIR) спектроскопии изучено влияние ультрафиолетового (УФ) облучения на концентрацию и структурные изменения углеводородов в фракциях сырой нефти (смола и асфальтены). Целью исследования было определить, как изменяются количество и структурные характеристики углеводородов в этих фракциях в зависимости от продолжительности облучения (20, 60 и 90 минут). Полученные результаты показали, что интенсивность полос поглощения (Abs), наблюдаемых в FTIR спектрах, уменьшается с увеличением времени фотолиза, при этом были зафиксированы изменения в интервалах волновых чисел 3000–2900  $\text{см}^{-1}$ , 2900–2800  $\text{см}^{-1}$  и 1600–1400  $\text{см}^{-1}$ .

**Ключевые слова:** нефть, ФТИР спектроскопия, углеводороды, фотолиз.

# RADIATION-BASED TREATMENT OF SYNTHETIC SURFACTANTS IN LIQUID WASTE FROM OIL REFINERIES

<sup>1</sup> Mammadova Nermin, <sup>2</sup> Gurbanov Muslum,

<sup>3</sup> Gulieva Ulviye, <sup>4</sup> Shafiyeva Shahnise

<sup>1</sup> "Ekol Engineering Services" JSC, Ecology Department, Baki, Azerbaijan

<sup>2,3,4</sup> Institute of Radiation Problems, Baki, Azerbaijan

[n.memmedova1987@gmail.com](mailto:n.memmedova1987@gmail.com) , [u.guliyeva@irp.science.az](mailto:u.guliyeva@irp.science.az)

**Summary** This study investigated the purification of industrial, domestic, and mixed wastewater collected from the Baku Oil Refinery using the radiolysis method. To accelerate the degradation of synthetic surfactants and 50 nm nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst was added to the system. It was determined that the highest degradation rate (97.1%) was observed in industrial wastewater. The method reduces treatment time, lowers costs, and enables water reuse.

**Keywords:** Radiolysis, synthetic surfactants, nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, oil refining, environmentally friendly technology, water reuse.

Synthetic surfactants are among the major pollutants that pose serious threats to the environment. Due to their high chemical stability, conventional treatment methods-such as adsorption, coagulation, flotation, biochemical, and electrochemical processes-are not sufficiently effective for their removal. Physical methods, particularly the use of ultrasound, radiation, and magnetic fields, have demonstrated higher efficiency [1–3]. Radiation-chemical methods are widely applied due to their technological simplicity, ease of control, and implementation without the need for additional chemical reagents. The removal of synthetic surfactant from wastewater using this method has been extensively investigated in several studies [4, 5].

Studies have shown that the concentration of synthetic surfactants in solution significantly decreases depending on their initial concentration and the applied radiation dose. For instance, a radiation dose of approximately 0.15 kGy is sufficient to achieve 50% degradation of synthetic surfactants, with a radiation-chemical yield of 1 molecule per 100 eV. A dose of 0.54 kGy is required to reach 99% degradation [6].

Other studies have demonstrated that several parameters influence the radiation process, including dose, initial concentration, dissolved oxygen content, and the pH value of the solution. For example, increasing the synthetic surfactant concentration from 5 mg/l to 20 mg/l has virtually no effect on the radiation-chemical yield. While no degradation is observed under alkaline conditions, the efficiency of the radiation process increases significantly in acidic media, and the G(-Surfactant) yield rises markedly [6].

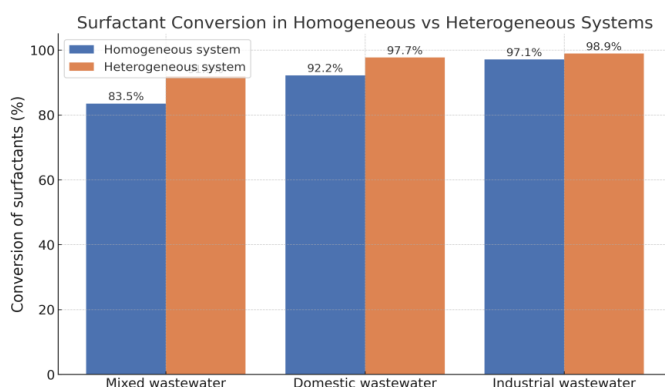
Current technologies are insufficient to fully and effectively treat wastewater generated by oil refineries. The high concentrations of petroleum products, phenols, and synthetic surfactants in water pose a serious threat to the environment. Therefore, there is a need for alternative and environmentally efficient treatment methods for such wastewater.

In the present study, the treatment of industrial, domestic, and mixed wastewater from the Baku Oil Refinery (BOR) using ionizing gamma radiation was investigated. A Co-60 isotope source was used as the radiation emitter. The process was studied under static conditions at room temperature within a radiation dose range of 0.3 to 52 kGy. The degradation of synthetic surfactants present in real wastewater samples was examined using radiation technology.

The research object was industrial, household, and mixed wastewater from the Baku Oil Refinery. During the experiment, 50 nm sized nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> was added to each system to enhance the efficiency of the process. The radiolysis process was carried out at room temperature under gamma radiation in the presence of a 50 nm nano-catalyst (nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, USA Skyspring Nanomaterials, Inc., surface area: 262.09 m<sup>2</sup>/g). To achieve phase separation in the industrial samples containing the nano-catalyst, an Eppendorf Centrifuge 5804 R was used. After irradiation, 1 ml of each sample was transferred into a 50 ml cylindrical tube and centrifuged at 5000 rpm for 5 minutes.

The main objective of the research is to treat wastewater from oil refineries in an environmentally friendly and efficient way to make it suitable for reuse.

Based on the results, the conversion rate of synthetic surfactant is 92.2% in household wastewater, 97.1% in industrial wastewater, and 83.5% in mixed wastewater. The highest conversion rate is observed in industrial wastewater during radiolysis, which can be explained by the higher concentration of synthetic surfactants in industrial wastewater. The results are shown in the following diagram.



During the research, the nano-particle system remains active for a long time and continuously participates in the radiolytic conversion process, making it more effective. Using this method, the purification takes place in a short period of time. The application of this method reduces costs for enterprises, ensures compliance with environmental standards, and makes water reuse possible.

## References

1. Rebello, S., Asok, A., Mundayoor, S., & Jisha, M. (2013). Surfactants: Chemistry, toxicity and remediation. In *Environmental Chemistry for a Sustainable World* (Vol. 4, pp. 277–320). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-02387-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-02387-8_5)
2. Aboulhassan, M. A., Souabi, S., Yaacoubi, A., & Baudu, M. (2006). Removal of surfactant from industrial wastewaters by coagulation flocculation process. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 3(4), 327–332. <https://doi.org/10.1007/BF03325941>
3. Amat, A. M., Arques, A., Miranda, M. A., & Seguí, S. (2004). Photo-Fenton reaction for the abatement of commercial surfactants in a solar pilot plant. *Solar Energy*, 77(5), 559–566. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.03.028>
4. Hina, H., Nafees, M., & Ahmad, T. (2021). Treatment of industrial wastewater with gamma irradiation for removal of organic load in terms of biological and chemical oxygen demand. *Heliyon*, 7(9), e05972. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05972>
5. Ahmed, M. B., Zhou, J. L., Ngo, H. H., Guo, W., Thomaidis, N. S., & Xu, J. (2017). Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging contaminant removal from wastewater: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 323, 274–298.
6. Guliyeva, U. A. (2022). *Processes of liquid waste treatment based on combined radiation technologies* (140 pages). Baku: [Optimist MMC]. ISBN-978-9952-549-26-3

## Xülasə

### NEFT EMAL ZAVODLARINDAN ÇIXAN MAYE TULLANTILARDA SİNTETİK SƏTH AKTİV MADDƏLƏRİN RADİASİYA ƏSASLI MÜALİCƏSİ

Məmmədova N., Qurbanov M., Quliyeva Ü., Şəfiyeva Ş.

Bu tədqiqatda Bakı Neft Emalı Zavodundan götürülmüş sənaye, məişət və qarışıq tullantı sularının radioliz üsulu ilə təmizlənməsi araşdırılmışdır. Sintetik səthi aktiv maddələrin (SSAM-ların) parçalanmasını sürətləndirmək məqsədilə sistemə 50 nm nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$  katalizatoru əlavə edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, ən yüksək çevrilmə sənaye tullantılarında (97.1%) müşahidə olunmuşdur. Metod təmizləmə müddətini azaldır, xərcləri endirir və suyun təkrar istifadəsini təmin edir.

**Açar sözlər:** Radioliz, SSAM, nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$ , neft emalı, ekoloji təmiz texnologiya, suyun təkrar istifadəsi

## Резюме

### РАДИАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЖИДКИХ ОТХОДАХ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДОВ

Мамедова Н., Гурбанов М., Гулиева У., Шафиева Ш.

В данном исследовании рассмотрена очистка промышленных, бытовых и смешанных сточных вод, собранных с Бакинского нефтеперерабатывающего завода, методом радиолитиза. Для ускорения разложения синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) в систему был добавлен катализатор nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$  размером 50 нм. Установлено, что наибольшая степень разложения (97,1%) наблюдается в промышленных сточных водах. Метод сокращает время очистки, снижает затраты и обеспечивает повторное использование воды.

**Ключевые слова:** Радиолитиз, СПАВ, nano- $\gamma$ - $Al_2O_3$ , нефтепереработка, экологически чистая технология, повторное использование воды.

# INFRARED SPECTROSCOPIC CHARACTERIZATION OF DIFFERENT PLASTIC WASTE MATERIALS

Gurbanov Muslum, Guliyeva Ulviye, Mirzazada Elshen, Aliyeva Sarmaya, Orujova Gulnar

Institute of Radiation Problems, Baki, Azarbaycan

[u.guliyeva@irp.science.az](mailto:u.guliyeva@irp.science.az)

**Summary.** This study presents a spectroscopic analysis of structural changes in commonly used polyethylene terephthalate (PET) plastic waste materials by employing Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy. The research focuses on PET bottles widely utilized in Azerbaijan, including those used for "Mor-Mor" spring water, carbonated and non-carbonated "Sirab" mineral waters, and "Coca-Cola" soft drinks. The obtained FTIR spectra indicate notable differences in the absorption bands associated with carbonyl (C=O), C-H, and C-O functional groups. These spectral variations reflect both the intrinsic structural properties of the PET materials and the chemical interaction with the contents previously stored in them. The findings contribute to a deeper understanding of PET degradation mechanisms and are relevant for evaluating the environmental implications and recyclability of plastic waste.

**Keywords:** Polyethylene terephthalate (PET), plastic waste, FTIR spectroscopy, carbonyl group, environmental impact, emission spectra.

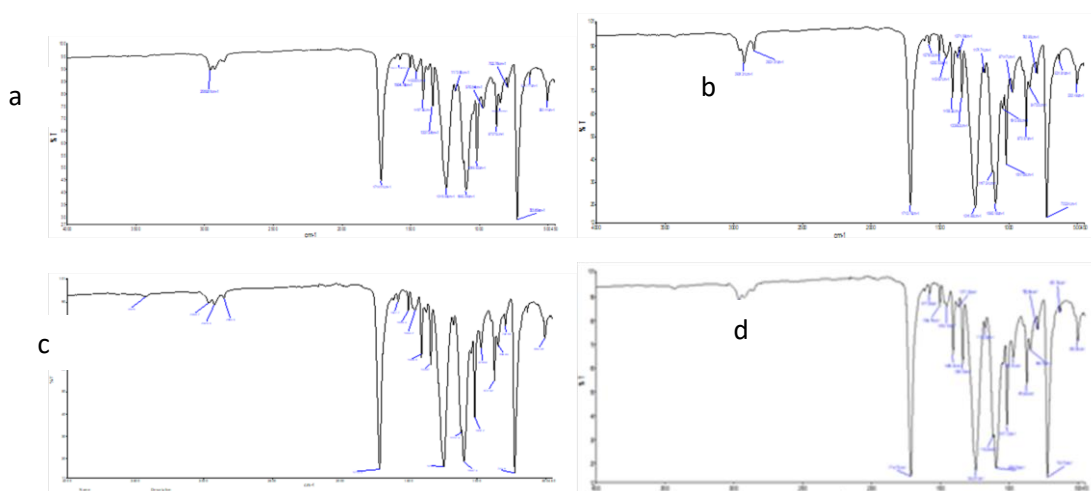
Plastic waste is one of the pressing environmental issues of our time. In Azerbaijan, PET (polyethylene terephthalate) plastic bottles are the most commonly used packaging material for bottled water, carbonated drinks, and other liquids. After use, these bottles mostly mix into household waste and are disposed of by incineration or burial. According to 2023 data, approximately 100,000 to 120,000 tons of plastic waste are generated annually in the country, with a significant portion consisting of PET bottles. Currently, the annual growth rate of plastic waste is estimated to range between 5% and 8% [1, 3].

The PET packaging of the Sirab brand and the product itself are manufactured and packaged in Azerbaijan (Barcode Prefix: 476). On the other hand, the Coca-Cola product is either produced in Belgium or Luxembourg, or packaged and exported by Coca-Cola companies registered in those countries (Barcode Prefix: 544). PET-based plastic packaging is widely used for storing drinking water and carbonated beverages. Various plastic containers used for packaging were prepared based on the liquid they contained and analyzed using the IR spectroscopy method.

In this study, chemical changes in the structure of PET waste used for storing beverages such as "Mor-Mor," "Sirab" (carbonated and non-carbonated spring water), and "Coca-Cola," commonly consumed in Azerbaijan, were investigated using infrared (IR) spectroscopic analysis.

Different PET plastic bottle waste samples were selected for the research. The infrared (FTIR) spectra of the samples were recorded, and spectral changes were analyzed.

The purpose of this study is to better understand what happens to plastic bottles made from polyethylene terephthalate (PET) after they've been used, especially those commonly found in everyday life such as "Mor-Mor", "Sirab", and "Coca-Cola" products. These bottles, often used for storing drinking water and soft drinks, may undergo chemical changes over time depending on how they are produced, what they contain, and how they are handled or discarded.



**Fig. 1.** IR spectra of plastic bottle waste samples: (a) "Mor-Mor", (b) "Coca-Cola", (c) "Sirab" (carbonated), (d) "Sirab" (non-carbonated)

Figure 1 (a, b, c, d) presents the IR analysis results of plastic bottle waste used in Azerbaijan, specifically those from “Mor-Mor”, “Sirab” (carbonated and non-carbonated spring water), and “Coca-Cola” products.

All materials were analyzed in their non-irradiated state. Therefore, the results reflect the original chemical composition of the materials and any potential changes resulting from prolonged contact with the beverages contained within them. Since no irradiation was applied, the observed changes are primarily interpreted in terms of the influence of beverage contents on the plastic material and the inherent structural characteristics of the PET.

Based on the analysis results, the IR spectra of different types of PET plastic bottle waste revealed the following changes [4]:

- **Carbonyl (C=O) group alterations:** Variations were observed in the intensity of the carbonyl peak depending on the type of beverage in contact with the PET material.
- **Spectral changes in C-H and C-O bonds:** Specific changes were recorded in the carbon-hydrogen and carbon-oxygen bonds of plastics exposed to different liquids.
- **Influence of various functional groups:** Components within the beverages appeared to induce chemical effects on the surface of the PET materials.

*Table 1.*

Absorbance (Abs) parameters of bands observed in the IR spectra of various plastic waste samples

Groups	X, $\text{cm}^{-1}$	Abs			
		Mor- Mor	Coca-Cola	Sirab carbonated	Sirab non-carbonated
O-H band	3424	-	-	-	0.04
C-H Asymm.	2965		0.05	0.08	
	2961 2959 2923-2924	0.05			0.05 0.06
C=O Ester	1713, 1714	0.85	0.84	0.7	1
Methylen	1577	0.04	0.04	0.04	0.04
	1504-1505	0.06	0.07	0.06	0.07
C-H bending	1453-1455	0.06	0.06	0.07	0.08
C-H def.in alkane	1406-1408	0.18	0.18	0.17	0.19
	1371	0.07	0.07	0.07	
	1337-1339	0.20	0.21	0.17	0.22
C=C	1240-1244	0.81	0.77	0.72	0.82
O-C-C Asymm.	1173-1174	0.1	0.11	0.11	-
	1116-1117	0.51	0.51	0.47	0.54
	1095-1097	0.76	0.75	0.68	0.7
	1043 1016-1017	0.44	0.45	0.42	0.41
C-O-C Asymm.	970-971	0.17	0.19	0.16	0.15
Ar C-H out of plane	872	0.27	0.27	0.26	0.26
Trans config. $\gamma$ -(CH <sub>2</sub> )	845-847	0.15	0.17	0.14	0.15
	792	0.1	0.12	0.11	0.1
Ar C-H Wagg.	723	0.87	0.85	0.84	0.92
Methylene	631	0.07	0.08	0.08	0.12
	502-503	0.11	0.15	0.13	-

The results of the study indicate that the changes observed in the infrared emission (FTIR) spectra of PET waste are closely related to the initial usage conditions of the materials and the chemical composition of the liquids they came into contact with [2,5]. In particular, the differences in the intensity of the absorption peak corresponding to the carbonyl (C=O) functional group confirm the chemical changes occurring on the surface of the PET material during contact with different beverages. Specifically, when PET containers of the same type are filled with beverages of different origins, certain differences (changes in the absorption parameter -Abs) are recorded in their FTIR spectra.

These changes may arise from the adsorption of components present in the beverages onto the surface of the PET material. Additionally, even when the plastic waste is cleaned using the same method, these spectral differences may still occur. The results provide valuable information regarding the chemical stability, recyclability, and environmental behavior of PET waste.

This research was conducted in accordance with the scientific research plan of the Institute of Radiation Problems of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, with financial support from the International Atomic Energy Agency (IAEA) under the grant project titled "Combined Radiation-Thermal Pyrolysis of Polymer Wastes" (Project number F23036).

## References

1. Gurbanov, M. A. (2024). *Plastic waste and the environment* (p. 50). Baku: ISBN 978-9952-565-40-9
2. Gurbanov, M., Guliyeva, U., & Mirzazade, E. (2022, November 18). *Study of the pyrolysis process of plastic waste by TGA, IR and GC methods*. Paper presented at the Second International Bilateral Workshop on Science Between Dokuz Eylul University and Azerbaijan National Academy of Sciences, p. 15.
3. Presidential Decree of the Republic of Azerbaijan No. 935. (2019, February 7). *Action Plan for 2019–2020 to reduce the negative environmental impact of plastic packaging waste in the Republic of Azerbaijan*. <https://e-qanun.az/framework/41394>
4. Smirnova, N. N., & Chukhlanov, V. Yu. (2021). *Infrared spectroscopy in the chemistry of macromolecular compounds: Educational manual* (p. 48). Vladimir.
5. Umamaheswari, S., & Murali, M. (2013). FTIR spectroscopic study of fungal degradation of poly(ethylene terephthalate) and polystyrene foam. *Chemical Engineering Journal*, 64, 19159–19164. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.029>

## Xülasə

### MÜXTƏLİF PLASTİK TULLANTI MATERIALLARININ INFRAQIRMIZI SPEKTROSKOPIK XARAKTERISTİKASI *Qurbanov M., Guliyeva Ü., Mirzazadə E., Əliyeva S., Orucova G.*

Tədqiqat işində gündəlik həyatımızda istifadə edilən müxtəlif növ plastik tullantı nümunələrinin kimyəvi strukturunda baş verən dəyişikliklər İQ spektroskopik analiz metodu ilə öyrənilmişdir. Tədqiqat obyektini kimi Azərbaycanda geniş istifadə olunan PET(polietilentereftalat) markalı plastik qablar – “Mor-Mor”, “Sirab” (qazlı və qazsız) bulaq suları və “Coca-Cola” içkisi qablaşdırmaları seçilmişdir. Nəticələr karbonil (C=O), C-H və C-O rabitələrinə uyğun piklərdə fərqlərin olduğunu göstərmişdir. Bu dəyişikliklər içkilərin plastikə təsiri və materialın ilkin struktur xüsusiyyətləri ilə əlaqəlidir. Araşdırma PET tullantılarının təkrar emalı və ekoloji təsirinə qiymətləndirilməsi üçün əhəmiyyətlidir.

**Açar sözlər:**PET (polietilentereftalat) plastik tullantıları, infraqırmızı spektroskopiya, karbonil qrupu, ekoloji təsir, buraxılma spektrləri

## Резюме

### ИНФРАКРАСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗЛИЧНЫХ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ *Гурбанов М., Гулиева У., Мирззаде Э., Алиева С., Оруджова Г.*

В данной работе с помощью метода инфракрасной (ИК) спектроскопии были исследованы изменения в химической структуре различных видов пластиковых отходов, широко используемых в повседневной жизни. В качестве объекта исследования выбраны пластиковые бутылки из полиэтилентерефталата (ПЭТ), распространённые в Азербайджане -упаковки минеральной воды «Mor-Mor», газированной и негазированной воды «Sirab», а также напитка «Coca-Cola». Результаты анализа показали различия в интенсивности пиков, соответствующих карбонильным (C=O), C-H и C-O связям. Эти изменения обусловлены как воздействием состава напитков на пластик, так и исходными структурными особенностями материала. Исследование имеет важное значение для оценки возможности переработки ПЭТ-отходов и их воздействия на окружающую среду.

**Ключевые слова:** пластиковые отходы ПЭТ (полиэтилентерефталат), инфракрасная спектроскопия, карбонильная группа, экологическое воздействие, эмиссионные спектры.

## APPLICATION ISSUES OF GREEN ENERGY TECHNOLOGIES FOR ELECTRIC CAR CHARGING DEVICES

<sup>1,2</sup> Guliyev Huseyngulu, <sup>2</sup> Mammadov Murad

<sup>1</sup>Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan,

<sup>2</sup>National Aviation Academy, Baku, Azerbaijan,

[huseyngulu@mail.ru](mailto:huseyngulu@mail.ru), [mammadovmurad997@gmail.com](mailto:mammadovmurad997@gmail.com)

**Summary** In accordance with modern challenges, global climate change requires the use of environmentally friendly energy sources. In this regard, the use of electric vehicles has become widespread. The construction of charging stations for this type of vehicles and their power supply systems is considered to be one of the urgent issues. The presented work considers the development of a load graph modeling algorithm, which is one of the issues of applying green energy technologies based on wind and solar energy sources for electric vehicle charging stations. The results of load graph modeling based on the given algorithm for specific electric vehicle charging stations are reflected.

**Keywords:** electrical supply system, solar and wind installations, hybrid green technologies, battery installation, modeling

**Introduction.** Global climate change, environmental pollution and depletion of natural resources are some of the major problems of the modern era. One of the main reasons for these problems is the harmful gases emitted into the environment by vehicles powered by internal combustion engines. For this reason, in recent years, interest in electric vehicles powered by alternative energy sources has increased, and intensive research has been conducted on their development and application [1,2]. The energy density, charging time and operating life of lithium-ion batteries, which are currently used as the main energy source in electric vehicles, create certain technical limitations.

The high cost of batteries and the recycling process also pose additional challenges. The proper combination and balancing of the energy sources used in hybrid systems (battery, internal combustion engine, solar panels, etc.) is a complex design task. The synchronization of these systems with green energy sources has not yet reached a fully effective level [3-5].

The number and coverage of charging stations required for the widespread use of electric vehicles is still insufficient. This is especially problematic for intercity travel. Infrastructure development is dependent on government support and private sector investment [6]. Therefore, it is important to address issues such as the installation of electric vehicle charging stations (EVS) in a given area, the establishment of an electricity supply system (ETS) based on green sources (wind, solar) and their integration into the power system. This paper aims to investigate the problems associated with solving some of the above issues and develop a model for the structure of an ETS.

**Features of the construction of the ETS and the creation of a rational structure of the EDS.** The integration of new technologies with the existing automotive industry and service structures poses certain challenges. The lack of qualified specialists and the poor development of technical service infrastructure are also among the problems. The study is based on the following stages:

1. Studying the current state of electric vehicle technologies;
2. Analysis of the technical capabilities of green energy sources (solar panels, renewable energy, recuperative systems);
3. Hybrid energy systems design and integration model;
4. Development of energy management system (EMS) algorithms;
5. Building computer models and analyzing simulation results;
6. Conducting tests on prototype devices.

This approach combines both theoretical models and practical applications.

Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and other harmful emissions released into the atmosphere as a result of the operation of traditional internal combustion engine vehicles disrupt the ecological balance and negatively affect public health. One of the main steps taken to solve these problems has been the development of electric vehicles and hybrid vehicles. Electric vehicles are considered a promising alternative in terms of energy efficiency, emission-free operation and the ability to operate with clean energy sources.

The results obtained based on both simulation results and analytical calculations are presented and the relevance and effectiveness of these results for real-world applications are extensively discussed. According to the results of the study, the control strategy applied to multi-source energy systems (dynamic energy allocation and priority-based energy routing) significantly increases the overall energy efficiency of the system. During the modeling, it was determined that approximately 30–40% of the energy demand in a solar-powered system is met from renewable sources during the day, which reduces the load on the battery and extends its life.

The proposed algorithm for the construction of a power supply system and selection of parameters for electric vehicle charging stations (EDS) based on hybrid green technologies is shown in Figure 1. The algorithm-model must meet the following requirements [1,3]:

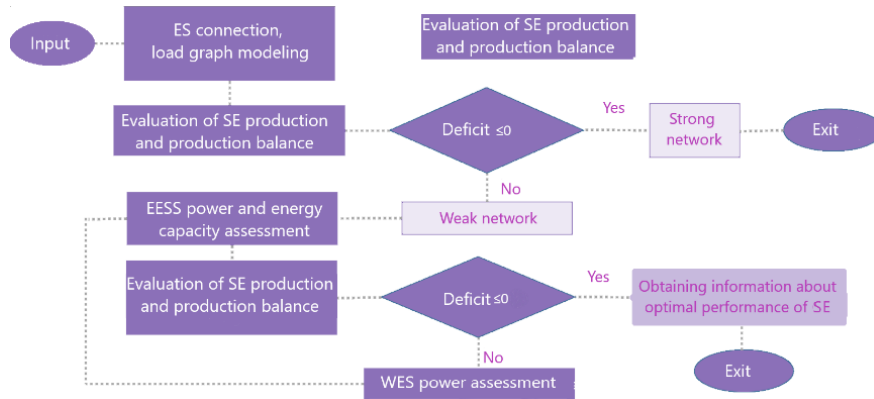
1. The model should provide for the anticipation of constraints, as well as the assessment of deficits and surpluses of electricity supply;
2. The model should take into account the estimation of the uncertainty of the EDS load and the generation of the hybrid plant;
3. The model should allow for the creation of an optimal structure of a hybrid station, taking into account its clustering with load;
4. The model should ensure the economic performance and structural reliability of the power supply system.

**Modeling the load of EDS.** In order to build an optimal ETS structure of the EDS based on green hybrid technologies, it is first necessary to model its load. For this purpose, the Monte Carlo method was

used to model the uncertainty of wind and solar energy generation, as well as the random nature of the charging station load. In the modeling, it is important to know the following: the start time of charging of electric vehicles ( $T_b$ ); the power required by the  $i$ -th electric vehicle  $P_i$ ; the duration of charging  $T_d$ ; the number of connected electric vehicles  $N_{EM}$ .

**Table 1. Characteristics of the power supply of the EDS**

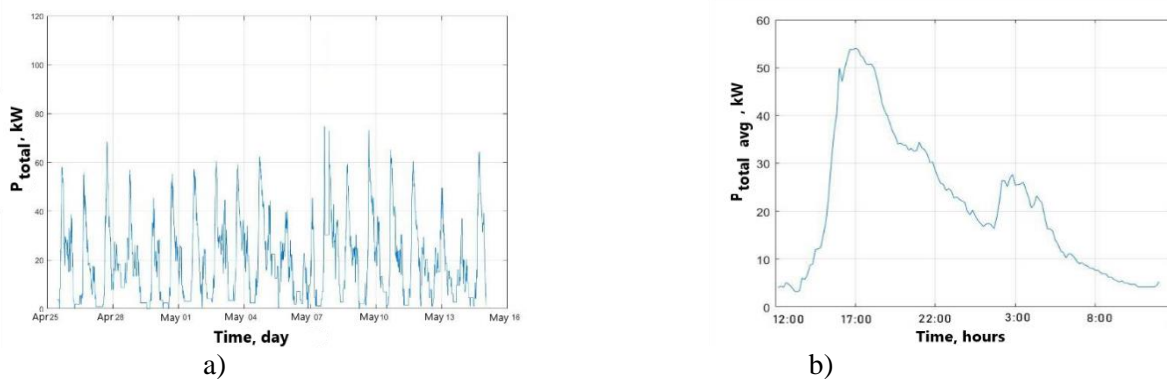
Indicator	Internal Combustion Engine (ICE)	Full Electric Motor	Green hybrid technology car
Power source	<b>Gasoline/Diesel</b>	<b>Battery</b>	<b>Electricity+Solar</b>
Environmental impact	<b>High</b>	<b>No</b>	<b>Low (with emission compensation)</b>
Energy efficiency	<b>Medium</b>	<b>Yüksək</b>	<b>Yüksək</b>
Battery life	<b>Not applicable</b>	<b>4-12 saat</b>	<b>Shorter (with renewable energy support)</b>
Speed	<b>Medium/high</b>	<b>Yüksək</b>	<b>Medium (system dependent)</b>
Sound	<b>Voiced</b>	<b>Silent</b>	<b>Silent</b>
Range	<b>Long</b>	<b>Medium (150-500 km)</b>	<b>Long (solar, renewable energy source)</b>
Operating cost	<b>High</b>	<b>Low</b>	<b>Low/Medium (depends on technology)</b>
Manufacturing cost	<b>Medium</b>	<b>High</b>	<b>High (but long-term economical)</b>
Maintenance equipment	<b>High</b>	<b>Low</b>	<b>Medium</b>



**Fig. 1. Block diagram of the structure of the EDS power supply system**

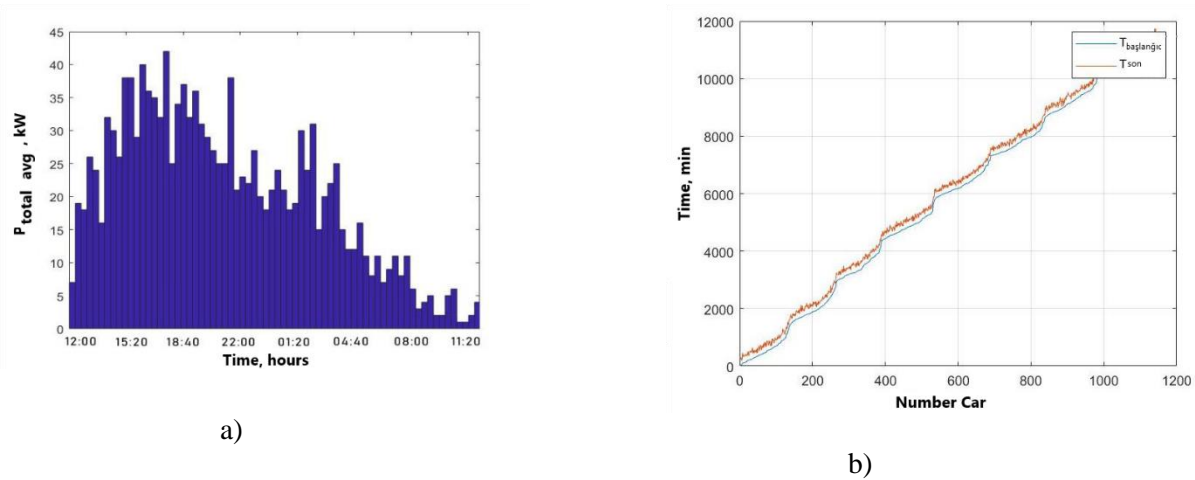
The modeling interval was assumed to be 20 days and the number of cars in that interval was 1200. At the same time, the charging time of electric cars was 3 hours, the mean square slope was  $\sigma^2 = 2,5saat$ . The parameters of the charging start time were as follows: The parameters of the Weibull distribution were the distribution shape  $\alpha = 1,2$  and the scale factor.

Figure 2 depicts the power intensity of electric vehicles connected at a certain time interval (a) and its averaged graph (b).



**Fig. 2. Power intensity of connected electric vehicles (a) and its averaged load graph (b)**

Figure 3 shows the power distribution histogram of electric vehicles connected to the EDS based on the empirical load graph and the time-dependent graph of the start and end times of electric vehicle charging..



**Fig. 3.** Histogram of the power of electric vehicles connected through Weibull distribution (a) and timeline of charging start and end times (b)

Based on the data in Figure 3 and Figure 3, the load graph of the EDS was generated as a result of modeling. The resulting load graph is shown in Figure 4.

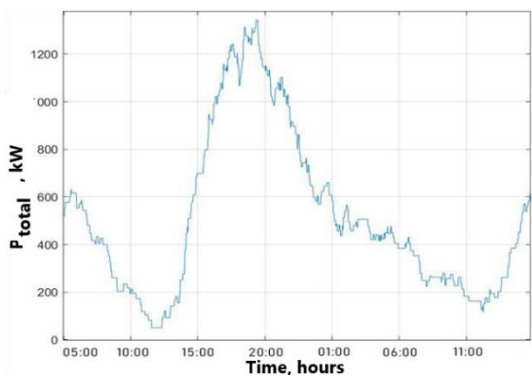
As a result of the obtained modeling, it can be determined that in the considered case, the total power of green energy sources of the ETS should be up to 40 kW to meet the demand of the EDS. This quantity may vary for other cases, and in this case, by conducting a similar study, it is possible to predict the EDS connection power and, thus, the generation of the hybrid station. In order to determine the power of the hybrid station for the considered case, a well-known model was used [2].

$$P = a \cdot b \cdot z^{b-1} \cdot e^{-a \cdot z^b}$$

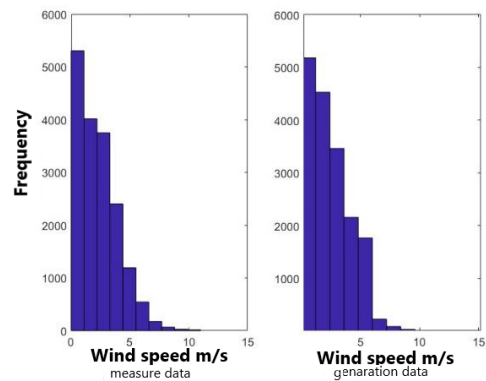
The following approximation formula was obtained for the considered case:

$$P = 0,465 \cdot z^{0,432} \cdot e^{-0,325z^{1,432}} \quad (1)$$

Figure 5 shows comparative histograms of the demand for EDS obtained from experience and generated by formula (1).



**Fig. 4.** Modeling result of the load graph of the EDS



**Fig. 5.** Histograms of EDS demand based on experimental and model data

As can be seen in Figure 5, the histograms constructed based on experimental data and modeling are approximately close to each other, confirming the suitability of the distribution parameters obtained for the requirements of EDS.

## Conclusions

The characteristics of hybrid green energy source ETS of electric vehicles for EDS were investigated, and ways of their integration into the system were determined. Modeling of EDS demand power was performed using the Monte Carlo method. Comparative analysis of the data obtained as a result of the reports and their model values confirmed the suitability of the presented EDS forecast load model. The obtained model can be used in subsequent studies and at the same time in solving the problems of optimal EDS design.

## References

1. Shamarova, N. Review of Battery Energy Storage Systems Modeling in Microgrids with Renewables Considering Battery Degradation /N.Shamarova, K.Suslov, P.Ilyushin, I.Shushpanov//Energies.–2022.– Vol.15,No.19.–P.6967.–DOI10.3390/en15196967.–EDNWTIILM.
2. Shamarova, N.A. Approach to the accounting of the main stress-factors affecting the degradation of accumulator batteries in the composition of electric energy storage systems/N.A.Shamarova, I.N.Shushpanov, K.V.Suslov, P.V.Ilyushin//Energetik.–2023.–№9.–С.9-14.–EDNDJODKT.
3. Rahmanov N.R., Guliyev H.B., Ibrahimov F.Sh. Methodology for determining typical scenarios of total electricity generation by green sources reducing the risk of disruption of balance reliability. Reliability: Theory & Applications. 2025, September 3(86): 192-205, pp.192-205
4. Shamarova N., Suslov K., Ilyushin P., Shushpanov I. Review of Battery Energy Storage Systems Modeling Microgrids with Renewables Considering Battery Degradation. Energies, 2022, Vol.15, No.19, P.6967.–DOI10.3390/en15196967.–EDNWTIILM.
5. Lombardi P., Arendarski B., Suslov K., [etal.] A Net-Zero Energy System Solution for Russian Rural Communities. E3SWeb of Conferences, Irkutsk, Cape Hadartha, 27 июля–022018года. Vol.69.–Irkutsk, Cape Hadartha: EDP Sciences, 2018, P.01013.–DOI10.1051/e3sconf/20186901013.–EDNTVSJBF.
6. Hashimov A.M., Rakhmanov N.R., Tabatabaei N.M., Rakhmanov R.N., Ibrahimov F.Sh. Study on complementarity of hybrid wind and solar PV power plant using small river hydro resources. IJTPE Journal International Journal on Technical and physical problems of engineering (IJTPE), Iss. 64, Vol. 17, No. 3, September 2025, pp. 213-221.

## Xülasə

### ELEKTRİK AVTOMOBİLLƏRİNİN ŞARJ CİHAZLARI ÜÇÜN YAŞIL ENERJİ TEKNOLOGİYALARININ TƏTBİQİ MƏSƏLƏLƏRİ

*Hüseynqulu G., Məmmədov M.*

Müasir çağırışlara uyğun olaraq, qlobal iqlim dəyişikliyi ekoloji cəhətdən təmiz enerji mənbələrindən istifadəni tələb edir. Bu baxımdan, elektrik avtomobillərinin istifadəsi geniş yayılmışdır. Bu tip nəqliyyat vasitələri və onların enerji təchizatı sistemləri üçün şarj stansiyalarının tikintisi təcili məsələlərdən biri hesab olunur. Təqdim olunan iş yük qrafiki modelləşdirmə alqoritminin inkişafını nəzərdən keçirir ki, bu da elektrik nəqliyyat vasitələrinin doldurma stansiyaları üçün külək və günəş enerjisi mənbələrinə əsaslanan yaşıl enerji texnologiyalarının tətbiqi məsələlərindən biridir. Müəyyən elektrik nəqliyyat vasitələrinin şarj stansiyaları üçün verilmiş alqoritm əsasında yük qrafiki modelləşdirilməsinin nəticələri əks olunur.

**Açar sözlər:** elektrik təchizatı sistemi, günəş və külək quraşdırmaları, hibrid yaşıl texnologiyalar, batareya quraşdırılması, modelləşdirmə

## Резюме

### ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ЗЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ДЛЯ ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

*Гулиев Г., Мамедов М.*

В соответствии с современными вызовами глобальное изменение климата требует применения экологически чистых источников энергии. В связи с этим широкое распространение получило применение электромобилей. Строительство зарядных станций и их систем электроснабжения для данного типа транспортных средств считается одной из актуальных задач. В представленной работе рассматривается разработка алгоритма моделирования графика нагрузки, что является одним из вопросов применения технологий зеленой энергетики на основе ветровых и солнечных источников энергии для зарядных станций электромобилей. Приведены результаты моделирования графика нагрузки на основе данного алгоритма для конкретных зарядных станций электромобилей.

**Ключевые слова:** система электроснабжения, солнечные и ветровые установки, гибридные зеленые технологии, аккумуляторная установка, моделирование.

# IQLİM DƏYİŞİKLİYİ VƏ AZƏRBAYCAN STRATEGİYASI

**Muradova Qismət Şahin qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[muradovsahin2016.12@gmail.com](mailto:muradovsahin2016.12@gmail.com)

**Xülasə** Qlobal iqlim dəyişikliyi müasir dövrün ən ciddi və kompleks qlobal problemlərindən biri kimi qiymətləndirilir. Atmosferdə istixana qazlarının konsentrasiyasının artması nəticəsində orta temperaturun yüksəlməsi, ekstremal hava hadisələrinin intensivləşməsi və su ehtiyatlarının azalması bir çox ölkələr kimi Azərbaycanın da ekoloji və sosial-iqtisadi inkişaf gündəliyinə birbaşa təsir göstərir. Bu çərçivədə Azərbaycanın milli səviyyədə iqlim siyasətinin formalaşdırılması və strateji adaptasiya tədbirlərinin həyata keçirilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

**Açar sözlər:** atmosfer, qlobal, ekologiya, iqlim, ekosistem

**Aktuallıq:** İqlim dəyişikliyi qlobal ekoloji idarəçilik üçün ən ciddi çağırışlardan biridir. Problemin qlobal xarakter daşması onun həllinin də qlobal səviyyədə birgə fəaliyyət tələb etməsinə səbəb olur. Atmosfer bütöv sistem olduğundan onun çirklənməsi və ya istixana qazlarının artması bütün planetə təsir göstərir. Eyni zamanda iqlim dəyişikliyinə miqyasının geniş olması ölkələri kollektiv əməkdaşlığa səsləyir və bu əməkdaşlıq uzunmüddətli, maliyyə tutumlu tədbirlər tələb edir. Bütün bunlar mövzunun aktuallığını şərtləndirən əsas amillərdəndir.

**Metod:** Məqalədə müqayisə və təsvir metodundan istifadə olunmuşdur.

**Elmi yenilik:** Tədqiqatın elmi yeniliyi ondadır ki, iqlim dəyişikliyi kimi qlobal problemin həllində müxtəlif dövlətlərin milli maraqlarının rolu və bu maraqların həm XX əsrdə, həm də müasir dövrdə Azərbaycan nümunəsində necə formalaşdığı araşdırılır.

İqlim dəyişikliyi qlobal bir problemdir və bu problemi həll etmək bütün bəşəriyyətin ən öndə öhdəliklərindən biridir. Bu problemi aradan qaldırmaq və ya nəticəsini daha da azaltmaq üçün bu 3 suala cavab tapmalıyıq:

- 1) İqlim dəyişikliyinə səbəbkarı kimdir və nədir?
- 2) İqlim dəyişikliyinə nəticəsi kimə və ya nəyə təsir göstərir?
- 3) İqlim dəyişikliyinə qarşısını necə almalıyıq?

İqlim dəyişikliyi yaradılışın üzvləşdiyi digər ekoloji problemlərdən əsaslı şəkildə fərqlənir. İqlim dəyişikliyinə digər ekoloji problemlərdən fərqləndirən bir neçə xüsusiyyət var ki, onları aşağıdakı formada qruplaşdırma bilirik:

- Atmosfer qlobal ictimai rifahın klassik nümunəsidir. Ölkə daxilində yerləşmiş zavodlar və fabriklər birbaşa olaraq planetə təsir edir. Ölkənin hərtərəfli bu kimi zavod və fabriklərə nəzarəti nəyinki insanlara, eyni zamanda planetə də öz müsbət təsirini göstərir.

- İqlim dəyişikliyinə təsirinin bərabər şəkildə ölkələr arasında paylanması ehtimalı yoxdur. Buna səbəb isə inkişaf etmiş ölkələrin bu məsələdə təsirinin daha çox olmasıdır.

Bu kimi problemlər atmosferdə təbii olaraq istixana qazlarının çoxalmasına və qlobal istiləşmə kimi dəyişikliklərin meydana gəlməsinə gətirib çıxardır. Atmosferdə bəzi qazlar var ki, onlar günəş şüalarının yerə təsirini azaldır, sanki görünməz bir şüşə kimi dünyamızı bütün təhlükələrdən qoruyur [1,s.12]. Bu qazların çox hissəsi təbii olaraq meydana gəlir amma insan fəaliyyətinin o cümlədən təsirinin artması səbəbi ilə bu qazların da konsentrasiyası pozulur. Qazların konsentrasiyasının pozulması bir başa olaraq iqlim dəyişikliyinə səbəb olur. XX əsrin 80-ci illərindən sonra qlobal istiləşmə hər 10 ildən bir daha da artmağa başlamışdır. Arktikada temperatur orta göstəricidən ən azı iki dəfə daha sürətlə istilənmişdir. İqlim dəyişikliyinə digər bir təsiri isə bölgələrdə dağıdıcı tufanlarla özünü göstərir. Temperatur yüksəldikcə daha çox rütubətlənmə olur ki, bu da həddindən artıq yağıntıların düşməsinə və daşqınları gücləndirir, daha dağıdıcı tufanlara səbəb olur. Belə tufan və fırtınalar tez-tez evləri məhv edir, nəyinki ölkələrə həm maddi, həm də mənəvi ziyan vurur. Nəticədə həm insanların evləri dağılır, həm də ölümlər ilə nəticələnir. Qlobal istiləşmə sudan əziyyət çəkən regionlarda su qıtlığını artırır və bu da iqtisadiyyatın kənd təsərrüfatı sahəsinə təsir göstərir. Quraqlıqlar həmçinin qum və toz fırtınalarının baş verməsinə şərait yaradır. Səhralar genişlənir, qida üçün əlverişli torpaqların azalmasına səbəb olur. Okean qlobal istiləşmənin mənbəyi olan istiliyin çox hissəsini udur. Okeanın istiləşmə sürəti son iyirmi ildə kəskin şəkildə artmışdır. Əriyən buz təbəqələri də dəniz səviyyəsinin qalxmasına səbəb olaraq sahil və ada sakinlərini təhlükəyə atır. Bu kimi yaranan problemlər dövlətləri kollektiv şəkildə hərəkətə keçməyə təşviq etdi.

Azərbaycanın iqlim müxtəlifliyi onu iqlim dəyişikliyinə təsirlərinə qarşı olduqca həssas edir. Ölkədə 9 müxtəlif iqlim tipinin mövcudluğu müxtəlif regionlarda fərqli nəticələr doğurur. Şimal-qərb bölgəsində yağıntıların azalması kənd təsərrüfatını zəiflədərkən, aran rayonlarında temperaturun artması su qıtlığını

şiddətləndirir. Dağlıq ərazilərdə buzlaqların əriməsi su ehtiyatlarının uzunmüddətli azalmasına səbəb ola bilər.

Iqlim dəyişikliyinə təsirləri yalnız ekoloji sahə ilə məhdudlaşmır. Onun iqtisadi və sosial nəticələri də böyükdür. Azərbaycanda kənd təsərrüfatı iqtisadiyyatın mühüm sahəsi olduğundan su qıtlığı kənd təsərrüfatı məhsuldarlığının azalmasına gətirib çıxarır. Bu isə həm ərzaq təhlükəsizliyini zəiflədir, həm də regionlarda yaşayan əhalinin sosial rifahına təsir edir[2]. Bundan əlavə, ekstremal hava hadisələri (şaxtalar, quraqlıqlar, dolu yağışları) iqtisadi itkini artırır.

Azərbaycan BMT-nin İqlim Dəyişikliyi üzrə Çərçivə Konvensiyasına və Paris Sazişinə qoşulan ölkələrdəndir.

Azərbaycanın bərpa olunan enerji potensialı əhəmiyyətlidir. Qobustan, Abşeron və Naxçıvan günəş enerjisi üçün əlverişli bölgələrdir. Külək enerjisi isə Xəzər sahilləri və Abşeronda geniş imkanlara malikdir. Son illərdə həyata keçirilən bərpa olunan enerji layihələri ölkənin enerji təhlükəsizliyini artırmaqla yanaşı, emissiyaların azalmasına da mühüm töhfə verir.

Azərbaycan 2030-cu ilə qədər öz ərazisindən atmosfərə atılan karbon qazının miqdarını 35% azaltmaq kimi bir köndüllü öhdəliyi üzərinə götürüb[4]. Avropa ölkələri daha irəli gedib və 2050-ci ilə qədər 0 emissiya tələbini qoyublar ki, buna Avropa Yaşıl Sövdələşməsi deyilir. Avropa Yaşıl Sövdələşməsi çərçivəsində Avropa Birliyinə daxil olan bütün ölkələr 2050-ci ilə qədər öz ölkələrindən atmosfərə atılan istixana qazlarını qəti şəkildə tamamilə azaltmalıdırlar.

#### *Azərbaycan iqlim dəyişməsinin təsirlərinə adaptasiya üçün müxtəlif strategiyalar həyata keçirir:*

- Su ehtiyatlarının səmərəli idarə olunması,
- Yeni su anbarlarının tikilməsi,
- Kənd təsərrüfatında modern texnologiyaların tətbiqi,
- Meşələrin bərpası və yaşıllaşdırma tədbirləri.
- Gələcəkdə rəqəmsal monitorinq sistemlərinin gücləndirilməsi, iqlim modelləşdirməsinin inkişafı və ictimai məlumatlılığın artırılması prioritet istiqamətlər kimi dəyərləndirilir.

**Nəticə.** İqlim dəyişikliyi Azərbaycanın ekoloji, sosial və iqtisadi inkişafına birbaşa təsir göstərən strateji problemlərdən biridir. Ölkə qarşdakı illərdə həm bərpa olunan enerjiyə keçidi sürətləndirməyi, həm də ekosistemlərin dayanıqlığını artırmağı hədəfləyir. Azərbaycanın milli iqlim siyasəti beynəlxalq öhdəliklərlə uzlaşaraq, dayanıqlı inkişaf məqsədlərinə nail olmaq üçün mühüm addımlar atır. Qlobal proseslərin təsirindən yayınmaq mümkün olmasa da, düzgün strategiyalar sayəsində riskləri minimuma endirmək və davamlı inkişafı təmin etmək mümkündür.

#### **Ədəbiyyat**

1. H. Lee and J. Remore. Climate change 2023 synthesis report/ IPCC:2023- 42 p.
2. <https://www.mfa.gov.tr/surdurulebilir-kalkinma.tr.mfa#:~:text=3%2D14%20Haziran%201992%20tarihleri,a%C3%A7%C4%B1s%C4%B1ndan%20%C3%B6nemli%20bir%20ad%C4%B1m%20olmu%C5%9Ftur.>
3. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol/what-is-the-kyoto-protocol/kyoto-protocol-targets-for-the-first-commitment-period>
4. <https://minenergy.gov.az/az/xeberler-arxivi/00393>

#### **Summary CLIMATE CHANGE AND AZERBAIJAN'S STRATEGY Muradova G.Sh.**

Global climate change is considered one of the most serious and complex global problems of our time. The increase in average temperatures, the intensification of extreme weather events, and the reduction of water resources as a result of the increase in the concentration of greenhouse gases in the atmosphere have a direct impact on the ecological and socio-economic development agenda of Azerbaijan, as well as many other countries. In this context, the formulation of Azerbaijan's climate policy at the national level and the implementation of strategic adaptation measures are of particular importance.

**Keywords:** atmosphere, global, ecology, climate, ecosystem

#### **Резюме СТРАТЕГИЯ ПО ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА И АЗЕРБАЙДЖАНУ Мурадова Г.Ш.**

Глобальное изменение климата считается одной из самых серьёзных и сложных глобальных проблем современности. Повышение средних температур, учащение экстремальных погодных явлений и сокращение водных ресурсов в результате увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере оказывают непосредственное влияние на экологическую и социально-экономическую повестку развития Азербайджана, а также многих других стран. В этом

контексте особое значение приобретает разработка национальной климатической политики Азербайджана и реализация стратегических мер по адаптации.

**Ключевые слова:** атмосфера, глобальный, экология, климат, экосистема

## ƏTRAF MÜHİTİN MÜHAFİZƏSİ VƏ ƏMƏYİN TƏHLÜKƏSİZLİYİ

**Asifli Maqsud Rafis oğlu**

*Nizami Tibb Mərkəzi PHŞ, Bakı, Azərbaycan*

[maqsud.asifli@bk.ru](mailto:maqsud.asifli@bk.ru)

### Giriş

Müasir dövrdə ətraf mühitin mühafizəsi və əməyin təhlükəsizliyi dünya miqyasında əhəmiyyətli sahələrdən hesab olunur. Sənaye inkişafı, urbanizasiya, nəqliyyat vasitələrinin artması və digər amillər ətraf mühitə ciddi təsir göstərməkdə davam edir. Eyni zamanda, əmək münasibətlərində təhlükəsizlik və sağlamlıq standartlarının gözlənilməsi insanların həyat və rifahı üçün vacib amillərdəndir. Bu iki istiqamət bir-birindən asılı və qarşılıqlı əlaqəli olduğu üçün kompleks yanaşma tələb edir.

Ətraf mühitin mühafizəsi təkcə təbiətin deyil, insanın da sağlam yaşaması üçün vacibdir. Havanın, suyun və torpağın çirklənməsi, biomüxtəlifliyin azalması və iqlim dəyişikliyi kimi problemlər həm yerli, həm də global miqyasda narahatlıq yaradır. Bu problemlərin qarşısının alınması üçün dövlətlər, özəl sektor və vətəndaşlar birlikdə çalışmalıdır. Müxtəlif qanunvericilik aktları, beynəlxalq konvensiyalar və proqramlar bu sahədə yol xəritəsi rolunu oynayır. Məsələn, tullantıların düzgün idarə olunması, təkrar emalın təşviq edilməsi, alternativ enerji mənbələrinin istifadəsi və ekoloji təhsil ətraf mühitin qorunmasına yönəlmiş əsas addımlardandır.

Əməyin təhlükəsizliyi və sağlamlığın qorunması iş mühitində baş verə biləcək qəzaların, travmaların və xəstəliklərin qarşısının alınması üçün həyata keçirilən tədbirlərin toplusudur. Bu sahədə işəgötürənlərin və işçilərin üzərinə müəyyən öhdəliklər düşür. İşçilər təhlükəsizlik qaydalarına riayət etməli, işəgötürənlər isə onları müvafiq texniki vasitələrlə təmin etməli və təlimlər keçirməlidirlər. Peşə xəstəliklərinin azaldılması, təhlükəli avadanlıqlarla işləyənlərin təhlükəsizlik vasitələri ilə təmin olunması və istehsalat sahələrində monitoring sistemlərinin tətbiqi bu istiqamətdə atılan əsas addımlardır.

Ətraf mühitin mühafizəsi ilə əməyin təhlükəsizliyi bir çox hallarda bir-birini tamamlayan və gücləndirən proseslərdir. Zərərli kimyəvi maddələrlə işləyən müəssisələrdə həm işçilərin sağlamlığı, həm də ətraf mühit risk altındadır. Bu baxımdan, təhlükəsiz texnologiyaların tətbiqi iki istiqamətdə də müsbət nəticə verir. Eyni zamanda, təbii fəlakətlər və ya sənaye qəzaları zamanı həm insanlara, həm də təbiətə ziyan dəyir. Bu səbəbdən, hər iki sahədə profilaktik tədbirlərin artırılması vacibdir.

Nəticə etibarilə, ətraf mühitin qorunması və əməyin təhlükəsizliyi həm cəmiyyətin rifahı, həm də davamlı inkişafın təminatı baxımından əsas prioritetlərdəndir. Bu istiqamətdə dövlət siyasəti ilə yanaşı, ictimai şüurun formalaşdırılması və vətəndaş məsuliyyətinin artırılması mühüm rol oynayır. Unutmaq olmaz ki, sağlam cəmiyyət sağlam ətraf mühit və təhlükəsiz əmək şəraitində formalaşır.

Ətraf mühitin qorunması yalnız ekologiya deyil, həm də iqtisadiyyat, səhiyyə və sosial rifah üçün mühüm əhəmiyyətə malikdir. Müasir dövrdə ətraf mühitin çirklənməsi bir çox xəstəliklərin yaranmasına, təbii ehtiyatların tükənməsinə və iqlim dəyişikliyinə sürətlənməsinə səbəb olur. Bu proseslərin qarşısını almaq üçün müxtəlif sahələrdə davamlı inkişaf konsepsiyası tətbiq edilməlidir. Davamlı inkişaf — gələcək nəsillərin tələbatını təmin etmək imkanlarını məhdudlaşdırmadan, indiki nəsillərin ehtiyaclarını ödəyən inkişaf formasıdır. Ətraf mühitin mühafizəsi sahəsində görülən tədbirlər aşağıdakılardır:

- Sənaye müəssisələrində filtrasiya sistemlərinin tətbiqi;
- Bərpa olunan enerji mənbələrinin — günəş, külək, hidro və bioenerji — istifadəsi;
- Ətraf mühitə zərər vurmeyən nəqliyyat növlərinin istehsalı (elektrik nəqliyyatları);
- Təbii ehtiyatların rəşional istifadəsi və bərpası;
- Məktəb və universitetlərdə ekoloji təhsilin gücləndirilməsi.
- Əməyin təhlükəsizliyi yalnız qanunvericilik çərçivəsində yox, həm də təşkilatın daxili mədəniyyətində öz əksini tapmalıdır. Müəssisələrdə təhlükəsizlik sisteminin effektiv olması üçün risklərin idarə olunması, texniki audit, işçilərin sağlamlıq müayinəsi və peşə uyğunluğu qiymətləndirilməlidir. Əməyin təhlükəsizliyi sahəsində aşağıdakı əsas prinsiplər mövcuddur:
- İş mühitində potensial təhlükə mənbələrinin aşkarlanması və aradan qaldırılması;
- İşçilərin fərdi mühafizə vasitələri ilə təmin olunması (dəbilqə, maska, qoruyucu geyim və s.);
- Müntəzəm təlimlər və tədris proqramları vasitəsilə biliklərin artırılması;

- İş saatlarının tənzimlənməsi və əmək hüquqlarına əməl olunması; □ Qəzaların təhlili və profilaktik tədbirlərin gücləndirilməsi.

Ətraf mühitin və əməyin təhlükəsizliyinin qorunmasında beynəlxalq təşkilatların və sənədlərin də rolu danılmazdır. BMT-nin Dayanıqlı İnkişaf Məqsədləri (SDG), Ətraf Mühitin Mühafizəsi üzrə Stockholm Konfransı, Əmək Təhlükəsizliyi üzrə Beynəlxalq Əmək Təşkilatının (ILO) standartları bu sahədə beynəlxalq çərçivəni formalaşdırır. Bu sənədlər ölkələrə yön göstərir və hüquqi baza formalaşdırır. Azərbaycanda da bu sahələr üzrə bir sıra milli proqram və dövlət strategiyaları tətbiq olunur. Məsələn, 'Azərbaycan 2030: Sosial-iqtisadi inkişaf Strategiyası' və 'Milli Ekoloji Təhlükəsizlik Konsepsiyası' bu istiqamətdə aparılan işlərin əsasını təşkil edir.

Beləliklə, ətraf mühitin qorunması və əməyin təhlükəsizliyi bir-biri ilə inteqrasiya olunmuş strateji sahələrdir. İnsanların sağlamlığı, təbiətin davamlılığı və iqtisadi rifah bu iki sahədə görülən tədbirlərlə birbaşa əlaqəlidir. Hər bir vətəndaşın bu məsələlərə məsuliyyətli yanaşması, həmçinin dövlət qurumları və özəl sektorun əməkdaşlığı ilə daha sağlam, təhlükəsiz və ekoloji cəhətdən davamlı bir gələcək qurmaq mümkündür.

## Ədəbiyyat

1. Hacıyev A.Ə. – Ətraf mühitin qorunması və ekoloji siyasət. Bakı: Elm, 2019.
2. Məmmədov E.R. – Əmək hüququ və təhlükəsizlik məsələləri. Bakı: Hüquq, 2021.
3. Quliyev T.F. – Davamlı inkişaf və ekoloji təhlükəsizlik. Bakı: Şərq-Qərb, 2020.
4. Əliyeva S.T. – Ekoloji hüquq: nəzəriyyə və təcrübə. Bakı: Adiloğlu, 2018.
5. Hüseynov R.N. – Əmək mühafizəsi və istehsalatda təhlükəsizlik. Bakı: Maarif, 2022.
6. Azərbaycan Respublikası Əmək Məcəlləsi – Bakı, 2023.
7. Azərbaycan Respublikası Ekoloji Təhlükəsizlik Konsepsiyası – rəsmi sənəd, 2020.

## ŞEBEKELERİNİN YENİ ANALİTİK MODEL İLE DEPREM GİBİ DOĞAL AFETLERE KARŞI GÜÇLENDİRİLMESİ

**Ozan Akdağ**

*Department of Computer Engineering, Malatya Turgut Ozal University, Malatya, Turkey*  
[ozan.akdag@ozal.edu.tr](mailto:ozan.akdag@ozal.edu.tr)

**Özet:** Bu çalışmada, Türkiye'de gerçekleşen büyük depremler sonrası dağıtım şebekelerinin direncini artırmak için yeni bir analitik model geliştirilmiştir. Bu modelde dağıtım şebekesi analiz edilerek bara noktalarının kırılma indeksi belirlenmiş, dağıtık üretim ve enerji depolama entegrasyonu sağlanmıştır. Ayrıca, kısa devre arıza akımlarının sınırlandırılmasıyla enerji arzının sürdürülebilirliği sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Deprem, Dağıtım Şebekeleri, Kırılma İndeksi, Arıza Akımı İndeksi, Dağıtık Üretim, Enerji Depolama

### 1. Giriş

Depremler, yer kabuğundaki hareketler sonucu meydana gelen ve enerji altyapısında ciddi yıkımlara neden olabilen doğal afetlerdir [1]. Depremler sırasında enerji iletim hatları ve trafo merkezleri zarar görebilir, bu da elektrik kesintilerine yol açar [2]. Bu tür kesintiler yalnızca enerji arzını etkilemekle kalmaz; sağlık tesislerinin, acil servislerin ve iletişim sistemlerinin işleyişinde de aksamalara neden olarak afetin etkilerini daha da ağırlaştırır [2]. Bu nedenle enerji sektörü, deprem gibi beklenmedik olaylara karşı şebeke dayanıklılığını artırmaya odaklanmaktadır.

Enerji depolama sistemleri (ESS) ve dağıtık üretim (DG) birimleri, afet anında şebekenin esnekliğini ve sürekliliğini sağlamak için etkili çözümler sunmaktadır [3]. Literatürde bu konuda birçok çalışma yapılmıştır: Nazemi ve arkadaşları, enerji altyapısının deprem kaynaklı düşük olasılıklı ancak yüksek etkili olaylara karşı kırılma indeksi ve enerji depolama sistemlerinin bu bağlamdaki rolünü analiz etmiştir [4]. Mohammad ve Mohsen, mobil batarya enerji depolama sistemlerinin deprem sonrası esnekliği artırmadaki önemini vurgulamıştır [5], Dugan ve ekibi ise mobil enerji depolama ünitelerinin doğal afetlerden sonra dağıtım sistemlerini destekleyebileceğini belirtmiştir [6]. Huang ve çalışma arkadaşları, farklı enerji sistemlerinin (özellikle depolama çözümleri) en uygun şekilde konumlandırılmasına yönelik dayanıklılık odaklı bir planlama yöntemi geliştirmiştir [7]. Galvan ve ekibi, mikroşebekelerle DG'lerin afet sonrası performansını artırma yollarını analiz etmiştir [8]. Kwasinski ise, mikroşebekelerin yerel enerji depolama ve DG birimleriyle dayanıklılığını değerlendirmiştir [9]. Cordova ve Yanini, hibrit enerji sistemlerine dayalı akıllı dağıtım şebekesi modelleri önermiştir [10]. Palizban ve Kauhaniemi, enerji depolama teknolojilerinin

farklı uygulamalarını ve entegrasyon maliyetlerini detaylıca incelemiştir [11]. Hafız ve ekibi, talep tarafı esnekliğiyle hizmet geri kazanımını hızlandırmaya odaklanmıştır [12].

Bu çalışma, literatürdeki yaklaşımlardan farklı olarak, dağıtım şebekesinde bara kırılma indeksi belirlenmesi, DG ve enerji depolama birimlerinin teknik ve ekonomik boyutlandırılması ve kısa devre arıza akımlarının sınırlandırılmasına odaklanan bütünleşik bir model önermektedir. Önerilen modelin amacı, enerji sürekliliği ve hızlı toparlanma yeteneği sağlayarak deprem sonrası şebeke dayanıklılığını artırmaktır. Farklı senaryolar altında yapılan uygulamalar, modelin etkili olduğunu ve dağıtım şebekelerinin afetlere karşı daha esnek hale getirilmesine katkı sunduğunu göstermiştir.

## 2. Enerji Depolama Sistemleri

Enerji depolama tesisleri, günümüzün enerji altyapısında yenilenebilir enerji kaynaklarının süreksizliğini dengelemek için hayati bir rol oynar. Bu tesisler, batarya sistemleri, hidrojen depolama tankları, pompalı hidroelektrik santraller ve termal enerji depolama üniteleri gibi birçok teknolojiyi içerir. Ancak, özellikle deprem riski yüksek bölgelerde kurulan bu tesislerin yapısal güvenliği ve sismik dayanıklılığı büyük bir önem taşır. Deprem anında bu tesislerde meydana gelebilecek hasarlar, sadece enerji arzında kesintiye yol açmakla kalmaz; aynı zamanda yangın, kimyasal sızıntı veya patlama gibi ikincil felaket risklerini de artırır [13]. Örneğin, büyük ölçekli sıvı depolama tankları ve batarya rafları, sismik kuvvetler karşısında devrilme, burkulma veya sıvı taşması gibi tehlikelere açıktır [14, 15].

Araştırmalar, bu tesislerin deprem güvenliğinin artırılmasında sismik izolasyon sistemleri, enerji sönümleyiciler ve ileri mühendislik tekniklerinin önemli rol oynadığını göstermektedir [16, 17]. Ayrıca, sadece yapısal sağlamlık değil, tesislerin afet sonrası hızlı toparlanma kapasitesi de enerji altyapısının genel dayanıklılığı açısından kritik kabul edilmektedir [18, 19]. Mobil batarya sistemlerinin (MBESS) şebeke esnekliğini artırmada etkili olduğu ve deprem sonrası hızlı devreye alınarak enerji arzını destekleyebileceği öne sürülmektedir [20, 21]. Sonuç olarak, enerji depolama tesislerinin sismik dayanıklılığı, mühendislik tasarımından afet yönetimine kadar çok disiplinli bir perspektif gerektiren bir alandır [22, 23].

## 3. Deprem Darbelerine Karşı Şebeke Direncini Artıran Akılcı Modelleme Yaklaşımı

Depremler, dağıtım şebekelerinde ciddi hasarlara yol açabilen doğal afetler arasında yer alır. Bir deprem sonrası dağıtım şebekesinin hazırlanması, hasar gören şebekelerin hızlı bir şekilde onarılması ve yeniden yapılandırılmasını kapsayan kritik bir süreçtir. Bu süreç, enerji sisteminin toparlanması ve normal çalışmasına dönmesi için yaşamsal önem taşır. Deprem sonrası şebeke hazırlığı, etkilenen bölgelerde yaşayan insanların hayatlarını kurtarabilecek bir faktördür. Elektrik kesintileri, sağlık hizmetleri, iletişim, su temini ve gıda dağıtımını gibi temel hizmetlerde aksamalara neden olabilir. Ayrıca itfaiye, arama-kurtarma ekipleri gibi acil müdahale hizmetlerinin çalışmalarını da sekteye uğratabilir. Özellikle 6 Şubat 2023'te Türkiye'nin Kahramanmaraş ilinde meydana gelen iki büyük deprem, dağıtım şebekelerinin böyle durumlara yeterince hazırlıklı olmadığını ortaya koymuştur.

Bu çalışmada, dağıtım şebekelerinin deprem sonrası senaryolara hazırlıklı hale getirilmesi amacıyla özgün bir analitik model önerilmektedir. Şekil 1'de genel hatları sunulan bu model, şebekenin zayıf noktalarının belirlenmesi, enerji depolama sistemlerinin ve dağıtım üretim (DG) birimlerinin uygun yerlere entegre edilmesi, kısa devre akımlarının sınırlandırılması ve dağıtım şebekesinin mikroşebeke (microgrid) modunda çalıştırılmasına yönelik hazırlıkların yapılmasını içermektedir. Model, "kırılma indeksi" ve "kısa devre arıza indeksi" gibi ölçütler kullanılarak, şebeke üzerinde kritik analizler yapmayı amaçlamaktadır. Nihai hedef, deprem sonrası dönemde hayati hizmetlerin sürekliliğini sağlayarak enerji sistemine yönelik olumsuz etkileri en aza indirmektir.

Önerilen Yöntem:

- Dağıtım Şebekesinin Deprem Sonrası Hazırlığı İçin Analitik Model
- Mevcut Dağıtım Sisteminin Modellenmesi
- Dağıtım şebekesinin mevcut durumu dijital ortamda modellenir [23].
- Yük Akışı ve Kısa Devre Analizi
- Şebekedeki enerji akışı ve kısa devre arızaları detaylı şekilde analiz edilir.
- Kırılma İndeksinin Belirlenmesi
- Sistemin hangi noktalarının depremde en savunmasız olduğu belirlenir.
- Enerji Depolama Sistemleri ve Dağıtım Üretim Birimlerinin (DG) Entegrasyonu
- Şebekenin dayanıklılığını artırmak için enerji depolama üniteleri ve DG entegre edilir.
- Arıza İndeksinin Tespiti
- Entegrasyon sonrası şebekede hangi noktalarda arıza riski oluşabileceği değerlendirilir.
- Seri Reaktörlerin Entegrasyonu

- Kısa devre akımlarını sınırlamak ve şebeke güvenliğini artırmak için uygun baralara seri reaktörler eklenir.
- İşletim Durumunun Mikroşebeke Olarak İncelenmesi
- Şebekenin bağımsız (mikroşebeke) moda çalışma kapasitesi değerlendirilir.
- İşletme Sonrası Yük Akışı Analizi
- Yapılan tüm entegrasyonlardan sonra şebekenin yük akışı analiz edilir.
- Modernize Edilmiş Dağıtım Sistemi
- Sonuç olarak, deprem sonrası senaryolara karşı dayanıklı ve modern bir dağıtım sistemi elde edilir.

#### 4. Uygulama

Bu çalışmanın temel amacı, enerji üretim ve dağıtımında daha sürdürülebilir bir yapı oluşturmak, mevcut dağıtım şebekelerini modernize ederek çeşitlendirmek ve özellikle deprem gibi doğal afetlerde elektrik kesintilerini önlemektir. Böylece acil durumlarda hayati hizmetlerin kesintisiz sağlanması ve toplumların sürekli enerji ihtiyaçlarının karşılanması hedeflenmektedir. Kısacası, şebeke yönetiminin daha verimli hâle getirilmesiyle enerji arz güvenliği sağlanarak dayanıklı bir dağıtım sistemi oluşturulması amaçlanmaktadır.

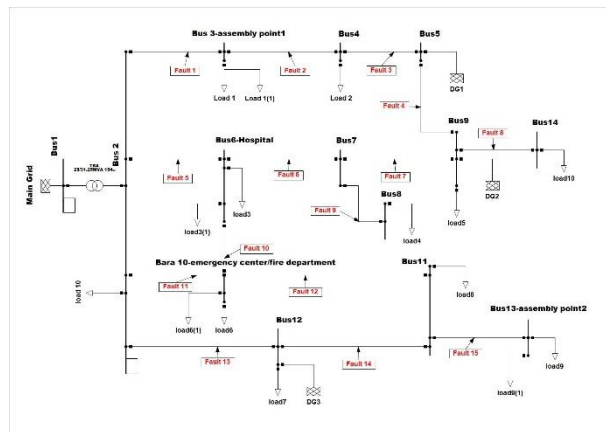
Bu amaçla, örnek bir dağıtım sistemi bu çalışmada DigSilent yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Çalışmada kullanılan sistem, 14 bara (bus) ve 15 dağıtım hattından oluşan bir güç sistemi bölgesidir. Bu sistem, ana şebekeye Bara 1 üzerinden bağlıdır ve sistemde üç adet dağıtık üretim (DG) birimi yer almaktadır. Modelleme sürecinin ilk aşamasında, sistem mevcut durumu ile analiz edilmiştir. Ana şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç belirlenmiş ve sistemin yük akışı analiz edilmiştir.

Dağıtım sistemi, yer altı kabloları üzerinden modellenmiştir. Bunun nedeni, yer altı hatlarının deprem sırasında havai hatlara göre daha az hasar görmesi ve daha güvenli enerji iletimi sağlayabilmesidir. Özellikle hastane, acil durum merkezi (itfaiye) ve toplanma noktaları gibi kritik yüklerin enerji sürekliliğinin sağlanması, bu modelde öncelikli hedefler arasında yer almaktadır. Sisteme entegre edilen güç trafosu, ana şebeke ile dağıtım sisteminin entegrasyonunu sağlamaktadır.

Başlangıç yük akışı analizinin sonuçlarına göre, sistemin toplam talebi ana şebekeden sağlanan güç miktarını aşmakta, bu da özellikle afet durumlarında şebekenin tamamen güçsüz kalmasına yol açabilecek ciddi bir riski göstermektedir. Bu noktada sistemin modernizasyonu için atılması gereken adımlar, şebekenin kırılgan noktalarının tespiti, kritik arıza akımlarının belirlenmesi ve bara bazlı gerilim ile yük analizlerinin yapılmasıdır.

Çalışmada önerilen yöntemin ikinci aşaması olarak, ilgili dağıtım şebekesinin kırılganlık (fragility) noktaları tespit edilmiştir. Bu amaçla, araştırmada sunulan kırılganlık endeksi (Fragility Index) hesaplama yöntemi geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bu endeks, dağıtım sisteminin hangi noktalarının depreme karşı en savunmasız olduğunu belirleyerek, güçlendirme önlemlerinin hangi bölgelere odaklanması gerektiğine karar verilmesine yardımcı olmaktadır.

Bu analizler ve hesaplamalar, dağıtım şebekesinin afetlere karşı dayanıklılığını artırmak ve enerji kesintilerini en aza indirmek için hayati bilgiler sağlamaktadır. Böylece yalnızca mevcut yükler karşılanmakla kalmayacak, aynı zamanda sistemin esnekliği artırılarak acil durumlarda mikroşebeke olarak çalışabilme kapasitesi de desteklenecektir. İlerleyen aşamalarda yapılan entegrasyonlar, şebekenin genel sağlamlığı ve sürdürülebilirliği açısından kritik bir rol oynayacaktır.



Şekil 1. Mevcut Dağıtım sistemi

Önerilen analitik modelin bir örnek dağıtım sistemine uygulanması özetlenmektedir. Çalışmanın temel amacı, enerji üretim ve dağıtım altyapısını daha sürdürülebilir hâle getirmek, deprem gibi doğal afetler sırasında meydana gelebilecek elektrik kesintilerini önlemek ve şebeke yönetimini daha verimli bir yapıya kavuşturmaktır.

Çalışmada 14 baralı bir dağıtım sistemi modellenmiş ve sistemin mevcut durumu ilk olarak yük akışı ve kısa devre analizleriyle incelenmiştir. Sistemin zayıf noktaları, önerilen Kırılma Endeksi (1)

$$FraID_p = w_1|1 - V_{d,p}| + pr_p \quad (1)$$

kullanılarak belirlenmiş; en yüksek kırılma değerlerine sahip bölgelerde enerji depolama üniteleri ve dağıtık üretim (DG) tesisleri eklenmiştir. Burada ek kapasite ihtiyacı (2),

$$ADDC = TDL - CPC - Ptloss \quad (2)$$

eşitliğiyle hesaplanmıştır. Sistem mikroşebeke modunda çalışabilmesi için yaklaşık 49 MW ek üretim gücü ve 3.52 MW enerji depolama kapasitesi entegre edilmiştir.

Bu entegrasyon sonrası sistemdeki kısa devre arıza akımlarını sınırlamak için Arıza Akımı Endeksi hesaplanmıştır (3)

$$Frall_p = w_2S_p + w_3V_p \quad (3)$$

ve belirlenen kritik noktalara seri reaktörler yerleştirilmiştir. Bu müdahaleler, şebeke bileşenlerini aşırı arıza akımlarına karşı koruyarak güvenilirliği artırmıştır. Son aşamada, şebeke mikroşebeke moduna geçirilmiş ve yapılan yük akışı analizleri, ana şebekeden gelen güç sıfıra düşürülerek sistemin kendi kendine yetebildiğini göstermiştir. Ayrıca, sistem kayıplarında ve gerilim profillerinde önemli iyileşmeler kaydedilmiştir. Böylece, önerilen yöntemle bir dağıtım şebekesinin depremler gibi afetlere karşı nasıl güçlendirilebileceği sistematik biçimde ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada geliştirilen model, 14 baralı bir dağıtım sistemine uygulanmış ve deprem sonrası enerji sürekliliğini sağlama potansiyeli sayısal olarak test edilmiştir. Sistem, toplam 75,5 MW / 7,18 MVAR yük talebine karşılık, ana şebekeden 46,3 MW / 6 MVAR güç alırken mikroşebeke moduna geçiş için ek 48 MW DG ve 3,5 MW enerji depolama kapasitesi gerektiği hesaplanmıştır.

Kırılma endeksi en yüksek olan noktalar 0,55 (Fault Points 2, 6, 15) ve arıza akımı endeksi en kritik noktalar 12,75 (Fault Point 1), 10,34 (Fault Point 5) olarak belirlenmiştir. Seri reaktör entegrasyonu sonrası kısa devre akımları %62–64 oranında azaltılarak Fault Point 1’de örneğin 7,5 kA → 2,7 kA düşüş sağlanmıştır. Mikroşebeke modunda güç kaybı %27 azaltılarak 1,92 MW’dan 1,93 MW’a çekilmiş ve sistem ana şebekeden bağımsız çalışabilir hâle getirilmiştir.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, dağıtım şebekelerinin depremler gibi doğal afetler sonrasında daha dayanıklı ve sürdürülebilir bir şekilde çalışabilmesi için geliştirilen özgün bir analitik model sunulmuştur. Önerilen yöntem, 14 baralı bir örnek dağıtım sistemi üzerinde detaylı olarak test edilmiş ve sayısal sonuçlarla desteklenmiştir. Yapılan analizlerde, sistemin toplam yük talebinin 75,5 MW / 7,18 MVAR olduğu, ancak ana şebekeden gelen gücün sadece 46,3 MW / 6 MVAR ile sınırlı kaldığı tespit edilmiştir. Bu durum, deprem sonrası ana şebeke bağlantısının kesilmesi hâlinde sistemin ciddi bir enerji açığıyla karşı karşıya kalacağını ortaya koymuştur.

Kırılma ve arıza akımı endekslerinin hesaplanması ile en savunmasız noktalar belirlenmiş ve bu noktalara toplamda 48 MW dağıtık üretim (DG) gücü ile 3,5 MW enerji depolama kapasitesi entegre edilmiştir. Ayrıca, kritik arıza noktalarına eklenen seri reaktörler sayesinde kısa devre akımları önemli ölçüde azaltılmış; örneğin, Fault Point 1’de kısa devre akımı 7,5 kA’dan 2,7 kA’ye düşürülmüştür. Mikroşebeke moduna geçiş sonrasında yapılan analizler, sistemin ana şebekeden bağımsız şekilde çalışabildiğini ve aktif güç kayıplarının %27 oranında azaltıldığını göstermiştir.

Elde edilen sonuçlar, önerilen analitik modelin sadece afet sonrası enerji arz güvenliğini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda sistemin genel verimliliğini ve esnekliğini de iyileştirdiğini ortaya koymaktadır. Bu yaklaşım, dağıtım şebekelerinin modernizasyonu ve afetlere karşı dayanıklılığının artırılması açısından enerji sektörü ve ilgili kurumlar için değerli bir yol haritası sunmaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalar, bu modelin farklı senaryolar ve daha büyük ölçekli şebekeler üzerinde uygulanması ile modelin genellenebilirliğini ve etkinliğini daha da ortaya koyabilir.

## Referanslar

1. Şimşek, M., Özarpacı, S., & Doğan, U. (2019). Yer Kabuğu Hareketlerinin Belirlenmesinde Web Tabanlı Çevrimiçi GNSS Servislerinin Performans Analizi. *Geomatik*, 4(2), 147-159.
2. Farahani, S., Tahershamsi, A., & Behnam, B. (2020). Earthquake and post-earthquake vulnerability assessment of urban gas pipelines network. *Natural Hazards*, 101, 327-347.
3. Shibata, Y., Uchida, N., & Shiratori, N. (2014). Analysis of and proposal for a disaster information network from experience of the Great East Japan Earthquake. *IEEE Communications Magazine*, 52(3), 44-50.
4. Nazemi, M., Moeini-Aghtaie, M., Fotuhi-Firuzabad, M., & Dehghanian, P. (2019). Energy storage planning for enhanced resilience of power distribution networks against earthquakes. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 11(2), 795-806.
5. Rajabzadeh, M., & Kalantar, M. (2022). Improving the resilience of distribution network in coming across seismic damage using mobile battery energy storage system. *Journal of Energy Storage*, 52, 104891.
6. Dugan, J., Mohagheghi, S., & Kroposki, B. (2021). Application of mobile energy storage for enhancing power grid resilience: A review. *Energies*, 14(20), 6476.
7. Huang, W., Zhang, X., Li, K., Zhang, N., Strbac, G., & Kang, C. (2021). Resilience oriented planning of urban multi-energy systems with generalized energy storage sources. *IEEE Transactions on Power Systems*, 37(4), 2906-2918.
8. Galvan, E., Mandal, P., & Sang, Y. (2020). Networked microgrids with roof-top solar PV and battery energy storage to improve distribution grids resilience to natural disasters. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 123, 106239.
9. Kwasinski, A., Krishnamurthy, V., Song, J., & Sharma, R. (2012). Availability evaluation of micro-grids for resistant power supply during natural disasters. *IEEE Transactions on Smart grid*, 3(4), 2007-2018.
10. Cordova, F. M., & Yanine, F. F. (2013). Homeostatic control of sustainable energy grid applied to natural disasters. *International Journal of Computers Communications & Control*, 8(1), 50-60.
11. Palizban, O., & Kauhaniemi, K. (2016). Energy storage systems in modern grids—Matrix of technologies and applications. *Journal of Energy Storage*, 6, 248-259.
12. Hafiz, F., Chen, B., Chen, C., Rodrigo de Queiroz, A., & Husain, I. (2019). Utilising demand response for distribution service restoration to achieve grid resiliency against natural disasters. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 13(14), 2942-2950.
13. Wieland, M. (2012). Seismic design and performance criteria for large storage dams. 15th World Conference on Earthquake Engineering.
14. Lee, S., Jeon, B., & Jung, W. (2023). Seismic performance evaluation and analysis of vertical hydrogen storage vessels based on shaking table testing. *Applied Sciences*.
15. Nguyen, D. D., Thusa, B., Han, T. S., & Lee, T. H. (2020). Identifying significant earthquake intensity measures for evaluating seismic damage and fragility of nuclear power plant structures. *Nuclear Engineering and Design*.
16. Bakalis, K., & Kazantzi, A. K. (2019). Seismic performance evaluation of liquid storage tanks using nonlinear static procedures. *ASME Journal of Pressure Vessel Technology*.
17. Farajian, M., Saeed, N., & Kang, W. H. (2022). Seismic vulnerability assessment of base isolated liquid storage tanks under near-fault ground motions. *Structures*.
18. Ezzeldin, M., Tait, M., & El-Dakhkhni, W. (2020). Performance of battery rack auxiliary power systems under FEMA 461 quasi-static seismic loading protocol. *Structures*.
19. Nazemi, M., & Moeini-Aghtaie, M. (2019). Energy storage planning for enhanced resilience of power distribution networks against earthquakes. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*.
20. Rajabzadeh, M., & Kalantar, M. (2022). Improving the resilience of distribution network in coming across seismic damage using mobile battery energy storage system. *Journal of Energy Storage*.
21. Fabbrocino, G., Iervolino, I., Orlando, F., & Salzano, E. (2005). Quantitative risk analysis of oil storage facilities in seismic areas. *Journal of Hazardous Materials*.
22. Lifshitz Sherzer, G., Urlainis, A., Moyal, S., & Shohet, I. M. (2024). Seismic resilience in critical infrastructures: A power station preparedness case study. *Applied Sciences*.
23. Akdag, O. (2024). Strengthening distribution systems after earthquakes with a new analytical model. *Electric Power Systems Research*, 232, 110337.

**Summary**  
**STRENGTHENING NETWORKS AGAINST NATURAL DISASTERS SUCH AS EARTHQUAKES WITH A NEW ANALYTICAL MODEL**

*Akdag O.*

In this study, a new analytical model was developed to increase the resilience of distribution networks after major earthquakes in Turkey. In this model, the distribution network was analyzed and the fragility index of the busbar points was determined, and the integration of distributed generation and energy storage was ensured. In addition, the sustainability of energy supply is ensured by limiting short-circuit fault currents.

**Keywords:** Earthquake, Distribution Networks, Vulnerability Index, Fault Current Index, Distributed Generation, Energy Storage

**Резюме**  
**УКРЕПЛЕНИЕ СЕТЕЙ ЗАЩИТЫ ОТ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ, ТАКИХ КАК ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ, С ПОМОЩЬЮ НОВОЙ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

*Акдаг О.*

В этом исследовании была разработана новая аналитическая модель для повышения устойчивости распределительных сетей после крупных землетрясений в Турции. В рамках этой модели была проанализирована распределительная сеть и определен индекс хрупкости точек подключения шин, а также обеспечена интеграция распределенной генерации и накопления энергии. Кроме того, устойчивость энергоснабжения обеспечивается за счет ограничения токов короткого замыкания.

**Ключевые слова:** Землетрясение, Распределительные сети, Индекс уязвимости, Индекс тока короткого замыкания, Распределенная генерация, Накопление энергии

**AZƏRBAYCANDA DAYANIQLI NƏQLİYYAT YANAŞMASI: MÜHAFİZƏ VƏ TƏHLÜKƏSİZLİYİN UĞURLU BİRLİYİ**

**Qurbanov Əli Xanlar**

*Mingəçevir Dövlət Universiteti, Mingəçevir, Azərbaycan*

[ali.qurbanov@mdu.edu.az](mailto:ali.qurbanov@mdu.edu.az)

**Xülasə** Nəqliyyat sektoru müasir dövrdə iqtisadi, sosial və ekoloji baxımdan strateji əhəmiyyət daşıyır. Məqalədə bu sahənin ətraf mühitə və işçi təhlükəsizliyinə təsiri təhlil edilir. Avtomobil nəqliyyatının istixana qazı emissiyaları, səs-küy və hava çirkliliyi kimi problemləri vurğulanır. Eyni zamanda sürücülər və digər nəqliyyat işçiləri üçün əməyin təhlükəsizliyi məsələləri araşdırılır. Azərbaycanda “yaşıl nəqliyyat” təşəbbüsləri, elektrik avtobusları, alternativ nəqliyyat növləri və işçi mühafizəsi istiqamətində görülən tədbirlər qeyd olunur. Məqalə ekoloji davamlılıq və sosial rifahın nəqliyyat sektorunda necə uzlaşdırıla biləcəyini nümayiş etdirir.

**Açar sözlər:** Nəqliyyat sektoru, Ətraf mühitin mühafizəsi, Ekoloji risklər, Əməyin təhlükəsizliyi, Yaşıl nəqliyyat

### **Giriş**

Nəqliyyat sistemi müasir cəmiyyətlərin inkişafında mühüm rol oynayır. O, yalnız insanların və yüklərin daşınması ilə məhdudlaşmır, həm də iqtisadiyyatın bütün sahələrinə təsir edən strateji bir infrastruktur sektorudur. Eyni zamanda, nəqliyyat fəaliyyəti ətraf mühitə ciddi təsir göstərən əsas sahələrdən biri olmaqla yanaşı, bu sahədə çalışan insanların sağlamlığı və əməyin təhlükəsizliyi baxımından da yüksək risk daşıyır.

XXI əsrdə nəqliyyat sektorunun ekoloji və sosial məsuliyyətləri qlobal miqyasda diqqət mərkəzindədir. Artan urbanizasiya, avtomobil parkının genişlənməsi, havanın çirklənməsi və istixana qazlarının emissiyası ekoloji böhranı daha da dərinləşdirir. Digər tərəfdən, nəqliyyat sektorunda çalışan sürücülər, texniki işçilər və digər personal üçün təhlükəsizlik riskləri – yol qəzaları, texniki nasazlıqlar, uzun iş saatları – sosial rifah baxımından əhəmiyyətlidir.

Nəqliyyat sektoru qlobal istixana qazı emissiyalarının təxminən 24%-ni təşkil edir və bu göstərici getdikcə artır [5]. Avtomobil nəqliyyatı havanın çirklənməsinə ən çox təsir göstərən nəqliyyat növüdür. Karbon monoksid (CO), azot oksidləri (NOx), uçucu üzvi birləşmələr (VOC) və toz hissəcikləri şəhər mühitində sağlamlıq üçün təhlükəli vəziyyət yaradır. Bu, təkcə ekologiyamı deyil, həm də insanların həyat keyfiyyətini azaldır.

Azərbaycan şəhərlərində – xüsusilə Bakı və ətrafında – nəqliyyatın yaratdığı hava çirkliliyi əsas ekoloji problemlərdən biridir. 2020-ci il üçün ETSN-nin təqdim etdiyi ekoloji monitorinq hesabatına görə, şəhər daxilində müşahidə olunan toz və NO<sub>2</sub> səviyyələri qəbul olunmuş normanı bəzən 1,5–2 dəfə keçmişdir [4]. Bunun əsas səbəblərindən biri avtomobillərin texniki nasazlığı və yanacaqın keyfiyyətsizliyidir.

Bundan başqa, nəqliyyat sisteminin genişlənməsi torpaq sahələrinin betonlaşmasına, yaşıl zonaların azalmasına, flora və faunanın təbii mühitindən uzaqlaşdırılmasına səbəb olur. Bu xüsusilə magistral yolların

və avtomobil dayanacaqlarının planlaşdırılmasında ekoloji faktorların nəzərə alınmadığı hallarda özünü göstərir.

Səs-küy çirkliliyi də nəqliyyatın ətraf mühitə təsirlərindən biridir. Davamlı səs-küy ətraf ərazilərdə yaşayan insanlar üçün psixoloji və fizioloji stress yaradır. Dünya Səhiyyə Təşkilatının məlumatlarına görə, şəhər səs-küyünün 60 dB səviyyəsindən artıq olması sağlamlığa mənfi təsir göstərir [10].

Nəqliyyatın ətraf mühitə təsirinin azaldılması məqsədilə “yaşıl nəqliyyat” konsepsiyası dünya miqyasında sürətlə yayılmaqdadır. Bu konsepsiyaya əsasən, elektromobillərin, velosiped yollarının, ictimai nəqliyyatın genişləndirilməsi və nəqliyyatda bərpa olunan enerji mənbələrinin tətbiqi prioritet sahələr sayılır. Azərbaycan bu istiqamətdə ilk addımlarını artıq atıb. 2022-ci ildə Bakı şəhərində elektrik avtobuslarının tətbiqinə başlanılması bu prosesin göstəricisidir [8].

Əlavə olaraq, dəmir yolu və dəniz nəqliyyatı karbon emissiyasına görə daha az ziyanverici olduğu üçün onların inkişaf etdirilməsi ekoloji cəhətdən daha səmərəli hesab olunur. Buna görə də Azərbaycan hökumətinin Bakı-Tbilisi-Qars dəmir yolu layihəsinə verdiyi önəm həm iqtisadi, həm də ekoloji baxımdan strateji qərar kimi qiymətləndirilir [2].

Nəqliyyat sahəsi iş şəraiti baxımından yüksək risk daşıyan sektorlardan biridir. Bu sahədə fəaliyyət göstərən işçilər — sürücülər, mühəndislər, texniki xidmət personalı, dənizçilər və pilotlar — daim fiziki və psixoloji yüklənməyə məruz qalır. Əməyin təhlükəsizliyinin təmin edilməsi isə nəinki işçilərin rifahı, həm də sərnişin və yüklərin təhlükəsizliyi baxımından əsas şərtlərdən biridir.

Əməyin təhlükəsizliyi üzrə dünya təcrübəsi göstərir ki, nəqliyyatda baş verən hadisələrin böyük əksəriyyəti insan faktoru ilə əlaqədardır. Beynəlxalq Əmək Təşkilatının (ILO) məlumatına görə, nəqliyyat sektorunda hər il milyonlarla işçi təhlükəli şəraitdə çalışır və yüz minlərlə insan istehsalat qəzasına məruz qalır [6]. Bu halların əsas səbəbləri texniki nasazlıqlar, işçilərin normadan artıq işlədilməsi, qoruyucu vasitələrin çatışmazlığı və təhlükəsizlik protokollarına əməl edilməməsidir.

Avtomobil sürücüləri üçün yuxusuzluq, diqqətin yayınması, sürət həddinin aşılması kimi amillər qəzalara səbəb olur. Dəmir yolu və dəniz nəqliyyatında isə texniki nasazlıqlar və rabitə problemləri tez-tez qəzaların səbəbi olur. Bəzi hallarda nəqliyyat vasitələrinin düzgün istismar edilməməsi işçilər üçün əlavə təhlükə yaradır.

Azərbaycan qanunvericiliyində əməyin mühafizəsi və təhlükəsizlik məsələləri “Əməyin mühafizəsi haqqında” Qanunla tənzimlənir. Bu qanuna əsasən, nəqliyyat sahəsində çalışanların iş şəraiti təhlükəsizlik texnikasına tam uyğunlaşdırılmalıdır. Lakin reallıqda bəzi təşkilatlarda təhlükəsizlik tədbirləri ya kağız üzərində qalır, ya da formal olaraq həyata keçirilir. Bununla yanaşı, texniki təlimatların verilməməsi, daimi yoxlamaların aparılmaması işçilərin risklə üzləşməsinə səbəb olur.

Nəqliyyat sektorunda əməyin təhlükəsizliyi təkcə texniki məsələ deyil, həm də etik və sosial məsuliyyət məsələsidir. Bu sahədə risklərin azaldılması üçün hüquqi çərçivənin icrası ilə yanaşı, işçi maarifləndirilməsi, psixoloji dəstək və mütəmadi monitorinq zəruridir.

Azərbaycan nəqliyyat sektorunda həm ətraf mühitin qorunması, həm də işçi təhlükəsizliyi sahəsində son illərdə əhəmiyyətli addımlar atılmışdır. Bu yanaşma “dayanıqlı inkişaf” prinsiplərinə əsaslanaraq sosial, iqtisadi və ekoloji məqsədlərin uzlaşdırılmasına xidmət edir.

Ətraf mühitin mühafizəsi sahəsində qəbul olunmuş “Azərbaycan 2030: sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər” sənədində nəqliyyat sektorunun yaşıl texnologiyalara keçidi xüsusi yer tutur. Bakı şəhərində elektrik avtobuslarının tətbiqi, ictimai nəqliyyatda CNG (compressed natural gas) texnologiyasına keçid, velosiped yollarının salınması kimi tədbirlər ekoloji təsirin azaldılmasına yönəlmişdir [2].

Bundan əlavə, Ələt Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı layihəsi ekoloji standartlara uyğun olaraq inşa edilmiş və “yaşıl liman” statusu almağa namizəd olmuşdur. Bu liman Xəzər hövzəsində dayanıqlı logistik infrastrukturun nümunəsi sayılır [9].

İşçi təhlükəsizliyi sahəsində də müsbət təcrübələr mövcuddur. Son illərdə dövlət qurumları və özəl nəqliyyat şirkətləri tərəfindən təhlükəsizlik təlimləri və texniki müayinələr üzrə mütəmadi proqramlar həyata keçirilir. “Azərbaycan Dəmir Yolları” QSC-də və “Bakı Metropoliteni” QSC-də əmək təhlükəsizliyi üzrə xüsusi komissiyalar fəaliyyət göstərir və istehsalat qəzası risklərinin azaldılmasına yönəlmiş tədbirlər görülür [3].

Həmçinin, Azərbaycanda beynəlxalq standartlara (ISO 45001) uyğun əməyin mühafizəsi menecment sistemlərinin tətbiqi genişlənməkdədir. Bu sistemlər nəinki riskləri azaldır, həm də işçilərin motivasiyasını və məsuliyyət hissini artırır [7].

Aparılmış təhlillər göstərir ki, nəqliyyat sektoru yalnız iqtisadi deyil, həm də sosial və ekoloji baxımdan strateji əhəmiyyətə malikdir. Bu sahədə ətraf mühitin mühafizəsi və əməyin təhlükəsizliyi bir-birini tamamlayan və qarşılıqlı şəkildə təsir edən istiqamətlərdir.

Azərbaycan bu sahədə bir sıra irəliləyişlərə nail olsa da, bəzi çatışmazlıqlar hələ də qalmaqdadır. Nəqliyyat vasitələrinin ekoloji tələblərə uyğunlaşdırılması, işçilərin təhlükəsizlik standartlarına dair təlimlərinin mütəmadi keçirilməsi, monitoring sistemlərinin gücləndirilməsi və hüquqi nəzarətin sərtləşdirilməsi prioritet məsələlərdəndir.

Mövcud çağırışlar fonunda təklif olunur:

- “Yaşıl nəqliyyat” konsepsiyasının ölkə üzrə genişləndirilməsi;
- Nəqliyyat işçiləri üçün psixoloji və texniki dəstək mərkəzlərinin yaradılması;
- Ekoloji monitoring sistemlərinin şəhərlərdə və magistral yollar ətrafında genişləndirilməsi;
- Əməyin təhlükəsizliyi üzrə beynəlxalq standartların tətbiqinin stimullaşdırılması.

Yekun olaraq demək olar ki, ətraf mühitin mühafizəsi və işçilərin təhlükəsizliyi nəqliyyat sektorunun gələcəyi üçün ayrılmaz iki əsas sütundur. Bu iki istiqamətin balanslı inkişafı həm insan rifahının, həm də ekosistemin qorunmasının qarantıdır.

## Ədəbiyyat

1. Azərbaycan Respublikası Əmək Məcəlləsi və “Əməyin mühafizəsi haqqında” Qanun. (Son dəyişikliklərlə). <https://e-qanun.az>
2. Azərbaycan Respublikası Prezidentinin Administrasiyası. (2021). Azərbaycan 2030: Sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər. Bakı. <https://president.az>
3. Azərbaycan Dəmir Yolları QSC. (2022). Əmək təhlükəsizliyi üzrə hesabat. Bakı. <https://ady.az>
4. Ekologiya və Təbii Sərvətlər Nazirliyi. (2020). Ekoloji monitoring üzrə illik hesabat. Bakı. <https://eco.gov.az>
5. International Energy Agency (IEA). (2022). Transport sector CO<sub>2</sub> emissions. <https://www.iea.org>
6. International Labour Organization (ILO). (2021). World Employment and Social Outlook: Trends 2021. Geneva. <https://www.ilo.org>
7. ISO. (2018). ISO 45001: Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization.
8. Nəqliyyat, Rabitə və Yüksək Texnologiyalar Nazirliyi. (2022). Elektrik avtobuslarının tətbiqi ilə bağlı açıqlama. Bakı. <https://mincom.gov.az>
9. President.az. (2020). Ələt Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı ekoloji standartlara cavab verir. <https://president.az>
10. World Health Organization (WHO). (2018). Environmental noise guidelines for the European Region. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. <https://www.euro.who.int>

### Summary

#### SUSTAINABLE TRANSPORT APPROACH IN AZERBAIJAN: A SUCCESSFUL COMBINATION OF SAFETY AND SECURITY Gurbanov A.Kh.

The transport sector plays a strategic role in economic, social, and environmental development. This article analyzes the environmental impact and occupational safety challenges within the sector. Key issues such as greenhouse gas emissions, noise, and air pollution from road transport are highlighted. It also examines risks faced by drivers and other transport workers regarding occupational safety. The paper discusses Azerbaijan's initiatives in green transportation, including electric buses, alternative transport systems, and labor protection measures. It demonstrates how ecological sustainability and social welfare can be balanced in the transport industry.

**Key words:** Transport sector, Environmental protection, Ecological risks, Occupational safety, Green transport

### Резюме

#### УСТОЙЧИВЫЙ ПОДХОД К ТРАНСПОРТУ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ: УСПЕШНОЕ СОЧЕТАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ЗАЩИТЫ Гурбанов А.Х.

Транспортный сектор играет стратегическую роль в экономическом, социальном и экологическом развитии. В статье анализируются экологическое воздействие и проблемы охраны труда в этой сфере. Освещаются такие ключевые проблемы, как выбросы парниковых газов, шум и загрязнение воздуха от автомобильного транспорта. Также рассматриваются риски для водителей и других работников транспорта с точки зрения безопасности труда. Обсуждаются инициативы Азербайджана в области «зеленого транспорта», включая электробусы, альтернативные виды транспорта и меры по охране труда. Статья демонстрирует, как можно сбалансировать экологическую устойчивость и социальное благополучие в транспортной отрасли.

**Ключевые слова:** Транспортный сектор, Охрана окружающей среды, Экологические риски, Безопасность труда, Зелёный транспорт

# PLASTİK KİRLİLİĞİ: KÜRESEL BİR TEHDİT VE SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇÖZÜM YOLLARI

**Belli Emirhan**

*Azerbaycan Teknik Üniversitesi, Bakü, Azerbaycan*  
[emirhanbelli22@gmail.com](mailto:emirhanbelli22@gmail.com)

**Özet:** Plastik, icadı 20. yüzyıl başlarına dayanan ve endüstride yaygın olarak kullanılan sentetik bir malzemedir. Ancak kullanımının yaygınlaşması, atık yönetimi konusunda ciddi sorunları beraberinde getirmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sürdürülebilirlik, plastik kirliliği, mikroplastikler, geri dönüşüm, su kaynakları

Plastik atıkların parçalanmasıyla oluşan mikroplastikler, su kaynaklarıyla besin zincirine girmekte ve insan sağlığı üzerinde de potansiyel tehdit oluşturmaktadır [2].

Yapılan çalışmada plastik atıkların çevre üzerindeki etkilerini, mikroplastiklerin canlı sağlığına yönelik risklerini ve bu sorunla başa çıkmak için sürdürülebilir çözüm yollarını ele almaktadır. Literatürden elde edilen bulgularla desteklenen çalışmada, bireysel ve toplumsal farkındalığın artırılmasının önemine dikkat çekilmektedir.

## **Sonuç**

Plastik kirliliği, hem çevre hem de insan sağlığı üzerinde uzun vadeli etkiler yaratmaktadır. Plastiklerin doğada çözümleri yüzlerce yıl sürmekte, bu süreçte hem karasal hem de denizel ekosistemlerde kalıcı zararlara yol açmaktadır. Günümüzde yılda yaklaşık 300 milyon ton plastik üretilmekte ve bunun büyük bir kısmı doğaya karışmaktadır. Plastiklerin doğada çözümleri yüzlerce yıl sürmekte, bu süreçte hem karasal hem de denizel ekosistemlerde kalıcı zararlara yol açmaktadır. UNEP (2021) verilerine göre, her yıl yaklaşık 11 milyon ton plastik denizlere karışmaktadır. Bu atıklar deniz canlılarının yaşamını tehdit ederken, aynı zamanda okyanusların doğal işleyişini de bozmaktadır. Özellikle deniz kaplumbağaları, kuşlar ve balıklar plastikleri yiyecek zannederek tüketmekte ve bu durum ölümle sonuçlanabilmektedir [1].

Bu sorunun üstesinden gelmek için çok boyutlu politikalar, sürdürülebilir üretim ve tüketim alışkanlıkları, etkin atık yönetimi ve kamuoyu bilinci büyük önem taşımaktadır. Küresel ölçekte atılacak adımlar, plastik kirliliğini kontrol altına almak ve gezegenimizin geleceğini korumak için kritik öneme sahiptir.

Plastik atıkların parçalanmasıyla oluşan mikroplastikler, su kaynakları aracılığıyla besin zincirine girmekte ve insan sağlığı üzerinde de potansiyel tehdit oluşturmaktadır. Cox et al. (2019) tarafından yapılan bir araştırma, bir bireyin yılda ortalama 50.000 mikroplastik parçacığı tükettiğini ortaya koymuştur [2].

Geri dönüşüm, plastik kirliliğiyle mücadelede etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Ancak dünya genelinde üretilen plastiklerin yalnızca %9'u geri dönüştürülmektedir. Bu düşük oran, atık yönetimi sistemlerinin güçlendirilmesi gerektiğini göstermektedir [1]. Avrupa Birliği, 2021 yılı itibarıyla plastik pipet, çatal, bıçak gibi tek kullanımlık ürünleri yasaklamıştır [3]. Benzer şekilde Türkiye'de de 2022'den itibaren plastik poşetlerin ücretlendirilmesi uygulamasına geçilmiş, bu sayede plastik kullanımında önemli ölçüde azalma sağlanmıştır [4].

Yapılan çalışmada plastik atıkların çevre üzerine etkileri ve canlı sağlığına yönelik sürdürülebilir çözüm yolları önerilmektedir.

## **Kaynakça**

1. Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782.
2. Cox, K. D., Covernton, G. A., Davies, H. L., Dower, J. F., Juanes, F., & Dudas, S. E. (2019). Human consumption of microplastics. *Environmental Science & Technology*, 53(12), 7068-7074.
3. UNEP (United Nations Environment Programme). (2021). *From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution*.
4. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022). *Plastik Poşet Kullanımının Azaltılmasına Yönelik Uygulamalar Raporu*.

## **Summary**

### **PLASTIC POLLUTION: A GLOBAL THREAT AND SUSTAINABLE SOLUTIONS**

**Belli Emirhan**

*Plastic is a synthetic material that dates back to the early 20th century and is widely used in industry. However, the widespread use of waste management has brought serious problems.*

**Keywords:** Sustainability, plastic pollution, microplastics, recycling, water resources

*Резюме*  
**ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПЛАСТИКОМ: ГЛОБАЛЬНАЯ УГРОЗА И УСТОЙЧИВЫЕ РЕШЕНИЯ**  
Белли Эмирхан

Пластик - это синтетический материал, который появился в начале 20-го века и широко используется в промышленности. Однако широкое использование методов утилизации отходов привело к серьезным проблемам.

**Ключевые слова:** Экологичность, загрязнение пластиком, микропластики, вторичная переработка, водные ресурсы

**РАЗВИТИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

**Латипов Сергей Сергеевич**

*ОАО «Азеришыг» Учебно-Инновационный центр, Баку, Азербайджан*

[sergei.latipov@outlook.com](mailto:sergei.latipov@outlook.com)

**Резюме** Развитие распределённой энергетики способствует повышению энергетической безопасности за счёт децентрализации производства энергии, снижения зависимости от централизованных источников и повышения устойчивости энергетических систем. Внедрение возобновляемых источников и локальных энергоустановок позволяет повысить надёжность энергоснабжения и снизить уязвимость инфраструктуры.

**Ключевые слова:** электроэнергетика, децентрализация, зелёная энергетика, силовые структуры

Все критические инфраструктуры связаны между собой тесными связями друг с другом. Однако, есть возможность уменьшить эту зависимость. Возобновляемые источники энергии находят всё более широкое применение в жизни, обеспечивая энергетическую автономность, снижая логистические риски и улучшая экологическую обстановку. Так и развитие распределённой энергетики с использованием ВИЭ в военных структурах может иметь позитивный исход.

Такие технологии значительно увеличат энергетическую независимость военизированных структур, давая преимущество как в обороне, так и в наступлении:

Многие страны устанавливают *солнечные панели на территориях военных объектов* для обеспечения их энергией. Это позволяет снизить зависимость от внешних источников и повысить устойчивость к перебоям в энергоснабжении.

Разработаны *переносные солнечные и ветряные генераторы*, которые могут быть быстро развернуты в полевых условиях, обеспечивая энергией мобильные подразделения и временные лагеря.

Армии внедряют *биотопливо* в качестве *альтернативы* традиционному *дизельному топливу* для снижения зависимости от ископаемых ресурсов и уменьшения экологического следа.

Место	Страна	Установленная Мощность
Форт Ирвин, Калифорния	<i>США</i>	~20 МВт
Военно-воздушная база Неллис, Невада	<i>США</i>	~15 МВт
Гавайи (Schofield Barracks)	<i>США</i>	~50 МВт
База Минобороны в Ларкхилле, Уилтшир	<i>Великобритания</i>	~2 МВт
Бундесвер, Казармы	<i>Германия</i>	Автономное электроснабжение казарм
Военные базы, Тибет и Синьцзян	<i>Китай</i>	~200 МВт
Базы ВВС Индии, Раджастхан и Ладакх	<i>Индия</i>	~150 МВт

По данным Министерства обороны США, к 2024 году 30% военных объектов в США используют солнечную энергетику. Таким образом, База Неллис покрывает 25% энергопотребления базы. Также в рамках НАТО планируют сократить выбросы углерода на 45% к 2030 году, в том числе за счет перехода на ВИЭ.

Азиатский регион тоже не отстаёт. Так, были запущены проекты по обеспечению электроэнергией труднодоступных военных баз в Тибете и Синьцзяне до 200 МВт. ВВС Индии же выделяет часть электроэнергии выработанная с СЭС на военные базы в Раджастхане.

С развитием технологий растёт и энергопотребление. Военные структуры и в первую очередь пехотные войска должны иметь доступ в полевых условиях к электроэнергии. Таким образом с 2010

года в армии США разрабатывается Solar Portable Alternative Communication Energy System (SPACES) – переносные солнечные генераторы до 400 Вт, развертываемые в полевых условиях. [1]

Поиск углеродно-нейтрального топлива также не стоит на месте. SAF — это альтернативное авиационное топливо, производимое из отходов и отходов (сейчас это в основном отработанное кулинарное масло). Практикуется смешивание с обычным топливом для реактивных двигателей. В течение всего жизненного цикла SAF производит как минимум на 65% меньше выбросов CO<sub>2</sub>, чем обычное топливо. ВВС Великобритании в ноябре 2022 года успешно провели лётные испытания 100% смеси SAF на одном из танкеров-заправщиков Airbus Defence и Space A330 Voyager. Главнокомандующий ВВС Майк Уигстон поставил цель сделать ВВС Великобритании первыми в мире военно-воздушными силами с нулевым уровнем выбросов углерода к 2040 году. Также в октябре 2022 года совместное предприятие GE Honda Aero Engines, занимающееся разработкой двигателей, заявило, что завершило наземные испытания турбовентиляторного двигателя HF120 для HondaJet, использующего 100% SAF. [2]

Армия США также не отстаёт от трендов и с 2013 проводит показательные испытания биотоплива и гибридных систем в военном транспорте. Так, проект “Green Warrior” пустил конвой, который останавливался в школах, колледжах, населённых пунктах и на военных объектах между штатами для демонстрации и поднятия заинтересованности молодых людей в науке.

В Азербайджане планируется в военных целях производство оборудования для преобразования солнечной энергии. Производство этого оборудования будет налажено на одном из предприятий Министерства оборонной промышленности по технологии турецкой компании ASELSAN. Это портативное оборудование, уместяющееся в солдатском рюкзаке, предназначено для преобразования солнечной энергии в электрическую. С помощью этой системы можно обеспечивать энергией ручные радиостанции, приборы GPS и планшеты.

Имея данные международного опыта, можно сказать что такие методы позволяют:

**Повысить экономическую эффективность:** Согласно данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), в 2022 году около 86% (187 ГВт) всех новых введённых в эксплуатацию мощностей на основе ВИЭ имели более низкие издержки, чем мощности на ископаемом топливе. Это свидетельствует о растущей экономической привлекательности ВИЭ.

**Снизить логистические риски:** Использование ВИЭ на военных объектах уменьшает необходимость в доставке топлива, что снижает риски, связанные с транспортировкой и обеспечивает большую автономность подразделений.

**Повысить экологическую безопасность:** Внедрение ВИЭ способствует снижению выбросов парниковых газов и улучшению экологической обстановки.

В условиях СВО за 2024 год были установлены солнечные электростанции в десяти больницах в Украинской Республике: Дрогобыч (144 кВт), Трускавец (105 кВт), Яготин (50 кВт), Южноукраинск (50 кВт), Хмельницкий (50 кВт) и пять СЭС в городе Кривой Рог (100 кВт, 40 кВт, 30 кВт, 40 кВт, 74 кВт). Помимо этого украинские энергетики восстановили до 4 ГВт мощностей тепловых и гидро электростанций. Также в течении 2024 года украинский бизнес вводил в работу распределённую генерацию, подключив до 835 МВт небольших по мощности установок, по словам премьер-министра **Дениса Шмыгала**. [3]

Такая генерация позволяет удовлетворять потребности промышленности или бизнеса для обеспечения собственных нужд (до 20 МВт установленной мощности), позволяя разгрузить сеть. Также стоит заметить, что в случае применения ограничений, работа не остановится. [4]

Однако это не дало колоссального эффекта. В начале зимы 2024 года импорт электроэнергии на Украину достиг 2,1 ГВт мощности. По решению правительства, к предприятиям, которые обеспечивают 60% своей потребности в энергии за счет импорта, не применяются ограничения электроснабжения. По данным DiXi Group, применяю те же условия, в 2023 году Украина импортировала 4,437 млн МВт-ч электроэнергии. Также стоит заметить, что на объем импорта влияет на ценовые предложения на рынке электроэнергии, учитывая его колебания в странах ЕС. По данным DiXi Group подсчитано, до декабря 2024 года отключения населения продолжались 36% времени. [5]

По словам заместителя начальника Ровенской ОВА Александр Кохан, на Ровенщине больницы, бизнес и школы переходят на автономное обеспечение энергией благодаря 60 электростанциям. Комплексы солнечной, гидро, биогазовых установок мощностью 65 МВт установленные бизнес-предпринимателями позволяют обеспечивать инфраструктуры электроэнергией в периоды ограничений. По словам Александра Кохана, государство поддерживает бизнес, домохозяйства и производство для развития распределённой генерации. К этим программам

относятся: беспроцентные кредиты, программы Гриндим, "5-7-9", Фонда декарбонизации и комплексная программа энергоэффективности на Ровенщине.[6]

Таким образом, развитие распределённой энергетики с использованием возобновляемых источников энергии играет всё более важную роль в обеспечении энергетической безопасности, особенно в условиях военных действий. Мировой и региональный опыт демонстрирует реальную эффективность таких подходов. В условиях нарастающих глобальных вызовов и конфликтов распределённая энергетика становится не только технологическим выбором, но и стратегическим приоритетом, напрямую влияющим на национальную безопасность, устойчивость и независимость. Таким образом можно подытожить влияние развития распределённой энергетики и ВИЭ:

**Повышение автономности** военных объектов и мобильных подразделений

**Снижение логистических и топливных рисков**, особенно в отдалённых или опасных районах

**Устойчивость к отключениям и атакам на инфраструктуру**

**Снижение углеродного следа** и соответствие международным экологическим обязательствам

**Экономическая выгода** в долгосрочной перспективе

**Развитие высокотехнологичного производства и инноваций в оборонной промышленности**

Также важно расширять локальное производство оборудования ВИЭ и компонентов для нужд силовых структур и других критических инфраструктур. Необходимо включать распределённую энергетику в национальные и оборонные стратегические документы для увеличения безопасности и энергоэффективности. Следует усиливать международное сотрудничество с дружественными странами в области обмена технологиями и лучшими практиками и продвигать такого рода идеи на государственном уровне для поддержки: субсидии, налоговые льготы, льготное финансирование проектов ВИЭ и т.д.

## Литература

1. EESI; DoD's Energy Efficiency and Renewable Energy Initiatives July 2011
2. Schofield Barracks Microgrid 2024;  
[https://www.army.mil/article/273205/schofield\\_barracks\\_micro\\_grid\\_aids\\_oahus\\_community\\_amidst\\_power\\_fluctuations](https://www.army.mil/article/273205/schofield_barracks_micro_grid_aids_oahus_community_amidst_power_fluctuations)
3. Энергетическая система Украины на 2024 год; <https://banker.ua/projects/sostoyanie-energeticheskaya-sistema-ukrainy-i-scenarii-na-2025/>
4. Перспектива возобновляемой энергетики во время войны. 2024;  
<https://uwecworkgroup.info/ru/prospect-for-renewable-energy-in-wartime-how-ukraine-plans-to-ensure-energy-independence-using-green-generation/>
5. Russia's relentless air strikes are forcing Ukraine to revolutionize electricity production;  
[https://www.lemonde.fr/en/international/article/2024/07/25/russia-s-relentless-air-strikes-are-forcing-ukraine-to-revolutionize-electricity-production\\_6698499\\_4.html](https://www.lemonde.fr/en/international/article/2024/07/25/russia-s-relentless-air-strikes-are-forcing-ukraine-to-revolutionize-electricity-production_6698499_4.html)
6. Фонд енергоефективності запускає програму "ГрінДІМ" для ОСББ та ЖБК 2024;  
<https://interfax.com.ua/news/economic/985094.html>

## Xülasə

### ENERJİ TƏHLÜKƏSİZLİYİNİ ARTIRMAQ ÜÇÜN PAYLANMIŞ ENERJİNİN İNKİŞAFI

*Latipov S.S.*

Paylanmış energetika sistemlərinin inkişafı enerji təhlükəsizliyinin artırılmasına xidmət edir. Enerjinin istehsalında mərkəzsizləşmə, bərpa olunan mənbələrin tətbiqi və yerli enerji həlləri enerji təchizatının etibarlılığını artırır və infrastrukturun kövrəkliyini azaldır.

**Açar sözlər:** elektroenergetika, decentralləşmə, yaşıl energetika, güc strukturları

## Summary

### DEVELOPMENT OF DISTRIBUTED ENERGY IN ORDER TO INCREASE ENERGY SECURITY

*Latipov S.S.*

The development of distributed energy systems enhances energy security by decentralizing energy production, reducing reliance on centralized sources, and improving the resilience of energy infrastructure. Integration of renewable sources and local solutions increases supply reliability and decreases system vulnerability.

**Keywords:** electric power industry, decentralization, green energy, security forces

# YAŞIL HİDROGEN: ENERJİ KEÇİDİNİN AÇARI

**Əliyeva A., Seyidova G., Ələsgərova R.**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

[azada.aliyeva@sdu.edu.az](mailto:azada.aliyeva@sdu.edu.az)

**Xülasə** Yaşıl hidrogen, bərpa olunan enerji mənbələri ilə suyun elektrolizi nəticəsində əldə olunan təmiz enerji daşıyıcısıdır. Bu prosesin yeganə tullantısı sudur. İstehsal və infrastruktur xərclərinin yüksək olmasına baxmayaraq, yaşıl hidrogenin enerji keçidində və karbonsuzlaşdırılması çətin olan sektorlarda əhəmiyyəti böyükdür (3). Bu məqalədə yaşıl hidrogenin üstünlükləri, problemləri və enerji keçidindəki rolu, həmçinin İspaniya və Azərbaycandakı pilot layihələr müzakirə olunur.

**Açar sözlər:** Yaşıl hidrogen, bərpa olunan enerji, CO<sub>2</sub> tullantısı, enerji keçidi, təhlükəsizlik, hidrogen ixracı.

## Giriş

İqlim dəyişikliyi və enerji təhlükəsizliyi çağırışları, dünya ölkələrini karbon emissiyalarını azaltmaq və dayanıqlı enerji mənbələrinə keçid etmək üçün alternativ həll yolları axtarmağa məcbur edir. Bu kontekstdə yaşıl hidrogen, bərpa olunan enerji mənbələri ilə suyun elektrolizi nəticəsində əldə olunan təmiz enerji daşıyıcısı olaraq ön plana çıxır (5). Hidrogenin enerji daşıyıcısı kimi istifadəsi, xüsusilə sənaye və nəqliyyat sektorlarında karbonsuzlaşdırma prosesində mühüm rol oynayır. Yaşıl hidrogenin əsas üstünlükləri aşağıdakılardır:

- İstehsal prosesi zamanı yeganə tullantı sudur, bu da ətraf mühitə minimal təsir göstərir (3). Sıxı olaraq xüsusi çənlərdə uzun müddət saxlanıla və daşına bilər, bu da enerji ehtiyatlarının idarə olunmasını asanlaşdırır. Külək və günəş enerjisi kimi tükənməz mənbələrdən istifadə olunur (5). Çox yüngül olduğu üçün nəqliyyat və istifadədə rahatlıq təmin edir.

Yaşıl hidrogenin genişmiqyaslı tətbiqində bir sıra çətinliklər mövcuddur: Hidrogenin alovlanma qabiliyyəti yüksəkdir, bu da təhlükəsizlik tədbirlərinin vacibliyini artırır. Yaşıl hidrogen boz hidrogendən daha bahalıdır və genişmiqyaslı tətbiq üçün böyük investisiyalar tələb olunur (5). Yeni istehsal və saxlama obyektlərinin qurulması zəruridir (3).

Yaşıl hidrogen, sənaye və nəqliyyat kimi karbonsuzlaşdırılması çətin olan sahələrdə istifadə edilə bilər. 2030-cu ildən etibarən texnologiyanın ucuzlaşması və bərpa olunan enerji qiymətlərinin azalması ilə yaşıl hidrogenin iqtisadi cəhətdən səmərəli olması gözlənilir (5). Bununla yanaşı, yaşıl hidrogenin enerji saxlama və ehtiyat kimi istifadəsi, enerji sistemlərinin dayanıqlılığını artırır.

İspaniya yaşıl hidrogen sahəsində qabaqcıl ölkələrdəndir. Las Palmas sahillərində 4,3 MVt külək və 0,8 MVt dalğa enerjisi ilə yaşıl hidrogen istehsalı üçün platforma yaradılır. Layihəyə 26 milyon avro qrant ayrılıb (6). Digər bir layihə isə ACCIONA şirkəti tərəfindən Mayorka adasında həyata keçirilir. Bu layihə çərçivəsində illik 300 ton yaşıl hidrogen istehsal olunur və bu hidrogen ictimai nəqliyyatda və liman əməliyyatlarında istifadə olunur. Nəticədə, ildə təqribən 16.000 ton CO<sub>2</sub> emissiyasının qarşısı alınır (1).

Azərbaycan, zəngin təbii qaz ehtiyatları və bərpa olunan enerji resursları ilə yaşıl hidrogen istehsalı üçün əlverişli imkanlara malikdir. Fortescue Future Industries şirkəti ilə Energetika Nazirliyi arasında imzalanan sazişə əsasən, Azərbaycanda yaşıl hidrogen üzrə pilot layihələr planlaşdırılır (4). Gələcəkdə yeni emal müəssisələrinin günəş və külək enerjisi ilə işləməsi və Cənub Qaz Dəhlizinin hidrogen ixracı üçün istifadə edilməsi planlaşdırılır (2). COP29 tədbiri çərçivəsində Azərbaycan hökuməti yaşıl enerji texnologiyalarına maliyyə və texniki dəstəyin artırılmasını hədəfləyir (7).

## Ədəbiyyat

1. ACCIONA. (2024). Green Hydrogen Projects. <https://www.aciona.com/solutions/energy/activity-areas/green-hydrogen>
2. AREA. (2024). Pilot layihələr haqqında hesabat. <https://area.gov.az/en/news/469/area-nin-sobe-mudiri>
3. European Commission. (2020). A Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe. [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-07/hydrogen\\_strategy\\_0.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-07/hydrogen_strategy_0.pdf)
4. Fortescue Future Industries. (2022). Partnership with the Ministry of Energy of Azerbaijan. <https://fortescue.com/news-and-media/news/2022/12/20/>
5. International Energy Agency. (2023). Global Hydrogen Review 2023. <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>
6. Naturgy. (2023). Green Hydrogen Pilot Project in Spain. <https://www.naturgy.com/en/press-release/...>
7. UNFCCC. (2024). COP29 Official Documentation. <https://unfccc.int/cop29>

**Summary**  
**GREEN HYDROGEN: THE KEY TO THE ENERGY TRANSITION**  
*Aliyeva A., Seyidova G., Alesgerova R.*

Green hydrogen is a clean energy carrier obtained by electrolysis of water using renewable energy sources. The only by-product of this process is water. Despite high production and infrastructure costs, green hydrogen plays a significant role in the energy transition and in hard-to-decarbonize sectors. This article discusses the advantages, challenges, and role of green hydrogen in the energy transition, along with pilot projects in Spain and Azerbaijan.

**Keywords:** Green hydrogen, renewable energy, CO<sub>2</sub> emissions, energy transition, safety, hydrogen export.

**Резюме**  
**ЗЕЛЁНЫЙ ВОДОРОД: КЛЮЧ К ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ ПЕРЕХОДУ**  
*Алиева А., Сейидова Г., Алескерова Р.*

Зелёный водород — это чистый энергоноситель, получаемый путем электролиза воды с использованием возобновляемых источников энергии. Единственным побочным продуктом этого процесса является вода. Несмотря на высокие затраты на производство и инфраструктуру, зелёный водород имеет большое значение в энергетическом переходе и в отраслях, где трудно сократить выбросы углерода. В статье обсуждаются преимущества, проблемы и роль зелёного водорода, а также пилотные проекты в Испании и Азербайджане.

**Ключевые слова:** Зелёный водород, возобновляемая энергия, выбросы CO<sub>2</sub>, энергетический переход, безопасность, экспорт водорода

## ONLAYN BÖLMƏSİ

### NAXÇIVAN MUXTAR RESPUBLİKASINDA ALTERNATİV ENERJİ MƏNBƏLƏRİNİN POTENSİALI VƏ İNKİŞAF PERSPEKTİVLƏRİ

**İsgəndərova Ülvyyə Nadir qızı**  
**Quliyev Məhəmməd Bayram oğlu**  
**Süleymanova Leyla Elşən qızı**

*Naxçıvan Dövlət Universiteti, Naxçıvan, Azərbaycan*

[isgenderova.86@mail.ru](mailto:isgenderova.86@mail.ru), [m.quliyev.ordubad92@gmail.com](mailto:m.quliyev.ordubad92@gmail.com), [leilasuleymanova63@gmail.com](mailto:leilasuleymanova63@gmail.com)

**Xülasə** Məqalədə Naxçıvan MR-də günəş, külək enerjisi və su elektrik stansiyaları üzrə mövcud vəziyyət, potensial imkanlar, tətbiq edilmiş layihələr və gələcək perspektivlər təhlil edilir. Blokada şəraitində yerləşən muxtar respublikada enerji təhlükəsizliyini təmin etmək üçün alternativ enerji mənbələrindən istifadə böyük əhəmiyyət kəsb edir. Ərazidə 5 su, 3 günəş, 1 külək və 1 külək-günəş hibrid stansiyası fəaliyyət göstərir. 2025-ci ildə elektrik enerjisinin 52,8%-i alternativ və bərpa olunan mənbələrdən əldə olunmuşdur. Həmçinin 2023–2027-ci illər Dövlət Proqramına əsasən, 7992 hektar əkinə yararsız sahədə "Yaşıl Enerji Zonası"nın yaradılması planlaşdırılır. Nəticədə, regionun iqtisadi müstəqilliyi və ekoloji təhlükəsizliyi gücləndiriləcəkdir.

**Açar sözlər:** Naxçıvan MR, günəş enerjisi, külək enerjisi, yaşıl enerji, su enerjisi, alternativ enerji mənbələri

Naxçıvan Muxtar Respublikası enerji təminatında coğrafi baxımdan təcrid olunmuş bölgədir. Bu səbəbdən enerji asılılığını azaltmaq və dayanıqlı enerji təchizatı yaratmaq üçün alternativ enerji mənbələrinin inkişaf etdirilməsi həyati əhəmiyyət kəsb edir. Günümüzdə dünyada elektrik enerjisinə olan tələbatın ekoloji cəhətdən zərərsiz şəkildə ödənilməsi aktuallaşır. Ənənəvi enerji mənbələri ətraf mühitə ziyan vurduğu halda, günəş, külək və su kimi alternativ enerji mənbələri atmosfərə karbon emissiyalarının azaldılmasında mühüm rol oynayır.

Naxçıvan Muxtar Respublikası alternativ enerji potensialı baxımından Azərbaycanın ən əlverişli bölgələrindən biridir. Regionun təbii-coğrafi şəraiti, bol günəş radiasiyası və mürəkkəb relyefi bu sahədə geniş imkanlar açır. Belə ki, düzənlik sahələrdə günəşli saatların illik miqdarı 2600–2800 saat, dağlıq ərazilərdə isə 2000–2400 saat təşkil edir [1,2]. Günəş radiasiyasının miqdarı 145–160 kkal/sm<sup>2</sup>, illik radiasiya balansı isə 25,0–45,0 kkal/sm<sup>2</sup> arasında dəyişir [3]. Bu əlverişli şərait nəticəsində son illərdə muxtar respublikada günəş elektrik stansiyalarının yaradılması geniş vüsət almışdır. Hazırda Naxçıvanda su, külək və günəş elektrik stansiyaları vasitəsilə alternativ enerji istehsal olunur. Bununla yanaşı, alternativ enerji sahəsinin inkişafı muxtar respublika iqtisadiyyatına da müsbət təsir göstərir. Bu, yeni texnologiyaların tətbiqinə təkan verir, yeni iş yerlərinin yaranmasına şərait yaradır və regionun enerji təhlükəsizliyini təmin edir.

Azərbaycanın milli enerji strategiyasında alternativ enerji mənbələrinin inkişafı prioritet istiqamət kimi müəyyən olunmuşdur. Bu baxımdan Naxçıvanın alternativ enerji potensialından istifadənin genişləndirilməsi həm regional, həm də milli səviyyədə strateji əhəmiyyətə malikdir.

Naxçıvan Muxtar Respublikası coğrafi baxımdan əsas enerji şəbəkələrindən təcrid olunmuş bölgə kimi alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişaf etdirilməsinə xüsusi diqqət yetirir. Bu kontekstdə, muxtar respublikada alternativ enerji üzrə real addımlar atılmış və müasir texnologiyalar tətbiq edilmişdir. Hazırda Naxçıvan Muxtar Respublikası Dövlət Energetika Xidmətinin istismarında olan enerji obyektlərinə 5 su elektrik stansiyası, 3 günəş elektrik stansiyası, 1 külək-günəş hibrid elektrik stansiyası və 1 külək elektrik stansiyası daxildir. Bu stansiyalar ümumilikdə regionun enerji təminatında mühüm rol oynayır və 107,8 meqavattlıq ümumi gücə malikdir.

İstismarda olan əsas su elektrik stansiyalarına Araz SES (22 MVt), Arpaçay-1 SES (20,5 MVt), Biləv SES 20( MVt), Heydər Əliyev Su Anbarı üzərində SES (4,5 MVt), Arpaçay-2 SES (1,4 MVt), Günəş Elektrik Stansiyalarına Naxçıvan GES (22 MVt), Şərur GES (11 MVt), Kəngərli GES (5 MVt), Külək və Hibrid Stansiyalar isə Culfa Külək-Günəş Hibrid Stansiyası (1,1 MVt), Culfa Külək Elektrik Stansiyası (0,3 MVt) daxildir.

2028-ci ilə qədər muxtar respublikada əlavə olaraq təqribən 530 MVt gücündə iki yeni günəş elektrik stansiyasının inşası planlaşdırılır. Bundan əlavə, hal-hazırda Ordubad rayonunda 36 MVt və Tivi kəndində 15,6 MVt gücündə iki yeni su elektrik stansiyasının tikintisi davam edir. Bu layihələr tamamlandıqdan sonra muxtar respublikanın alternativ enerji potensialı daha da artacaq.

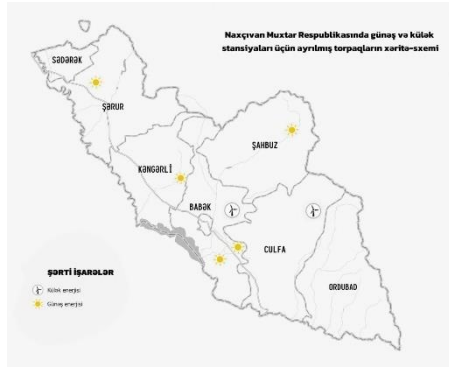
2025-ci ilin əvvəlində Naxçıvan Muxtar Respublikasında ümumi 29 525 626 kilovat-saat elektrik enerjisi istehsal olunmuşdur. Bu enerjinin:

- 13 929 379 kVt/saati və ya 47,2%-i istilik elektrik stansiyalarında,

- 9 345 375 kVt/saati və ya 31,6%-i su elektrik stansiyalarında,  
- 6 250 872 kVt/saati və ya 21,2%-i günəş və külək-günəş hibrid elektrik stansiyalarında istehsal edilərək elektrik şəbəkələrinə ötürülmüşdür [6].

Qeyd olunan göstəricilər ümumi enerji strukturunda alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrinin 52,8%-lik paya malik olduğunu göstərir ki, bu da regionda “yaşıl enerji”yə keçidin real nəticələrini əks etdirir. Aparılan təhlillər nəticəsində ötən ilin müvafiq dövrü ilə müqayisədə istilik elektrik stansiyalarının payı 14,5% azalmış, su elektrik stansiyalarının payı 8,9% artmış, günəş və külək stansiyalarının payı isə 5,5% yüksəlmişdir [6]. Bu dinamika alternativ enerji mənbələrinə keçidin sistemli şəkildə həyata keçirildiyini və enerji istehsalında tarazlığın bərpa olunan mənbələrə yönəldiyini sübut edir.

“Naxçıvan Muxtar Respublikasının sosial-iqtisadi inkişafına dair 2023–2027-ci illər üçün Dövlət Proqramı” çərçivəsində bir sıra əhəmiyyətli strateji addımlar atılmışdır. Bunlara “Yaşıl Enerji Zonası”nın yaradılması üzrə Konsepsiya və Tədbirlər Planının hazırlanmasıdır. “Yaşıl Enerji Zonası”nın yaradılması üçün dövlət tərəfindən Culfa rayonunun Yayıcı və Dizə bələdiyyələri, Şahbuz rayonunun Türkeş, Sələsüz, Kolanı bələdiyyələri, Şərur rayonunda qış otağı, Kəngərli rayonu Böyükdüz və Xok bələdiyyələri, Naxçıvan qış otağı, Babək qış otağı, Babək rayonunun Cəhri bələdiyyəsi ərazisində əkinə yararsız 7992 hektar ərazidə layihələrin həyata keçirilməsi planlaşdırılır (Şəkil). Qeyd olunmuş ərazilərdə layihələndirilən günəş və külək elektrik stansiyalarının iqtisadi gücü 2.184-3.138 MVt olacağı proqnozlaşdırılır.



**Şəkil.** Naxçıvan MR-də günəş və külək elektrik stansiyaları üçün ayrılmış torpaqların xəritə-sxemi

Naxçıvanda yaşıl enerji layihələrinin reallaşdırılması üçün beynəlxalq səviyyədə də əməkdaşlıq genişlənir. Artıq “Nobel Energy”, “TotalEnergies”, “A-Z Czech Engineering” şirkətləri ilə ümumi gücü 1000 MVt-dan çox olan layihələrlə bağlı müqavilələr imzalanmışdır [5]. Bu şirkətlərlə əməkdaşlıq Naxçıvanda alternativ enerji sahəsində innovativ texnologiyaların tətbiqi və investisiyaların cəlbi baxımından xüsusi əhəmiyyət daşıyır.

Ümumilikdə, muxtar respublikanın texniki baxımdan realizasiya edilə bilən bərpa olunan enerji potensialı 21–29 QVt, iqtisadi potensial isə 5,8–6,9 QVt həcmində qiymətləndirilmişdir [7].

Yaşıl enerjiden istifadə olunmasının perspektiv imkanlarına aşağıdakılar aiddir:

- Günəş və külək resurslarının tam istifadə olunması ilə ixrac yönümlü enerji sektorunun formalaşması;

- Yeni texnologiyalar- enerji saxlama sistemləri, “aqross” və “smart grid” tətbiqləri;
- Xarici investisiyaların cəlb edilməsi və regional enerji körpülərinin qurulması;
- Ekoloji təsirin azaldılması üçün iqlim xüsusiyyətlərinə uyğunlaşmaq.

Lakin regionda “Yaşıl Enerji Zonası”nın yaradılmasında bir sıra çətinliklər də mövcuddur. Buna investisiya mənbələrinin məhdud olması, kadr hazırlığı və texnoloji bilik çatışmazlığı, qış dövründə günəş və külək enerjisinin sabit olmaması, ixrac üçün elektrik şəbəkəsinin uyğunlaşdırılması aiddir. Məsələn, Türkiyə sisteminə uyğunlaşdırmaq üçün çevrildici stansiyaların qurulmasına ehtiyac vardır və s.

#### **Nəticə və təkliflər**

Naxçıvan Muxtar Respublikasında alternativ enerji mənbələrinin inkişafı yalnız yerli enerji təhlükəsizliyi üçün deyil, regional ixrac və yaşıl iqtisadiyyata keçid üçün əsas addımdır. Bunun üçün aşağıdakı təkliflərin həyata keçirilməsi məqsəduyğundur:

- Regional günəş və külək atlaslarının hazırlanması və müvafiq ərazilərin zonalaşdırılması;
- Dövlət-özəl tərəfdaşlığı çərçivəsində investisiya mexanizmlərinin aktivləşdirilməsi;
- Enerji səmərəliliyi, qənaəti üzrə maarifləndirmə kampaniyalarının təşkili və aparılması;
- Enerji saxlama sistemləri və şəbəkə uyğunluğu üzrə pilot layihələrin həyata keçirilməsi;

- Xarici investisiyalar üçün vergilər və subsidiyalar sisteminin təkmilləşdirilməsi.

Nəticə olaraq, Naxçıvan Muxtar Respublikasında alternativ enerji sahəsində həyata keçirilən layihələr regionun enerji müstəqilliyini gücləndirməklə bərabər, ekoloji tarazlığın qorunmasına, innovativ texnologiyaların tətbiqinə və dayanıqlı inkişafın təmin olunmasına xidmət edir.

## Ədəbiyyat

1. Babayev, S.Y. Naxçıvan Muxtar Respublikasının coğrafiyası / S.Y. Babayev. – Bakı: Elm, - 1999. – 298 s.
2. Naxçıvan Muxtar Respublikasının Coğrafiyası. [2 cildə] / - Naxçıvan: “Əcəmi” Nəşriyyat- Poliqrafiya Birliyi, c.1. -2017. – 546 s.
3. Naxçıvanı tanıyaq. Məqalələr toplusu / - Bakı: Mütərcim, - 2017. – 344 s.
4. <https://minenergy.gov.az/az/alternativ-ve-berpa-olunan-enerji/azerbaycanda-berpa-olunan-enerji-menbelerinden-istifade>
5. <https://www.azerbaijan-news.az/az/posts/detail/yasil-enerji-zonalari-naxcivan-1722549727>
6. <https://renewables.az/en/news/green-energy-accounts-for-53-of-electricity-production-in-nakhchivan-en>
7. <https://www.azernews.az/analysis/246228.html>

## Summary

### POTENTIAL AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES IN THE NAKHCHIVAN AUTONOMOUS REPUBLIC

*Iskandarova U.N., Guliyev M.B., Suleymanova L.E.*

The article analyzes the current situation, potential opportunities, ongoing projects and future prospects for solar, wind and hydroelectric power plants in Nakhchivan Autonomous Republic. The use of alternative energy sources is of great importance for ensuring the energy security of the autonomous republic, which is under blockade. There are 5 water, 3 solar, 1 wind and 1 wind-solar hybrid stations on the territory. In 2025, 52.8% of electricity will come from alternative and renewable sources. Also, in accordance with the state program for 2023-2027, it is planned to create a "green energy zone" on 7,992 hectares of land unsuitable for cultivation. As a result, the region's economic independence and environmental security will be enhanced.

**Keywords:** Nakhchivan AR, solar energy, wind energy, green energy, water energy, alternative energy sources

## Резюме

### ПОТЕНЦИАЛ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В НАХЧЫВАНСКОЙ АВТОНОМНОЙ РЕСПУБЛИКЕ

*Искандарова У.Н., Гулиев М.Б., Сулейманова Л.Э.*

В статье анализируется текущая ситуация, потенциальные возможности, реализуемые проекты и будущие перспективы по солнечным, ветровым и гидроэлектростанциям в Нахчыванской АР. Большое значение для обеспечения энергетической безопасности автономной республики, находящейся в условиях блокады, имеет использование альтернативных источников энергии. На территории работают 5 водных, 3 солнечных, 1 ветряная и 1 ветро-солнечная гибридная станция. В 2025 году 52,8% электроэнергии будет поступать из альтернативных и возобновляемых источников. Также в соответствии с государственной программой на 2023-2027 годы планируется создание "зеленой энергетической зоны" на 7992 гектарах непригодных для возделывания земель. В результате будет усилена экономическая независимость и экологическая безопасность региона.

**Ключевые слова:** Нахчыванская область, солнечная энергия, энергия ветра, зеленая энергия, энергия воды, альтернативные источники энергии

## YÜKSƏK GƏRGİNLİKLİ DÖVRLƏRDƏ FERROREZONANS PROSESLƏRİNİN ANALİZİ

**Mehdiyeva Nərgiz**

**İntiqamzadə Vüsala**

*Qarabağ Universiteti, Xankəndi, Azərbaycan*

*Azərbaycan Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan*

[nargiz.mehdiyeva@karabakh.edu.az](mailto:nargiz.mehdiyeva@karabakh.edu.az),

[vusala.intigamzada@gmail.com](mailto:vusala.intigamzada@gmail.com)

**Xülasə** Məqalədə yüksək gərginlikli elektrik şəbəkələrində baş verən ferrozonans hadisəsi və onun enerji sistemində mənfi təsirləri araşdırılır. Hadisənin yaranma səbəbləri, qeyri-xətti xarakteri və müxtəlif nasazlıq hallarında davranış xüsusiyyətləri modelləşdirmə əsasında təhlil edilir. Ferronansın qarşısını alınması üçün STATCOM qurğusundan və proporsional-inteqral (PI) tənzimləyicidən istifadə olunması təklif olunur. Bu yanaşma şəbəkədə gərginlik sabitliyini qoruyur, qəfil gərginlik artımlarını azaldır və ümumi enerji keyfiyyətinin yüksəldilməsinə imkan yaradır.

**Açar sözlər:** Ferronans, yüksək gərginlik, STATCOM, PI tənzimləyici, elektrik şəbəkəsi, reaktiv güc, modelləşdirmə

## Giriş

Ferrorezonans – enerji sistemlərində qəfil gərginlik artımı, harmonik təhrif və digər təhlükəli nəticələrə səbəb olan mürəkkəb elektrik hadisəsidir. Bu hadisə xüsusilə yüksək gərginlikli RLC dövrlərində ferromaqnit komponentlərlə kapasitiv elementlərin qarşılıqlı təsiri zamanı meydana çıxır. "Ferrorezonans" termini ilk dəfə 1920-ci illərdə istifadə olunmuş və o zamandan bəri bu fenomen müxtəlif tədqiqatlarda, əsasən qeyri-xətti induktiv elementlərin və dəyişkən yüklü sistemlərin davranışı çərçivəsində öyrənilmişdir [1,2].

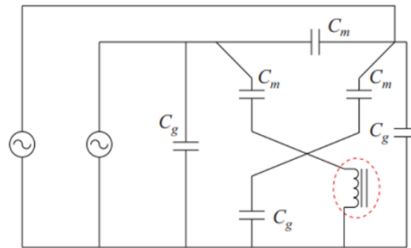
Beləliklə, elektrik sistemlərinin iş rejimlərinin tədqiqi istehlakçılara fasiləsiz və keyfiyyətli elektrik enerjisi təminatı üçün mühüm əhəmiyyət daşıyır. Bununla yanaşı, ferrorezonansın vaxtında müəyyənləşdirilməsi və qarşısının alınması, enerji sistemindəki avadanlıqların zədələnməsinin qarşısını almağa kömək edir.

Bu işin əsas məqsədi ferrorezonans hadisəsinin təbiətini dərinliklə araşdırmaq, onun başvermə şəraitini təhlil etmək və bu tip hadisələrin elektrik şəbəkələrində qarşısının alınması üçün texniki həll yollarını təklif etməkdir. Tədqiqat zamanı ferrorezonans hadisələrinin müqayisəli təhlili və riyazi modelləşdirmə üsullarından istifadə olunmuşdur.

## Tədqiqat metodu

Tədqiqatın elmi yeniliyi ondan ibarətdir ki, ferrorezonansın qarşısını almaq məqsədilə proporsional-inteqral (PI) tənzimləyici ilə təchiz edilmiş statik sinxron kompensatorun (STATCOM) tətbiqi təklif olunur. Bu yanaşma elektrik şəbəkəsində gərginlik sabitliyini təmin edir, qəfil gərginlik sıçrayışlarının qarşısını alır və enerji keyfiyyətinin yüksəldilməsinə şərait yaradır. İşdə DFIG əsaslı külək enerji çevirmə sistemlərinin (WECS) ferrorezonans nəticəsində yaranan ifrat gərginliyin azaldılması məqsədilə STATCOM-un tətbiqi MATLAB/Simulink mühitində iki fərqli ssenari – yüksüz və yüklənmiş transformator şəraitində – modelləşdirilərək araşdırılmışdır. Nəticələr göstərmişdir ki, STATCOM-un reaktiv gücü idarəetmə qabiliyyəti sayəsində ikinci, daha təhlükəli ssenaridə belə ifrat gərginlik uğurla azaldılmış və sistemin sabit fəaliyyəti təmin olunmuşdur. Tədqiqat olunan sistem 1,5 MVt gücündə altı DFIG əsaslı WECS, iki transformator və ötürücü xətlərdən ibarət olmaqla, gərginlik səviyyələrinin fərqliliyinə görə iki mərhələli çevirmə və GSC-RSC əsaslı VSC strukturu ilə şəbəkəyə qoşulmuşdur.

Tədqiqatda ferrorezonansın formalaşması üçün iki əsas ssenari simulyasiya edilmişdir. Birinci ssenaridə transformatorun ikincili tərəfi təcrid olunmuş, 30 km uzunluğunda elektrik xətti vasitəsilə şəbəkəyə qoşulmuşdur və ferrorezonans M nöqtəsində bir fazanın açılması ilə stimullaşdırılmışdır. İkinci ssenaridə isə transformator istismarda olmaqla, N nöqtəsində tək qütblü açılma həyata keçirilmişdir. Hər iki halda yeraltı kablərin tutumu və asinxron generatorun qeyri-xətti induktivliyi sistemin davranışına təsir etmişdir. Ferrorezonans gərginliyinin analizi üçün Şəkil 1-də verilmiş ekvivalent dövrədən istifadə olunmuş və  $C_m$  ilə  $C_g$  müvafiq olaraq qarşılıqlı və torpaqlama tutumlarını ifadə etmişdir. Tədqiqat göstərmişdir ki, ikinci ssenari daha yüksək ifrat gərginlik yaradır və bu vəziyyətdə STATCOM-un rolu daha əhəmiyyətlidir.



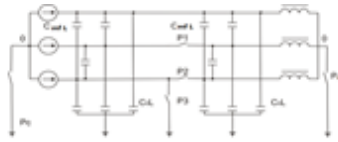
Şəkil 1. Ekvivalent dövrə

2. Neytralı izolyasiya olunmuş şəbəkədə ferrorezonans gərginliklərinin hesablanması Assimetrik faza nasazlıqları zamanı, xüsusilə də bir və ya bir neçə faza telinin qırılması nəticəsində dövrədə ferrorezonans gərginlikləri meydana çıxır. Bu cür hallar zamanı sistemin bəzi elementləri (məsələn, transformatorlar və ya kablərlər) rezonans rejiminə keçərək təhlükəli səviyyədə gərginlik artımlarına səbəb ola bilər.

Bu halda fərz olunur ki, güc mənbəyi (yəni enerji sisteminin əsas hissəsi) qəbul edən transformatorla müqayisədə daha güclüdür. Torpağa olan kabel tutumları  $C_0L$ , fazalararası tutumlar isə  $C_M\Phi L$  kimi göstərilir. Dövrəninəlaqə nöqtəsi P<sub>3</sub> ilə işarələnir. Açıqların vəziyyətləri aşağıdakı kimi fərqləndirilir:

P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> – Açıq fazalı rejimin növünü müəyyən edir;

P<sub>c</sub> və P<sub>H</sub> – Sistem neytrallarının və qəbul edən transformatorun torpaqlanmış və ya izolyasiya olunmuş vəziyyətdə olub-olmamasını göstərir.



### Hadisə halları:

Tel qırılması və torpaqlanma: Sistem neytralı izolyasiya olunmuş vəziyyətdədir.

Tel qırılması, lakin torpaqlanma yoxdur: Sistem neytralı torpaqlanıb.

İki telin qırılması: Sistem neytralı torpaqlanmışdır.

Bu vəziyyətlərin hər biri ferrozonansın yaranma ehtimalına və gərginliklərin dəyişmə dinamikasına fərqli təsir göstərir. Hər rejim üçün riyazi modelləşdirmə aparılmış və ferrozonans gərginliklərinin təxmini səviyyələri hesablanmışdır.

### Nəticə:

1. Ferrozonans hadisələrinin başvermə səbəbləri, təsirləri və qarşısının alınması metodları ilə bağlı əhatəli ədəbiyyat icmalı aparılmışdır. Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, ferrozonans ferromaqnit komponentlərin qeyri-xətti xassələri, xətdəki tezlik dəyişiklikləri və xarici maqnit sahələrinin təsiri nəticəsində yaranır. Bu hadisə xüsusilə neytralı izolyasiya olunmuş və ya zəif torpaqlanmış elektrik şəbəkələrində daha çox müşahidə olunur.

2. Elektrik şəbəkələrinin dayanıqlı işləməsi və ferrozonans nəticəsində meydana gələ biləcək risklərin azaldılması məqsədilə STATCOM qurğusunun tətbiqi tövsiyə olunur. Bu qurğuya inteqrasiya edilmiş PI tənzimləyici sistemi daxil olan və çıxan reaktiv gücün effektiv şəkildə idarə olunmasını təmin edir. Nəticədə, ferrozonans zamanı sistemdə baş verə biləcək gərginlik sıçrayışları və enerji keyfiyyəti pozuntuları minimuma endirilir və sistemin sabit iş rejiminə qayıtması asanlaşdırılır.

### Ədəbiyyat

1. Jacobson, D.A., 2003, July. Examples of ferroresonance in a high voltage power system. In 2003 IEEE Power Engineering Society General Meeting (Vol. 2, pp. 1206-1212). IEEE.
2. Jacobson, D.A., Lehn, P.W. and Menzies, R.W., 2002. Stability domain calculations of period-1 ferroresonance in a nonlinear resonant circuit. IEEE Transactions on Power Delivery, 17(3), pp.865-871.
3. Radmanesh, H. and Gharehpetian, G.B., 2013. Ferroresonance suppression in power transformers using chaos theory. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 45(1), pp.1-9.
4. Swift, G.W., An analytical approach to ferroresonance. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, (1), pp.42-46.

### Summary

#### ANALYSIS OF FERRORESONANCE PROCESSES IN HIGH-TENSION PERIODS

Mehdiyeva N., Intigamzadeh V.

The article explores the phenomenon of ferroresonance in high-voltage electrical networks and its negative impact on power systems. It analyzes the causes, nonlinear characteristics, and system behavior under various fault conditions through modeling techniques. To mitigate ferroresonance, the use of a Static Synchronous Compensator (STATCOM) integrated with a Proportional-Integral (PI) controller is proposed. This method helps maintain voltage stability, reduces the risk of sudden overvoltages, and contributes to improving overall power quality in the electrical network.

**Keywords:** Ferroresonance, high voltage, STATCOM, PI controller, power network, reactive power, modelling

### Резюме

#### АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ФЕРРОРЕЗОНАНСА В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЦЕПЯХ

Мехдиева Н., Интигамзаде В.

В статье рассматривается явление феррозонанса в высоковольтных электрических сетях и его негативное влияние на энергетические системы. Анализируются причины возникновения, нелинейные характеристики и поведение системы при различных аварийных режимах с использованием моделирования. Для предотвращения феррозонанса предлагается применение статического синхронного компенсатора (STATCOM) с ПИ-регулятором. Такой подход обеспечивает стабильность напряжения, снижает риск резких перенапряжений и способствует повышению общего качества электроэнергии в сети.

**Ключевые слова:** Феррозонанс, высокое напряжение, STATCOM, ПИ-регулятор, электрическая сеть, реактивная мощность, моделирование

# REAL-TIME IMAGE ENCRYPTION FRAMEWORK USING DIGITAL SIGNATURE INTEGRATION: AN ALGORITHM DESIGN AND A C# IMPLEMENTATION

**Rustamova Hasanli Nurana Novruz**

*National Aviation Academy, Baku, Azerbaijan*

[nurana.rustamova@naa.edu.az](mailto:nurana.rustamova@naa.edu.az)

**Summary** In contemporary society, privacy stands as one of the most critical concerns when transmitting any form of data. Implementing suitable encryption and decryption methodologies represents an appropriate solution to this challenge. As information exchange has grown beyond conventional internet text communication, the utilization of images has become increasingly significant. RSA offers a comprehensive security framework for both blocking unauthorized access and authenticating users, making it one of the most widely adopted algorithms in cryptography.

**Keywords:** Electronic authentication, document encoding, information safeguarding, steganography and cryptographic efficiency.

Recent research explores how the RSA algorithm can be applied to image processing operations, providing practical implementation examples. The procedural methodology of the RSA cryptographic mechanism is executed through the following sequential protocol:

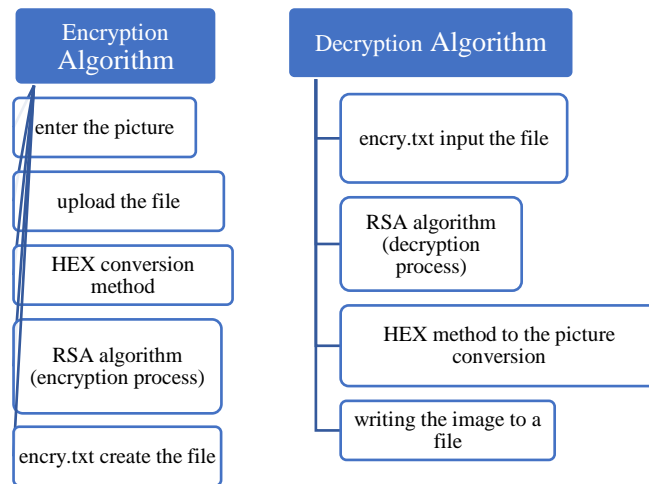
1. Two numerically substantial prime integers are identified and designated by the algebraic variables  $p$  and  $q$ , with the mathematical constraint that both must exhibit primality characteristics.
2. The computational product  $n=p*q$  is derived. The resultant parameter  $n$  functions as the modular base for both public and private cryptographic keys.
3. Euler's totient function is calculated utilizing the formula  $\phi(n)=(p-1) * (q-1)$ , which is applicable in this context due to the primality properties of the constituent factors.
4. A prime integer  $e$  is selected within the numerical domain of the previously computed totient function, satisfying the inequality relationship  $1 < e < \phi(n)$ . This selected parameter  $e$  is subsequently designated as the public encryption exponent.
5. The corresponding private decryption exponent  $d$  is determined such that it satisfies the congruence relation  $d*e \equiv 1 \pmod{\phi(n)}$ . The computational determination of this parameter employs the Extended Euclidean algorithmic procedure.

The RSA protocol represents the seminal asymmetric cryptographic methodology that facilitates both information encipherment and digital authentication mechanisms. Within asymmetric cryptographic architectures, individual participants maintain dual cryptographic elements—a publicly disseminated key and a confidentially maintained key.

In such asymmetric cryptographic infrastructures, each participant possesses the capability to execute both encryption and decryption functions. Within the RSA cryptographic paradigm, participants autonomously generate their respective public-private key pairs, each comprising dual numerical parameters. The cryptographic elements generated by each participant exhibit mathematical complementarity, functioning as inverse operators relative to one another.

Participants maintain absolute confidentiality regarding their private cryptographic elements while openly distributing their public parameters to the broader community. RSA asymmetric cryptographic infrastructures derive their security foundation from computational complexity theory, specifically the mathematical challenge of integer factorization involving the product of substantial prime numbers. The encryption procedure involves modular exponentiation utilizing large numerical parameters.

The algorithmic sequence for encryption and decryption operations can be systematically represented in flowchart format, demonstrating the complementary mathematical transformations applied during these processes.



**Figure 1. Encryption and Decryption Algorithms**

The aforementioned cryptographic protocol elucidates the fundamental investigative objective of the scholarly publication. The algorithmic schematic delineates the sequential computational operations executed during both encryption and decryption processes, implemented within the C# programming environment. The procedural methodology commences with the application of encryption transformations to digital image data, resulting in the generation of a corresponding textual file (\*.txt format). Subsequently, the inverse cryptographic operation is applied to this intermediary representation, facilitating the reconstruction of the original image within the confines of the same file structure. This bidirectional transformation process demonstrates the practical application of RSA cryptographic principles to digital image security, establishing both the theoretical validity and computational feasibility of the proposed methodology.

The designated library infrastructure incorporates transformation processes primarily focused on hexadecimal value decryption, image modification within byte arrays, and the inverse conversion to byte arrays, constituting principal operational objectives. The following four functional components constitute integral elements of the library.cs source file:

1. **DecodeHex:** This functional module encodes hexadecimal values and facilitates their transformation into byte arrays for image conversion operations. The algorithmic structure implements precise hexadecimal parsing methodologies to ensure accurate binary representation.
2. **IsPrime:** This verification function evaluates the primality characteristics of the parameter value. Its implementation serves validation purposes, with the primary value being user-specified. The primality assessment employs mathematical verification techniques to ensure cryptographic integrity.
3. **ConvertByteToImage:** This transformation function executes the conversion of byte array structures into visual representations. The resultant image is instantiated in bitmap format, allowing for structured pixel manipulation and efficient memory utilization.
4. **ConvertImageToByte:** This inverse conversion function transforms visual data into corresponding byte array representations. The source image utilizes JPEG format specifications, optimizing the balance between visual fidelity and computational efficiency.

## References

1. Gasimov, V. (2009). *Fundamentals of Information Security*. Baku. p.131
2. Makarenko, S.I. (2009). *Information Security*. p.120
3. Yasenev, V.N. (2006). *Information Security in Economic Systems*. Nizhny Novgorod. p.103
4. Calderbank, M. (2007). *The RSA Cryptosystem: History, Algorithm, Primes*. Retrieved August 20, 2007.
5. Rivest, R., Shamir, A., & Adleman, L. (1978, February). *A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems*. Communications of the ACM, 21(2), 120-126.

## Xülasə

### RƏQƏMSAL İMZANIN İNTEQRASIYASI İLƏ REAL VAXT REJİMİNDƏ TƏSVİRLƏRİN ŞİFRƏLƏNMƏSİ ÇƏRÇİVƏSİ: ALQORİTMIN TƏRTİBİ VƏ C# İMPLEMENTASIYASI

*Rüstənova Həsənli N.N.*

Müasir cəmiyyətdə məxfilik hər hansı formada məlumat ötürərkən ən kritik problemlərdən biri kimi dayanır. Müvafiq şifrələmə və ya deşifrə metodologiyalarının tətbiqi bu problemin müvafiq həllini təmsil edir. İnformasiya mübadiləsi internet mətn kommunikasiyasından kənara çıxdıqca, şəkillərin istifadəsi getdikcə daha çox əhəmiyyət kəsb edir. RSA həm icazəsiz girişi

bloklamaq, həm də istifadəçiləri autentifikasiya etmək üçün hərtərəfli təhlükəsizlik çərçivəsi təklif edir ki, bu da onu kriptografiyada ən geniş yayılmış alqoritmlərdən birinə çevirir.

**Açar sözlər:** Elektron autentifikasiya, sənədlərin kodlaşdırılması, məlumatın qorunması, steqanoqrafiya və kriptografik səmərəlilik.

**Резюме**  
**СИСТЕМА ШИФРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ИНТЕГРАЦИЕЙ ЦИФРОВОЙ**  
**ПОДПИСИ: РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И РЕАЛИЗАЦИЯ НА C#**  
*Рустамова Хасанли Н.Н.*

**Ключевые слова:** Электронная аутентификация, кодирование документов, защита информации, стеганография и криптографическая эффективность.

В современном обществе конфиденциальность является одной из самых важных проблем при передаче любой формы данных. Внедрение подходящих методов шифрования и дешифрования представляет собой подходящее решение этой проблемы. Поскольку обмен информацией вышел за рамки обычного текстового общения в Интернете, использование изображений стало все более значимым. RSA предлагает комплексную структуру безопасности как для блокировки несанкционированного доступа, так и для аутентификации пользователей, что делает его одним из наиболее широко используемых алгоритмов в криптографии.

**IMPACT OF FOREIGN TRADE ON THE BALANCE OF PAYMENTS OF THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN: CURRENT STATUS AND EMERGING PATTERNS**

**Hasanli Sabuhi Tayyub**  
*National Aviation Academy, Baku, Azerbaijan*  
[shasanli.60187@naa.edu.az](mailto:shasanli.60187@naa.edu.az)

**Summary** The sovereign external financial obligations are imperative for procuring exogenous capital resources essential for domestic economic infrastructural requirements. It warrants acknowledgment that fiscal stability parameters, monetary system resilience, and economic security indices demonstrate significant correlation with developmental efficiency metrics across national economic frameworks. These intrinsic adjustment mechanisms represent fundamental elements of international monetary theory, establishing theoretical foundations for understanding contemporary global financial interactions and exchange rate dynamics.

**Keywords:** External Debt Sustainability, Macroeconomic Equilibrium, Monetary Policy Transmission, Balance of Payments Adjustment, Foreign Exchange Dynamics

Classical economic theorists postulated an autonomous regulatory mechanism governing balance of payments equilibration processes. The initial theoretical proposition within this framework asserts that monetary supply contraction occurs spontaneously within nations experiencing payments deficit conditions. Conversely, the subsequent hypothesis maintains that currency supply expansion manifests automatically within states exhibiting payments surplus characteristics.

Governmental authorities should abstain from interventional practices concerning currency supply's impact on external economic equilibrium. The theoretical postulates deem such interventional mechanisms superfluous. Economic policy's primary objective constitutes maintaining external equilibrium parameters, with internal economic stabilization occupying a subordinate position in the hierarchy of macroeconomic priorities. Consequently, governmental monetary policy interventions remain theoretically unjustified.

Balance of payments forecasting methodologies adhere to diverse econometric principles. Export volume projections derive from production capacity assessments and demand elasticity calculations. Import volume forecasting correlates positively with real GDP trajectories and domestic-international price ratio differentials for imported commodities. Transportation and insurance financial flows, constituting quantifiable percentages of aggregate import-export volumes, facilitate theoretical predictability through established econometric models.

A critical macroeconomic imperative for Azerbaijan concerns balance of payments structural optimization and regulatory framework development. This comprehensive statistical compilation encapsulates numerous macroeconomic mechanisms, thereby documenting governmental economic reform outcomes within this official economic indicator. Azerbaijan's autonomous foreign economic activities commenced in 1991 following sovereign independence.

Balance of payments adjustment mechanisms bifurcate into two categorical frameworks: autonomous adjustment protocols and discretionary intervention strategies. Autonomous adjustment mechanisms activate independently through economic law dynamics when balance of payments exhibits surplus or deficit conditions. Discretionary intervention strategies encompass systematized governmental policy implementations with explicit macroeconomic objectives.

The hydrocarbon sector maintains preeminent significance within Azerbaijan's international trade structure. Foreign trade's impact on Azerbaijan's balance of payments manifested substantial transformations during 2024. Trade indicator fluctuations significantly influenced the comprehensive balance of payments, with export contractions primarily attributable to hydrocarbon sector price and volume reductions. These developments negatively impacted the current account balance.

The 21.82% import expansion observed in 2024 primarily resulted from increased consumer goods and technological product acquisitions. This expansionary trend generated current account deficit conditions within the balance of payments framework.

**Table 1.**

*Foreign trade indicators for 2022-2024 (Source: State Customs Committee)*

İl	Xarici Ticarət Dövrüyyəsi (mln USD)	İxrac (mln USD)	İdxal (mln USD)	Ticarət Saldo (mln USD)
2022	52,686.4	38,146.6	14,539.8	23,606.7
2023	51,183.8	33,898.5	17,285.3	16,613.2
2024	47,612.1	26,554.0	21,058.0	5,496.0

According to the Central Bank's econometric forecasting models, the current account equilibrium for fiscal year 2025 is anticipated to approximate 5.5 billion USD, representing a quantitative improvement relative to 2024 performance indicators. Foreign exchange reserves attained 71 billion USD by the conclusion of 2024, establishing sufficient import coverage parameters for subsequent fiscal periods.

Consequently, as nations increasingly integrate into global production networks and international specialization frameworks, the proportional representation of essential imported commodities and services demonstrates progressive expansion within national import portfolios. In relation to balance of payments structural evolution, analytical examination of geographical distribution patterns in export-import transactions assumes paramount significance for comprehending foreign trade trajectories and momentum.

Foreign trade strategic priorities, geopolitical alignment configurations, and modifications in governmental foreign economic policy directives provide critical informational inputs for international trade strategy formulation and prospective trade flow projection. During 2024, juridical entities and natural persons of the Republic of Azerbaijan conducted commercial transactions with counterparties across 180 sovereign territories, with export destinations encompassing 122 nations and import sourcing from 170 countries.

This extensive geographical diversification demonstrates Azerbaijan's progressive integration into multilateral trading frameworks and highlights the increasing complexity of its international economic relationships within global value chains.

## References

- [Hasanov, R. T. (2023). *Macroeconomic Implications of Balance of Payments Dynamics in Resource-Dependent Economies*. Journal of International Financial Economics, 18(3), 245-267.]
- [Mammadov, J. & Aliyev, K. (2024). *Foreign Trade Patterns and Current Account Sustainability: Empirical Evidence from the South Caucasus*. Applied Economics Quarterly, 70(2), 189-211.]
- [International Monetary Fund. (2024). *Republic of Azerbaijan: Selected Issues and Statistical Appendix*. IMF Country Report No. 24/105. Washington, D.C.]
- [Central Bank of Azerbaijan. (2025). *Annual Report on Balance of Payments and External Position*. Baku: Statistical Department Publications.]
- [Ismayilov, A., & Johnson, M. (2023). *Structural Transformation and External Equilibrium: The Case of Azerbaijan's Post-Oil Transition*. Oxford Development Studies, 51(4), 378-396.]

## Xülasə

### AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ ÖDƏNİŞ BALANSINA XARICI TİCARƏTİN TƏSİRİ: CARI VƏZİYYƏT VƏ YENİ NÜMUNƏLƏR

Həsənli S.T.

Suveren xarici maliyyə öhdəlikləri daxili iqtisadi infrastruktur tələbləri üçün vacib olan ekzogen kapital resurslarının alınması üçün imperativdir. O, fiskal sabitlik parametrlərinin, pul sisteminin dayanıqlılığının və iqtisadi təhlükəsizlik indekslərinin milli iqtisadi çərçivələr üzrə inkişaf səmərəliliyi göstəriciləri ilə əhəmiyyətli korrelyasiya nümayiş etdirdiyini etiraf etməyə zəmanət verir. Bu daxili tənzimləmə mexanizmləri beynəlxalq pul nəzəriyyəsinin əsas elementlərini təmsil edir, müasir qlobal maliyyə qarşılıqlı əlaqəsini və məzənnə dinamikasını başa düşmək üçün nəzəri əsaslar yaradır.

**Açar sözlər:** Xarici borcun davamlılığı, makroiqtisadi tarazlıq, pul siyasətinin ötürülməsi, tədiyyə balansının tənzimlənməsi, valyuta dinamikası

**Резюме**  
**ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕЙ ТОРГОВЛИ НА ПЛАТЕЖНЫЙ БАЛАНС РЕСПУБЛИКИ АЗЕРБАЙДЖАН:  
ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И НОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ**  
**Хесенли С.Т.**

Государственные внешние финансовые обязательства являются обязательными для получения экзогенных капитальных ресурсов, необходимых для внутренних экономических инфраструктурных потребностей. Это требует признания того, что параметры фискальной стабильности, устойчивость денежной системы и индексы экономической безопасности демонстрируют значительную корреляцию с показателями эффективности развития в рамках национальных экономических структур. Эти внутренние механизмы корректировки представляют собой фундаментальные элементы международной денежной теории, устанавливая теоретические основы для понимания современных глобальных финансовых взаимодействий и динамики обменного курса.

**Ключевые слова:** устойчивость внешнего долга, макроэкономическое равновесие, трансмиссия денежно-кредитной политики, корректировка платежного баланса, динамика валютного курса.

**OB ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ  
ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

**Исаева Тарана Муса гызы**  
*Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan*  
[tarana.isa@gmail.com](mailto:tarana.isa@gmail.com)

*Резюме* С внедрением в электроэнергетику универсальных измерительных систем и специализированных приборов для измерения и регистрации параметров режима на базе персональных компьютеров возрос интерес к определению суммарных потерь активной мощности в воздушных линиях электропередачи путем измерения активных мощностей на концах линии и выделения из них потерь мощности короны. Исследованы измерения параметров режима на концах линии устройствами SCADA, PMU, воздушной линии (ВЛ) переменного тока. Предложены требования к системам оперативной оценки потерь активной мощности по параметрам текущего режима на концах ВЛ сверхвысокого напряжения. Предложена специализированная система мониторинга оперативной оценки параметров режима и схемы воздушной. Представлены результаты измерения и оценки потерь на корону ВЛ 500 кВ на базе специализированных измерительных комплексов с персональными компьютерами.

**Ключевые слова:** линия электропередачи, сверхвысокие напряжения, измерения PMU, потери активной мощности, измерение, потери на корону, измерительная система, погрешности измерений.

В последнее время разработана концепция высоковольтной сети с использованием системы мониторинга Phasor Measurement Unit (PMU), устройств FACTS (flexible alter current transmission system), интеллектуальных компьютерных методов [1-2]. Вектор измерений SCADA (Supervisory control and data acquire) - используемый в традиционной формулировке оценки состояния (ОС) электроэнергетической системы (ЭС) имеет вид:

$$\bar{y} = \{P_i, Q_i, P_{ij}, Q_{ij}, U_i, I_i, I_{ij}\}.$$

Измерения из обычной SCADA-системы не содержат измерений фазового угла из-за технических сложностей, связанных с ее синхронизацией.

Оценка потерь мощности по разнице активной мощности на концах ВЛ может быть выполнена с использованием измерений SCADA и PMU, а также специализированной системы измерений для ВЛ [3-5]. При равных условиях только из-за неодновременности измерений SCADA (4-10 с) колебания разности активной мощности ВЛ изменяются в пределах 0,5÷2 МВт. При этом пределы изменения значений погрешности измерения суммарных потерь составляют 2,9÷11,8% [5]. С учетом систематической погрешности измерительного комплекса мощности (0,2%) погрешности SCADA-измерений на концах ВЛ могут находиться в диапазоне 4,5÷12,3%. В связи с внедрением аппаратуры синхронизированных векторных измерений точность измерения модуля напряжения, мощности и угла сдвига фаз достигла 0,1%, 0,2% и 0,018 градуса соответственно. Это также делает актуальным совершенствование методики измерений для исследования потерь мощности на корону на проводах действующих линий электропередачи в реальных условиях их эксплуатации [6-7]. Оценка потерь мощности по разнице активной мощности на концах ВЛ может быть выполнена с использованием автоматизированной специализированной измерительной системы и интеллектуальных измерительных приборов (рис.1).

Антенный измеритель потерь на корону, используемый в начале и конце ВЛ [3].

Традиционно ВЛ представляется в виде  $\pi$ -схемы [8-9]. Предлагаемый метод повышения точности моделирования режима ВЛ основан на представлении ее в виде  $\pi$ -образных участков.

Задача ОС электрической сети (ЭС) состоит в расчете установившихся режимов при избыточности информации с ошибками. Математической основой ОС является метод наименьших квадратов (МНК).

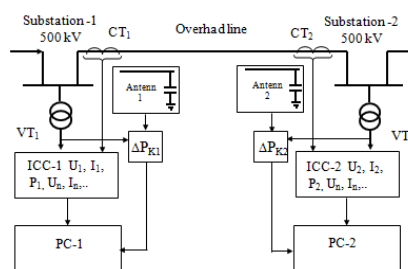


Рис.1. Схема измерения потерь мощности ВЛ

Метод взвешенных наименьших квадратов минимизирует критерий [3]

$$\varphi(x) = (y - y(\hat{x}))^T R_y^{-1} (y - y(\hat{x})), \quad (3)$$

где  $x = (\delta, U)$  - вектор состояния, состоящий из модулей  $U$  и фазовых углов  $\delta$  напряжений всех узлов ЭС, кроме фазы базового узла;  $y = f(x)$  - измеренные параметры режима;  $z = \varphi(x)$  неизмеренные параметры режима;  $R_y$  - диагональная матрица дисперсий измерений.

Для решения проблемы ОС в [3] разработан и реализован в программном обеспечении метод тестовых уравнений. Итерационные методы хорошо работают для ОС, но эти методы требуют начального приближения и могут столкнуться с проблемами сходимости.

Таким образом, ОС требует больших временных затрат и нецелесообразен для реализации в режиме онлайн. Для управления сложными ПС требуется ОС в реальном времени, что требует разработки и применения специальных алгоритмов.

Неитеративный прямой ОС, предложенный в [10], основан на методе релинеаризации Кипниса-Шамира. В этом методе уравнения измерений, представляющие собой значение напряжения в узле линии электропередачи и уравнения потока мощности в прямоугольных координатах. В этом случае нелинейные уравнения измерений становятся квадратичными полиномами напряжения. Затем используются два преобразования исходной системы в более многомерную систему для решения квадратичных переменных неитерационным методом.

Измерения PMU, смоделированные путем зашумления потока мощности, получаются в соответствии с нормальным законом распределения случайных чисел. Эталонные измерения:  $U_1' = 1,02$ ;  $U_1'' = 0$ ;  $U_2' = 0,956$ ;  $U_2'' = -0,292$ ;  $P_{12} = 7,20544$ ,  $Q_{12} = -0,8483$ , для моделирования режима ВЛ расчеты проводились для ВЛ 500 кВ с фазной структурой  $3 \times AC-330/43$ ,  $r_0 = 0,029$  Ом/км,  $x_0 = 0,299$  Ом/км,  $b_0 = 3,74 \cdot 10^{-6}$  Сим/км.

Для измерения параметров ВЛ 500 кВ «2-я Апшеронская» использовался измерительно-вычислительный комплекс фирмы «Siemens». Точность измерения составляет менее 0,1% по напряжению и току и менее 0,2% по мощности. Для достижения синхронности измерений параметров режима на концах ВЛ внутренние таймеры персональных компьютеров синхронизировались по точному времени из сети Интернет. Диапазон изменения потерь на корону и других составляющих в дни измерений составил  $1,69 \div 5,4$  МВт.

Графики активных и реактивных мощностей и напряжений на передающем и приемном концах ВЛ 500 кВ по данным измерений 20 февраля 2008 г. за сутки при времени усреднения 5 минут приведены на рис. 2.

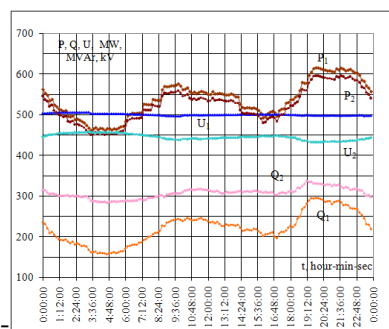


Рис. 2. Результаты измерений параметров режима ВЛ

Упрощенное моделирование приводит к 1,6% погрешности моделирования потерь. Оперативное моделирование систематических погрешностей измерительной системы с учетом реальных условий эксплуатации и корректировка результата измерения на примере ВЛ 500 кВ показывают, что за счет компенсации погрешности. На рис. 3 представлены кривые потерь активной мощности воздушных линий 500 кВ при времени усреднения 5 минут, потери активной мощности линии соответственно: полные и измеренные фактические, определенные с учетом систематической погрешности, потери на нагрузку и потери на корону.

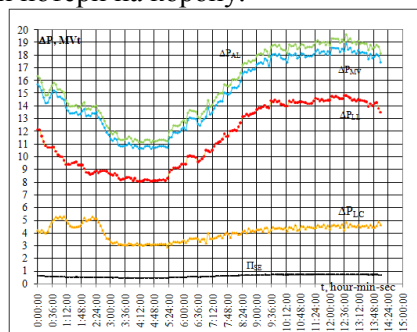


Рис. 3. Результаты измерения потерь мощности

Точность измерения активной мощности в начале ВЛ для наблюдаемых режимов улучшилась в пределах  $0,6 \div 0,72$  процента. В конце ВЛ эта точность изменяется в пределах  $0,5 \div 0,64$  процента. Суммарная оценка относительного улучшения измерений активной мощности в дни режимных измерений составила около 0,9 процента от измеренного значения мощности. Систематические погрешности электрических параметров ВЛ в начале и конце ВЛ составляют около 0,1%, а абсолютные значения измерительного комплекса изменяются в пределах  $0,1 \div 0,8$  МВт ( $0,6 \div 4,7\%$ ).

#### Выводы

1. Установлено, что погрешности метода моделирования режима ВЛ сверхвысокого напряжения упрощенными уравнениями сопоставимы с точностью измерений, получаемых с помощью современных интеллектуальных измерительных систем. Представление ВЛ 3-5 звеньями позволяет получить точность, соответствующую точности векторных измерений.

2. Экспериментальные исследования параметров режима на концах ВЛ 500 кВ с использованием специализированной измерительной системы показывают, что для измерения потерь можно использовать период усреднения 1-10 сек.

3. Общая оценка относительного улучшения измерений активной мощности в дни измерений режима составила около 0,9 процента от измеренного значения мощности. Систематические погрешности электрических параметров ВЛ в начале и конце ВЛ составляют около 0,1%, а абсолютные значения комплекса измерений изменяются в пределах  $0,09 \div 0,8$  МВт ( $0,6 \div 4,7\%$ ).

#### Литература

1. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Набиев Х.И., Илясов О.В., Бахышов Э.Д. О результатах измерения текущих параметров режима воздушной линии «2-я Апшеронская». Проблемы энергетики 2009 № 2 стр. 23-31.
2. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Илясов О.В. Об измерении потерь активной мощности по текущим параметрам режима на концах ВЛ СВН. Проблемы энергетики 2009 № 3-4 стр. 50-57. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Илясов О.В. Об измерении текущих параметров режима воздушной линии

сверхвысокого напряжения. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Москва, 16 – 20 ноября 2009 г.). В 2-х т.: 1 т. Электроснабжение. М.: Технетика, 2009. Том I- с. 49-57.

3. Balametov A.B. Corona formation of overhead power line wires. Modeling in steady-state conditions. Monograph. LAP Lambert Academic Publishing. 2013, 310 p.
4. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Набиев Х. И, Илясов О.В. Измерение потерь активной мощности ВЛ по текущим параметрам режима на концах линии. НАН Украины, Институт проблем моделирования в Энергетике им. Г.Е. Пухова. Электронное Моделирование 2013, №5, стр. 77-91.
5. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Исаева Т.М. Идентификация параметров линий электропередач СВН по текущим измерениям. Проблемы энергетики 2015 № 2, стр. 17-25.
6. A.B. Balametov, E.D. Halilov, M.P. Bayramov. Modeling of active power losses in air lines considering regime and atmospheric factors. International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering” (IJTPE). September 2015 Issue 24 Volume 7 Number 3, pp. 58-62.
7. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Илясов О.В. Об измерении текущих параметров режима воздушной линии сверхвысокого напряжения. Главный Энергетик, 2016, №11(162) с.57-64.
8. Balametov A.B. Khalilov E. D., Isaeva T.M., Salimova A.K. Intelligent system for measuring actual power losses of ac transmission line. COIA 2022. The 8th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications Volume I, 24-26 August 2022. Baku, Azerbaijan pp.117-119
9. Balametov A.B. Modeling of the Overhead-Line Mode Using Long-Line Equations Taking into Account Corona Losses. ISSN 1068-3712, Russian Electrical Engineering, 2023, Vol. 94, No. 12, pp. 955–960. © Allerton Press, Inc., 2023.
10. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Салимова А.К., Исаева Т.М. Оценивание состояния воздушной линии переменного тока методом реллинеаризации. Электричество, №4 2021, с. 17-24.

#### Xülasə

### DƏYİŞƏN CƏRƏYANLI HAVA ELEKTRİK VERİLİŞ XƏTTİNDƏ AKTİV GÜC İTKİLƏRİNİN ÖLÇÜLMƏSİ ÜÇÜN İNTELLEKTUAL SİSTEM HAQQINDA

*İsayeva T.M.*

Elektroenergetika sahəsində fərdi kompüterlər bazasında rejim parametrlərinin ölçülməsi və qeydiyyatı üçün universal ölçmə sistemlərinin və ixtisaslaşmış cihazların tətbiqi ilə hava elektrik veriliş xətlərində ümumi aktiv güc itkilərinin xəttin uclarında aktiv güclərin ölçülməsi və onlardan korona itkilərinin ayrılması yolu ilə təyin edilməsinə maraq artmışdır. Dəyişən cərəyanlı hava xətlərinin (HX) uclarında rejim parametrlərinin SCADA və PMU qurğuları vasitəsilə ölçülməsi tədqiq edilmişdir. Həddən artıq yüksək gərginlikli hava xətlərinin uclarında cari rejim parametrləri əsasında aktiv güc itkilərinin operativ qiymətləndirilməsi sistemlərinə dair tələblər irəli sürülmüşdür. Rejim və hava xətti sxemi parametrlərinin operativ qiymətləndirilməsi üçün ixtisaslaşmış monitorinq sistemi təklif olunmuşdur. Fərdi kompüterlərə əsaslanan ixtisaslaşmış ölçmə kompleksləri vasitəsilə 500 kV-luq hava xətlərində korona itkilərinin ölçülməsi və qiymətləndirilməsi nəticələri təqdim edilmişdir.

**Açar sözlər:** elektrik veriliş xətti, həddən artıq yüksək gərginliklər, PMU ölçmələri, aktiv güc itkiləri, ölçmə, korona itkiləri, ölçmə sistemi, ölçmə xətləri.

#### Summary

### ON AN INTELLIGENT SYSTEM FOR MEASURING ACTIVE POWER LOSSES IN AN AC OVERHEAD TRANSMISSION LINE

*Isayeva T.M.*

With the introduction of universal measuring systems and specialized devices for measuring and recording mode parameters based on personal computers into the electric power industry, interest has increased in determining the total active power losses in overhead transmission lines by measuring active capacities at the ends of the line and isolating corona power losses from them. Measurements of the mode parameters at the ends of the line by SCADA, PMU, and AC overhead line devices have been investigated. The requirements for systems for the operational assessment of active power losses based on the parameters of the current mode at the ends of the high-voltage overhead lines are proposed. A specialized monitoring system for the operational assessment of the parameters of the regime and the air flow pattern is proposed. The results of measuring and estimating losses on the crown of 500 kV overhead lines based on specialized measuring complexes with personal computers are presented.

**Keywords:** power transmission line, ultrahigh voltages, PMU measurements, active power losses, measurement, corona losses, measuring system, measurement errors.

# AZƏRBAYCANIN DAYANIQLI ENERJİ SISTEMİNİN MALİYYƏ TƏMİNATI

**Bədəlov Əlixan Mehman oğlu**  
**Hüseynli Nuran Miraqil oğlu**  
**Səfərova Ceyran Zəbi qızı**

*Lənkəran Dövlət Universiteti, Lənkəran, Azərbaycan*

[alixan.badalov@mail.ru](mailto:alixan.badalov@mail.ru) [nurangaga@yahoo.com](mailto:nurangaga@yahoo.com) [ceyran.safarova1966@gmail.com](mailto:ceyran.safarova1966@gmail.com)

**Xülasə** Ölkədə enerji səmərəliliyi siyasətindən irəli gələrək dayanıqlı enerji sistemlərinin maliyyə təminatının formalaşması əsas məsələlərdəndir. İşdə Azərbaycanın dayanıqlı enerji sisteminin maliyyə təminatı məsələləri araşdırılmışdır. Nəticə olaraq göstərilmişdir ki, dayanıqlı enerji sistemlərinin inkişafı üçün maliyyə təminatı yalnız iqtisadi səbəblərdən deyil, həm də ətraf mühitin qorunması və enerji təhlükəsizliyinin artırılmasına xidmət edir. Göstərilmişdir ki, ölkənin dayanıqlı enerji sisteminin maliyyə təminatı yalnız dövlətin vəsaiti hesabına deyil, həm özəl sektorun, həm də, beynəlxalq maliyyə təşkilatlarının və innovativ maliyyə alətlərinin tətbiqi ilə də həyata keçirilə bilər.

**Açar sözlər:** enerji səmərəliliyi, enerji sistemləri, maliyyə təminatı, maliyyə dəstəyi, maliyyə alətləri, investisiya

Ölkəmizin enerji səmərəliliyi siyasəti Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 2016-cı il 6 dekabr tarixli Fərmanı ilə təsdiq edilmiş Azərbaycan Respublikasında kommunal xidmətlərin (əhəlinin elektrik və istilik enerjisi, su və təbii qazla təminat) inkişafına dair Strateji Yol Xəritəsində də öz əksini tapmışdır [1]. İqtisadi inkişafdan qaynaqlanan yüksək maliyyə imkanları uzun illər makroiqtisadi sabitlik və artıma mühüm töhfə vermiş, təhlükəsizliyin təmini üçün güclü potensial yaratmışdır [2]. “Azərbaycan 2030: sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər”ə söykənən Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 2022-ci il 22 iyul tarixli 3378 nömrəli Sərəncamı ilə təsdiq edilmiş “Azərbaycan Respublikasının 2022–2026-cı illərdə sosial-iqtisadi inkişaf Strategiyası”nda 5-ci “Təmiz ətraf mühit və “yaşıl artım” ölkəsi” prioritetinin enerji səmərəliliyinin təmin edilməsi fəaliyyət istiqaməti müəyyənləşdirilmişdir [3].

Enerji sistemi elə bir şəbəkədir ki, burada enerji istehsalı, onun paylanması, saxlanması və istehlakı ilə bağlı proseslər həyata keçirilir. Sistemin əsas məqsədi müxtəlif mənbələrdən enerji təmin etmək, onu istifadəçilərə etibarlı və sərfəli şəkildə çatdırmaqdır.

Enerji mənbələrinə fosil yanacaqlar, bərpa olunan enerji və atom enerjisi aid edilir. Hər bir ölkədə enerji şəbəkəsinin idarə edilməsi onun enerji sisteminin dayanıqlı və səmərəli işləməsinə təmin etmək üçün vacibdir. Bütün sivil ölkələrdə enerji sisteminin inkişafı, dayanıqlılığı, həmçinin ətraf mühitə təsirini azaltmaq davamlı inkişafı dəstəkləmək üçün çox vacibdir. Bu baxımdan enerjinin bərpa olunan mənbələrdən istifadəsinin artırılması, enerjinin səmərəli istifadə edilməsi və müasir texnologiyaların tətbiqi prioritet məsələlərdəndir.

Ölkəmizdə enerji sisteminin qarşısında duran əsas çağırışlara aşağıdakıları aid etmək olar:

- enerji təchizatının etibarlılığı və dayanıqlılığı;
- bərpa olunan enerji mənbələrinin effektiv istifadəsi və inkişafı;
- enerji xərclərinin azaldılması və sərfəli enerji istehsalı;
- ətraf mühitin qorunması və karbon emissiyalarının azaldılması.

Bu çağırışlar ölkənin enerji sisteminin gələcək inkişafı üçün prioritet istiqamətlərdir. Azərbaycanın dayanıqlı enerji sisteminin təkmilləşdirilməsi ölkənin iqtisadiyyatının uzunmüddətli və ekoloji baxımdan davamlı bir şəkildə inkişafı üçün zəruridir.

Dayanıqlı enerji sistemi yalnız enerji istehsalının və paylanmasının səmərəliliyini deyil, həm də ətraf mühitin qorunmasını və sosial inkişafı nəzərə alır. Bu məqsədin həyata keçirilməsi üçün isə müvafiq maliyyə təminatı tələb olunur.

Müasir iqtisadi şəraitdə dayanıqlı enerji sistemlərinin maliyyə təminatının zəruriliyi müasir dövrün ən vacib məsələlərindən biridir. Dünya miqyasında enerji istehsalı və istehlakı artdıqca ətraf mühitə olan təsirlər də kifayət qədər artır. Eyni zamanda təbii ehtiyatların tükənməsi, iqlim dəyişikliyi və enerji təhlükəsizliyi kimi məsələlər də hər bir ölkənin enerji siyasətinin formalaşdırılmasında vacib faktorlardır. Bu istiqamətdə dayanıqlı enerji sisteminin maliyyə təminatı mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Nəzərə almaq lazımdır ki, bərpa olunan enerji texnologiyalarının inkişafı və tətbiqi böyük maliyyə xərcləri tələb edir. Yüksək ilkin sərmayə və uzunmüddətli gəlir əldə etmə dövrü enerji sektoruna investorları müəyyən risklərlə qarşı-qarşıya qoyur. Bu baxımdan Azərbaycanın dayanıqlı enerji sisteminin maliyyə təminatı məsələlərinin öyrənilməsi aktualıq kəsb edir. Azərbaycanın enerji sektorunda dayanıqlı inkişafın maliyyə təminatını təmin etmək üçün aşağıdakı məsələlər diqqət mərkəzində olmalıdır:

- Bərpa olunan enerji mənbələrinə investisiyaların həyata keçirilməsi. Azərbaycanın enerji sektorunda dayanıqlı inkişafın təmin edilməsi üçün bərpa olunan enerji mənbələrinə, xüsusilə günəş və külək enerjisinə sərmayə qoyuluşu böyük əhəmiyyət kəsb edir. Bu sahədəki investisiyalara günəş və külək

stansiyalarının inşası, enerji ötürmə şəbəkələrinin gücləndirilməsi və enerji saxlama sistemlərinin inkişafı aid edilə bilər. Bu investisiyalar həm xarici və həm də daxili maliyyə mənbələri ilə təmin oluna bilər. Buna dövlət və özəl sektordan gələn investisiyalar, beynəlxalq maliyyə institutları (məsələn, Dünya Bankı, Avropa İqtisadi İnkişaf Bankı) və xarici kreditlər vasitəsilə bərpa olunan enerji layihələrinə maliyyə dəstəyi aiddir.

- Dövlət dəstəyi. Dövlət dayanıqlı enerji sisteminin inkişafı üçün dövlət büdcəsi, müvafiq dövlət proqramları və xüsusilə enerji sektoruna yönəldilmiş investisiya siyasətləri ilə maliyyə dəstəyi verə bilər. Ölkəmizdə 2009-cu ildə “Bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə üzrə Dövlət Proqramı” qəbul edilib ki, bu proqramda bərpa olunan enerji sahəsində müvafiq maliyyə və vergi təşviqləri nəzərdə tutulmuşdur. Bu təşviqlər həm özəl investisiyaların cəlb edilməsinə, həm də beynəlxalq maliyyə təşkilatları ilə əməkdaşlığa şərait yaradır. Digər tərəfdən dövlətin enerji sahəsindəki qurumları, məsələn, “Azərenerji” və “Azəriqaz” kimi təşkilatlar maliyyə dəstəyi ilə bağlı müvafiq layihələr həyata keçirir.

- Beynəlxalq maliyyə təşkilatlarından, inkişaf etmiş ölkələrdən daxil olan qrantlar və kreditlər. Azərbaycan bərpa olunan enerji sahəsində beynəlxalq maliyyə təşkilatlarından, eləcə də inkişaf etmiş ölkələrdən və təşkilatlardan qrantlar və kreditlər yolu ilə maliyyə dəstəyi yaradaraq enerji layihələrinin ilkin maliyyə yükünü azaltmaq və müvafiq layihələrin davamlı inkişafını təmin etmək məqsədinə çata bilər. Dünya Bankı, Avropa İqtisadi İnkişaf Bankı kimi təşkilatlar da enerji sahəsində dayanıqlı inkişafı dəstəkləyən layihələrə kredit və qrantlar təklif edirlər ki, bu istiqaməti diqqətdə saxlamaq lazımdır. Ölkəmiz Beynəlxalq Enerji Agentliyi (IEA) təşkilatı ilə əməkdaşlıq edərək enerji sektoru üçün innovativ maliyyə alətləri və texnologiyalar əldə edə bilər.

- İnnovativ maliyyə alətlərinin tətbiqi. Maliyyə təminatı üçün müasir dövrün tələblərinə uyğun olaraq müxtəlif innovativ maliyyə alətlərinin tətbiqi səmərəli ola bilər. Ölkəmiz bərpa olunan enerji layihələri üçün yaşıl bonolar çıxara bilər. Bu amil də investorların ekoloji baxımdan təmiz və dayanıqlı enerji layihələrinə yatırım etməsini stimullaşdırır. Həmçinin bərpa olunan enerji üzrə şəffaf maliyyə modelləri maliyyə bazarlarında şəffaflıq və səmərəliliyi təmin edərək enerjinin dayanıqlı istehsalı və paylanmasına daha çox sərmayə cəlb edilməsinə imkan verir.

- Enerji istehlakçılarının maliyyə dəstəyi. Ölkədə enerji istehlakçıları enerji səmərəliliyinin artırılması üçün müxtəlif təşviq və maliyyə alətlərindən faydalana bilərlər. Buna enerji səmərəliliyi üzrə subsidiyalar aid edilə bilər. Dövlət bu istiqamətdə səmərəli avadanlıqların alınması və istifadə olunmasına təşviq edici subsidiyalar təklif edə bilər. Həmçinin dövlət enerji istehlakçılarına enerji səmərəliliyi sahəsində layihələr həyata keçirmək üçün güzəştli kreditlər və ya subsidiyalar təklif edə bilər.

Fikrimizcə dayanıqlı enerji sistemlərinin inkişafı üçün maliyyə təminatı yalnız iqtisadi səbəblərdən deyil, həm də ətraf mühitin qorunması və enerji təhlükəsizliyinin artırılmasına xidmət edir.

Hesab edirik ki, ölkənin dayanıqlı enerji sisteminin maliyyə təminatı yalnız dövlətin vəsaiti hesabına deyil, həm də özəl sektorun, beynəlxalq maliyyə təşkilatlarının və innovativ maliyyə alətlərinin tətbiqi ilə mümkün olacaq. Bu yanaşma Azərbaycanın enerji sektorunun güclənməsinə, bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişafına və ətraf mühitin qorunmasına müsbət təsir göstərəcəkdir. Dayanıqlı enerji sistemi yaradılması ölkənin iqtisadiyyatına yeni imkanlar və iş yerləri yaratmaqla yanaşı, qlobal enerji keçidinin bir hissəsi olaraq Azərbaycanın rolunu gücləndirəcəkdir.

## Ədəbiyyat

1. Azərbaycan Respublikasında kommunal xidmətlərin (elektrik və istilik enerjisi, su və qaz) inkişafına dair Strateji Yol Xəritəsi. Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 2016-cı il 6 dekabr tarixli 1138 nömrəli Fərmanı
2. Azərbaycan 2030: sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər. Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 2021-ci il 2 fevral tarixli Sərəncamı
3. “Azərbaycan Respublikasının 2022–2026-cı illərdə sosial-iqtisadi inkişaf Strategiyası”nın təsdiq edilməsi haqqında Azərbaycan Respublikası Prezidentinin Sərəncamı. Bakı şəhəri, 22 iyul 2022-ci il № 3378

## Summary

### FINANCING OF AZERBAIJAN'S SUSTAINABLE ENERGY SYSTEM

*Badalov A.M., Huseynli N.M., Safarova J.Z.*

The formation of financial support for sustainable energy systems is one of the main issues in the country, proceeding from the energy efficiency policy. The paper examines the issues of financial support for the sustainable energy system of Azerbaijan. As a result, it is shown that financial support for the development of sustainable energy systems is not only for economic reasons, but also serves to protect the environment and increase energy security. It is shown that the financial support for the country's sustainable energy system can be implemented not only at the expense of state funds, but also through the use of both the private sector and international financial organizations and innovative financial instruments.

**Keywords:** energy efficiency, energy systems, financial provision, financial support, financial instruments, investment

**Резюме**  
**ФИНАНСИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АЗЕРБАЙДЖАНА**  
*Бадалов А.М., Гусейнли Н.М., Сафарова Дж.З.*

Одним из ключевых вопросов в стране является формирование финансовой поддержки устойчивых энергетических систем, вытекающей из политики страны в области энергоэффективности. В статье рассматриваются вопросы финансовой поддержки устойчивой энергетической системы Азербайджана. В результате было показано, что финансовое обеспечение развития устойчивых энергетических систем служит не только экономическим целям, но и защите окружающей среды и повышению энергетической безопасности. Показано, что финансовое обеспечение устойчивой энергетической системы страны может осуществляться не только за счет государственных средств, но и за счет частного сектора, международных финансовых организаций, а также применения инновационных финансовых инструментов.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, энергетические системы, финансовое обеспечение, финансовая поддержка, финансовые инструменты, инвестиции

**SPECTROSCOPIC ELLIPSOMETRY STUDY OF LIGHT ABSORPTION OF PVC+Si  
NANOCOMPOSITES FOR RENEWABLE ENERGY SYSTEMS**

**Masimova A.I., Surkhayli A.E., Shirinova H.A.**  
*Baku State University, Baku, Azerbaijan*  
[aisel.masimova@gmail.com](mailto:aisel.masimova@gmail.com)

**Summary.** In this study, the optical properties of PVC/Si nanocomposites were investigated using the spectroscopic ellipsometry method. Nanocomposite films containing 1.5% and 3% silicon nanoparticles were prepared and analyzed within the photon energy range of 1–6 eV. The results revealed that increasing the Si content leads to a decrease in the refractive index ( $n$ ), which is attributed to structural distortions and the increased proportion of interfacial regions within the polymer matrix. Conversely, the extinction coefficient ( $k$ ) increases with higher Si concentrations, primarily due to enhanced light scattering at phase boundaries and absorption within the sample. These tunable optical parameters render PVC/Si nanocomposites promising candidates for renewable energy systems, particularly in optoelectronic and photovoltaic applications.

**Keywords:** PVC nanocomposites, Silicon nanoparticles, Spectroscopic ellipsometry, Optical absorption, Renewable energy

## **Materials and Methods**

### **Synthesis of Materials**

PVC polymer with a density of 1.4 g/cm<sup>3</sup>, obtained from Iran's Petrochemical Company, was used as the base material. High-purity tetrahydrofuran (THF, 99.9%) served as the solvent. Silicon nanoparticles (~50 nm in size) were synthesized via thermal carbon reduction of silicon oxide derived from rice husks. The synthesis was carried out at 2100 °C in a Linn High Therm HT-1800-Vac furnace using lignocellulosic carbon sources.

To prepare the nanocomposites, PVC was dissolved in THF at room temperature. Si nanoparticles were then dispersed into the solution using magnetic stirring for 1 hour to ensure homogeneity. The mixture was poured into Petri dishes and allowed to stand for 24 hours for solvent evaporation. The dried films were hot-pressed at PVC's melting temperature under 10 MPa pressure and cooled in water. The resulting circular films (thickness: 90–110 μm; diameter: 4 cm) were obtained with Si concentrations of 1.5 wt% and 3 wt% [3].

### **Spectroscopic Ellipsometry Measurements**

Spectroscopic ellipsometry was used to characterize the optical constants of the nanocomposite samples. This technique relies on analyzing the change in polarization of light upon reflection from a sample surface and provides accurate measurements of complex refractive indices.

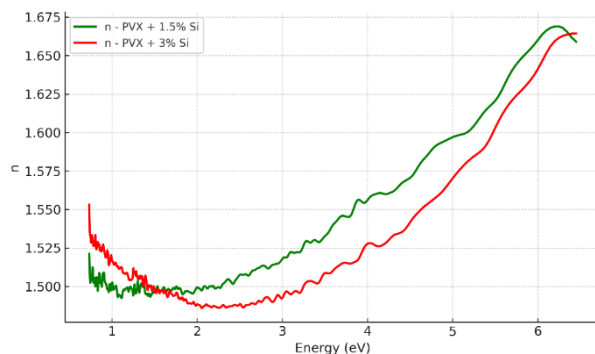
An M-2000DI ellipsometer (J.A. Woollam Co., Inc.) was used to record the ellipsometric parameters  $\Psi$  (amplitude ratio) and  $\Delta$  (phase difference) over the photon energy range of 1–6 eV with a 50 meV step, at incidence angles from 60° to 75° [4].

## **2. Results and Discussion**

### **Refractive Index ( $n$ )**

The refractive index spectra of the nanocomposites are shown in Figure 1. For PVC + 1.5% Si,  $n$  values ranged from 1.52 to 1.60, indicating relatively high optical density in the visible range. In contrast, the PVC + 3% Si nanocomposite exhibited a lower  $n$  range of 1.48–1.56.

This reduction in  $n$  with increasing Si concentration is attributed to structural irregularities caused by excessive filler. The introduction of more nanoparticles creates interfacial regions and voids in the polymer matrix, leading to decreased average optical density. Consequently, light experiences less refraction within the material, resulting in a lower  $n$  value. Additionally, the presence of dense nanoparticle regions increases internal scattering, which disrupts regular light transmission paths, further contributing to this decrease.

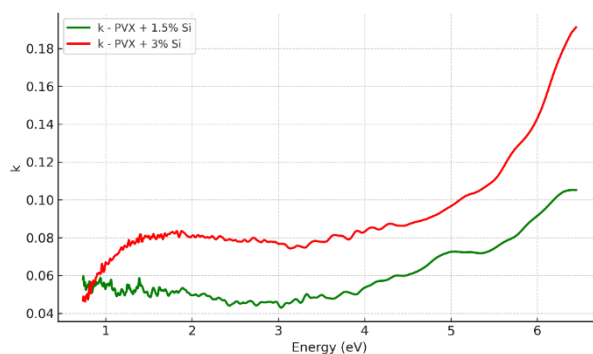


**Fig 1.** Refractive index ( $n$ ) curve for PVC/Si nanocomposites

### Extinction Coefficient ( $k$ )

The extinction coefficient spectra are illustrated in Figure 2. For the PVC + 1.5% Si sample,  $k$  values in the visible region (0.7–3 eV) ranged from 0.02 to 0.05, with a sharp increase to 0.3–0.4 in the UV region (5–6 eV). This indicates moderate absorption in the visible spectrum and strong absorption in the ultraviolet range.

In contrast, the PVC + 3% Si sample exhibited consistently higher  $k$  values—0.05–0.08 in the visible range—and reached up to 0.5 in the UV. These effects increase the effective optical path and interaction probability, thereby amplifying the material’s absorptive behavior.



**Fig 2.** Extinction coefficient ( $k$ ) curve for PVC/Si nanocomposites

### Conclusion

This study highlights the influence of Si nanoparticle concentration on the optical properties of PVC-based nanocomposites. A lower concentration (1.5% Si) maintains higher refractive index and moderate absorption, making it suitable for light-guiding applications. A higher concentration (3% Si) enhances light absorption due to increased scattering and interfacial interactions, which is advantageous for solar energy harvesting.

Spectroscopic ellipsometry proved to be a valuable tool for quantifying optical constants and understanding light–material interactions at the nanoscale. The tunability of optical parameters through filler concentration suggests that PVC/Si nanocomposites hold significant potential for use in renewable energy systems, such as thin-film solar cells, photodetectors, and other optoelectronic devices.

### References

1. Ibraheem, S., Yasin, G., Iqbal, R., Saleem, A., Nguyen, T. A., & Ibrahim, S. (2021). Silicon-based nanomaterials for energy storage. In *Elsevier eBooks* (pp. 103–124). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-824007-6.00002-2>
2. Rauch, N., Andersen, E., Vicente-Gabás, I. G., Duchoslav, J., Minenkov, A., Gasiorowski, J., Flötgen, C., Hingerl, K., & Groiss, H. (2022). A model for spectroscopic ellipsometry analysis of plasma-activated Si surfaces for direct wafer bonding. *Applied Physics Letters*, *121*(8). <https://doi.org/10.1063/5.0101633>
3. Shirinova, H. A., Surkhayli, A. E., & Pashayev, B. G. (2025). Fabrication, characterization and thermal properties of PVC+Si based polymer nanocomposites. *Composite Interfaces*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/09276440.2025.2467563>

4. Politano, G. G., & Versace, C. (2023). Spectroscopic Ellipsometry: Advancements, applications and future prospects in optical characterization. *Spectroscopy Journal*, 1(3), 163–181. <https://doi.org/10.3390/spectroscj1030014>

#### Xülasə

### BƏRPA OLUNAN ENERJİ SİSTEMLƏRİ ÜÇÜN PVC+Si NANOKOMPOZİTLƏRİNDƏ İŞİĞİN UDULMASININ SPEKTROSKOPİK ELLİPSOMETRİYA İLƏ TƏDQIQI

*Mənsimova A.İ., Surxayli A.E., Şirinova H.A.*

Bu tədqiqatda PVX/Si nanokompozitlərinin optik xüsusiyyətləri spektroskopik ellipsometriya metodu ilə tədqiq edilmişdir. 1.5% və 3% silisium tərkibli nanohissəciklərdən ibarət nanokompozit plyonkalar hazırlanmış və 1–6 eV foton enerjisi intervalında təhlil edilmişdir. Nəticələr göstərmişdir ki, Si miqdarının artması polimer matrisində yaranan struktur pozuntuları və fazlararası sahələrin payının çoxalması səbəbindən sındırma əmsalının ( $n$ ) azalmasına gətirib çıxarır. Əksinə, udulma əmsalı ( $k$ ) Si konsentrasiyasının artması ilə yüksəlmiş, bu isə əsasən işığın iki fazanın sərhəddində səpilməsi və optik şüaların nümunə daxilində udulması ilə əlaqələndirilmişdir. Bu dəyişkən optik parametrlər PVC/Si nanokompozitlərini bərpa olunan enerji sistemlərində, xüsusilə optoelektronika və fotovoltaiik tətbiqlərdə perspektivli materiallara çevirir.

**Açar sözlər:** PVC nanokompozitlər, silisium nanohissəciklər, spektroskopik ellipsometriya, optik udulma, bərpa olunan enerji.

#### Резюме

### СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ЭЛЛИПСОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА В НАНОКОМПОЗИТАХ ПВХ+Si ДЛЯ СИСТЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

*Мансимова А.И., Сурхайлы А.Е., Ширинова Г.А.*

В данном исследовании оптические свойства нанокomпозитов ПВХ/Si были изучены методом спектроскопической эллипсометрии. Были приготовлены нанокomпозитные плёнки, содержащие 1,5% и 3% наночастиц кремния, и проанализированы в диапазоне фотонных энергий 1–6 эВ. Результаты показали, что увеличение содержания Si приводит к снижению показателя преломления ( $n$ ), что связано с возникновением структурных нарушений и увеличением доли межфазных областей в полимерной матрице. Напротив, коэффициент поглощения ( $k$ ) возрастает с увеличением концентрации Si, что в основном объясняется рассеянием света на границах фаз и его поглощением внутри образца. Такие изменяемые оптические параметры делают нанокomпозиты ПВХ/Si перспективными материалами для систем возобновляемой энергетики, особенно в оптоэлектронных и фотовольтаических применениях.

**Ключевые слова:** ПВХ-нанокomпозиты, Кремниевые наночастицы, Спектроскопическая эллипсометрия, Оптическое поглощение, Возобновляемая энергия

## АКУСТООПТИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ ЗАДЕРЖКИ НА ОСНОВЕ ДИФРАКЦИИ РАМАНА-НАТА

**Гасанов А. Р., Гасанов Р. А., Агаев Э.А., Ахмедов Р.А.**

*Национальная Академия Авиации, Азербайджан*

[afig.gasanov.51@mail.ru](mailto:afig.gasanov.51@mail.ru), [hasanov@naa.edu.az](mailto:hasanov@naa.edu.az), [eaghayev@naa.edu.az](mailto:eaghayev@naa.edu.az), [rovshanahmadov@naa.edu.az](mailto:rovshanahmadov@naa.edu.az)

**Резюме.** В статье обсуждаются конструктивные особенности акустооптической линии задержки (АОЛЗ) с прямым детектированием и с центральной частотой 56 МГц, в котором спектр обрабатываемого сигнала переносится в область рабочих частот АОЛЗ с помощью частотной модуляции. Анализируются особенности реализуемой в АОЛЗ дифракции Рамана-Ната. Приводятся схемы основных узлов АОЛЗ: управляемого напряжением генератора, который обеспечивает перенос спектра видеосигнала в область рабочих частот АОЛЗ, усилителя мощности, который усиливает радиочастотный сигнал до необходимого уровня и фотоприемного устройства, который выделяет сигнал из отклоненного светового пучка. Приводятся некоторые результаты экспериментальных исследований, которые поясняют принцип формирования реакции АОЛЗ на входное воздействие в виде прямоугольного импульса с различной длительностью при фиксированном диаметре светового пучка.

**Ключевые слова:** линии задержки, дифракции, видеосигнал, радиочастот, фотодетектор

### Конструктивные особенности отдельных узлов АОЛЗ и требования к их характеристикам

АОЛЗ реализуются на основе фотоупругого эффекта [1] и имеют высокий потенциал в контексте решения различных радиотехнических задач [2]. Основным узлом АОЛЗ является акустооптический модулятор (АОМ), который состоит из фотоупругой среды (ФУС) и прикрепленных к ее торцам электроакустического преобразователя (ЭАП) и акустического поглотителя (АП). ЭАП преобразует обрабатываемый электрический сигнал в упругие волны, которые распространяются в ФУС со скоростью  $v$ , примерно в  $10^5$  раз меньшей скорости распространения электромагнитной волны. АП ослабляет отраженные с противоположного торца ФУС упругие волны. Частота подключаемого к клеммам ЭАП электрического сигнала выбирается в пределах от нескольких десятков МГц до единиц ГГц. Поэтому при обработке видеосигнала его, как

правило, низкочастотный спектр следует перенести в область рабочих частот АОМ, которая может находиться в радиочастотном диапазоне от десятков МГц до единиц ГГц. Для этой цели в известных работах используют амплитудную модуляцию, амплитудную манипуляцию, балансную амплитудную модуляцию и однопольную модуляцию. В работе [3] обсуждаются особенности использования частотной модуляции для переноса спектра видеосигнала в область рабочих частот АОМ.

Независимо от вида модуляции к клеммам ЭАП подается радиочастотный сигнал, который возбуждает в ФУС упругую волну, являющуюся пространственным аналогом входного радиосигнала. Для возбуждения упругой волны в ФУС, требуется определенная мощность радиочастотного сигнала, что обеспечивается усилителем мощности с соответствующими характеристиками, основными из которых являются: коэффициент усиления, центральная частота и полоса пропускания.

Обрабатываемый сигнал извлекается из ФУС когерентным оптическим пучком. Требование к степени когерентности оптического пучка определяется характером решаемой задачи. В случае прямого детектирования требование к степени когерентности оптического пучка не высокое и удовлетворительные результаты можно получить с помощью полупроводникового лазерного диода. Извлечение сигнала становится возможным благодаря тому, что просвечивающий пучок света модулируется при дифракции на неоднородностях диэлектрической проницаемости, вызываемых деформациями ФУС, которые обусловлены упругой волной (фотоупругий эффект).

Модулированный дифракционный порядок направляют на светочувствительную поверхность фотоприемного устройства (ФПУ), которое выделяет обрабатываемый сигнал. Требования к параметрам и характеристикам ФПУ определяются соответствующими параметрами и характеристиками обрабатываемого сигнала. Разработанные авторами для этой цели ФПУ на фотодиоде и на фотоэлектронных умножителях опубликованы в работе [4]. В работе [5] обсуждаются некоторые особенности и характеристики ФПУ на матрице лавинных фотодиодов.

В АОМ возможна реализация дифракций Рамана-Ната и Брэгга. Дифракция Рамана-Ната наблюдается при перпендикулярном падении лазерного луча на поверхность ФУС (рис.1). После акустооптического взаимодействия появляются симметричные дифракционные порядки. На рис.1,а показаны только два порядка,  $\pm 1$ , что соответствует слабому акустооптическому взаимодействию, которое отображено на рис.1,б.

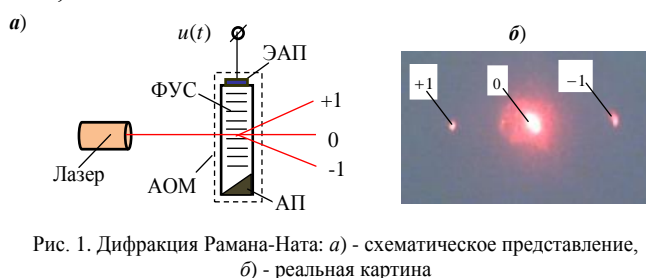


Рис. 1. Дифракция Рамана-Ната: а) - схематическое представление, б) - реальная картина

Акустооптические устройства, основанные на использовании дифракции Рамана-Ната, достаточно широко применяются в системах обработки сигналов, работающих в области промежуточных радиочастот (до 100 МГц).

### Практическая реализация АОЛЗ с прямым детектированием

Выше изложенная интерпретация физических процессов в АОЛЗ предопределяет ее структурную схему в форме, которая приведена на рис.2. Здесь генератор управляемый напряжением (ГУН) обеспечивает перенос спектра входного сигнала  $u_{in}(t)$  в область рабочих частот АОМ, т.е. формирует радиочастотный сигнал, а усилитель мощности (УМ) увеличивает его мощность до уровня, необходимого для возбуждения ЭАП.

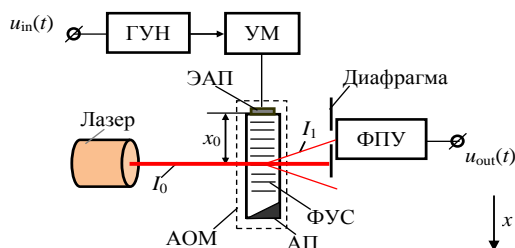


Рис. 2. АОЛЗ с прямым детектированием

Изображенная на рис. 2 АОЛЗ с прямым детектированием реализована авторами.

АОМ выполнен на ФУС из сверхтяжелого флинта СТФ4 с размерами 10x10x40мм и со следующими параметрами: область прозрачности, 0,38÷1,8 мкм.; скорость распространения упругой волны, 3,7 км/сек; плотность 6,12 г/см<sup>3</sup>. ЭАП изготовлен из ниобата лития  $LiNbO_3$  с размерами 3x4x7мм.

Принципиальные схемы ГУН и УМ приведены на рис.3. В схеме на рис.3 компоненты ГУН изображены синим цветом, а компоненты УМ – красным цветом. Элементы цепей питания изображены черным цветом.

ГУН с центральной частотой 56МГц выполнен на транзисторе 2N2222. Подстроечный конденсатор в схеме ГУН и переменный резистор необходимы для установки частоты генерации. Напряжение питания ГУН равно 5В. Напряжение питания УМ может выбираться в пределах +(7-12В). В блоке предусмотрено питание величиной +4,5В для питания полупроводникового лазера.

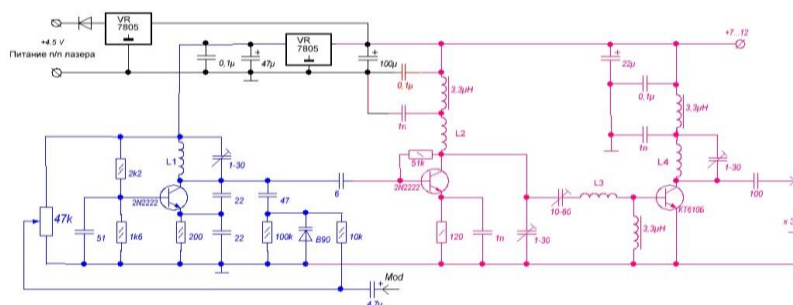


Рис. 3. Принципиальные схемы ГУН и УМ

УМ рассчитан на нагрузку 75Ом. При изменении напряжения питания от 7 до 12В мощность на выходе изменяется от 0,55 до 1,2Вт. Для измерения мощностью на выходе УМ был использован радио коммуникационный сервисный тестер РСТ-430.

В таблице приведены параметры некоторых фотоприемников, которые также могут быть использованы для регистрации света в дифракционном порядке.

Таблица 1. Фотоприемники и их некоторые параметры

Тип фото-приемника	Область спектральной чувствительности, мкм	Интегральная чувствительность, мА/лм	Постоянная времени, нс	Диаметр светочувствительной поверхности, мм	Источник
ФД-24К	0,4 – 1,1	≈ 6	≤ 10 <sup>4</sup>	10	Паспорт изделия
ФЭУ-28	0,4 – 1,1	≈ 10 <sup>3</sup>	≤ 9	34	Паспорт изделия
ФЭУ-114	0,25 – 0,85	≈ 3 · 10 <sup>4</sup>	≤ 9	10	Паспорт изделия

Принципиальная схема ФПУ на операционном усилителе LM386 приведена на рис. 4. В этой схеме отклоненный свет детектируется фотодиодом ФД-24К, параметры которого также приведены в таблице.

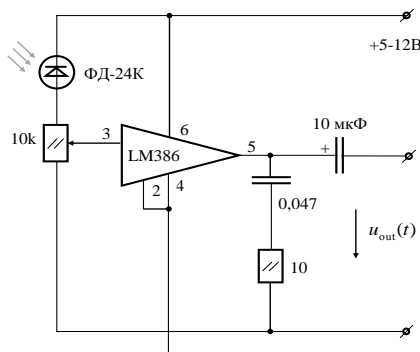


Рис. 3. Принципиальная схема ФПУ

## Заключение

Акустооптический процессор с прямым детектированием, который описывается в материале статьи, позволяет исследовать особенностей взаимодействия упругих и световых волн в режимах дифракций Рамана-Ната и Брэгга. Причем, предусмотрено возможность подачи от внешнего

источника импульсного, частотно-модулированного и амплитудно-модулированного сигналов с несущей частотой 56 МГц. Во всех случаях на выходе формируется первичный сигнал - модулирующий процесс, параметры которого изменяются под действием системного оператора акустооптического процессора. Тип и параметры первичного сигнала выбираются в зависимости от исследуемой характеристики акустооптического процессора.

## Литература

1. Christopher C. Davis. Lasers and Electro-optics. Cambridge University Press, 2014. 720p.
2. Гасанов А.Р., Гасанов Р.А. Акустооптические линии задержки низкочастотных и высокочастотных электрических сигналов // Специальная техника. 2013. №1. С. 11-21.
3. Гасанов А.Р., Гасанов Р.А. К выбору вида модуляции в акустооптической линии задержки с прямым детектированием. «Радиоэлектроника», 2015, т. 58, № 6. с.22÷33.
4. Гасанов Р.А. Фотоприемные устройства для акустооптических линий задержки // Приборы и системы: управление, контроль, диагностика. 2015. № 12. С. 31-36.
5. Гасанов А.Р., Абдуллаев Х.И., Гасанов Р.А. Султанов Ф.Н., Тагиева Г.Г. Акустооптическая линия задержки для обработки широкополосных сигналов // Специальная техника, 2017, №2, с.11÷16.

### Xülasə

#### RAMAN-NAT DİFRAKSİYASI ƏSASINDA AKUSTO-OPTİK LƏNGİTMƏ XƏTTİ

*Hasanov A.R., Hasanov R.A., Aghayev E.A., Ahmadov R.A.*

Məqalədə mərkəzi tezliyi 56 MHz olan birbaşa detektorlamalı akustooptik ləngitmə xəttinin (AOLX) reallaşdırılması xüsusiyyətləri ətraflı şəkildə müzakirə olunur. Emal ediləcək signalın spektri tezlik modulyasiyası vasitəsilə AOLX-un işçi tezlik diapazonuna sürüşdürülür və bu prosesin texnoloji və fiziki əsasları izah edilir. Qurğuda istifadə edilən Raman-Nat difraksiyanın xüsusiyyətləri analiz edilir. Həmçinin AOLX-un əsas funksional bloklarının, yəni videoimpulsun aşağı tezlikli spektrinin akustooptik modulyatorun işçi tezlik oblastına sürüşdürülməsini təmin edən gərginliklə idarə olunan generatorun, radiotezlikli signalın müəyyən səviyyəyə kimi gücləndirən güc gücləndiricisi və əyilmiş işıq şüasından faydalı signalın ayrılmasını təmin edən fotodetektorun struktur-sxematik təsvirləri təqdim olunur. Işıq şüasının sabit diametrində müxtəlif davamətmə müddətlərinə malik düzbucaqlı impuls şəkilli giriş təsirinə AOLX-un reaksiyasının formalaşdırılması prinsipini izah edən eksperimental tədqiqatların bəzi nəticələri verilmişdir.

**Açar sözlər:** ləngitmə xətti, difraksiya, video signal, radiotezlik, fotodetektor

### Summary

#### ACOUSTO-OPTIC DELAY LINE ON BASE OF RAMAN-NATH DIFFRACTION

*Hasanov A. R., Hasanov R. A., Aghayev E.A., Ahmadov R.A.*

The article discusses the design features of an acousto-optic delay line (AODL) with direct detection and a center frequency of 56 MHz, in which the spectrum of the processed signal is transferred to the operating frequency range of the AODL using frequency modulation. The features of the Raman-Nath diffraction implemented in the AODL are analyzed. The diagrams of the main units of the AODL are given: a voltage-controlled generator that provides the transfer of the video signal spectrum to the operating frequency range of the AODL, a power amplifier that amplifies the radio frequency signal to the required level, and a photodetector that extracts the signal from the deflected light beam. Some results of experimental studies are given that explain the principle of forming the AODL response to the input action in the form of a rectangular pulse with different durations at a fixed diameter of the light beam.

**Key words:** delay line, diffraction, video signal, radio frequency, photodetector

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКТИВНОСТЕЙ РАССЕЯНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОТОКОВ В ДВУХОБМОТОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ С ПРОИЗВОЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ОБМОТКАМИ

**Велиева Тарана Дилан гызы**

*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности*

*Баку, Азербайджан*

[velyeva.tarana@mail.ru](mailto:velyeva.tarana@mail.ru)

**Резюме** Промышленные объекты питаются электричеством от трансформаторных подстанций. Надёжность подстанций во многом зависит от способности силовых трансформаторов к работе. Длительность работы трансформатора здесь является определяющим фактором. Прогресс совершенствования конструкции трансформаторов в настоящее время в основном определяется созданием и совершенствованием новых материалов для проводов, магнитов и изоляции. Сейчас много говорят о создании так называемых «умных» энергетических сетей (Smart Grid) и их переходе к самым эффективным высококлассным системам будущего, называемым микросетями. Для указанных электросетей устанавливаются определённые требования: обеспечиваются оптимальные коэффициенты нагрузки и высокий коэффициент мощности.

**Ключевые слова:** трансформатор, изоляция, старение, снабжение, дефект, эксплуатация, температура, «умная» электрическая сеть.

Сопротивление намагничивающего контура  $Z_m$  в трансформаторах в десятки и сотни раз превышает сопротивления обмоток (в относительных единицах). Поэтому, если в T-образной схеме замещения трансформатора принять  $Z_m = \infty$  (т.е. магнитное сопротивление стали  $Z_{mc} \approx 0$ ), то получим [1,2]:

$$F_0 = 0 \quad (1)$$

$$F_2 = -F_1 \quad (2)$$

$$x_k = x_1 + x'_{2s} = \square(L_{1s} + L'_{s2}) \quad (3)$$

Согласно этим уравнениям в теории трансформаторов существует вывод, что при коротком замыкании трансформатора его индуктивность является индуктивностью рассеяния. Для измерения  $x_k$  обычно проводят опыт короткого замыкания и измеряют напряжение  $U_1$ , ток  $I_1$  и мощность, после чего находят

$$X_k = \left( \sqrt{\frac{U_1}{I_1}} \right)^2 - \left( \sqrt{\frac{P_1}{I_1^2}} \right)^2 \quad (4)$$

Справедливость применения этой формулы основана на вышеупомянутом выводе, т.е. на формулах (1) и (3).

В отношении формул (1)-(3) можно отметить следующее:

- чтобы получить формулы (2) и (3), нельзя ограничиваться единственным допущением  $Z_m = \infty$  (т.е. магнитное сопротивление стали  $Z_{mc}$  равно нулю).
- равенство (1) справедливо для режима холостого хода идеального трансформатора, который отличается отсутствием магнитного сопротивления стали (или отсутствием потока рассеяния  $\Phi_{1s}$ ).
- индуктивное сопротивление, определяемое из опыта короткого замыкания, не является чисто индуктивным сопротивлением рассеяния, так как значение последней, определяемой по формуле (4) зависит от активного сопротивления короткозамкнутой обмотки  $r_2$ . Поэтому, в действительности, из опыта короткого замыкания определяется полное индуктивное сопротивление трансформатора  $X_1$ , которое больше, чем сумма  $X_k = X_{1s} + X_{2s}$ . Чем больше  $r_2$ , тем больше разница между  $X_1$  и  $X_k$ .
- картина распределения магнитных потоков, которая исходит из формул (2) и (3), отличается от реальной картины.

Справедливость вышеуказанных замечаний нетрудно показать на примере трансформатора с сосредоточенной разделенной короткозамкнутой обмоткой. При этом трансформатор можно представить как последовательную магнитную цепь с комплексным магнитным сопротивлением короткозамкнутой обмотки [3,4]:

$$Z_{m2} = \frac{j\omega w_2^2}{r_2 + jx_{2s}} \quad (5)$$

где  $r_2$  и  $x_{2s}$  - активное и индуктивное сопротивление рассеяния короткозамкнутой обмотки.

При  $Z_{ms} = 0$  и  $r = 0$ , получим

$$Z_{m2} = r_{m2} \frac{\omega w_2^2}{x_{2s} \Lambda_{2s}} = \frac{1}{\Lambda_{2s}}; \quad \Phi = \Phi_1 + \Phi_{2s} = I_1 w_1 (\Lambda_{1s} + \Lambda_{2s}); \quad (6)$$

$$X_1 = \square W_1^2 (\Lambda_{1s} + \Lambda_{2s}) = x_{1s} + x_{2s}' \quad (7)$$

Таким образом, условия соотношения (2) и (3) справедливы при одновременном выполнении условий  $Z_{mc} = 0$  и  $r_2 = 0$ .

Индуктивность и картина распределения магнитных потоков в трансформаторах зависят не только от геометрических размеров и конфигураций обмоток, но и от их взаимного расположения и характера распределения. Рассмотрим экспериментальный способ определения индуктивного сопротивления рассеяния вторичной обмотки  $\square_{2s}$ . С этой целью для сопротивления  $X_{2s}$  запишем следующие формулы:

$$X_{2s} = \sqrt{\left(\frac{\dot{E}_2}{I_2}\right)^2 - \sqrt{r_2^2}} \quad (8)$$

$$X_{2s} = \frac{\dot{E}_{2s}}{-jI_2} = \frac{\dot{E}_{2n} - \dot{E}_2}{-jI_2} \quad (9)$$

где

$$\dot{E}_{2n} = \dot{E}_{2s} + \dot{E}_2; \quad \dot{E}_{2s} = -j\omega w_2 b \Phi_{2s}; \quad \dot{E}_2 = -j\omega w_2 \Phi_{2r}. \quad (10)$$

Магнитный поток  $\Phi_{2r}$  проходит по стержню магнитопровода, где расположена вторичная обмотка, а поток  $\Phi_{2s}$  проходит через воздух в пределах объема этой обмотки. Поэтому полный поток  $\Phi_{2n}$ , проходящий через эту обмотку, равен:  $\Phi_2 = \Phi_{2s} + j\Phi_{2r}$  [5,6].

Полная э.д.с. вторичной обмотки, соответствующая этому потоку:

$$\dot{E}_2 = -j\omega w_2 (\Phi_{2r} + b\Phi_{2s}).$$

Коэффициент  $b$  учитывает неравномерное сцепление потока рассеяния с витками вторичной обмотки  $w_2$ . Если принять, что линии потоков рассеяния  $\Phi_{2s}$  в зоне вторичной обмотки параллельны, то  $b \approx 0.5$ .

Согласно первой формуле, индуктивное сопротивление рассеяния  $X_{2s}$  можно легко вычислить, если иметь опытные значения тока  $I_2$ , сопротивления  $r_2$ , и э.д.с.  $E_2$ . Э.д.с.  $E_2$  можно измерять с помощью измерительной катушки  $w_r$ , которая находится внутри вторичной обмотки и охватывает стержень, где проходит поток  $\Phi_{2r}$ .

Согласно второй формуле сопротивление  $X_{2s}$  можно вычислить через ток  $I_2$  и разность ЭДС  $E_{2n} - E_2$  (или  $E_{2s}$ ). С целью определения ЭДС  $E_{2s}$ , вторичная обмотка выполняется из двойного параллельного провода, имеющего разное сечение. При этом получается две совмещенные катушки, одна из которых выполняет роль вторичной обмотки  $w_2$ , а другая - функцию измерительной обмотки  $w_{us2}$ . Кроме этих обмоток имеется измерительная катушка  $w_{ur}$ . Соединив катушки  $w_{ur}$  и  $w_{us2}$  последовательно - встречно, можно ламповым вольтметром измерять ЭДС  $E_{2s}$ .

Для восьми вариантов расположения и характера распределения обмоток были исследованы распределения потоков и индуктивностей. Для всех вариантов в таблице 1 приведены значения индуктивного сопротивления короткого замыкания

Таблица 1.

№	Число витков	Характер распределения обмоток	Взаимное расположение обмоток	$X_K, \text{Ом}$	Примечание
1	$W_1=3200$	распределенная	концентрично	265	$U_1=250\text{В}$ питается внутренняя обмотка
	$W_2=3200$	распределенная			
2	$W_1=3200$	распределенная	концентрично	261	$U_1=250\text{В}$ питается наружная обмотка
	$W_2=3200$	распределенная			
3	$W_1=450$	сосредоточенная	концентрично	8,49	$U_1=250\text{В}$ питается внутренняя обмотка
	$W_1=450$	сосредоточенная			
4	$W_1=3200$	распределенная	на разных стержнях	1090	$U_1=250\text{В}$
	$W_2=3200$	распределенная			
5	$W_1=3200$	сосредоточенная	на разных стержнях	1530	$U_2=250\text{В}$
	$W_2=3200$	сосредоточенная			
6	$W_1=450$	сосредоточенная	концентрично	7,94	$U_1=44\text{В}$ питается наружная обмотка
	$W_2=450$	сосредоточенная			
7	$W_1=3200$	распределенная	на разных стержнях	1350	$U_1=250\text{В}$
	$W_2=3200$	сосредоточенная			
8	$W_1=3200$	сосредоточенная	на разных		$U_1=250\text{В}$

			стержнях	1550	
	$W_2=3200$	распределенная			

Исследование потокосцепления производилось подвижными измерительными витками, охватывающими стержни и обмотки. Подвижные измерительные витки позволяют уловить все экстремумы эпюры потоков и упрощают схемы исследования.

В случае распределенной вторичной обмотки уменьшается точность измерения ЭДС  $E_2$ , так как значения потока  $\Phi_{2r}$  в сечениях стержня, охваченного распределенной обмотки, становятся разными.

На основе проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

- потоки вдоль верхних и нижних стержней распределяются неравномерно, особенно это имеет место при наличии распределенных обмоток;
- поток стержня, охватываемого короткозамкнутой обмоткой, в 2-3 раза меньше, чем поток холостого хода;
- силовые линии в окне магнитопровода почти не параллельны, особенно это имеет место при наличии сосредоточенных обмоток;
- индуктивное сопротивление короткого замыкания при питании внутренней обмотки больше, чем при питании наружной обмотки;
- индуктивное сопротивление короткого замыкания имеет максимум при расположении сосредоточенных обмоток на разных стержнях, а наименьшее значение - при концентричном расположении распределенных обмоток.

## Литература

1. Абдуллаев Я.Р. Индуктивность рассеяния. Москва: Издательство МЭИ, 1974, 60с.
2. Абдуллаев Я.Р. Уравнения намагничивающих сил двухобмоточных трансформаторов. Изв. ВУЗов СССР, Энергетика, 1977, №3, с.120-124.
3. Байков А.И. Математические модели трансформаторов при анализе силовой части электроприводов. Труды Нижегородского технического университета, 2014, №1, с.122-126.
4. Орлов А.И., Волков С.В., Гарипов И.Х. Расчет матрицы индуктивностей силового трансформатора. Вестник Чувашского университета, 2023, №4, с.120-129.
5. Снитько И.С., Тихонов А.И., Стулов А.В., Мизонов В.Е. Разработка модели переходных режимов с учетом взаимной индуктивности полей рассеяния для реализации цифрового двойника трансформатора. Вестник Ивановского Государственного Энергетического Университета, 2021, №4, с.47-55.
6. Шакиров М.А. Замещение многообмоточного трансформатора 2-нТ образной схемой. Электротехника, 2018, с.91-104.

## Xülasə

### İXTİYARI YERLƏŞMİŞ İKİQAMƏLİ TRANSFORMATORLARDA MAQNİT AXINLARININ DAĞILMASININ VƏ PAYLANMASININ İNDUKTİVLİKLƏRİNİN TƏDQIQI

*Vəliyeva T.D.*

Sənaye qurğuları transformator yarımstansiyalarından elektrik enerjisi ilə təmin edilir. Yarımstansiyaların etibarlılığı əsasən güc transformatorlarının işləmə qabiliyyətindən asılıdır. Transformatorun istismar müddəti burada müəyyənədicidir. Transformator konstruksiyasının təkmilləşdirilməsinin tərəqqisi hazırda əsasən yeni naqıl, maqnit və izolyasiya materiallarının yaradılması və təkmilləşdirilməsi ilə müəyyən edilir. İndi sözdə «ağıllı» elektrik şəbəkələrinin (Smart Grid) yaradılması və onların gələcəkdə Microgrid adlanan ən effektiv yüksək səviyyəli sistemlərə keçməsi haqqında çox danışılır. Göstərilən elektrik şəbəkələrinə müəyyən tələblər qoyulur: optimal yük əmsalı və yüksək güc əmsalı təmin edilir.

**Açar sözlər:** transformator, izolyasiya, yaşlanma, təchizat, qüsurlar, işləmə, temperatur, «ağıllı» elektrik şəbəkəsi.

## Summary

### STUDY OF SCATTERING INDUCTIONS AND DISTRIBUTION OF MAGNETIC FLUXES IN TWO-WINDING TRANSFORMERS WITH ARBITRARY ARRANGED WINDINGS

*Vəliyeva T.D.*

Industrial installations are supplied with electricity from transformer substations. The reliability of substations largely depends on the performance of power transformers. The determining factor here is the service life of the transformer. Progress in improving transformer design is currently largely determined by the creation of new and improvement of the used conductive, magnetic and insulating materials. There is much talk now about the creation of so-called "smart" power grids (Smart Grid), and their

transition in the future to the most efficient systems of the highest level, now called Microgrid. Certain requirements are imposed on these power grids: ensuring an optimal load factor and a high power factor.

**Keywords:** transformer, insulation, aging, supply, defect, operation, temperature, smart grid.

## ЦИФРОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ПОМЕХ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ЭНЕРГЕТИКИ

Беляева Зилия Айратовна

Потапов Андрей Александрович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань, Республика Татарстан, Россия.

[belyaevazilya@yandex.ru](mailto:belyaevazilya@yandex.ru)

**Резюме** В статье рассматриваются цифровые алгоритмы фильтрации, применяемые в измерительных системах электроэнергетики при наличии электромагнитных помех. Приведена классификация помех и анализ их влияния на сигналы. Рассмотрены особенности FIR, IIR и адаптивных фильтров, а также их реализация на платформе STM32. Проведены экспериментальные исследования, подтвердившие эффективность цифровой фильтрации для повышения точности и надёжности измерений в условиях нестабильной помеховой среды.

**Ключевые слова:** цифровая фильтрация, электромагнитные помехи, FIR, IIR, адаптивные фильтры, STM32, измерительные системы.

Современная электроэнергетика всё чаще использует цифровые измерительные комплексы, интеллектуальные электронные устройства и системы автоматизации, в которых особое значение приобретают точность и надёжность измерений. Однако широкое применение силовой электроники, инверторов, преобразователей частоты и импульсных источников питания приводит к существенному росту уровня электромагнитных помех в измерительных цепях. Это снижает качество получаемой информации и может приводить к ложным срабатываниям защит, искажению данных учёта электроэнергии, сбоям в системах мониторинга и диагностики.

Электромагнитная совместимость (ЭМС) становится одной из ключевых характеристик электроэнергетических объектов. Эффективное подавление помех достигается сочетанием аппаратных и программных методов. При этом цифровая фильтрация занимает особое место благодаря своей гибкости, адаптивности и способности корректно работать в условиях нестабильной помеховой среды. Современные цифровые фильтры могут эффективно разделять полезный сигнал и помеху, адаптируясь к изменениям их спектральных и временных характеристик [4].

Цель исследования. Целью настоящей работы является исследование цифровых алгоритмов фильтрации и их применение в измерительных системах энергетики для повышения точности, устойчивости и достоверности данных. В рамках работы были поставлены следующие задачи:

1. провести классификацию помех, встречающихся в энергетических установках, и оценить их спектральные и временные характеристики;
2. разработать математические модели сигналов и помех, характерных для систем измерения токов и напряжений;
3. спроектировать цифровые фильтры различных типов (FIR, IIR, адаптивные) и сравнить их свойства;
4. провести численную оценку влияния фильтрации на параметры сигнала (амплитуду, фазу, спектр);
5. реализовать алгоритмы на аппаратной платформе с микроконтроллером для работы в реальном времени;
6. провести тестирование на экспериментальном стенде, моделирующем условия реальной эксплуатации.

Основные типы помех в системах электроснабжения — это импульсные, гармонические, широкополосные и высокочастотные шумы. Импульсные помехи часто возникают при коммутации индуктивных нагрузок, при срабатывании выключателей, контакторов и УЗО. Гармонические и субгармонические составляющие обусловлены работой преобразовательной техники, особенно в промышленных установках с нерегулируемыми и регулируемыми выпрямителями. Широкополосные помехи могут проникать в измерительные цепи от радиоизлучающих устройств, а также через сеть питания. Эти помехи оказывают аддитивное и мультипликативное влияние на измеряемые сигналы, вызывая смещение средней величины, увеличение погрешности и снижение точности оценки параметров [5].

FIR-фильтры (Finite Impulse Response) характеризуются конечной длиной импульсной характеристики и обеспечивают точную линейную фазу. Это особенно важно при измерении фазовых

сдвигов, мощности и расчёте параметров качества электроэнергии (например, коэффициента искажения формы сигнала). Однако FIR-фильтры требуют большого числа умножений и сложений, особенно при низкочастотной фильтрации, что увеличивает нагрузку на процессор [3].

IIR-фильтры (Infinite Impulse Response) имеют бесконечную импульсную характеристику, что позволяет достичь более крутой амплитудной характеристики при меньшем порядке фильтра. Они эффективны для подавления низкочастотных и синусоидальных помех, но обладают нелинейной фазой и требуют особого внимания к устойчивости системы при реализации [1].

Адаптивные фильтры, использующие алгоритмы LMS (Least Mean Squares) и RLS (Recursive Least Squares), способны динамически подстраиваться под текущую спектральную структуру сигнала и помех. Они находят применение в системах, где характеристики помех существенно меняются во времени, например, при нестабильной нагрузке или при наличии периодических промышленных помех. Несмотря на более высокие вычислительные требования, адаптивные фильтры обеспечивают лучшее соотношение сигнал/шум и позволяют достигать высокой точности при работе в реальных условиях [2].

Реализация фильтрации производилась на платформе STM32F407VG с применением C/C++ и CMSIS-библиотек [6]. Была использована структура с кольцевым буфером и аппаратным таймером, обеспечивающая точную дискретизацию сигнала с частотой 10 кГц. Применение прямого доступа к памяти (DMA) снизило нагрузку на процессор, а блок с плавающей запятой (FPU) позволил реализовать сложные алгоритмы фильтрации в реальном времени. Результаты визуализировались через интерфейс UART и анализировались в MATLAB. Также применялись цифровые модели зашумленных сигналов, полученных в условиях работы лабораторной установки с тиристорным преобразователем.

Все типы фильтров продемонстрировали положительный эффект в снижении уровня помех. FIR-фильтры обеспечили высокую точность, но потребовали большого времени выполнения. IIR-фильтры продемонстрировали лучшее быстродействие и допустимую точность для большинства задач измерения. Адаптивные фильтры оказались наиболее эффективными при наличии нестабильных и сложно моделируемых помех, например, возникающих в результате работы преобразовательных установок с переменной частотой. В экспериментах было достигнуто снижение уровня помех до 75–90 % по сравнению с исходным сигналом без фильтрации.

Выводы. Проведённое исследование показало, что цифровая фильтрация существенно повышает устойчивость и точность измерительных систем в условиях воздействия электромагнитных помех. Каждый тип фильтра имеет свои преимущества, и выбор следует делать, исходя из конкретной задачи и аппаратных ограничений. В дальнейшем целесообразно исследовать возможности интеграции фильтров в программно-аппаратные комплексы с применением ИИ для автоматической настройки параметров фильтрации, а также расширить область применения на системы мониторинга в реальном времени и устройства учёта электроэнергии.

## Литература

1. Бугров В. Н. Синтез целочисленных рекурсивных фильтров с произвольно заданными селективными требованиями / В. Н. Бугров // Цифровая обработка сигналов – 2016. – № 2. – С. 35–43.
2. Ильичев В. Ю., Ганков М. С. Цифровая обработка сигналов с помощью адаптивных фильтров на языке программирования Python // Вопросы науки. – 2023. – № 3. – С. 13–19.
3. Кирпиченков Е. В., Петров С. А., Шевцов А. В. Проектирование FIR фильтров для ПЛИС с использованием пакетов Matlab и САПР ISE Design // Интернаука. – 2020. – № 20-1(149). – С. 34–36.
4. Колесников А. В. Методы подавления ЭМП в измерительных системах // Электротехника и электромеханика. – 2021. – № 5. – С. 18–23.
5. Оруев В. А., Ким В. Н. Цифровая обработка сигналов в системах измерения. – М.: Энергоатомиздат, 2016.
6. Павлова И. В., Потапов А. А. Опыт разработки лабораторных стендов студентами в рамках проектного обучения // Преподаватель XXI век. – 2021. – № 1-1. – С. 114–121.

**Xülasə**  
**ENERGETİKA ÖLÇMƏ SİSTEMLƏRİNDƏ RƏQƏMSAL SƏS-KÜY FİLTRASIYASI**  
*Belyayeva Z.A., Potapov A.A.*

Məqalədə elektromaqnit müdaxiləsi olduqda elektrik enerjisi ölçmə sistemlərində istifadə olunan rəqəmsal filtrasiya alqoritmləri müzakirə olunur. Müdaxilənin təsnifatı və siqnallara təsirinin təhlili verilmişdir. FIR, IIR və adaptiv filtrlərin xüsusiyyətləri, həmçinin STM32 platformasında tətbiqi nəzərdən keçirilir. Qeyri-sabit müdaxilə mühitində Ölçmələrin dəqiqliyini və etibarlılığını artırmaq üçün rəqəmsal filtrasiyanın effektivliyini təsdiqləyən eksperimental tədqiqatlar aparılmışdır.

**Açar sözlər:** rəqəmsal filtrasiya, elektromaqnit müdaxilə, FIR, IIR, adaptiv filtrlər, STM32, ölçmə sistemləri.

**Summary**  
**DIGITAL NOISE FILTERING IN ENERGY MEASUREMENT SYSTEMS**  
*Belyayeva Z.A., Potapov A.A.*

The article discusses digital filtering algorithms used in measuring systems of the electric power industry in the presence of electromagnetic interference. A classification of interference and an analysis of its effect on signals are presented. The features of FIR, IIR, and adaptive filters are considered, as well as their implementation on the STM32 platform. Experimental studies have been conducted that have confirmed the effectiveness of digital filtering to improve the accuracy and reliability of measurements in an unstable interference environment.

**Keywords:** digital filtering, electromagnetic interference, FIR, IIR, adaptive filters, STM32, measuring systems

**ZNO/ÇLKNB HİBRİD NANOMATERİALARIN ÇLKNB-LƏRİN KÜTLƏ FAİZİNDƏN ASILI  
OLARAQ LÜMINESSENSİYA SPEKTRLƏRİ**

**Qədirova Aytac Vəkil qızı**  
**Nuriyeva Sevinc Qərib qızı**

*Bakı Dövlət Universiteti, Nanoaraşdırmalar mərkəzi, Bakı, Azərbaycan*  
[aytacqedkrova@gmail.com](mailto:aytacqedkrova@gmail.com), [nuriyevasevinj@bsu.edu.az](mailto:nuriyevasevinj@bsu.edu.az)

**Xülasə.** Bu tədqiqatda müxtəlif ölçülü ZnO nanohissəcikləri və funksionallaşdırılmış çoxdivarlı karbon nanoboruları (ÇDKNB) əsasında ZnO/ÇDKNB hibrid nanomaterialları sintez edilmiş və onların fotolüminessensiya xassələri araşdırılmışdır. Nəticələr göstərmişdir ki, xırda dispersiyalı ZnO və ÇDKNB istifadə edilərək hazırlanmış nümunələrdə ÇDKNB-lərin kütlə payı artdıqca fotolüminessensiya intensivliyi azalırdı. Eyni zamanda, iri ölçülü ZnO hissəcikləri ilə hazırlanmış nümunələrdə.

**Açar sözlər:** ZnO və ÇLKNB nanohissəcikləri, funksionallaşdırma, doktor bleyd texnikası, kütlə faizindən asılılıq

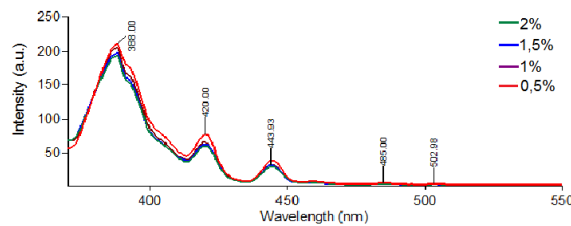
Son dövrlərdə ən perspektivli bərpa olunan enerji mənbələrindən biri də yüngül çəki, yüksək kvant çevrilmə səmərəliliyi, komponentlərinin sürətli istehsalı kimi xüsusiyyətləri ilə seçilən günəş elementləri hesab edilir [2-5]. Onların səmərəliliyi əsasən istehsal prosesi zamanı istifadə edilən materialların doğru seçimdən asılı olaraq dəyişir. Son zamanlar asan sintez, yüksək kristallik dərəcəsinə və hamar morfolojiyaya malik ZnO nanohissəcikləri günəş elementlərində elektron daşıyıcı təbəqə kimi geniş istifadə olunur. Bundan əlavə, ZnO-nun qadağan olunmuş zona enerjisinin geniş olması onu digər yarımkeçirici oksidlərlə müqayisədə daha əlverişli edir [1,6-10]. Digər tərəfdən, çoxsaylı karbon nanoborular optoelektron tətbiqlərdə elektrik və istilik keçiriciliyi, geniş səth sahəsi, aşağı çəki, yüksək elastiklik və s. xüsusiyyətlərinə görə intensiv tədqiq olunur. Bu tədqiqat işində, günəş elementlərində elektron daşıyıcı təbəqə kimi istifadəsi nəzərdə tutulmuş ZnO/ÇLKNB hibrid nanomateriallar turşularla funksionallaşdırılmış ÇLKNB-nin kütlə faizindən (0.5%; 1%; 1.5%; 2% ) və ZnO-nun ölçüsündən asılı olaraq doktor bleyd texnikası ilə sintez edilmişdir.

Tədqiqatda hibrid nanomaterialların sintezi iki mərhələli proseslə həyata keçirilmişdir. İlk mərhələdə ÇLKNB-lər funksionallaşdırılmış, sonrakı mərhələdə isə H<sub>2</sub>O, EA və PEQ müxtəlif ölçülü ZnO və ÇLKNB qarışdırılmış, ÇLKNB-lərin ZnO matrisi daxilində bərabər paylanmasını təmin etmək üçün qarışıq 5 dəqiqə sonifikasiya edilmiş və pasta halını alması üçün 10-15 saat maqnit qarışdırıcıda qarışdırılmışdır. Daha sonra altlığın işlək sahəsi skotç lent vasitəsilə müəyyən edilmiş və hazırlanmış pasta atlıq üzərinə doktor bleyd üsulu ilə çəkilərək ZnO/ÇLKNB təbəqələri sintez edilmişdir. Alınmış təbəqələr mufel sobasında 300°C temperaturda 1 saat qurudulmuşdur. Sintez edilmiş təbəqələrin lüminessensiya spektrləri Cary Eclipse Varian spektrofluorimetri vasitəsilə tədqiq edilmişdir.

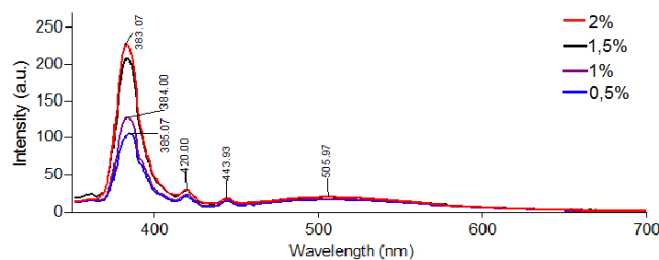
Karbon nanoboruların kütlə faizindən asılı olaraq ZnO/ÇLKNB hibrid nanomaterialların lüminessensiya spektrləri 325 nm dalğa uzunluğunda həyəcanlandırıldıqdan sonra 350–700 nm intervalında analiz edilmişdir. İlk olaraq kiçik ölçülü ZnO nanohissəcikləri və karbon nanoboruları seçilmiş, digər halda isə böyük ölçülü ZnO və karbon nanoboruları seçilmişdir. Hibrid nanomaterial təbəqələrin fotolüminessensiya spektrlərində 383-388 nm, 420 nm, 443 nm və 502-505 nm-də piklər müşahidə

edilmişdir. 383 və 388 nm dalğa uzunluğunda müşahidə olunan emissiya pikləri ZnO nanohissəciklərində UB zolağın kənar şüalanması adlanır. Bu şüalanma prosesi adətən eksiton-eksiton toqquşması prosesində sərbəst eksitonların rekombinasiyası nəticəsində yaranır. 420 nm-də müşahidə edilən piklər ZnO strukturunda düyünlərarası sink defektləri ilə əlaqəli enerji səviyyələri ilə, 443 nm-də müşahidə edilən piklər oksigen boşluqları ilə əlaqəli səth defektləri ilə, 502-505 nm dalğa uzunluğu oblastındakı müşahidə olunan piklər isə kristaldakı dərin səviyyəli defektlərlə bağlıdır [5].

Şəkil 1-də kiçik ölçülü ZnO nanohissəcikləri və kiçik ölçülü karbon nanoboruları əsasında hazırlanmış hibrid nanomaterialların ÇLKNB-lərin kütlə faizindən asılı olaraq lüminessensiya spektrləri, Şəkil 2-də isə hər ikisi böyük ölçüdə olan ZnO nanohissəcikləri və karbon nanoboruları əsasında hazırlanmış hibrid nanomaterialların ÇLKNB-lərin kütlə faizindən asılı olaraq lüminessensiya spektrləri göstərilmişdir.



**Şəkil 1.** Kiçik ölçülü ZnO nanohissəcikləri və kiçik ölçülü karbon nanoboruları əsasında hazırlanmış hibrid nanomaterialların ÇLKNB-lərin kütlə faizindən asılı olaraq lüminessensiya spektrləri



**Şəkil 2.** Hər ikisi böyük ölçüdə olan ZnO nanohissəcikləri və karbon nanoboruları əsasında hazırlanmış hibrid nanomaterialların ÇLKNB-lərin kütlə faizindən asılı olaraq lüminessensiya spektrləri

Lüminessensiya spektrlərinin müqayisəli təhlilindən də anlaşıldığı kimi kiçik ölçülü ZnO nanohissəcikləri və kiçik ölçülü karbon nanoboruları əsasında hazırlanmış hibrid nanomateriallarda ÇLKNB-lərin kütlə faizi artdıqca fotolüminessensiya intensivliyində azalma müşahidə edilir. Bunun əksinə olaraq isə hər ikisi böyük ölçüdə olan ZnO nanohissəcikləri və karbon nanoboruları əsasında hazırlanmış hibrid nanomaterialların ÇLKNB-lərin kütlə faizi artdıqca fotolüminessensiya intensivliyində artım müşahidə edilmişdir. Bunun səbəbi ZnO hissəciklərinin ölçüsü ilə əlaqədar olaraq enerji səviyyələrinin diskretləşməsi nəticəsində səthdə olan defektlərin və rekombinasiya mərkəzlərinin sayı artması, həmçinin ÇLKNB-nun ölçüsünün ZnO hissəcikləri ilə müqayisədə nisbətən böyük olması, onların ZnO üzərində vahid və geniş örtük yaratmasıdır ki, bu da elektronların deşiyə düşməsinin qarşısını alaraq şüalanmalı rekombinasiyanın üstünlük təşkil etməsinə şərait yaratmasıdır [7].

## Ədəbiyyat

1. A.B. Djuris'ic', Y.H. Leung, Small 2 (2006) 944, Optical properties of ZnO nanostructures, 2006 Aug;2(8-9):944-61. doi: 10.1002/sml.200600134
2. Bella F, Gerbaldi C, Barolo C GM (2015) Aqueous dye-sensitized solar cells. Chem Soc Rev 44(2015):3431-3473
3. Grätzel M (2004) Conversion of sunlight to electric power by nanocrystalline dye-sensitized solar cells, J. Photochem. Photobiol A 164:3-14
4. Habibi MH, Mikhak M, Zendeheel M, Habibi M (2012) Influence of nanostructured zinc titanate, zinc oxide or titanium dioxide thin film coated on fluorine doped tin oxide as working electrodes for dye-sensitized solar cell Int. J Electrochem Sci 7:6787
5. Kim HY, Lee MW, Song DH, Yoon HJ, Suh JS (2017) Design and fabrication of RGO/WO<sub>3</sub> as a novel photoanode for highly efficient dye-sensitized solar cells. J Appl Phys 121:43103

6. Ozgur U, Alivov YI, Liu C, Teke A, Reshchikov MA, Dogan S, Avrutin V, Cho SJ, Morkoc H (2015) A comprehensive review of ZnO materials and devices. *J Appl Phys* 98:041301
7. S. Vijayanath, K. Janaki, Ramalingam Gopal, C. Ragupathi, Baskaran Rangasamy, Mohammed Mujahid Alam, Fabrication of highly efficient and cost-effective dye-sensitized solar cells using ZnO/MWCNT nanocomposite as photoanode, *Journal of Solid State Electrochemistry* (2023) 27:183–194
8. Tang H, Prasad K, Sanjines R, Schmid PE, Levy F (1994) Electrical and optical properties of TiO<sub>2</sub> anatase thin films. *J Appl Phys* 75:2042
9. Xu F, Sun L (2011) Solution-derived ZnO nanostructures for photoanodes of dye-sensitized solar cells *Ener. Environ Sci* 4:818
10. Yeoh ME, Chan KY (2017) Recent advances in photo-anode for dye-sensitized solar cells: a review. *Int. J Energy Res* 41:2446–2467
13. Zhang BQ, Dandeneau CS, Zhou X, Cao G (2009) ZnO nanostructures for dye-sensitized solar cells *Adv. Mater* 21:4087

#### Summary

### LUMINESCENCE SPECTRA OF ZNO/CLKNB HYBRID NANOMATERIALS DEPENDING ON THE MASS PERCENTAGE OF CLKNBS

*Gadirova A.V., Sevinc G.N.*

This study synthesized ZnO/MWCNT hybrid nanomaterials based on ZnO nanoparticles of different sizes and functionalized multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs), and their photoluminescence properties were investigated. The results revealed that in samples prepared using small-sized ZnO and MWCNTs, the photoluminescence intensity decreased with increasing MWCNT weight percentage. In contrast, the intensity increased in samples with both large-sized ZnO and MWCNTs. This difference is attributed to the effect of ZnO particle size on surface defects and recombination mechanisms.

**Keywords:** ZnO and MWCNT nanoparticles, functionalization, doctor blade technique, dependence on mass fraction

#### Резюме

### СПЕКТРЫ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ГИБРИДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ ZNO/CLKNB В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МАССОВОЙ ДОЛИ CLKNB

*Гадирова А.В., Нуриева С.Г.*

В этом исследовании были синтезированы гибридные наноматериалы ZnO/MWCNT на основе наночастиц ZnO разного размера и функционализированных многостенных углеродных нанотрубок (MWCNTs), а также исследованы их фотолуминесцентные свойства. Результаты показали, что в образцах, приготовленных с использованием ZnO и MWCNT небольшого размера, интенсивность фотолуминесценции уменьшалась с увеличением массовой доли MWCNT. Напротив, интенсивность увеличивалась в образцах, содержащих как ZnO, так и MWCNT большого размера. Это различие объясняется влиянием размера частиц ZnO на поверхностные дефекты и механизмы рекомбинации.

**Ключевые слова:** наночастицы ZnO и MWCNT, функционализация, технология doctor blade, зависимость от массовой доли

### SCIENTIFIC CHARACTERIZATION OF THE IMPACT OF HYDROELECTRIC DEVELOPMENT ON THE NATURAL-GEOGRAPHICAL COMPONENTS OF THE GILANCHAY BASIN

**Gurbanov Ali Kamil**  
**Seyidova Elnara Yasin**  
**Salmanli Narmin Yashar**

*Nakhchivan State University, Nakhchivan, Azerbaijan*

[eli.gurbanov57@mail.ru](mailto:eli.gurbanov57@mail.ru) , [elisevid23@gmail.com](mailto:elisevid23@gmail.com) , [narminsalmanli@ndu.edu.az](mailto:narminsalmanli@ndu.edu.az)

**Summary** The study studies the impact of hydraulic structures on the ecosystem of the Gilanchay River in the Nakhchivan MR. Despite the fact that the 205-meter height difference created for the production of hydroelectric power allows the generation of 22 MW of electricity, the hydromorphological structure of the riverbed, the complex of flora and fauna, including the migration of rare fish species, were significantly disturbed. Studies show that the main reason for the environmental problems observed since 2010 is non-compliance with international requirements established in the Concept of Environmental Flow for Water Basins. The article presents scientifically based recommendations for ecosystem restoration and sustainable management.

**Key words:** Gilanchay basin, hydrological regime, ecological flow, HPP, sustainable management, energy.

#### Introduction

The efficient and sustainable management of water resources is one of the main ecological and socio-economic priorities of the modern era. The assessment of the hydrological characteristics of the Gilanchay Basin, located in mountainous and semi-desert conditions, is particularly important for water

resource planning and ecosystem conservation. Originating from elevations of 2,700 meters in the Zangazur Range and spanning 53 km, the Gilanchay is characterized by a flow formed by snowmelt, rainfall, and groundwater, as well as a high-water regime during the spring-summer period.

Although the construction of the Bilav Hydropower Plant on Gilanchay has increased energy security in the region in recent years, it has caused serious anthropogenic impacts on the river's hydrological regime, ecosystems, and surrounding landscapes. The reservoir and the diversion of water from its natural channel for 11 km have led to the almost complete cessation of ecological flow, while the minimal water released has been lost due to evaporation and filtration [3]. These conditions have led to the degradation of flora and fauna, the cessation of migration for rare species such as the golden spotted fish, and a weakening of agricultural water supply.

To scientifically assess the hydrological regime and sensitivity to anthropogenic impact of the Gilanchay basin, the study utilized multi-year hydrometeorological observations, technical specifications of the Bilav HPP, field observations, and existing regulatory documents. Hydrometric data obtained from the Nurgut, Bilav, Paraga, and Paragachay stations formed the primary basis for the statistical analysis of the river's flow dynamics, peak flow periods, and physicochemical parameters.

**Materials and methods.** Several approaches were used in the study. Thus, using hydrological analysis methods, the long-term variability of the river's flow, peak flow periods, water temperature, and turbidity were analyzed. The hydrological characteristics of the Gilanchay River were evaluated by determining the statistical mean, maximum, and minimum values.

A hydrological approach was applied, based on data from hydrometric posts on the river, to determine the ecological flow, and the river's natural flow was compared with the current anthropogenic modified flow regime. A minimum ecological flow was evaluated in terms of volume and duration, taking into account hydrobiological requirements (fish migration, minimum habitat for aquatic animals, and self-restoration mechanisms of the riverbed) [2]. The ecological condition of a 11-km stretch of the river that was impermeabilized was observed on-site. The drying of hydrophytic vegetation, the disappearance of fauna species, and changes in the hydrogeological regime of the riverbed were documented.

The ecological situation in the Gilanchay river was compared before and after the construction of the hydroelectric power station; changes in flora and fauna, the operation of irrigation systems, and the degree of anthropogenic impact along the river were assessed. Compliance with the legal and scientific principles of water management was analyzed based on the Water Code of the Republic of Azerbaijan, international requirements for ecological flow (EU Freshwater Directives), as well as the methodological indicators developed by Imanov et al [4, 5].

**Analysis and discussion.** Hydrological and ecological studies in the Gilanchay basin show that the region's water resources are strongly dependent on both natural-geographic conditions and anthropogenic activities. Snowmelt, rainfall, and groundwater play a significant role in the formation of the Gilanchay's flow, which originates in the high mountainous regions of the Zangazur Range [6]. The fact that the river's high-flow period lasts from the second half of March until July-August provides a longer flow duration compared to other rivers in Nakhchivan. This characteristic makes the river an important resource for both irrigation and hydroelectric power. It should also be noted that a second hydroelectric power plant with a capacity of 15.6 MW is currently being built on Tiviçay, the right-bank tributary of the Gilanchay. For this, ecological requirements must also be strictly adhered to. However, as forms of river use change, sharp differences also arise in its ecological and hydrobiological characteristics.

The construction of the Bilav Hydropower Plant is the main cause of significant impacts on the river's regime. The station's technical features—high-pressure enclosed channels, a long siphon system, and a 205-meter drop—create favorable conditions for power generation. However, diverting the majority of the river's water from its natural course has all but destroyed the river's ecosystem. The absence of water in the riverbed has led to the drying out of hydrophilic plants, a decrease in soil moisture, and a weakening of groundwater seepage, resulting in a change to the natural landscape of the entire river valley [8]. The table below provides a systematic description of the hydrological and ecological changes associated with SES exploitation in the Gilanchay basin [1].

The gradual destruction of fruit orchards along the river, which have been cultivated for years, due to the inability to irrigate them, the weakening of the gardening tradition in the area, and the decline in agricultural productivity reflect the socioeconomic aspects of anthropogenic impacts. At the same time, in the dried-up sections of the river, the habitat for various organisms has disappeared, and the populations of fish species have been drastically reduced. The cessation of upstream migration by the golden spotted fish, a rare species of the Gilanchay, during its spawning period leads to the disruption of the hydrobiological

functions of the river ecosystem. This signifies not only a reduction in biodiversity but also a weakening of the river's self-restoration mechanisms.

*Table 1.*

Main characteristics of the reservoir	Positive and negative results	Problem analysis	Hydrological and ecological outcome
Hydrological characteristics of the Gilan River	Length 53 km, basin area 426 km <sup>2</sup> , 8 tributaries, flood season March–July; floods: 1948, 1958, 1996	The river's regime is highly dependent on snow and groundwater; it has a high slope and carrying capacity.	These features, while not taking flow variability into account in HPP design, have led to environmental problems.
Construction and technical parameters of the hydroelectric power plant	205 m drop, 22 MW power, reservoir capacity 250 thousand m <sup>3</sup> , 11 km water cut from the river bed	HPP has high energy potential, but diverting the river has a serious impact on the ecosystem	Although energy production has its advantages, environmental sustainability has not been ensured
Disruption of ecological flow	11 km of river is dry due to lack of water from HPP; flora and fauna are being destroyed	Failure to ensure ecological flow leads to the collapse of the aquatic ecosystem	Implementation of regulations is necessary to restore ecological flow
Effects on vegetation	Drying of hydrophilic plants (reed, sedge, willow, sedge), destruction of orchards	Lack of water due to infiltration and evaporation causes a complete change in vegetation cover	This change leads to landscape degradation and the weakening of agriculture.
Impacts on fauna	Fish dying from the storm, migration halting, and the inability of the goldfish to pass through during the spawning season	Improper reservoir design blocks fish migration	Construction of fish passes and release of flow is necessary
Socio-economic impacts	Weakening of horticulture along the river, cessation of irrigation	Disruption of the river ecosystem negatively affects the economic activities of the local population	The energy-ecology balance must be established correctly
Positive effects	Water purification function of the reservoir, flood regulation	The reservoir reduces pollution to some extent and minimizes the risk of flooding.	These impacts should be protected, but environmental problems should be addressed.

Analyses show that the ecological flow principles were not fully complied with during the construction of the Bilav HPP [7]. The failure to ensure a minimum flow in the river has led to the disruption of both the hydrological and hydrogeological regimes. Ecological flow requires not only a certain volume of water but also its continuity. However, studies show that releasing only 100 l/s of water as ecological flow along the river is not sufficient for the continuity of flora and fauna in the bed, and this water either seeps away or evaporates after a few hundred meters.

Hydrobiologically, the life cycles of fish and other hydrobiota have been disrupted because indicators such as the river's velocity, temperature, and depth have completely changed. The destruction of animals passing through the turbines leads to a decrease in biodiversity downstream. This weakens the river's overall ecosystem services, particularly reducing its nutrient cycling and self-purification capabilities.

From a hydrological perspective, the fact that 60–70% of Gilanchay's annual flow is generated during spring floods is an advantage for the reservoir's flow regulation. However, this alteration of the natural flow regime can disrupt the soil moisture regime in the lower part of the river, intensifying erosion processes. The reduction in soil moisture not only leads to the destruction of vegetation but also causes changes in the local microclimate.

Another problem is the conflict between hydropower use and ecological balance, which is a primary issue in natural resource management. A positive aspect of the Bilav Power Plant's operation is the

improvement of energy supply. However, the negative impacts—ecosystem weakening, reduced irrigation capabilities, and degradation of soil and vegetation cover—are more pronounced.

Therefore, to restore the ecological balance in the Gilanchay basin, it is essential to ensure an ecological flow, install fish passes, rebuild irrigation systems, and readjust the reservoir's operating regime. Creating a balance between the economic efficiency of water use and ecosystem protection is the only way to ensure the sustainable management of the river.

**Conclusion.** The studies show that the Gilanchay basin is highly ecologically sensitive, and the operation of the Biləv HPP has caused serious anthropogenic changes in the river's regime. The cessation of ecological flow in the 11-km stretch of the river has led to the disruption of hydrobiological processes, the disruption of migration for biodiversity, particularly rare fish species, and a reduction in irrigation opportunities. It is important that these shortcomings are not repeated in the new HPP being built on the Tivichay.

Assessments indicate that the failure to provide an ecological flow weakens the river's self-regulatory capacity and increases the risk of long-term degradation. Therefore, the main management priority in the Gilanchay basin should be the restoration of the ecological flow. To protect the ecosystem, it is necessary to optimize the reservoir's operating regime, create fish passes, maintain a minimum flow, and conduct continuous hydromonitoring. These measures will ensure the restoration of the river ecosystem and the sustainable use of water resources.

## References

1. Alfredsen, K., Helland, I. P., Martins, E. G., et al. (2022). Perspectives on environmental flow management: Problems and approaches. *Hydrobiologia*, 849, 261–268.
2. Bozeman, B. B., Pracheil, B. M., & Matson, P. G. (2025). The environmental impacts of hydropower operations on riverine fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 35, 45–76.
3. Development of a modern methodology for assessing ecological flow in pilot river basins in Azerbaijan. (2016). Report, 88 p.
4. Imanov, F. A., Verdiyev, R. H., Rejebov, R. F., & Nuriyev, A. A. (2016). Method for determining ecological flow requirement. *Geography and Natural Resources*, 2(4), 109–115.
5. Imanov, F. A., Ismayilov, R. A., & Nuriyev, A. A. (2019). *Restoration of River Ecosystems and their Ecological Flow*. Baku: Ecoprint, pp. 40–41.
6. Mammadov, M. (2002). *Hydrology of Azerbaijan*. Baku, 91–95.
7. Navia, J. (2025). Environmental impacts of hydroelectric power on freshwater ecosystems. *Environmental Research and Ecotoxicity*, 4, 174. <https://doi.org/10.56294/ere2025174>
8. Shenol, C. (2015). Natural environmental impacts of hydropower structures. *Marmara Geography Journal*. <https://doi.org/10.14781/mcd.73355>

## Xülasə

### GİLANÇAY HÖVZƏSİNİN TƏBİİ-COĞRAFİ KOMPONENTLƏRİNƏ HİDROELEKTRİK İNKİŞAFIN TƏSİRİNİN ELMİ XARAKTERİSTİKASI

Gurbanov Ə.K., Seyidova E.Y., Salmanlı N.Y.

Tədqiqat Naxçıvan MR-də Gilanchay üzərindəki hidrotexniki qurğuların ekosistemə təsirini araşdırır. Hidroenerji istehsalı üçün yaradılan 205 metrlik düşmə nəticəsində 22 MVt gücündə enerji əldə edilsə də, çay yatağının hidromorfoloji quruluşu, flora və fauna kompleksi, o cümlədən nadir balıq növlərinin miqراسiyası əhəmiyyətli dərəcədə pozulmuşdur. Tədqiqatlar göstərir ki, 2010-cu ildən bəri davam edən ekoloji problemlərin əsas səbəbi Su Hövzələrinin Ekoloji Axın Konsepsiyasında müəyyən edilmiş beynəlxalq tələblərə əməl edilməməsidir. Məqalə ekosistemin bərpası və dayanıqlı idarəetmə üzrə elmi əsaslı tövsiyələr təqdim edir.

**Açar sözlər:** Gilançay hövzəsi, hidroloji rejim, ekoloji axım, SES, dayanıqlı idarə, enerji.

## Резюме

### НАУЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЛИЯНИЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ НА ПРИРОДНО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ БАСЕЙНА ГИЛАНЧАЙ

Гурбанов А.К., Сейидова, Э.Я., Салманлы Н.Я.

В исследовании изучается влияние гидротехнических сооружений на экосистему реки Гиланчай в Нахчыванском МР. Несмотря на то, что 205-метровый перепад высоты, созданный для производства гидроэлектроэнергии, позволяет вырабатывать 22 МВт электроэнергии, гидроморфологическая структура русла реки, комплекс флоры и фауны, включая миграцию редких видов рыб, были значительно нарушены. Исследования показывают, что основной причиной экологических проблем, наблюдаемых с 2010 года, является несоблюдение международных требований, установленных в Концепции экологического стока для водных бассейнов. В статье представлены научно обоснованные рекомендации по восстановлению экосистемы и устойчивому управлению.

**Ключевые слова:** бассейн Гилянчай, гидрологический режим, экологический сток, ГЭС, устойчивое управление, энергия.

## ВОЛНОВОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ В РАЗВЕТВЛЕННЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Хузяшев Рустэм Газизович  
Минаев Ильдар Айратович  
Сарычев Дмитрий Варельевич  
КГЭУ, г.Казань, Россия  
ГК «Эскаорт», г.Казань, Россия

[142892@mail.ru](mailto:142892@mail.ru), [enhtane@gmail.com](mailto:enhtane@gmail.com), [dmitriy.sarychev@t-a-e.ru](mailto:dmitriy.sarychev@t-a-e.ru)

**Резюме** Проанализированы источники погрешностей в алгоритмах волнового определения места повреждения в разветвлённых распределительных сетях среднего напряжения. На примере экспериментально зарегистрированных аварийных осциллограмм переходных процессов показаны процедуры определения момента начала переходного процесса и скорости распространения бегущей волны. Используется избыточная информация, обусловленная регистрацией сигналов в большом числе точек сети. Показано определяющее влияние величины временной дискретизации переходных сигналов на погрешность волнового определения места повреждения.

**Ключевые слова:** ошибка, объективная функция, начало сигнала, переходный сигнал, бегущая волна, скорость.

Волновое определение места повреждения (ВОМП) получает все большее распространение благодаря его высоким точностным характеристикам [1, 2]. Особенно актуально использование этого алгоритма в разветвленных распределительных сетях.

В разветвленных сетях точность ВОМП снижается из-за наличия множества ответвлений и различных компонентов сети, таких как трансформаторы, кабельные вставки, конденсаторные батареи. Эти элементы вызывают многократные отражения бегущей волны (БВ), влияют на время ее распространения и ее искажению, что приводит к увеличению погрешности метода, если они не учтены должным образом [3, 4, 5].

Очевидным методом улучшения точности ВОМП является регистрация БВ во многих точках сети и использование временной разницы времени ее прихода. Это уменьшает расстояние до МП и повышает устойчивость к ошибкам определения времени прихода БВ [6, 7]. В работе [8] предложены адаптивные алгоритмы, учитывающие неоднородность линий (кабельно-воздушные участки) и вариации скорости распространения волн.

В магистральных линиях высокого класса напряжений используется двусторонний алгоритм волнового определения места повреждения (ВОМП) [1, 2] основанный на формульном выражении:

$$X = \frac{L}{2} - dT \cdot \frac{V}{2} \quad (1),$$

где  $X$  – расстояние до места повреждения (МП),  $L$  – длина линии,  $dT$  – временная задержка прихода бегущей волны от МП в разные концы линии,  $V$  – скорость распространения бегущей волны. В распределительных сетях среднего класса напряжения с древовидной структурой место повреждения и скорость распространения бегущей волны от места повреждения (МП) определяются модельным ВОМП, основанном на поиске минимума целевой функции состоящей из сумм всех возможных парных разностей начал сигнала переходных процессов (СПП) в разных концах ответвлений, полученных экспериментально и расчетным методом при варьировании расчетного МП.

В модельном и формульном (1) ВОМП используются три многомерных параметра: длина линии, начало СПП и скорость распространения бегущей волны. При ВОМП нет необходимости учитывать неопределенный провис проводов. Достаточно знать длину сети по межопорным расстояниям и определять скорость распространения бегущей волны, приведенную к межопорным расстояниям, экспериментальными способами. В этом случае величина провиса проводов не влияет на результаты ВОМП, а координаты МП привязываются к нумерации опор. Длины сегментов линий измеряются по спутниковым картам, на которых отчетливо видны опоры сетей среднего класса напряжения. Поэтому погрешность определения как межопорных расстояний, так и общей длины сегментов сети, с учетом ее изгибов и поворотов, достаточно мала, и не превышает суммарно единиц метров.

Отличие расчетной  $V_p$  и истинной  $V_H$  скорости распространения БВ, вызванное разными причинами, определяет погрешность ВОМП. Предположим, что БВ возникает в линии длиной  $L$  на

расстоянии  $X_{fИ}$  от ее левого конца и распространяется в обе стороны со скоростью  $V_{И}$ . Тогда временная задержка между приходом БВ в правый конец относительно левого конца составляет

$$dT_{\text{Э}} = \frac{L - X_{fИ}}{V_{И}} - \frac{X_{fИ}}{V_{И}} = \frac{L - 2 \cdot X_{fИ}}{V_{И}} \quad (2)$$

Подставив выражение (2) в (1) получим расчетное расстояние от левого конца линии до МП:

$$X_{fP} = \frac{L}{2} - \frac{dT_{\text{Э}} \cdot V_P}{2} = \left(1 - \frac{V_P}{V_{И}}\right) \cdot \frac{L}{2} + \frac{X_{fИ} \cdot V_P}{V_{И}} \quad (3)$$

Погрешность ВОМП определяется как разность истинного и расчетного расстояний от левого конца линии до МП:

$$dX = X_{fP} - X_{fИ} = \left(1 - \frac{V_{И}}{V_P}\right) \cdot \left(\frac{L}{2} - X_{fИ}\right) \quad (4)$$

Согласно (4) погрешность ВОМП, вызванная отличием истинной и расчетной скоростей распространения БВ, пропорциональна различию этих скоростей. Эта погрешность максимальна вблизи концов линии, равна нулю в середине линии. Величина знака погрешности зависит от соотношения между  $V_{И}$  и  $V_P$  и она меняет знак при переходе  $X_{fИ}$  через середину линии.

В докладе рассматриваются численные и экспериментальные способы определения скорости распространения БВ, влияния ошибки временной дискретизации на точность определения начала регистрации БВ. Приводятся результаты экспериментально полученных погрешностей на программно-аппаратном комплексе ВОМП.

## Литература

1. Лачугин, В.Ф. Реализация волнового метода определения места повреждения на линиях электропередачи. / В.Ф. Лачугин, Д.М. Панфилов, А.Н. Смирнов // Известия российской академии наук. Энергетика. - 2013. - № 6. - С. 137-146.
2. E. O. Schweitzer, "Locating faults by the traveling waves they launch," Proc. 67th annual conference for protective relay engineers, pp. 95-110, Marh 2014.
3. Ali Tashakkori et al. "Fault Location on Radial Distribution Networks via Distributed Synchronized Traveling Wave Detectors." *IEEE Transactions on Power Delivery*, 35 (2020): 1553-1562.
4. Kong Biguang et al. "Analysis of traveling wave based fault location method for distribution network with image processing." , 31 (2020): 21-26.
5. Youpeng Wang et al. "Fault location method for distribution network Considering distortion of traveling wavefronts." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* (2024).
6. Rui Chen et al. "Computational Fault Time Difference-Based Fault Location Method for Branched Power Distribution Networks." *IEEE Access*, 7 (2019): 181972-181982.
7. R. Khuzyashev et al. "Algorithms of Signal Processing in Traveling Wave Fault Location Complexes." *2024 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon)* (2024): 594-599.
8. А. Л. Куликов, Методы и средства волнового определения места повреждения на воздушных линиях электропередачи / А. Л. Куликов, В. В. Ананьев // Библиотечка электротехника. – 2019. – № 2(242). – С. 1-96. – EDN FIFCMG.

## Xülasə

### ŞAXƏLƏNMİŞ PAYLAYICI ŞƏBƏKƏLƏRDƏ ZƏDƏLƏNMƏ YERİNİN DALĞA ÜSULU İLƏ TƏYİNİ

*Xuzyaşev R.Q., Minaev İ.A., Saryçev D.V.*

Orta gərginlik sinfinin şaxələnmiş paylayıcı şəbəkələrində dalğa nasazlığının yerləşdirilməsi alqoritmlərində xəta mənbələri təhlil edilmişdir. Keçici proseslərin eksperimental qeydə alınmış fəvqəladə oscilloqramlarının nümunəsindən istifadə edərək, keçid prosesi siqnalının başlanğıcını və hərəkət edən dalğanın yayılma sürətini təyin etmək üçün prosedurlar göstərilir. Şəbəkənin bir çox nöqtələrində siqnalın qeydiyyatı ilə əlaqədar lazımsız məlumatlar istifadə olunur. Qırılma yerinin dalğa təyini xətasına keçici siqnalın zaman seçmə dəyərinin təyinedici təsiri göstərilir.

**Açar sözlər:** xəta, obyektiv funksiya, siqnalın başlanğıcı, keçid siqnalı, qaçan dalğa, sürət.

## Summary

### Wave-Based Fault Location in Branched Distribution Networks

*Khuzyashev R.G., Minaev I.A., Sarychev D.V.*

The sources of error in the algorithms of wave-based fault location in branched distribution networks of medium voltage class are analyzed. On the example of experimentally registered emergency oscillograms of transient processes the procedures for determining the beginning of the transient process signal and the speed of traveling wave propagation are shown. The redundant information caused by registration of signals in many points of the network is used. The determining influence of the transient signals time discretization value on the error of wave fault location is shown.

**Keywords:** error, objective function, signal start, transient signal, traveling wave, velocity.

## YENİLENEBİLİR ENERJİ ALTERNATİFİ BİYODİZEL ÜRETİMİNDE SICAKLIK VE SÜRE KOŞULLARININ PERFORMANSA ETKİSİ

**Onay Muhammed**

Malatya Turgut Özal University, Malatya, Turkey

[muhammed.onay@ozal.edu.tr](mailto:muhammed.onay@ozal.edu.tr)

**Özet.** Günümüzde, enerji ihtiyacının karşılanmasında sürdürülebilir ve çevre dostu kaynaklara olan talep artmaktadır. Bu bağlamda biyodizel, yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir alternatif yakıt olarak dikkat çekmektedir. Biyodizel, fosil yakıtların yerine geçebilecek bir enerji kaynağı olmasının yanı sıra, çevreye olan olumsuz etkileri azaltma potansiyeline sahiptir. Bu çalışmada, evsel atık ayçiçek yağı kullanılarak biyodizel üretiminde transesterifikasyon sürecinin verimliliği incelenmiştir. Deneylerde, sabit miktarda ayçiçek yağı ve metanol kullanılarak, reaksiyon süresi ve sıcaklığın biyodizel verimi üzerinde etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre, 50 °C'den 70 °C'ye çıkıldığında, verim %80,7'den %84,6'ya yükselmiş, süreyi 60 dakikadan 90 dakikaya uzattığında ise verim %84,6'dan %92,4'e çıkmıştır. Bu bulgular, biyodizel üretiminde sıcaklık ve süre parametrelerinin verim üzerinde belirgin bir işleme sağladığını ve biyodizelin yenilenebilir enerji kaynağı olarak potansiyelinin arttığını ortaya koymaktadır. Çalışma, biyodizel üretiminin daha verimli hale getirilmesi için bu parametrelerin optimize edilmesinin önemini vurgulamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir enerji, sürdürülebilirlik, biyokütle, biyodizel, transesterifikasyon.

### Giriş

Dünyada sürdürülebilir enerji çözümleri arayışı, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Bu kaynaklar, fosil yakıtların tükenme riski ve çevresel bozulma gibi küresel sorunların çözümünde merkezi bir rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji türleri, özellikle rüzgar, güneş, hidroelektrik, biyokütle ve jeotermal enerji, sera gazı emisyonlarını azaltmada ve sınırlı fosil yakıtlara olan bağımlılığı düşürmede kritik bir öneme sahiptir. Fosil yakıtların kullanımı, hâlâ küresel enerji üretiminde en yaygın yöntem olsa da, bu süreç karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonları, partikül madde ve diğer zararlı kirleticilerin başlıca kaynağını oluşturmaktadır. Bu emisyonlar, insan sağlığını ciddi şekilde tehdit etmekte ve iklim değişikliğinin hızlanmasına yol açmaktadır.

Biyokütle, organik maddelerden elde edilen ve enerji üretimi için kullanılan bir kaynaktır. Bu maddeler, bitkiler, hayvan atıkları ve diğer organik materyalleri içerir. Biyokütle, yakıldığında ya da biyolojik olarak işlendiğinde enerji üretir. Fosil yakıtlar gibi karbon salınımı yapmasına rağmen, biyokütle "karbon-nötr" olarak kabul edilir. Çünkü, biyokütle kullanıldığında atmosfere salınan karbondioksit, bitkiler tarafından büyürken emilen karbondioksit ile dengelenir (Wei ve ark, 2024).

Biyokütle, özellikle gelişmekte olan bölgelerde enerji arzını güvence altına almak için önemli bir alternatif kaynaktır. Tarım, ormancılık ve hayvancılık sektörlerinden çıkan organik atıklar, biyokütle enerjisi üretiminde kullanılabilir (Nguyen & Toan, 2024). Bu durum, atık yönetimine de katkı sağlar, çünkü organik atıkların değerlendirilmesi, çöp sahalarındaki yükü azaltabilir ve çevreye olan etkileri sınırlayabilir.

Biyokütle enerjisi, elektrik üretiminden ısınmaya, taşımacılıktan sanayi süreçlerine kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Biyodizel ve etanol gibi yakıtlar, biyokütle kullanılarak üretilebilir. Ancak, biyokütlenin sürdürülebilirliği, kullanılan hammaddelere ve üretim süreçlerine bağlı olarak değişir. Ormanların doğru şekilde yönetilmesi ve tarımsal alanların biyokütle üretimi için uygun biçimde kullanılması, biyokütle enerjisinin çevresel etkilerini en aza indirmek için önemlidir.

Biyoyakıtlar, organik kökenli maddelerden elde edilen ve enerji üretiminde kullanılan yakıtlardır. Bu yakıtlar, genellikle tarım ürünleri, bitkisel ve hayvansal atıklar ile biyokütle gibi materyallerden üretilir (Cherwoo ve ark, 2023). Biyoyakıtlar, fosil yakıtların aksine, karbon salınımı açısından daha sürdürülebilir bir alternatif olarak değerlendirilir. Çünkü bu maddelerin üretimi sırasında atmosfere salınan karbondioksit, bitkiler tarafından büyüme süreçlerinde emilen karbonla dengelenir. Biyodizel ve etanol, biyoyakıtlar arasında en yaygın olarak bilinen türlerdir. Biyodizel, bitkisel yağlar ve hayvansal yağlardan elde edilirken, etanol genellikle mısır ve şeker kamışı gibi biyolojik kaynaklardan üretilir. Biyoyakıtlar, enerji üretimi ve ulaşım sektörlerinde fosil yakıtların yerine geçebilecek önemli bir kaynak olma potansiyeline sahiptir. Ancak, biyoyakıtların üretimi, özellikle tarım alanlarının kullanımını, su tüketimini ve diğer çevresel etkileri göz önünde bulundurmaya gerektiren bir süreçtir. Bu nedenle, biyoyakıt üretiminin sürdürülebilir yöntemlerle gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Biyodizel, yenilenebilir organik kaynaklardan üretilen bir taşıma yakıtıdır ve genellikle bitkisel yağlar, hayvansal yağlar ve atık yağlardan elde edilir. Bu yağlar, metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle transesterifikasyon (alkoliz) işlemiyle, alkil esterlerine dönüştürülerek biyodizel üretimi sağlanır.

Biyodizel, dizel motorlarında kullanılabilen, düşük karbon emisyonları ve biyolojik olarak parçalanabilirlik gibi çevresel avantajlara sahip bir yakıttır. Ayrıca, fosil yakıtlara kıyasla daha düşük kükürt içeriği ve patlayıcı buhar üretmemesi gibi güvenlik özellikleri öne çıkmaktadır.

Biyodizel üretim süreci, genellikle bitkisel yağlar, hayvansal yağlar veya atık yağların metanol ya da etanol gibi kısa zincirli alkollerle transesterifikasyon reaksiyonuna sokulmasıyla başlar. Bu kimyasal reaksiyon, yağ asidi trigliseritlerinin alkil esterlerine (biyodizel) ve yan ürün olarak gliserole dönüşmesini sağlar. İlk adımda, kullanılan yağlar yabancı maddelerden ve safsızlıklardan arındırılır. Temizlenen yağlar, alkoller ve bir katalizör (genellikle sodyum hidroksit veya potasyum hidroksit) ile karıştırılır. Reaksiyon, belirli bir sıcaklık ve basınç altında gerçekleşir. Sonuçta, biyodizel ve gliserol, yoğunluk farkına dayalı olarak ayrılır; biyodizel üst fazda, gliserol ise altta birikir. Ardından, biyodizel, alkol ve katalizör kalıntılarından arındırılmak üzere yıkanır ve kurutma işlemiyle suyu uzaklaştırılır. Son aşamada, biyodizel kalite kontrol testlerine tabi tutulur ve uygunluk sağlandığında depolama için hazır hale getirilir (Mathew ve ark 2021). Bu süreç, biyodizelin sürdürülebilir ve çevre dostu bir yakıt alternatifi olarak elde edilmesini sağlar, ancak üretimin çevresel etkileri ve hammaddelerin sürdürülebilirliği dikkate alınarak yönetilmelidir.

Transesterifikasyon, biyodizel üretim sürecindeki temel kimyasal adımdır ve yağ asidi trigliseritlerinin metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle reaksiyona girerek alkil esterlerine (biyodizel) ve gliserol adlı yan ürüne dönüşmesini sağlar. Bu işlemde, yağlar veya yağ asidi trigliseritleri, genellikle sodyum hidroksit (NaOH) veya potasyum hidroksit (KOH) gibi alkali bir katalizörle karıştırılır. Katalizör, reaksiyonun hızını artırarak daha verimli bir dönüşüm sağlar. Reaksiyon sonucunda üç molekül alkil ester (biyodizel) ve bir molekül gliserol oluşur. Biyodizel, daha hafif olduğu için üst fazda birikirken, gliserol alt fazda yer alır ve yoğunluk farkına dayalı olarak ayrılır. Bu basamağın amacı, yağların kimyasal yapısını değiştirerek biyodizel (alkil esterleri) üretmektir. Transesterifikasyon işlemi genellikle 60-70 °C arasında bir sıcaklıkta ve alkali bir katalizör kullanılarak gerçekleştirilir (Farouk ve ark 2024).

Transesterifikasyon sürecinin etkinliği, bir dizi kimyasal ve fiziksel parametreye bağlıdır. Bunların başında, kullanılan alkol ile yağ arasındaki mol oranı gelmektedir. Teorik olarak 1:3 oranı yeterli olmakla birlikte, pratikte genellikle 6:1 oranı tercih edilmekte; bu sayede reaksiyonun tam gerçekleşmesi ve gliserolün faz ayrımının kolaylaşması sağlanmaktadır. Reaksiyonda kullanılan katalizörün türü ve miktarı da büyük önem taşır. En yaygın olarak tercih edilen bazik katalizörler (sodyum hidroksit veya potasyum hidroksit), belirli bir oranın üzerinde kullanıldığında sabunlaşma gibi istenmeyen yan reaksiyonlara yol açabilmektedir. Reaksiyon sıcaklığı ise çoğunlukla 45–70 °C aralığında tutulur; bu sıcaklık hem metanolün buharlaşma noktası altında kalmayı sağlar hem de reaksiyon kinetiğini optimize eder. Reaksiyon süresi, genellikle 1 ila 2 saat arasında değişmekte olup, bu sürenin ötesine geçilmesi durumunda ürün saflığı olumsuz etkilenebilir (Oyekunle ve ark 2023). Kullanılan yağın serbest yağ asidi (FFA) ve su içeriği, bazik ortamlarda sabunlaşmayı tetikleyerek reaksiyon verimini düşürebilir; bu nedenle yüksek FFA içeren hammaddeler için ön esterifikasyon işlemi önerilmektedir. Ayrıca, karıştırma hızının yeterli olması ve sistemin homojenliğinin sağlanması, kütle transferinin artırılması açısından önem arz eder. Bu faktörlerin her biri, transesterifikasyon sürecinin başarıyla yürütülmesi ve yüksek kaliteli biyodizel elde edilmesi açısından dikkatle yönetilmelidir.

### **Materyal ve Metot**

Bu çalışmada evsel atık ayçiçek yağı kullanılarak transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Katalizör olarak kütle % 2 ağırlığında sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Alkol olarak metil alkol (CH<sub>3</sub>OH) kullanılmıştır. Literatüre göre optimum olarak belirlenen karıştırma hızı olarak 500 rpm ve 6:1 alkol/yağ mol oranında deneyler gerçekleştirilmiştir. Geçmiş çalışmalardan üretim verimini etkilediği bilinen parametrelerden reaksiyon süresi ve sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Literatürde yaygın olarak tercih edilen 60 ve 90 dakika reaksiyon süresi (karıştırma süresi) olarak tercih edilmiştir. Sıcaklık olarak ise 50 ve 70 °C sıcaklık değerlerinde deneyler gerçekleştirilmiştir.

Üretilen biyodizel miktarı ve reaksiyon verimi aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır (Yusuf ve ark 2022).

$$Verim = \frac{\text{Üretilen Biyodizel Miktarı}}{\text{Kullanılan Yağ Miktarı}} \times 100$$

### **Tartışma**

Bu çalışmada, 100 ml ayçiçek yağı ve 50 ml metanol sabit tutularak biyodizel (yağ asidi alkil esteri) üretiminde farklı sıcaklık ve süre koşullarının transesterifikasyon reaksiyon verimine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 1’de verilmiştir. Elde edilen bulgular, her iki parametrenin de verim üzerinde anlamlı etkileri olduğunu ortaya koymaktadır. Süre sabit tutulup sıcaklık artırıldığında, verimde artış gözlenmiştir. Örneğin, 60 dakikalık reaksiyon süresinde sıcaklık 50 °C’den 70 °C’ye çıkarıldığında, verim

%80,7'den %84,6'ya yükselmiştir. Bu artış, sıcaklığın kimyasal reaksiyon kinetiğini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Diğer yandan, sıcaklık sabit tutularak süre uzatıldığında da verimin arttığı görülmüştür. 70 °C'de süre 60 dakikadan 90 dakikaya çıkarıldığında, verim %84,6'dan %92,4'e ulaşmıştır. Bu durum, daha uzun reaksiyon sürelerinin dönüşüm oranını artırarak ürün verimini yükselttiğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, hem sıcaklık hem de reaksiyon süresi, biyodizel üretim verimini doğrudan etkileyen önemli değişkenlerdir. Ancak, enerji verimliliği ve maliyet açısından, bu parametrelerin optimum seviyelerde belirlenmesi önem arz etmektedir.

**Çizelge.1.** Biodizel Üretiminde Sıcaklık ve Sürenin Verime Etkisi

Süre (dk)	Sıcaklık (°C)	Yağ (ml)	Metanol (ml)	Verim (%)
60	50	100	50	80,7
60	70	100	50	84,6
90	70	100	50	92,4

### Sonuç

Bu çalışmada, evsel atık ayçiçek yağı kullanılarak transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretimi gerçekleştirilmiş ve üretim verimine sıcaklık ile reaksiyon süresinin etkisi incelenmiştir. Sabit alkol/yağ oranı ve katalizör koşullarında gerçekleştirilen deneylerde, sıcaklık ve süre parametrelerinin biyodizel verimi üzerinde doğrudan etkili olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, sıcaklığın 50 °C'den 70 °C'ye çıkarılması verimi artırmış, benzer şekilde reaksiyon süresinin 60 dakikadan 90 dakikaya uzatılması da verimde önemli bir artış sağlamıştır. En yüksek verim %92,4 ile 70 °C ve 90 dakika koşullarında elde edilmiştir. Bu bulgular, transesterifikasyon sürecinde uygun sıcaklık ve reaksiyon süresi aralığının belirlenmesinin ürün verimliliği açısından kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Çalışmanın sonuçları, evsel atık yağların biyodizel dönüşürülmesinde çevre dostu ve ekonomik bir yaklaşım sunabileceğini ortaya koymaktadır. Ancak, üretim maliyetleri, enerji tüketimi ve çevresel etkiler dikkate alınarak süreç parametrelerinin optimize edilmesi, sürdürülebilir üretim açısından önem taşımaktadır. Gelecek çalışmalarda farklı atık yağ türleri, katalizör alternatifleri ve ön arıtma yöntemleri değerlendirilerek süreç verimliliği daha da artırılabilir.

### Kaynakça

1. Cherwoo, L., Gupta, I., Flora, G., Verma, R., Kapil, M., Arya, S. K., ... & Ashokkumar, V. (2023). Biofuels an alternative to traditional fossil fuels: a comprehensive review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 60, 103503.
2. Farouk, S. M., Tayeb, A. M., Abdel-Hamid, S. M., & Osman, R. M. (2024). Recent advances in transesterification for sustainable biodiesel production, challenges, and prospects: a comprehensive review. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(9), 12722-12747.
3. Mathew, G. M., Raina, D., Narisetty, V., Kumar, V., Saran, S., Pugazhendi, A., ... & Binod, P. (2021). Recent advances in biodiesel production: Challenges and solutions. *Science of the Total Environment*, 794, 148751.
4. Nguyen, T. K. C., & Toan, N. Q. (2024). Developing biomass energy from agricultural by-products in the context of trade development. *Energy Strategy Reviews*, 54, 101417.
5. Oyekunle, D. T., Barasa, M., Gendy, E. A., & Tiong, S. K. (2023). Heterogeneous catalytic transesterification for biodiesel production: Feedstock properties, catalysts and process parameters. *Process Safety and Environmental Protection*, 177, 844-867.
6. Wei, R., Meng, K., Long, H., & Xu, C. (2024). Biomass metallurgy: A sustainable and green path to a carbon-neutral metallurgical industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 199, 114475.
7. Yusuf, H. A., Hossain, S. Z., Aloraibi, S., Alzaabi, N. J., Alfayhani, M. A., & Almedfaie, H. J. (2022). Fabrication of novel microreactors in-house and their performance analysis via continuous production of biodiesel. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 172, 108792.

### Xülasə

#### BƏRPA OLUNAN ENERJİ ALTERNATİVİ OLAN BİODİZEL İSTEHSALINDA TEMPERATUR VƏ MÜDDƏT ŞƏRAİTİNİN PERFORMANSA TƏSİRİ

Onay Muhammed

Müasir dövrdə enerji tələbatının ödənilməsində davamlı və ekoloji cəhətdən təmiz mənbələrə olan tələbat artmaqdadır. Bu baxımdan biodizel bərpa olunan enerji mənbələri arasında mühüm alternativ yanacaq kimi diqqət çəkir. Biodizel fosil yanacaqları əvəz edən enerji mənbəyi olmaqla yanaşı, ətraf mühitə mənfi təsirlərin azaldılması potensialına da malikdir. Bu tədqiqatda məişət tullantısı olan günəbaxan yağından istifadə etməklə biodizel istehsalında transesterifikasiya prosesinin səmərəliliyi

araşdırılmışdır. Təcrübələrdə günəbaxan yağı və metanolun sabit miqdarı istifadə olunaraq reaksiya müddəti və temperaturun biodizel çıxımına təsiri öyrənilmişdir. Nəticələrə əsasən, temperaturun 50 °C-dən 70 °C-yə artırılması zamanı çıxım %80,7-dən %84,6-ya yüksəlmiş, reaksiya müddətinin 60 dəqiqədən 90 dəqiqəyə uzadılması isə çıxımı %84,6-dan %92,4-ə çatdırmışdır. Bu nəticələr biodizel istehsalında temperatur və müddət parametrlərinin çıxıma əhəmiyyətli dərəcədə müsbət təsir göstərdiyini və biodizelin bərpa olunan enerji mənbəyi kimi potensialının artdığını ortaya qoyur. Tədqiqat biodizel istehsalının daha səmərəli həyata keçirilməsi üçün bu parametrlərin optimallaşdırılmasının vacibliyini vurğulayır.

**Açar sözlər:** Bərpa olunan enerji, davamlılıq, biokütlə, biodizel, transesterifikasiya

### Summary

## THE EFFECT OF TEMPERATURE AND TIME CONDITIONS ON PERFORMANCE IN BIODIESEL PRODUCTION AS A RENEWABLE ENERGY ALTERNATIVE

*Onay Muhammed*

In recent years, the demand for sustainable and environmentally friendly energy sources has been increasing to meet global energy needs. In this context, biodiesel stands out as a significant alternative fuel among renewable energy sources. In addition to being a potential replacement for fossil fuels, biodiesel has the potential to reduce negative environmental impacts. This study investigates the efficiency of the transesterification process in biodiesel production using waste sunflower oil. In the experiments, the amounts of sunflower oil and methanol were kept constant, while the effects of reaction time and temperature on biodiesel yield were examined. According to the results, when the temperature increased from 50 °C to 70 °C, the yield rose from 80.7% to 84.6%; extending the reaction time from 60 to 90 minutes further increased the yield to 92.4%. These findings indicate that both temperature and reaction time significantly improve yield and highlight the growing potential of biodiesel as a renewable energy source. The study emphasizes the importance of optimizing these parameters to enhance the efficiency of biodiesel production.

**Keywords:** Renewable energy, sustainability, biomass, biodiesel, transesterification.

## INVESTIGATION OF THE MANGANESE ELEMENT IN NATURAL WATER SOURCES CONTAMINATED BY WASTEWATER FROM THE MINING INDUSTRY

<sup>1</sup>Samadova Aiten, Hajiyeva Sevinj<sup>1</sup>, <sup>2,3</sup> Mustafayev İslam

<sup>1</sup>Baku Stat eUniversit , Baku, Azerbaijan

<sup>2</sup> Institute of Radiation Problems, Baku, Azərbaycan

<sup>3</sup>Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan

[aytan.samad@gmail.com](mailto:aytan.samad@gmail.com)

**Summary** The presence of manganese in wastewater at levels exceeding the permissible limits can have several negative impacts on the ecosystem, the environment, and especially the hydrosphere (rivers, lakes, and other water bodies). Its effect on aquatic ecosystems is undeniable. In aquatic ecosystems, manganese has toxic effects on fish and other aquatic organisms. At high concentrations, manganese is toxic to many aquatic species. For this study, the Oxchu River, which flows through the territory of Azerbaijan, was selected as the research site. The annual variation dynamics of this toxicant have been investigated.

**Keywords:** Clean water and sanitation, manganese, ecology, wastewater, mining industry.

To assess the environmental impact of wastewater generated by the mining industry, the Oxchu River was selected as the study site. Considering that the river is a self-purifying ecosystem, water samples were collected from the upper, middle, and lower reaches of the river (within the territory of Azerbaijan), and research was conducted on them. Among the pollutants in the water, manganese was specifically investigated. For the analysis of manganese, an Atomic Absorption Spectrometer was used. The results obtained are presented in Table 1.

**Table 1.**

**The amount of manganese (µg/L) in the Oxchu River during 2023.**

№	Area			Date
	The section passing through Burunlu village.	The section passing through Shayifli village.	The section passing through Jahangirbayli village.	
1	0,420	0,404	0,391	08.01.2024
2	0,370	0,355	0,285	11.01.2024
3	0,246	0,231	0,231	24.01.2024
4	0,408	0,318	0,221	12.02.2024
5	0,169	0,015	0,064	16.02.2024
6	0,212	0,063	0,066	23.02.2024
7	0,348	0,323	0,313	06.03.2024
8	0,180	0,111	0,109	14.03.2024
9	0,249	0,023	0,176	22-25.10.2024
10	0,281	0,026	0,026	01.11.2024

11	0,167	0,084	0,079	19.11.2024
12	0,309	0,009	0,008	05.12.2024

Considering that the maximum permissible concentration (MPC) of manganese is 100 µg/L, the data shows that throughout 2023, manganese levels repeatedly exceeded this limit. It is important to note that the Maximum Permissible Concentrations (MPC) for surface waters were taken from the document titled “Regulations on the Protection of Surface Waters from Pollution by Wastewater,” approved by Order No. 01 dated January 4, 1994, of the State Committee for Ecology and Control of Natural Resource Use of the Republic of Azerbaijan.

If the concentration of manganese in river water is high, it can accumulate in fish and worms, making it difficult for them to breathe. It also affects biodiversity. Manganese negatively impacts the development of many microorganisms and phytoplankton, leading to disruptions in the food chain. High concentrations of manganese can slow down or completely halt fish spawning and the development of larvae.

Regarding the environmental impact of manganese, it disrupts the chemical balance of soil and water within river ecosystems. Manganese can interfere with the absorption of other micronutrients (such as iron, zinc, and copper) in both soil and water, hindering the normal development of plants and aquatic organisms. The use of manganese-contaminated water near riverbanks or for irrigation can lead to chlorosis (yellowing of leaves), root rot, and reduced crop yields. Manganese contributes to the deterioration of water quality, sediment formation, and can accelerate eutrophication processes. High levels of manganese in river water may also cause problems in drinking water supply, including filtration difficulties and changes in taste and color. When oxidized, manganese forms brown-colored sediments in water, which reduces water clarity and covers the bottom, making life difficult for benthic (bottom-dwelling) organisms. Indirectly, manganese can also cause abnormal growth of certain microorganisms, which may result in oxygen depletion and the formation of dead zones. For these reasons, the amount of manganese in wastewater must be strictly monitored and treated in accordance with environmental standards.

As mentioned earlier, the manganese element can indirectly contribute to eutrophication in river ecosystems. Eutrophication is the process in which the excessive presence of nutrients such as nitrogen and phosphorus (and sometimes trace elements like manganese) in water bodies (e.g., rivers, lakes) leads to the abnormal growth of aquatic weeds and algae. This excessive growth can result in oxygen depletion and the degradation of the ecosystem. Manganese can influence eutrophication primarily through promoting the growth of phytoplankton and aquatic weeds. As an element that disrupts the chemical balance of water, manganese affects the development of certain microorganisms in aquatic environments. At high concentrations, manganese can lead to the excessive growth of phytoplankton (algae) and cause algal blooms. As a micronutrient, manganese may be utilized by certain algae and aquatic weeds. The proliferation of these algae can trigger the eutrophication process. High levels of manganese create favorable conditions for algal growth, as algae consume both this element and other nutrients. Algal blooms reduce oxygen levels in the upper layers of the water and, as the organic matter settles, microbial decomposition near the bottom further depletes oxygen. This is one of the main indicators of eutrophication.

Regarding the harmful effects in flowing river water, it leads to oxygen deficiency and deterioration of water quality. As a result of the excessive growth of algae, their death and natural decomposition process cause an increase in microorganisms, which leads to the intensive consumption of oxygen. Consequently, oxygen levels in rivers and water bodies decrease, making it difficult for aquatic organisms to survive. Manganese alters the chemical composition of water and may also contribute to the release of other heavy metals and nutrients (such as nitrogen and phosphorus) into the water, which accelerates the eutrophication process [1,2].

Manganese tends to precipitate as sediment at the bottom of the water when oxidized. This sediment, especially in cases of excessive algal growth and lack of oxygen in the water, can accumulate at the bottom, further reducing oxygen levels in the deeper layers of the river ecosystem. This, in turn, makes it even more difficult for plants and other aquatic organisms to develop.

Manganese can also react with other chemicals, such as phosphorus and nitrogen, facilitating their entry into the water and allowing them to move more easily within the aquatic environment. This enhances the process of eutrophication, as phosphorus and nitrogen are key nutrients that stimulate the growth of algae.

The high levels of manganese in the river ecosystem indirectly lead to eutrophication, as it disrupts the chemical balance of the water and causes the proliferation of algae and aquatic weeds. This excessive growth leads to a decrease in oxygen, damage to biodiversity, and ultimately the degradation of the

ecosystem. This is a process that occurs due to the combination of complex and numerous effects, which is why strict control of manganese levels is essential for wastewater treatment and the protection of the ecosystem.

## References

1. Aiten Samadova, Sevinj Hajiyeva, Islam Mustafayev. Eco-Chemical Study Of Freshwater Sources Contaminated With Mining Wastewater. Journal Of Baku Engineering University-Advances In Chemistry And Chemical Engineering. Volume 8, Number 1, 2024, pp.29-34
2. Filov V.A. Chemical pollutants of the environmental, toxicology and information issues. Ros. chem. journal. -2004, T.48, No 2, pp. 4-8

## Xülasə

### MƏDƏN SƏNAYESİNDƏN GƏLƏN TULLANTILARLA ÇİRLƏNMİŞ TƏBİİ SU MƏNBƏLƏRİNDƏ MAQAN ELEMENTİNİN TƏDQIQI

*Səmədova A., Hacıyeva S., Mustafayev İ.*

Tullantılarda maqanın icazə verilən həddləri aşması ekosistem, ətraf mühit və xüsusilə hidrosfer (çaylar, göllər və digər su hövzələri) üzərində bir sıra mənfi təsirlərə malik ola bilər. Onun su ekosistemlərinə təsiri danılmazdır. Su ekosistemlərində maqan balıqlara və digər su orqanizmlərinə toksik təsir göstərir. Yüksək konsentrasiyalarda maqan bir çox su növləri üçün zəhərlidir. Bu tədqiqat üçün Azərbaycanın ərazisindən axan Oxçu çayı seçilmişdir. Bu toksik elementin illik dəyişkənlik dinamikası araşdırılmışdır.

**Açar sözlər:** Təmiz su və sanitariya, maqan, ekologiya, tullantı suları, mədən sənayesi.

## Резюме

### ИССЛЕДОВАНИЕ МАРГАНЦЕВОГО ЭЛЕМЕНТА В ПРИРОДНЫХ ВОДНЫХ ИСТОЧНИКАХ, ЗАГРЯЗНЁННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Самедова А., Гаджиева С., Мустафеев И.*

Наличие марганца в сточных водах при уровнях, превышающих допустимые пределы, может иметь ряд негативных последствий для экосистемы, окружающей среды и особенно гидросферы (реки, озёра и другие водоёмы). Её влияние на водные экосистемы неоспоримо. В водных экосистемах марганец оказывает токсичное воздействие на рыб и другие водные организмы. В высоких концентрациях марганец токсичен для многих водных видов. Для этого исследования была выбрана река Окшу, протекающая через территорию Азербайджана. Ежегодная динамика вариаций этого токсиканта была изучена.

**Ключевые слова:** Чистая вода и санитария, марганец, экология, сточные воды, горнодобывающая промышленность

## INVESTIGATION OF THERMAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETES DOPED WITH EXPANDED CLAY

### Biçer Ayşe

*Malatya Turgut Ozal University, Department of Bioengineering, Malatya, Turkey*  
[ayse.bicer@ozal.edu.tr](mailto:ayse.bicer@ozal.edu.tr)

**Summary** This study examined the thermal and mechanical characteristics of new composite materials that incorporated expanded clay and natural sand as aggregates. We used expanded clay aggregates with grain sizes ranging from 0-3 mm, 3-6 mm, and larger than 6 mm, along with additive ratios of 15%, 20%, and 25% by volume. Additionally, samples containing a mixture of natural sand and cement (70% sand and 30% cement) were prepared. The samples were exposed to outdoor conditions for 28 days to undergo standard drying, after which they were subjected to tests for thermal conductivity, compressive strength, tensile strength, water absorption, abrasion resistance, and density.

The results showed that the sample with grain diameter  $\geq 6$  mm and 25% expanded clay had a density of 1475 kg/m<sup>3</sup>, thermal conductivity of 0.451 W/mK, compressive strength of 13.2 MPa, and water absorption of 9.09%.

**Keywords:** Expanded clay, aggregate, light concrete, physical properties

## Introduction

Aggregates constitute approximately 70-80% of concrete. To minimize the structural load and conserve energy, it is essential to employ low-density concrete. To produce such concrete, replacing conventional aggregates with wholly or partially porous alternatives is necessary. Porous aggregates commonly used include expanded perlite, expanded polystyrene (EPS), pumice, and expanded clay. Lightweight aggregates possess low unit volume weights due to their high void ratio, resulting in higher water absorption, lower heat conduction, and lower strength than regular aggregates [7].

Expanded clay (EC) is a widely utilized artificial aggregate produced through a specific manufacturing process. This process involves extracting clay from its source, pulverizing it, granulating it into small spherical shapes, and subjecting it to firing at temperatures reaching approximately 1200°C [6,

14]. During the firing process, the organic components within the clay burn away, expanding the spheres and forming EC (refer to Fig. 1). Due to its fine dispersion and regular pore structure, expanded clay exhibits excellent thermal and sound insulation properties. Moreover, EC is non-combustible, resistant to frost, and has higher mechanical strength than natural aggregates like volcanic tuff and slag [19, 11].

Although Türkiye has significant potential in terms of expansive clay reserves, there is a lack of sufficient research and development activities and notable investment in the industrial context. EC aggregates are primarily used in the construction sector, particularly in lightweight structural elements, in Europe and the United States. Therefore, we should analyze the expansion properties of clays thoroughly and define the criteria for industrial usability.

Numerous studies have been carried out investigating the utilization of expanded clays as aggregates in concrete. A summary of some of these studies is provided below.

Subaşı [14] examined the mechanical properties of lightweight concrete blocks.. They further highlighted load-bearing lightweight concrete of this nature has the potential to decrease the overall weight of the building and mitigate the extent of damage caused by earthquakes. Bartolini et al. [3] examined the sound insulation and mechanical strength characteristics of agglomerates created by combining EC with epoxy resin as a binding agent. Osman et al. [10] blended EC with perlite. Nahhab et al. [9] conducted research on the influence of the maximum aggregate size, the content of light EC , and micro steel fibers on the properties of concrete. Vasina et al. [18] combined expanded clays , fly ash and a additive to investigate of the resulting samples. Additionally, they developed a model to evaluate the acoustic performance. Devcioglu and Bicer [4] utilized various diameters of EC and tragacanth resin to manufacture concrete samples. They then examined their thermal and mechanical properties.

This study focused on examining the thermal and mechanical properties of lightweight concrete samples composed of EC with grain diameters of 0-3 mm, 3-6 mm and larger than 6 mm, natural sand with a particle size of 0.7 mm, and a cement mixture. The proportion of cement + sand mixture remained constant by weight (70% sand + 30% cement) for each sample. Nine samples were prepared, each with varying concentrations of EC. As EC helps reduce the structural load, its utilization in construction, particularly in earthquake-prone areas, is expected to increase. Therefore, the findings of this study will serve as a foundation for further research on low-density lightweight concrete.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Materials

EC is an spurious material that doesn't occur naturally in its expanded state. It is produced using raw materials such as clay, sandy , clay shale [14]. They are rapidly exposed to temperatures exceeding 1000°C in rotary kilns.



**Fig. 1.** Expanded Clay

Concrete mortars were produced using pozzolanic cement (CEM IV/B(P)32.5 R) as a binder for EC and sand mixtures. The density value of cement is approximately 3.1 g/cm<sup>3</sup> and its thermal conductivity is 0.751 W/mK.

Sand: Natural sand with a size of 0.7 mm was obtained from the Euphrates river bed.

**Table 1.**

<i>Chemical Contents Of Compounds, (%)</i>		
Chemical characteristics	Expanded clay	Cement
SiO <sub>2</sub>	54.83	18.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.71	6.15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.14	3.25
CaO	3.46	57.71
MgO	4.10	2.34

SO <sub>3</sub>	-	2.91
Na <sub>2</sub> O	0.74	-
K <sub>2</sub> O	3.58	0.7
TiO <sub>2</sub>	0.55	-
Loss on ignition	7.94	2.84
Not available	-	6.05
Total	100.05	100.03

## 2.2. Preparation of Samples

In all mixtures, the total weight of the cement + sand mixture was maintained constant (70% sand + 30% cement). The addition rate of EC to the mixtures was determined as 15%, 20%, and 25% by volume. Table 2 shows the mixture proportions of the samples. The water-to-cement plus sand ratio (W/C+S) was set at 0.5. The mixtures were thoroughly stirred for approximately three minutes before being poured into molds measuring 20x60x150 mm and 100x100x100 mm (for mechanical tests), as per the specifications of the thermal conductivity coefficient meter probe (Fig 2). Then 24 hours, each sample was de-molded and subsequently maintained at 24 °C for a curing period of 28 days.

**Table 2.**

*Mixing ratio of samples*

Sample	EC grain diameter (mm)	Cement (g)	Sand (g)	W/(C+S)	Volumetric ratio (%)	
					Cement+sand	EC
1	0-3	600	1400	0.5	85	15
2					80	20
3					75	25
4	3-6	600	1400	0.5	85	15
5					80	20
6					75	25
7	≥ 6	600	1400	0.5	85	15
8					80	20
9					75	25



**Fig. 2.** Concrete Samples

## 2.3. Methods

The tests are summarized below.

The Thermal conductivity coefficient: These coefficients of the samples were analyzed using a device called Shoterm-QTM, which follows the hot wire method specified by DIN 51046 [5]. Each sample was measured three times at three distinct points, and presented in Table 2. The device has a measurement range of 0.02-10 W/mK with a precision of ±5+1% step.

Compressive and tensile strengths: The compressive strength was evaluated using an "Ele" International device following the guidelines of the TS 699 standard [15]. Tensile strength values were calculated based on the TS 500 standard using Equation 1 [16]. The outcomes of the compressive, tensile, and frictional wear tests, in terms of volume wear loss, after 88 cycles, are compiled and presented in Table 3

$$f_{ctk} = 0.35 \sqrt{f_{ck}} \quad (1)$$

where,  $f_{ck}$ : compressive strength (MPa) and  $f_{ctk}$ : tensile strength (MPa)

Water absorption and drying ratio: Water absorption analysis examines how much volume building materials occupy as a result of water absorption and expansion of ice crystals during freezing. [17]. The water absorption values were determined using Equation 2.

$$\text{Water absorption} = \{[W_d - W_k]/W_k\}.100 \quad (2)$$

In Equation 2, where  $W_d$  represents the dry weight of the sample, and  $W_k$  denotes the weight of the sample after water impregnation. The water absorption rates obtained from the calculations are presented in Table 3, Figure 8 shows the mass change values of the materials over time.

The drying rate experiment was conducted to assess the respiration ability of concrete samples doped with EC. Following a 24-hour immersion in a water container, the specimens were taken out, rinsed with a damp cloth, and allowed to air dry at room temperature (20°C). The drying rates of the samples were determined after 24 hours of drying time using Equation 3.

$$\text{Drying ratio} = \{[W_d - W_k]/W_d\}.100 \quad (3)$$

**Table 3.**

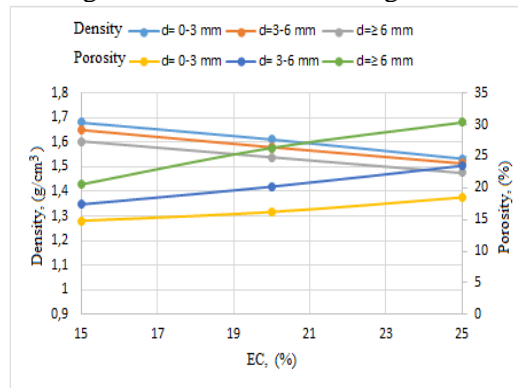
<i>Thermal and mechanical values of the prepared mixtures</i>								
Code	EC (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Porosity (%)	Thermal conductivity (W/mK)	Compressive strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Water absorption (%)	Volume abrasion (%)
EC particle diameter: 0-3 mm								
0	0	1.720	0.5	0.769	28.8	1.88	14.10	0.33
1	15	1.680	14.8	0.610	25.3	1.76	10.11	0.38
2	20	1.611	16.2	0.566	19.6	1.55	9.82	0.46
3	25	1.533	18.5	0.502	17.1	1.45	9.70	0.54
EC particle diameter: 3-6 mm								
4	15	1.650	17.4	0.590	23.1	1.68	9.45	0.44
5	20	1.580	20.2	0.554	17.3	1.46	8.90	0.51
6	25	1.514	23.5	0.486	15.3	1.37	8.60	0.63
EC particle diameter: ≥ 6 mm								
7	15	1.604	20.56	0.541	20.3	1.58	9.05	0.49
8	20	1.539	26.33	0.510	15.2	1.36	8.85	0.58
9	25	1.475	30.35	0.451	13.2	1.27	8.09	0.71

### 3. Results and Discussion

This section addressed the test results.

#### 3.1. Density-Porosity

If the EC content is high, the density will be low and the porosity rate will be high.. In 25% EC-doped concrete samples, there was a reduction in particle size density of 10.8%, 11.9%, and 14.2%. Additionally, the porosity of the samples increased by 18%, 23%, and 30% in the corresponding size ranges. Figure 3 shows these changes according to EC addition rate and grain diameter.



**Fig. 3.** Co-variation of density and porosity according to EC grain diameter and addition ratio

#### 3.2. Thermal conductivity coefficient

Certain EC-doped concrete samples with smaller grain diameters exhibited higher thermal conductivity coefficients due to the presence of fully developed pores. Conversely, some EC-doped concrete samples with larger grain diameters demonstrated lower thermal conductivity coefficients (Fig. 4). Among the samples, Sample 9, with a grain diameter of  $\geq 6$  mm and an EC ratio of 25%, had the lowest thermal conductivity (0.451 W/mK). Conversely, Sample 1 with grain size 0-3 mm and EC rate of 15%, exhibited the highest thermal conductivity (0.610 W/mK) (Table 3, Fig. 4). The thermal conductivity values of the samples decreased by 34.7%, 36.8%, and 41.3% with the addition of 25% EC for grain size of 0-3 mm, 3-6 mm, larger than 6 mm, respectively. Compared to materials with a grain size of 0-3 mm, the thermal conductivity

values of samples with a grain size 6 mm decreased by 11.3%, 9.9%, and 10.1% with addition rates of 15%, 20%, and 25%, respectively. Due to the porous nature of EC, the incorporation of EC in concrete leads to an increase in porosity. Consequently, the porosity of EC-doped concretes increases while their thermal conductivity decreases. Figure 5 shows the variation of these two parameters together according to the EC ratio.

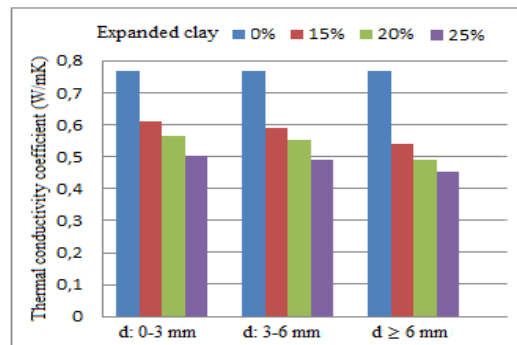


Fig. 4. Thermal conductivity coefficient values according to EC grain diameter and addition rate

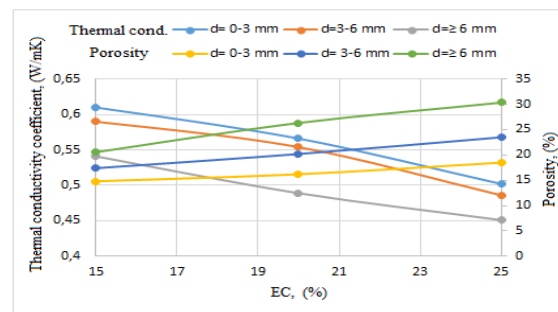


Fig. 5. Thermal conductivity and porosity values according to EC grain diameter and ratio

Table 4 shows that mixtures with high EC ratios have lower thermal conductivity values than other materials. The most important reason for this is the porous structure of EC. However, when compared to similar studies listed in Table 6, the thermal conductivity observed in this study is relatively higher than those reported in Ref [4, 2, 13, 8, 1]. This disparity can be attributed to the use of expanded clay (EC) in combination with sand as the aggregate material. In the referenced studies [14, 12], which also involved EC + sand aggregate, the analysis of thermal conductivity parameters was not conducted.

Table 4.

Thermal properties of samples and building materials [10].		
Materials	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Thermal conductivity (W/mK)
Concrete	1906	0.814
Granite	2643	1.73-3.98
Limestone	2483	1.16
Sandstone	2163-2307	1.63-2.08
Marble	2499-2707	2.77
Brick	1602	0.692

### Compressive strength

The higher the EC content, the lower the compressive strength (Fig 5), which is due to the reduction of binder ratios. The compressive strength values are low because the large grain diameter reduces the cement binder in the sample. While mixtures with grain diameters of 0.3 mm had the highest compressive strength (25.3 MPa), mixtures with grain diameters larger than 6 mm had the lowest compressive strength (20.3 MPa).

With the addition of 25% EC, the compressive strength values of the samples with grain size of 0-3 mm, 3-6 mm, 6 mm decreased by 40.6%, 46.8%, and 54.1%, respectively. With the addition of 15%, 20%, and 25% EC, the compressive strength values of the samples with grain diameters  $\geq 6$  mm decreased by 19.7%, 22.4%, and 22.8% compared to those with grain diameters 0-3 mm, respectively.

If the EC content is high, thermal conductivity and compressive strength will below.. Figure 6 shows the variation of these two parameters according to the EC ratio.

The compressive strength values of EC + sand aggregate concrete samples are higher than Ref [4, 2, 13, 8] (Table 6). The results indicate that it is possible to produce EC-doped load-bearing lightweight concrete with a compressive strength of 25.3-13.2 MPa. By utilizing this type of concrete, the overall weight of the building can be reduced. This reduction in weight can contribute to mitigating the potential damage caused by earthquakes to the structure.

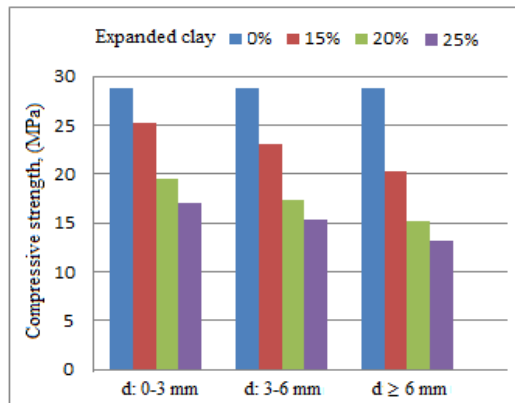


Fig. 5. Compressive strength values according to EC grain diameter and addition rate

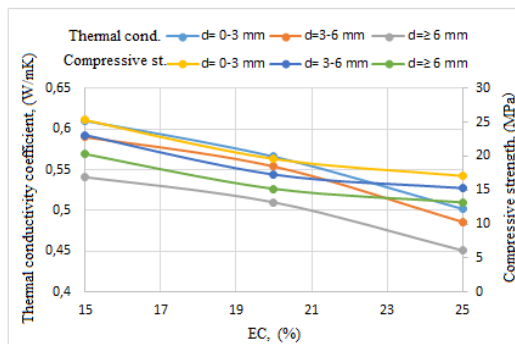


Fig. 6. Thermal conductivity and compressive strength values according to EC grain size and addition ratio

The results also show that EC-doped concrete with wear loss values of 0.33-0.71 % can also be used as a building material exposed to icing.

Water absorption ratio

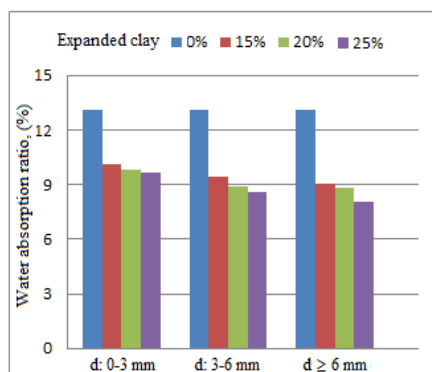


Fig.7. Water absorption ratio values according to EC grain diameter and addition rate

Figure 7 shows the variation of water absorption rates according to EC grain diameter and addition ratio. All samples have water absorption rates below the critical value (30%). Therefore, EC-doped concretes

are not at risk of cracking or disintegration due to freezing at temperatures below 0 °C. Figure 8 shows the water absorption rates of the samples. Figure 9 shows the changes in weight loss during drying. Figure 9 suggests that the samples can inhale a little.

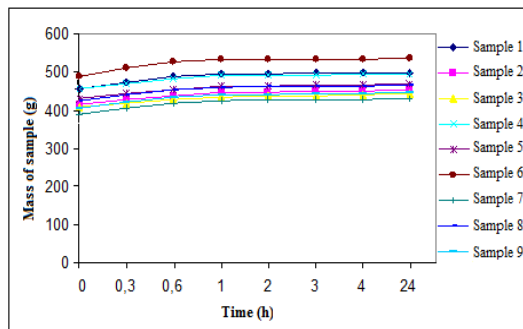


Fig. 8 The water absorption tests

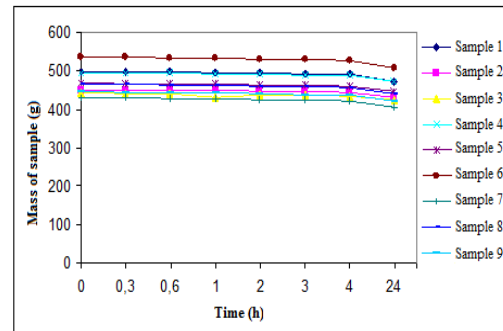


Fig. 9 Mass change of samples in the drying

Table 6.

Physical properties found in some studies

Materials	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Thermal conductivity (W/mK)	Compressive strength (MPa)	Literature
C (340 Kg/m <sup>3</sup> ) + EC (22%) + S (20%)	1.368	-	16.68	
C (410 Kg/m <sup>3</sup> ) + EC (22%) + S (20%)	1.561	-	23.28	[14]
C (440 Kg/m <sup>3</sup> ) + EC (22%) + S (20%)	1702	-	41.26	
C + EC (10%) + T (1%)	1.056	0.263	3.97	[4]
C + EC (20%) + T (1%)	0.867	0.215	1.48	
C (700 Kg/m <sup>3</sup> ) + EC + S + SF	1.605	-	53.6	
C (545 Kg/m <sup>3</sup> ) + EC + S + SF	1.532	-	45.9	[12]
C (445 Kg/m <sup>3</sup> ) + EC + S + SF	1.460	-	39.5	
P (20%) + C (80%) + PR (1%)	1.548	0.371	19.80	
P (40%) + C (60%) + PR (1%)	1.479	0.318	13.05	[2]
P (60%) + C (40%) + PR (1%)	1.350	0.265	8.10	
P (80%) + C (20%) + PR (1%)	1.241	0.231	4.58	
C + clay + WP (10%)	1.010	0.220	2.67	
C + clay + WP (20%)	0.870	0.160	2.35	[13]
C + clay + WP (30%)	0.700	0.140	1.35	
C (80%) + EPS (20%) + T (1%)	1.232	0.220	10.85	[8]
C (60%) + EPS (40%) + T (1%)	1.023	0.190	5.07	
C + EC (10%) + FA (30%) + PR (1%)	1.478	0.397	23.58	[1]
C + EC (20%) + FA (30%) + PR (1%)	1.243	0.328	21.43	
C + EC (15%) + S, d <sub>s</sub> ≥ 6 mm	1.604	0.541	20.3	
C + EC (20%) + S, d <sub>s</sub> ≥ 6 mm	1.539	0.510	15.2	Present
C + EC (25%) + S, d <sub>s</sub> ≥ 6 mm	1.475	0.451	13.2	

C: Cement, S: Sand, SF: Silica fume, P: Pumice, PR: Pine resin, WP: Wood pellet, T: Tragacanth, FA: Fly ash

#### 4. Conclusion

We can use EC-doped concretes, especially in earthquake-prone areas. The findings are summarized below.

Expanded clay is a versatile material that finds application not only in agriculture but also as a raw material for producing lightweight concrete in the construction industry and for heat and sound insulation purposes. Among the various formulations tested, the 25% EC-doped lightweight concrete with a grain size larger than 6 mm exhibited the lowest thermal conductivity (0.451 W/mK), significantly lower than that of regular concrete. Considering the high costs associated with energy consumption, particularly in heating, the utilization of this type of concrete in building components can result in substantial energy savings.

When the EC ratio is high, the strength value is low. On the other hand, it is possible to enhance these values by increasing the ratio of cement admixture. In the case of 25% EC-doped concretes with a grain size larger than 6 mm, and the values are range from 25.3 MPa to 13.2 MPa. Utilizing lightweight concrete in columns and beams can significantly reduce the overall weight of the building, resulting in reduced susceptibility to earthquake damage.

The water absorption rates of EC-doped concretes were measured to be approximately 9-10%, which is below the critical value of 30%. As a result, these concretes are expected to be resistant to issues such as material cracking, surface dusting, and crack formation or material disintegration due to freezing.

## References

1. Bicer A. (2021). Effect of fly ash and pine tree resin on thermo-mechanical properties of concretes with expanded clay aggregates. *Case Studies in Construction Materials*, 15 (2021) e00624
2. [Bicer A, Celik N.](#) (2020). Influence of pine resin on thermo-mechanical properties of pumice-cement composites. *Cement and Concrete Composites*, 103668-112.
3. Bartolini R, Filippozzi S, Princi E, Schenone C, Vinici S. (2010). Acoustic and mechanical properties of expanded clay granulates consolidated by epoxy resin. *Applied Clay Science*, 48, 460-465.
4. Devecioglu AG, Bicer Y. (2016). The effects of tragacanth addition on the thermal and mechanical properties of light weight concretes mixed with expanded clay. *Period. Polytech. Civil Eng.*, 60, 45-50.
5. DENKO S. (1981). Shotherm Operation Manual No 125-2. K.K. Instrument Products Department, 13-9, Shiba Daimon, Tokyo, 105, Japan.
6. Gündüz L., Şapcı N., Bekar M I. (2006). Genleşmiş kilin hafif agregası olarak kullanılabilirliği. *Kibited*, 1 (2), 43-49.
7. Haque MN., Al-Khaiat H., Kayali O. (2004). Strength and durability of lightweight concrete. *Cement and Concrete Composites*, 26, 307-314.
8. Kaya A, Kar F. (2016). Properties of concrete containing waste expanded polystyrene and natural resin. *Construction and Building Materials*, 105, 572-578.
9. Nahhab A, Ketab AK. (2020). Influence of content and maximum size of light expanded clay aggregate on the fresh, strength, and durability properties of self-compacting lightweight concrete reinforced with micro steel fibers. *Construction and Building Materials*, 233, 117922.
10. Othman MLB, Alsarayreh AIM, Abdullah RB, Sarbini NNB, Yassin MSB, Ahmad HB. (2020). Experimental study on lightweight concrete using lightweight expanded clay aggregate (LECA) and expanded perlite aggregate (EPA). *Journal of Engineering Science and Technology*, 15(2), 1186 – 1201.
11. Özer M. (1982), Hafif agregası olarak genleşmiş kil ve pomza taşının teknik özelliklerinin karşılaştırılması. *10. Ulusal Kil Sempozyumu*, 19-22 Eylül, 446- 456, Konya.
12. Rossignolo JA, Marcos VC, Jerusa A. (2003). Properties of high-performance LWAC for precast structures with Brazilian lightweight aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 25, 77-82.
13. Rim KA, Ledhem A, Douzane O, Dheilly RM, Queneudec M. (1999). Influence of the proportion of wood on the thermal and mechanical performances of clay-cement-wood composites. *Cement and Concrete Composites*, 21, 269-276.
14. Subasi S. (2009). Production of structural lightweight concrete with expanded clay aggregate. *J.Fac. Arch. Gazi Univ.*, 24(3), 559-567.
15. TSE 699, (2009). The test and experiment methods of natural building stones. *Turkish Standard*, Ankara.
16. TS 500, (2000). Requirements for design and construction of reinforced concrete structures. *Turkish Standards*, Ankara.
17. TSE 4045, (1984). Yapı malzemelerinde kapiler su emme tayini. *Turkish Standard*, Ankara
18. Vasina M, Hughes DC, Horoshenkov KV, Lapcik L. (2006). The acoustical properties of consolidated expanded clay granulates. *Applied Acoustics*, 67, 787-796.
19. Yasar E., Atis C., D., Kilic A., Gulsen H., (2003), Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash. *Materials Letters*, 57, 2267-2270.

**Xülasə**  
**GENİŞLƏNDİRİLMİŞ GİL (KERAMZİT) İLƏ MODİFİKASIYA OLUNMUŞ BETONLARIN İSTİLİK VƏ MEXANİKİ**  
**XÜSUSİYYƏTLƏRİNİN TƏDQIQI**  
*Bıçer Aışe*

Bu tədqiqatda doldurucu kimi genişlənmiş gil (keramzit) və təbii qumdan istifadə edilən yeni kompozit materialların istilik və mexaniki xüsusiyyətləri araşdırılmışdır. Taxıl ölçüləri 0–3 mm, 3–6 mm və 6 mm-dən böyük olan keramzit doldurucularından, həmçinin həcm üzrə 15 %, 20 % və 25 % qatqı nisbətlərindən istifadə olunmuşdur. Bundan əlavə, 70 % qum və 30 % sementdən ibarət təbii qum-sement qarışığı olan nümunələr hazırlanmışdır. Nümunələr standart quruma prosesindən keçməsi üçün 28 gün müddətində açıq hava şəraitində saxlanılmış, daha sonra istilik keçiriciliyi, sıxılma möhkəmliyi, dartılma möhkəmliyi, su udma, aşınmaya davamlılıq və sıxlıq göstəriciləri üzrə sınaqlardan keçirilmişdir. Nəticələr göstərmişdir ki, dənə ölçüsü  $\geq 6$  mm olan və tərkibində 25 % keramzit olan nümunənin sıxlığı  $1475 \text{ kq/m}^3$ , istilik keçiriciliyi  $0,451 \text{ Vt/m}\cdot\text{K}$ , sıxılma möhkəmliyi  $13,2 \text{ MPa}$  və su udması  $9,09 \%$  olmuşdur.

**Açar sözlər:** keramzit, doldurucu, yüngül beton, fiziki xassələr

**Резюме**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОНОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ**  
**КЕРАМЗИТОМ**  
*Бичер Аїше*

В данном исследовании изучались тепловые и механические характеристики новых композитных материалов, в которых в качестве заполнителей использовались керамзит и природный песок. Применялись керамзитовые заполнители с размером зерен 0–3 мм, 3–6 мм и более 6 мм, а также добавки в объемных соотношениях 15 %, 20 % и 25 %. Кроме того, были подготовлены образцы, содержащие смесь природного песка и цемента (70 % песка и 30 % цемента). Образцы подвергались воздействию наружных условий в течение 28 дней для стандартного высыхания, после чего проводились испытания на теплопроводность, прочность на сжатие, прочность на растяжение, водопоглощение, износостойкость, плотность. Результаты показали, что образец с диаметром зерен  $\geq 6$  мм и содержанием керамзита 25 % имел плотность  $1475 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент теплопроводности  $0,451 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ , прочность на сжатие  $13,2 \text{ МПа}$  и водопоглощение  $9,09 \%$ .

**Ключевые слова:** керамзит, заполнитель, легкий бетон, физические свойства

**THE CURRENT VOLTAGE CHARACTERISTICS OF A CIGS BASED SOLAR CELLS WITH A THIN LAYER OF SILVER**

<sup>1</sup>Kabulov R.R., <sup>2,1\*</sup>Akbarov F.A., <sup>2</sup>Alimov A.A., <sup>1</sup>Homidova N.R., <sup>2</sup>Muminov Kh.A.

<sup>1</sup>Physical-technical Institute named after S.A. Azimov of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>Tashkent state technical university named after Islom Karimov, Tashkent, Uzbekistan

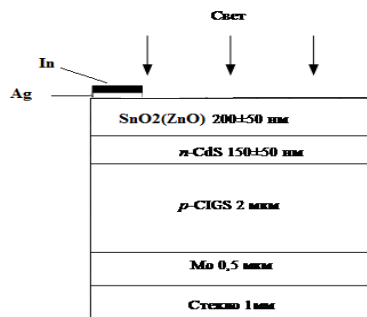
[\\*farrux1927@mail.ru](mailto:farrux1927@mail.ru)

**Summary** Environmental pollution during the period of intensive scientific, technical and industrial development requires the world community to increase the production of electrical energy through environmentally friendly renewable solar energy. Over the past few years, solar photovoltaic energy has been growing at an accelerated pace. In 2024, it accounted for more than three quarters of the growth in renewable energy capacity, or 451.9 GW. Including 278 GW were installed in China and 24.5 GW in India. In 2023, solar energy surpassed hydropower in installed capacity for the first time and became the largest renewable energy source, and in 2024, the share of solar in global renewable energy capacity reached 42% [1].

**Keywords:** solar energy, photovoltaic modules, CIGS or  $\text{CuInGaSe}_2$ , volt-current characteristics, solar radiation.

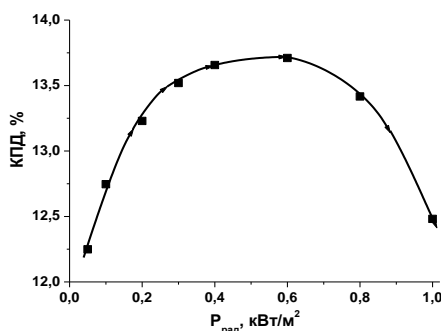
Currently, crystalline silicon-based photovoltaic modules account for 95% of the total photovoltaic volume in the photovoltaic market. For further widespread commercial implementation of photovoltaic stations in large-scale energy production, it is necessary to increase the competitiveness of photovoltaics with traditional methods of generating electric energy. This can be achieved through the use of energy-saving and material-saving technologies in the production of solar cells, which will lead to a significant reduction in costs associated with the production of photovoltaic modules. Semiconductor materials based on a multicomponent chemical compound of copper-indium-gallium and selenium - CIGS or  $\text{CuInGaSe}_2$  are one of the promising and environmentally friendly materials due to their unique properties [2], such as direct band gap, high absorption coefficient values and thin-film structure of the entire structure. Currently, on a laboratory sample of a CIGS-based solar cell with an area of about  $1 \text{ cm}^2$ , the Japanese company Solar Frontier has obtained a solar energy conversion efficiency (COP) of 23.35% under AM1.5 conditions [3]. On a  $526.7 \text{ cm}^2$  photovoltaic module, the photovoltaic module manufacturer Avancis achieved a value of 20.3% [4]. However, in solar cells that achieve high conversion efficiency values, rather expensive technologies are used, which leads to an increase in the cost of the entire process of producing large-area photovoltaic modules.

For commercial wide implementation of CIGS-based solar technologies, it is necessary to use cheaper technologies for producing CIGS-based layers and structures. One of such technological methods is vacuum evaporation of CIGS precursors from two evaporators. In this case, Cu, In and Ga metals, due to the fact that their evaporation temperatures in vacuum differ insignificantly, evaporate from one evaporator, and selenium, due to a large difference in evaporation temperatures, from another evaporator. Studies conducted on a solar cell based on a thin-film CIGS layer synthesized using two evaporators, with an area of 0.16 cm<sup>2</sup>, which had a glass-Mo/p-CIGS/n-CdS/SnO<sub>2</sub>/Ag structure (fig.1).



**Fig. 1.** Design of the CIGS based solar cell

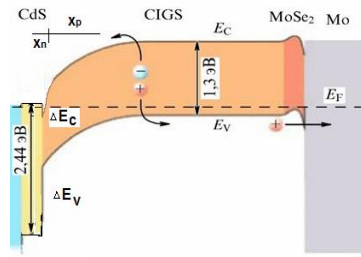
The solar cell was created as follows: a metallic molybdenum (Mo) layer with a thickness of ~0.5 μm was applied to a glass substrate with a thickness of ~1 mm using the direct current magnetron ion sputtering method. Then, a CIGS layer with a p-type conductivity and a thickness of ~2 μm was synthesized in a quasi-closed volume using two evaporators in a vacuum. A layer of cadmium sulfide (CdS) with an n-type conductivity and a thickness of ~150 nm was used as a buffer layer in the created heterostructure. A layer of tin oxide (SnO<sub>2</sub>) with an n-type conductivity and a thickness of ~200 nm was used as a transparent-conductive layer in the heterostructure [5]. A layer of silver (Ag) was applied to the surface of the n-SnO<sub>2</sub> layer as a current-collecting contact.



**Fig.2.** Dependence of the efficiency of the Mo/p-CIGS/n-CdS/SnO<sub>2</sub> SC on  $P_{rad}$ .

Study of light load volt-current characteristics, under AM1.5 illumination on an Oriel - 94043A solar simulator had an efficiency of 12.5%. Fig.2 shows the results of the dependence the efficiency of the Mo/p-CIGS/n-CdS/SnO<sub>2</sub> SC on the power of solar radiation ( $P_{rad}$ ). The results show that the dependence has the maximum efficiency value 13,8% at  $P_{rad} \approx 0,6$  kWatt/m<sup>2</sup>.

The study and analysis of the dark current-voltage characteristic showed that in the area of the front contact of n-CdS/p-CIGS there is an accumulation barrier, which is formed as a result of the difference in the energy of electron affinity ( $\chi$ ) of the semiconductor layers of n-CdS and p-CIGS (fig.3). In the area of the back contact of p-CIGS/Mo, a potential barrier appears, which is connected counter (reverse) to the main potential barrier of the n-CdS/p-CIGS heterojunction, which is most likely formed due to salinization of the Mo surface and the formation of a wider-bandgap monolayer of MoSe<sub>2</sub>, with respect to the CIGS layer [6,7]. The accumulation and counter-connected barrier negatively affects the output energy parameters of the CIGS-based solar cell, worsening such parameters as short-circuit current, open-circuit voltage, fill factor of the current-voltage characteristic and conversion efficiency.

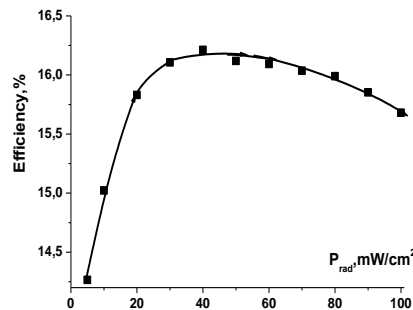


$$eV_n = 0.0173 \text{ eV}; eV_p = 1.364 \text{ eV}$$

$$X_p = 0.48 \text{ MKM}; X_n = 0.0044 \text{ MKM}$$

**Fig. 3.** Energy band diagram of the Mo/p-CIGS/n-CdS/SnO<sub>2</sub> structure.

We in order to prevent the influence of parasitic barriers on the output energy parameters of the SC based on a thin-film CIGS layer proposed to introduce a small amount of silver atoms into the CIGS layer. For this purpose, a thin layer ( $\approx 10$  nm) of silver (Ag) was deposited on the Mo surface by thermal evaporation in a vacuum during the SC creation. To improve the contact properties, the front transparent-conducting SnO<sub>2</sub> layer was replaced by a transparent-conducting ZnO layer.



**Fig.4.** Dependence of the efficiency of the Mo/p-CIGS(Ag)/n-CdS/SnO<sub>2</sub> SC on  $P_{rad}$ .

The study of the dark I-V characteristic of the created glass-Mo/p-CIGS/n-CdS/ZnO/Ag structure shows the absence of an accumulation region at the n-CdS/p-CIGS(Ag) heterojunction. Also, near the back contact, there is no potential barrier, which is connected opposite to the main potential barrier of the n-CdS/p-CIGS(Ag) heterojunction. The study of the light current-voltage characteristic of the created glass-Mo/p-CIGS(Ag)/n-CdS/ZnO/Ag structure shows that the output energy parameters of the created solar cell have improved, that is, the efficiency of the CIGS-based solar cell has increased. Under AM1.5 conditions ( $P_{rad}=100$  mW/cm<sup>2</sup>), the CIGS structure has an efficiency of 15.7%. Fig.4 shows the results of the dependence the efficiency of the Mo/p-CIGS(Ag)/n-CdS/SnO<sub>2</sub> SC on the power of solar radiation ( $P_{rad}$ ).

Experimental studies of the dependence of the efficiency of CIGS solar cells on the incident radiation power of the solar simulator  $P_{rad}$  showed that the efficiency increases with increasing radiation power and reaches a maximum value of 16.2% at  $P=40$  mW/cm<sup>2</sup>, then decreases and, as indicated above, at  $P_{rad}=100$  mW/cm<sup>2</sup> has an efficiency of 15.7%. Silver atoms on the Mo surface prevent the formation of the MoSe<sub>2</sub> layer, preventing the occurrence of a counter-connected barrier. During the growth of the CIGS layer, silver atoms diffuse and accumulate at the frontal boundary of the CIGS layer, increasing the band gap of the photoactive CIGS layer, which leads to the removal of the accumulation region. This leads to an increase in the efficiency of the solar cell.

## References

1. <https://www.irena.org/News/pressreleases/2025/Mar/Record-Breaking-Annual-Growth-in-Renewable-Power-Capacity>
2. R.R. Kobulov, N.A. Matchanov, A.K. Ataboev. Morphology and Photoelectric Characteristics of the Thin-Films Polycrystalline Structure SnO<sub>2</sub>-CdS/Cu(InGa)Se<sub>2</sub>-Ag. Applied Solar Energy, 2018, Vol.54, No 2, pp.91-94. DOI: 10.3103/S0003701X18020068
3. Nakamura M, Yamaguchi K, Kimoto Y, Yasaki Y, Kato T, Sugimoto H. Cd-free Cu (In,Ga)(Se,S)<sub>2</sub> thin-film solar cell with a new world record efficacy of 23.35%. In: 46th IEEE PVSC. Vol.9, 6; 2019. doi:10.1109/JPHOTOV.2019.2937218.

4. Diermann R. Avancis claims 19.64% efficiency for CIGS module. PV Magazine International; 2021. (<https://www.pv-magazine.com/2021/03/04/avancis-claims-19-64-efficiency-for-cigs-module/>).
5. R.R. Kobulov, N.A. Matchanov, O.K. Ataboev, F.A. Akbarov. Solar Cells Based on Cu(In, Ga)Se<sub>2</sub> Thin-Film Layers. Applied Solar Energy. 2019, Vol. 55. No 2. pp. 83-90. DOI: 10.3103/S0003701X19020063
6. R.R. Kabulov. Features of the buffer layer Zn<sub>x</sub>Cd<sub>1-x</sub>S for use in thin-film solar cells. Applied Solar Energy. 2020. Vol. 56. No 5, pp. 383-387. DOI: 10.3103/S0003701X20050096
7. Rustam R. Kabulov, Anvar A. Alimov, Farrux A. Akbarov. Time of transition processes in a CdS-CIGS structural solar cells in the short-wave part of the absorption spectrum at different loading resistances // Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics. 2023, 14 (1), pp. 127–131.

#### Xülasə

### CİGS ƏSASLI GÜNƏŞ HÜCEYRƏLƏRİNİN VOLT-AMPER XARAKTERİSTİKALARI İNCƏ GÜMÜŞ QATLA

*Kabulov R.R., Akbarov F.A., Alimov A.A., Homidova N.R., Muminov Kh.A.*

Elmi, texniki və sənaye inkişafının intensiv dövründə ətraf mühitin çirklənməsi dünya ictimaiyyətini ekoloji cəhətdən təmiz bərpa olunan günəş enerjisi vasitəsilə elektrik enerjisi istehsalını artırmağa məcbur edir. Son bir neçə ildə günəş fotovoltaiq enerjisi sürətlə artmaqdadır. 2024-cü ildə bu artım bərpa olunan enerji gücünün üçdə birindən çoxunu təşkil etmiş, yəni 451,9 GW olmuşdur. Bunlardan 278 GW Çin, 24,5 GW isə Hindistanda quraşdırılmışdır. 2023-cü ildə günəş enerjisi quraşdırılmış güc baxımından ilk dəfə hidroenerjini üstələmiş və ən böyük bərpa olunan enerji mənbəyi olmuşdur, 2024-cü ildə isə qlobal bərpa olunan enerji gücündə günəş enerjisinin payı 42%-ə çatmışdır [1].

**Açar sözlər:** Günəş enerjisi, fotovoltaiq modullar, CIGS və ya CuInGaSe<sub>2</sub>, volt-ampere xarakteristikaları, günəş radiasiyası

#### Резюме

### ТЕКУЩИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ CIGS С ТОНКИМ СЛОЕМ СЕРЕБРА

*Кабулов Р.Р., Акбаров Ф.А., Алимов А.А., Хомидова Н.Р., Муминов Х.А.*

Загрязнение окружающей среды в период интенсивного научно-технического и промышленного развития требует от мирового сообщества увеличения производства электрической энергии за счет экологически чистой возобновляемой солнечной энергии. За последние несколько лет солнечная фотоэлектрическая энергетика растет ускоренными темпами. В 2024 году на ее долю пришлось более трех четвертей прироста мощности возобновляемой энергетике, или 451,9 ГВт. В том числе 278 ГВт было установлено в Китае и 24,5 ГВт в Индии. В 2023 году солнечная энергетика впервые превзошла гидроэнергетику по установленной мощности и стала крупнейшим возобновляемым источником энергии, а в 2024 году доля солнца в мировой мощности возобновляемой энергетике достигла 42% [1].

**Ключевые слова:** солнечная энергия, фотоэлектрические модули, CIGS или CuInGaSe<sub>2</sub>, вольт-амперные характеристики, солнечное излучение.

### ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СРЕДСТВ И СИСТЕМ УЧЕТА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,4 КВ

**Зиангиров Айдар Фаилевич**

*ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия*

[zinaydar@mail.ru](mailto:zinaydar@mail.ru)

**Резюме** В данной работе рассмотрены методы диагностики аварийных режимов в распределительных сетях 0,4 кВ с использованием микропроцессорных измерительных устройств и систем коммерческого учета электроэнергии. Предложены два критерия обнаружения обрывов проводов: один – для фазного провода, основанный на анализе токовых изменений у последовательно подключенных потребителей, второй – для нулевого провода, учитывающий изменения симметрии напряжений и увеличение сопротивления участка сети. Эффективность предложенных методов подтверждена моделированием в среде MATLAB Simulink.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, Matlab, Simulink, обрыв нейтрали, микропроцессорный счетчик.

Распределительные сети напряжением 0,38–0,4 кВ представляют собой наиболее протяженную часть энергосистемы, обеспечивающую электроснабжение как бытовых, так и мелких промышленных потребителей. Однако эти сети характеризуются высокой степенью износа оборудования и недостаточной защищенностью от аварийных режимов, таких как обрывы фазных и нулевых проводов. Обрыв провода может произойти вследствие механических повреждений, старения материалов или воздействия внешних факторов, что в свою очередь может привести к ухудшению качества электроэнергии, выходу из строя оборудования и даже угрозе жизни людей.

В связи с этим актуальной задачей является разработка эффективных методов диагностики и оперативного реагирования на такие аварийные ситуации. Современные микропроцессорные счетчики и системы автоматизированного контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) предоставляют широкие возможности для мониторинга параметров сети и раннего обнаружения аномалий.

Целью данной работы является разработка и верификация методики диагностики обрывов проводов в распределительных сетях 0,4 кВ на основе данных, получаемых от микропроцессорных измерительных устройств методом математического моделирования.

Математическое моделирование представляет собой один из наиболее эффективных и достоверных подходов к исследованию функционирования электрических сетей. Применение численных моделей позволяет заменить трудоемкие или практически недостижимые натурные испытания на виртуальные эксперименты, что обеспечивает возможность анализа поведения энергосистем в условиях аварийных режимов, а также их отклика на различные внешние воздействия [5].

Для математического моделирования сети 0,4 кВ можно пользоваться MATLAB и её пакетами расширений Simulink SimPowerSystems. Эти пакеты представляют собой интегрированную часть MATLAB, позволяющую в полной мере воспользоваться возможностями обработки и визуализации данных. Преимущество работы с Simulink и SimPowerSystems заключается также в применении принципа визуального программирования, согласно которому пользователь может создавать модель устройства и проводить расчеты, выбирая необходимые блоки из библиотеки стандартных компонентов на экране. Это упрощает процесс моделирования по сравнению с классическими методами численных расчетов, так как пользователю не требуется глубокое понимание языков программирования и численных методов [6].

В программном обеспечении Matlab Simulink для анализа режимов работы сети 0,4 кВ была построена её схема с трансформатором 10/0,4 кВ. В ней были заложены следующие элементы (рис. 1):

- трехфазный источник питания 10 кВ частотой 50 Гц (ИП);
- силовой трансформатор напряжения с номинальной мощностью 250 кВА и с коэффициентом трансформации 10/0,4 (Т);
- к каждой фазе (фаза «А», фаза «В» и фаза «С») подключены по 10 потребителей, расстояния между которыми составляют 100 м (П);
- измерительные трансформаторы напряжения и тока (ТН).

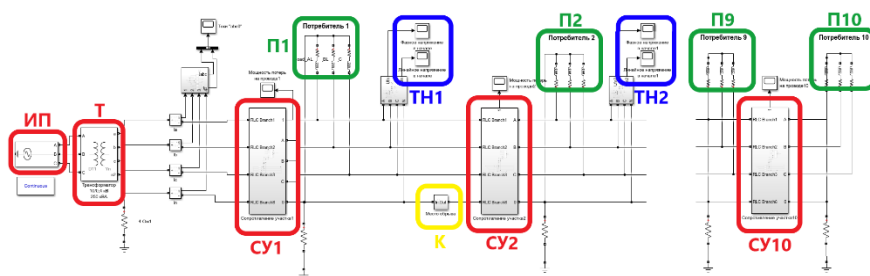


Рис. 1. Математическая модель сети 0,4 кВ

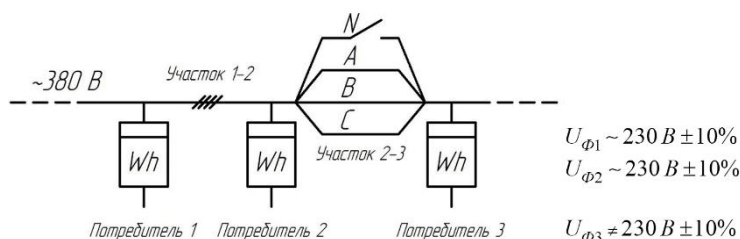
На схеме также расположен ключ (К), который имитирует обрыв нейтрального провода. По обе стороны от ключа расположены трансформаторы напряжения для измерения фазных напряжений до и после места обрыва нейтрали [4].

При обрыве нейтрали и при несимметричных нагрузках фазные напряжения до места обрыва практически не поменялись. Фазные напряжения после места обрыва, наоборот, менялись согласно загруженности фаз – если фаза была самой нагруженной, то напряжение падало; если менее нагруженной – повышалось; если же нагрузка была равна примерно средней нагрузке ( $(P_1+P_2+P_3)/3$ ), то напряжение оставалось в пределах нормы. Отсюда следует вывод, что значения этих напряжений можно будет применять для определения участка линии, где произошел обрыв нейтрального провода.

Были сняты показания этих фазных напряжений при разных нагрузках на фазах и составлены таблицы для анализа характера их изменения в зависимости от нагрузок. Помимо фазных напряжений было измерено также напряжение нулевой последовательности ( $3U_0$ ) для

того, чтобы рассмотреть применимость этой характеристики для составления защиты по принципу – если  $3U_0$  выше какого-то порогового значения, то фазные напряжения за пределами нормы. Однако выяснилось, что, например, напряжение  $3U_0$  при нагрузках фаз 40, 60, 60 кВт равно 81,9 В и при этом фазные напряжения находятся в пределах нормы. Но если рассматривать  $3U_0$  при нагрузках 40, 40, 50 кВт, то оно равно 50,3 В, но фазное напряжение фазы С находится ниже нормы – 206 В. Отсюда следует вывод, что предложенный принцип защиты по  $3U_0$  не работоспособен [1].

На схеме, представленной на рисунке 2, имеются потребители, которые подключены к сети 0,4 кВ. Между потребителями 2 и 3 произошел обрыв нулевого провода. При этом следует отметить, что значения фазных напряжений у потребителей 1 и 2 остаются неизменными, но у 3-го потребителя произойдет перекося фазных напряжений в зависимости от уровня несимметрии нагрузок на фазах. И эти значения напряжений будут сигнализировать диспетчера о том, что на участке 2-3 линии произошел обрыв провода [2].



**Рис. 2.** Схема электрической сети 0,4 кВ при обрыве нулевого провода

Также для определения места обрыва проводов были предложены несколько критериев:

- критерий 1 – обрыв фазного провода. Обрыв фазного провода можно определить по резкому снижению тока у нескольких последовательно подключенных потребителей, находящихся на одной фазе. Такое снижение свидетельствует о потере питания на данном участке сети;

- критерий 2 – обрыв нейтрального провода. Обрыв нулевого провода проявляется в виде изменения симметрии напряжений между фазами и значительного увеличения сопротивления участка сети. Это связано с тем, что при отсутствии нулевого провода нагрузка оказывается подключенной «в звезду» без точки соединения, что приводит к перекося фазных напряжений [3].

Результаты моделирования показали, что предложенные критерии позволяют с высокой степенью достоверности обнаруживать обрывы проводов в распределительной сети 0,4 кВ. При обрыве фазного провода наблюдается резкое падение тока у потребителей, расположенных ниже по линии. При обрыве нулевого провода – нарушается симметрия напряжений, и сопротивление нейтрального провода у участка, где возник обрыв, увеличивается.

Данные, собранные с микропроцессорных счетчиков, позволили восстановить параметры сети и точно локализовать место повреждения. Полученные результаты могут быть использованы для создания систем автоматического диагностирования аварийных режимов в рамках интеллектуальных сетей (Smart Grid).

## Литература

- ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
- Зиангиров, А. Ф. Исследование влияния различных схем соединения обмоток трансформатора на напряжения в зависимости от видов нагрузок / А. Ф. Зиангиров, А. Х. Сабитов // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы III Международной научно-практической конференции, Казань, 19 апреля 2023 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 144-148. – EDN XSVLKI.
- Омор, Т. Т. К проблеме диагностики обрывов электрических линий трехфазных распределительных сетей в составе АСКУЭ / Т. Т. Омор, Б. К. Такырбашев, К. Э. Закиряев // Электричество. – 2018. – № 8. – С. 24-28. – DOI 10.24160/0013-5380-2018-8-24-28. – EDN XUATXN.
- Правила устройства электроустановок: 7-е издание (ПУЭ)/ Главгосэнергонадзор России. М.: Изд-во ЗАО "Энергосервис", 2007. 610 с.

5. Сабитов, А. Х. Интеллектуальные сети и системы связи / А. Х. Сабитов, Н. С. Заев // Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов: Сборник материалов XII международной научно-практической конференции, Москва, 17 июня 2022 года. – Москва: Изд-во «ООО «ИРОК»; Общество с ограниченной ответственностью "Издательство АЛЕФ", 2022. – С. 38-42. – EDN GMLAAX.
6. Шуин В.А., Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6–10 кВ. М: НТФ «Энергопрогресс», 2001. 104 с. (Библиотечка электротехника. Вып. 11(35)).

#### Xülasə

### 0.4 KV ELEKTRİK ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ FÖVQƏLADƏ REJİMLƏRİN DIAQNOSTİKASI ÜÇÜN MIKROPROSESSOR VƏ ÖLÇMƏ SİSTEMLƏRİNİN TƏTBİQİ

Ziangirov A.F.

Bu işdə 0,4 kV paylayıcı şəbəkələrdə avariya rejimlərinin diaqnostikası üçün mikroprosessor ölçmə cihazları və elektrik enerjisinin kommersiya hesabat sistemlərindən istifadə edilməsi nəzərdən keçirilir. Faza naqillərinin qırılmasını aşkarlamaq üçün bir kriteriy, ardıcıl qoşulan istehlakçıların cərəyan dəyişiklikləri əsasında hazırlanmışdır; digəri isə gərginliyin simmetriyasına və müqavimətin artmasına əsaslanan neytral naqilin qırılmasının aşkarlanması üçündür. Təklif olunan üsulların effektivliyi MATLAB Simulink programında aparılan modelləşdirmə ilə təsdiqlənmişdir.

**Açar sözlər:** riyazi modelləşdirmə, Matlab, Simulink, neytral fasilə, mikroprosessor sayğacı.

#### Summary

### APPLICATION OF MICROPROCESSOR FACILITIES AND METERING SYSTEMS FOR DIAGNOSTICS OF EMERGENCY MODES IN 0.4 KV ELECTRIC NETWORKS

Ziangirov A.F.

This paper presents methods for diagnosing emergency modes in 0.4 kV distribution networks using microprocessor-based measuring devices and commercial electricity metering systems. Two criteria for detecting conductor breaks are proposed: one for phase conductors, based on current changes among sequentially connected consumers, and another for neutral conductors, based on voltage symmetry and resistance increase. The effectiveness of the proposed methods is verified through simulation in MATLAB Simulink.

**Keywords:** mathematical modeling, Matlab, Simulink, neutral break, microprocessor counter

### ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ 35 – 220 КВ

Ахмадуллин Айнур Маратович  
Мухамтежанов Рустем Наимович  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
[Ainur-vaz@mail.ru](mailto:Ainur-vaz@mail.ru)

**Резюме** В статье рассматриваются вопросы оценки устойчивости железобетонных опор воздушных линий электропередачи (ВЛ) напряжением 35–220 кВ. Проведен анализ факторов, влияющих на устойчивость опор, включая ветровые и гололедные нагрузки, дефекты и повреждения, а также характеристики грунтов основания. Предложены методы оценки устойчивости, основанные на расчете несущей способности опор и анализе напряженно-деформированного состояния. Особое внимание уделено учету влияния коррозионных процессов на состояние арматуры и бетона. Результаты исследования могут быть использованы для повышения надежности и безопасности эксплуатации ВЛ, а также для разработки рекомендаций по проектированию и усилению железобетонных опор.

**Ключевые слова:** железобетонные опоры, воздушные линии электропередачи, устойчивость, несущая способность, ветровые нагрузки, гололедные нагрузки, коррозия, дефекты, напряженно-деформированное состояние, мониторинг технического состояния.

Железобетонные опоры воздушных линий электропередачи (ВЛ) являются важным элементом инфраструктуры электроэнергетики, обеспечивающим передачу электроэнергии на значительные расстояния. Надежность и безопасность функционирования ВЛ напрямую зависят от устойчивости опор, которая подвержена воздействию различных факторов, включая природные условия, механические нагрузки и дефекты, возникающие в процессе эксплуатации. [1, с. 14]

Оценка устойчивости железобетонных опор ВЛ напряжением 35–220 кВ является актуальной задачей, требующей комплексного подхода. Необходимо учитывать как статические, так и динамические нагрузки, а также влияние факторов, ухудшающих прочностные характеристики материалов опор.

Основными факторами, влияющими на устойчивость железобетонных опор ВЛ, являются ветровые и гололедные нагрузки. Ветер создает значительные горизонтальные нагрузки на опоры и

провода, что может привести к их наклону или даже падению. Гололедные отложения увеличивают вес проводов и создают дополнительные нагрузки на опоры. Важно отметить, что ветровые и гололедные нагрузки могут сочетаться, что значительно увеличивает риск повреждения опор. [2, с. 122]

На устойчивость опор также оказывают влияние характеристики грунтов основания. Недостаточная несущая способность грунтов может привести к осадке опор и их наклону. Кроме того, на устойчивость опор могут влиять дефекты и повреждения, возникающие в процессе эксплуатации. К ним относятся трещины в бетоне, коррозия арматуры, сколы и выветривание бетона.

Оценка устойчивости железобетонных опор ВЛ должна основываться на расчете несущей способности опор и анализе напряженно-деформированного состояния. При этом необходимо учитывать влияние всех факторов, перечисленных выше. В частности, необходимо учитывать влияние коррозионных процессов на состояние арматуры и бетона. Коррозия арматуры приводит к уменьшению ее сечения и снижению прочности. Коррозия бетона приводит к его разрушению и снижению защитных свойств по отношению к арматуре.

Для оценки устойчивости железобетонных опор ВЛ могут использоваться различные методы, включая аналитические расчеты, численные методы и натурные испытания. Аналитические расчеты основаны на применении строительных норм и правил и позволяют оценить несущую способность опор при различных видах нагрузок. Численные методы, такие как метод конечных элементов, позволяют более точно оценить напряженно-деформированное состояние опор и учесть влияние сложных геометрических форм и неоднородности материалов. Натурные испытания позволяют проверить результаты расчетов и оценить фактическую несущую способность опор.

Важным аспектом оценки устойчивости железобетонных опор ВЛ является мониторинг технического состояния. Мониторинг позволяет выявлять дефекты и повреждения на ранних стадиях и предотвращать их дальнейшее развитие. Для мониторинга могут использоваться различные методы, включая визуальный осмотр, инструментальные измерения и неразрушающие методы контроля.

Результаты оценки устойчивости железобетонных опор ВЛ могут быть использованы для повышения надежности и безопасности эксплуатации ВЛ, а также для разработки рекомендаций по проектированию и усилению железобетонных опор. В частности, результаты оценки устойчивости могут быть использованы для определения необходимости проведения ремонтных работ и замены дефектных опор.

В заключение следует отметить, что оценка устойчивости железобетонных опор ВЛ является сложной и многогранной задачей, требующей комплексного подхода и использования современных методов расчета и мониторинга. Результаты этой оценки позволяют обеспечить надежную и безопасную эксплуатацию ВЛ и снизить риск возникновения аварийных ситуаций. [2, с. 122]

## Литература

1. Ляховецкая Л. В., Буторин В. А., Чашков В. Н. «Оценка устойчивости железобетонных опор воздушных линий электропередачи напряжением 35-220 кВ при установке в обводненные грунты на ригелях и на фундаменте» (Надежность электроснабжения). - Текст: непосредственный // Энергетик. - 2024. - № 4. - С. 14-16
2. Поджарова К. Д., Быкова А. С., Рыба Н. С., Астапкович Н. П., «Оценка надежности железобетонных конструкций» 2022. - 122 с.
3. Ляховецкая Л. В. Обеспечение работоспособности воздушных линий 35 кВ сельских распределительных сетей, расположенных в обводнённых грунтах: дис. канд. техн. наук: 05.20.02. — Челябинск, 2024. — 165 с.

**Xülasə**  
**35–220 kV GƏRGİNLİKLİ HAVA XƏTLƏRİ ÜÇÜN POLAD-BETON DAYAQ SÜTUNLARININ**  
**DAYANIQLIĞININ QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ**  
*Akhmadullin A.M., Muxamtsjanov R.N.*

Məqalədə 35–220 kV gərginlikli hava xətləri (HX) üçün polad-beton dayaq sütunlarının dayanıqlığının qiymətləndirilməsi məsələləri araşdırılır. Dayanıqlığa təsir edən amillər, o cümlədən külək və buz yükləri, qüsurlar və zədələr, eləcə də təməl torpaqlarının xüsusiyyətləri təhlil edilir. Dayaqların daşıma qabiliyyətinin hesablanması və gərginlik–deformasiya vəziyyətinin analizi əsasında dayanıqlığın qiymətləndirilməsi metodları təklif olunur. Xüsusi diqqət poladın və betonun vəziyyətinə korroziya proseslərinin təsirinin nəzərə alınmasına yönəldilmişdir. Tədqiqatın nəticələri HX-lərin etibarlılıq və təhlükəsizliyinin artırılması, həmçinin polad-beton dayaq sütunlarının layihələndirilməsi və möhkəmləndirilməsi üzrə tövsiyələrin hazırlanması üçün istifadə oluna bilər.

**Açar sözlər:** polad-beton dayaq sütunları, hava xətləri, dayanıqlıq, daşıma qabiliyyəti, külək yükləri, buz yükləri, korroziya, qüsurlar, gərginlik–deformasiya vəziyyəti, texniki vəziyyətin monitorinqi.

#### Summary

### ASSESSMENT OF THE STABILITY OF REINFORCED CONCRETE SUPPORTS OF OVERHEAD POWER LINES WITH A VOLTAGE OF 35 - 220 KV

*Akhmadullin A.M., Mukhamtzhanov R.N.*

The article considers the issues of assessing the stability of reinforced concrete supports of overhead power transmission lines (OPT) with a voltage of 35–220 kV. An analysis of the factors affecting the stability of supports, including wind and ice loads, defects and damage, as well as the characteristics of the foundation soils, is carried out. Methods for assessing stability based on calculating the bearing capacity of supports and analyzing the stress-strain state are proposed. Particular attention is paid to taking into account the effect of corrosion processes on the condition of reinforcement and concrete. The results of the study can be used to improve the reliability and safety of OT operation, as well as to develop recommendations for the design and strengthening of reinforced concrete supports.

**Keywords:** reinforced concrete supports, overhead power lines, stability, bearing capacity, wind loads, ice loads, corrosion, defects, stress-strain state, monitoring of technical condition.

### О ПРИМЕНЕНИИ УСТРОЙСТВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЕТЯХ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

**Савельева Д.А., Воркунов О.В.**

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

[saveleva.diana2002@mail.ru](mailto:saveleva.diana2002@mail.ru)

**Резюме** В данной работе рассматривается актуальность компенсации реактивной мощности в потребительских сетях. Перечислены потребители реактивной мощности в сетях низкого напряжения с приведением статистических данных потребителей. Выделены устройства компенсации реактивной мощности и необходимость в компенсации данного вида мощности. Определены способы компенсации реактивной мощности на каждом уровне потребителей: от 10 (6) кВ до 0,4 кВ. Приведено устройство компенсации реактивной мощности, устанавливаемое в сетях рассматриваемого напряжения с выделением достоинств и недостатков.

**Ключевые слова:** электроэнергия, реактивная мощность, компенсация, потребление, потребитель.

На данный момент наблюдается рост реактивной нагрузки со стороны потребителей электрической энергии. В связи с невозможностью накопления электрической энергии её необходимо передавать на значительные расстояния. Соответственно, передача электроэнергии на большие расстояния способствует увеличению потерь энергии на каждом элементе электрической сети.

Для того, чтобы поддерживать баланс генерации и потребления необходимо использовать различные технические решения, способствующие снижению объемов потерь электрической энергии. Основными потребителями реактивной мощности в электрических сетях являются: 40% занимают асинхронные электродвигатели; примерно 35% – трансформаторы; 10% – вентильные преобразователи; 8% – электропечи и оставшийся 7% – ЛЭП. Достаточно эффективным способом является применение компенсирующих устройств на месте потребления. Такие устройства снижают потребление реактивной мощности, что приводит к уменьшению расходов на оплату электроэнергии, сокращению потерь в сети и повышению напряжения на шинах подстанций.

Компенсация реактивной мощности необходима для потребителей электрической энергии с использованием магнитного поля – сварочные аппараты, асинхронные двигатели, выпрямители. Помимо этого, компенсация реактивной мощности также необходима и на промежуточных элементах – трансформаторы, реакторы, линии электропередач [1].

Как правило, устройства компенсации реактивной мощности применяются с целью снижения или повышения уровня напряжения, а также снижения токов нагрузки, что непосредственно связано с регулированием напряжения.

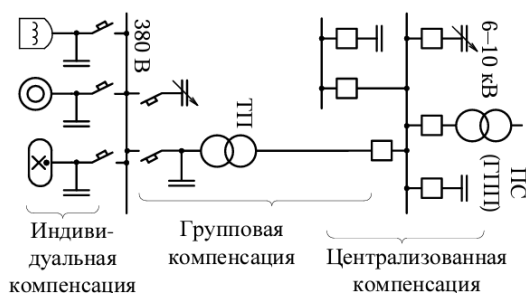
Для компенсации реактивной мощности используется несколько способов:

– индивидуальная компенсация основана на принципе установки и компенсации реактивной мощности в непосредственной близости от потребителя – в месте возникновения реактивной нагрузки. Имеет высокую эффективность для потребителей с двигательной и трансформаторной нагрузкой с длительным характером. Стоит отметить, что индивидуальная компенсация реактивной мощности имеет низкую эффективность с большим количеством потребителей и переменной нагрузкой из-за высокой стоимости и риска перекомпенсации;

– групповая компенсация устроена по аналогичному принципу, что и индивидуальная. Отличительной особенностью данного способа является применение одно компенсирующего устройства-конденсатора. Данный метод используется для компенсации реактивной мощности, генерируемой несколькими одновременно включенными индуктивными нагрузками, расположенными в непосредственной близости и подключёнными к одному распределительному устройству;

– централизованная компенсация функционирует посредством подключения нескольких конденсаторов к главному распределительному устройству. Управление конденсаторной установкой осуществляется при помощи автоматизированной системой управления технологическими процессами или контроллерами, которые производят анализ параметров электрической энергии и выявляют необходимость или отсутствие необходимости в компенсации реактивной мощности. Данный способ компенсации применяется в электрических сетях с большими реактивными нагрузками и внушительными разбросами пиков и максимумами потребления [2].

На рисунке представлены все способы компенсации реактивной мощности.



**Рис.** Способы компенсации реактивной мощности на всех уровнях потребителей

Как правило, в качестве устройств компенсации реактивной мощности в сетях низкого напряжения используются конденсаторные батареи, представляющие собой ёмкостный элемент с установкой на потребительских подстанциях. Выделим преимущества:

- невысокие потери активной мощности: для батареи, работающей на напряжении до 1 кВ – 3,5-4,5 Вт/Квар, свыше 1 кВ – 2-3 Вт/Квар;
- отсутствие вращающихся частей и небольшая масса установки, нет необходимости в фундаменте;
- дешёвая и лёгкая эксплуатация;
- универсальность установки, по сравнению с другими компенсирующими устройствами;
- если один конденсатор выйдет из строя, то это не отражается на функционировании конденсаторной установки.

К сожалению, данная установка плохо переносит перенапряжения, непригодна к ремонту, требует снятия остаточного заряда при отключении от сети и может вызывать резонанс токов в одной из гармоник [3].

Необходимо отметить, что вопрос исследования потребления электрической энергии имеет достаточно высокую важность ввиду существенного влияния затрат на энергоресурсы, в том числе электроэнергию, на себестоимость производимой продукции с использованием реактивной составляющей электроэнергии. Важно выделить, что оптимизация существующих методов потребления электроэнергии и инструментов компенсации реактивной мощности в потребительских сетях являются достаточно важными задачами электроэнергетики.

## Литература

1. Башкатова, Ю.В. Реактивная мощность и средства ее компенсации [Текст] / Ю.В. Башкатова, А.П. Кондратенко. // Образование, Наука, Производство: сб. тр. конф. 20-22 октября 2015 г. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 2901-2904.
2. Ершов, А.М. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие / А.М. Ершов, О.А. Петров. – Челябинск: ЧПИ, 1989. – Ч. 2. – 48 с.
3. Шурко, Н.В. Устройства компенсации реактивной мощности [Текст] / Н.В. Шурко, А.В. Таран // Национальная ассоциация ученых. 2015. С. 67-70.

**Xülasə**  
**AŞAĞI GƏRGİNLİKLİ ŞƏBƏKƏLƏRDƏ REAKTİV GÜC KOMPENSASIYA QURĞULARININ TƏTBİQİ HAQQINDA**  
*Savelyeva D.A. , Vorkunov O.V.*

Bu sənəd istehlakçı şəbəkələrində reaktiv güc kompensasiyasının aktuallığını araşdırır. İstehlakçı statistikası ilə aşağı gərginlikli şəbəkələrdə reaktiv güc istehlakçıları sadalanır. Reaktiv güc kompensasiya cihazları və bu növ Gücün kompensasiyasına ehtiyac vurğulanır. Hər bir istehlakçı səviyyəsində reaktiv gücün kompensasiya üsulları müəyyən edilmişdir: 10 (6) kv-dan 0,4 kV-a qədər. üstünlükləri və mənfi cəhətləri vurğulayaraq sözügedən gərginlik şəbəkələrində quraşdırılmış reaktiv gücün kompensasiya cihazı verilmişdir.

**Açar sözlər:** elektrik enerjisi, reaktiv güc, kompensasiya, istehlak, istehlakçı.

**Summary**  
**ON THE USE OF REACTIVE POWER COMPENSATION DEVICES IN LOW-VOLTAGE NETWORKS**  
*Savelyeva D.A. , Vorkunov O.V.*

This paper examines the relevance of reactive power compensation in consumer networks. The consumers of reactive power in low-voltage networks are listed with the statistical data of consumers. Reactive power compensation devices and the need for compensation of this type of power are highlighted. The methods of reactive power compensation at each consumer level are defined: from 10 (6) kV to 0.4 kV. A reactive power compensation device is presented, which is installed in the networks of the voltage under consideration, highlighting the advantages and disadvantages.

**Keywords:** electric power, reactive power, compensation, consumption, consumer.

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ 0,4 кВ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОЛЬТОДОБАВОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ.**

**Яковлева Елизавета Витальевна**  
*ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан*  
[elizaveta.iakovleva02@mail.ru](mailto:elizaveta.iakovleva02@mail.ru)

**Резюме** В статье рассматриваются проблемы качества электроэнергии в низковольтных распределительных сетях 0,4 кВ, а также предлагается решение с использованием вольтодобавочных трансформаторов. Описываются причины пониженного напряжения в конечных точках сети, технические особенности работы трансформаторов данного типа и эффективность их применения для стабилизации напряжения и повышения энергоэффективности.

**Ключевые слова.** Качество электроэнергии, 0,4 кВ, вольтодобавочный трансформатор, стабилизация напряжения, низковольтная сеть, энергоэффективность.

Качество электроэнергии является важным фактором для надежного функционирования электрооборудования и обеспечения стабильной работы потребителей. В сетях 0,4 кВ, особенно в сельской местности и удалённых районах, часто наблюдаются значительные отклонения напряжения от нормативных значений. Это может вызывать перегрев, снижение срока службы оборудования и потери электроэнергии.

Нарушения качества электроэнергии в сетях низкого напряжения обусловлены неравномерной нагрузкой, длинными питающими линиями и недостаточной мощностью трансформаторных подстанций. Наиболее распространённой проблемой является пониженное напряжение в часы пиковых нагрузок, что особенно актуально для удалённых потребителей.

Вольтодобавочные трансформаторы предназначены для повышения напряжения на конечных участках линии и позволяют автоматически поддерживать его в пределах допустимого диапазона. Такие устройства устанавливаются последовательно в цепь питания и обеспечивают динамическое регулирование напряжения в зависимости от текущих условий нагрузки.

Основными преимуществами вольтодобавочных трансформаторов являются простота установки, автоматическая работа, возможность дистанционного управления и высокая надёжность. Практическое внедрение вольтодобавочных трансформаторов показало значительное улучшение показателей качества электроэнергии. В большинстве случаев удаётся стабилизировать напряжение на уровне  $220 \pm 5\%$  В, что соответствует требованиям ГОСТ. Также наблюдается снижение потерь энергии и увеличение срока службы оборудования.

Использование вольтодобавочных трансформаторов в сетях 0,4 кВ является эффективным способом повышения качества электроэнергии. Данное решение позволяет стабилизировать напряжение в условиях нестабильных нагрузок и ограниченной пропускной способности линий. Внедрение таких устройств способствует повышению энергоэффективности, снижению потерь и улучшению надёжности электроснабжения потребителей.

## Литература

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств. Качество электрической энергии.
2. Жуков А. В., Козлов И. П. Электроснабжение промышленных предприятий. — М.: Энергия, 2019.
3. Пономарев В. А., Пастухов А. Ю. Повышение качества электроэнергии в распределительных сетях. — СПб.: Питер, 2021.
4. Аксенов К. В. Современные технологии стабилизации напряжения в сетях 0,4 кВ // Электротехнические системы и комплексы. — 2020. — №4.
5. Васильев И. И. Применение вольтодобавочных трансформаторов для улучшения качества электроснабжения // Энергосбережение и энергетика. — 2022. — №2.

### Xülasə

#### GƏRGİNLİK ƏLAVƏ EDƏN TRANSFORMATORLARDAN İSTİFADƏ ETMƏKLƏ 0.4 KV ŞƏBƏKƏLƏRDƏ ELEKTRİK KEYFİYYƏTİNİN YAXŞILAŞDIRILMASI

*Yakovleva E.V.*

Məqalədə 0.4 kV aşağı gərginlikli paylama şəbəkələrində enerji keyfiyyəti problemləri müzakirə olunur və gərginlik artıran transformatorlardan istifadə etməklə həll təklif olunur. Şəbəkənin son nöqtələrində aşağı gərginliyin səbəbləri, bu tip transformatorların işləmə texniki xüsusiyyətləri və onların gərginlik sabitliyi və enerji səmərəliliyi üçün istifadəsinin effektivliyi təsvir olunur.

**Açar sözlər:** Güc keyfiyyəti, 0.4 kV, gərginlik əlavə transformator, gərginlik sabitləşdirmə, aşağı gərginlikli şəbəkə, enerji səmərəliliyi.

### Summary

#### IMPROVING THE QUALITY OF ELECTRICITY IN 0.4 KV NETWORKS WITH THE USE OF VOLTAGE-ADDING TRANSFORMERS

*Yakovleva E.V.*

The article discusses the problems of power quality in low-voltage distribution networks of 0.4 kV, and also proposes a solution using voltage-adding transformers. The causes of low voltage at the end points of the network, the technical features of the operation of transformers of this type and the effectiveness of their use for voltage stabilization and energy efficiency are described.

**Keywords:** Power quality, 0.4 kV, voltage-added transformer, voltage stabilization, low-voltage network, energy efficiency.

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ СИММЕТРИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,4 КВ

**Шакиров Алмаз Фанисович**

**Маклецов Александр Михайлович**

*ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия*

[almaz.27.10@mail.ru](mailto:almaz.27.10@mail.ru)

**Резюме** В данной работе рассматривается возможность симметрирования нагрузки в электрических сетях 0,4 кВ. Как известно, несимметрия фаз нагрузок главная причина потерь электроэнергии в сетях рассматриваемого класса напряжения. Также данная причина может повлечь за собой ухудшение качества электроэнергии. Помимо этого, эксплуатация несимметричного режима при обрыве нулевого может привести к значительным перенапряжениям, что создает риск выхода из строя электроприемников, создания аварийных ситуаций. Однако внедрение систем интеллектуального учета электроэнергии, подразумевающих под собой возможность мониторинга в режиме реального времени параметров и режимов всех узлов, предоставляет возможность более эффективного симметрирования, на основе получаемых данных с интеллектуальных измерительных приборов.

**Ключевые слова:** несимметрия нагрузки, электрические сети 0,4 кВ, интеллектуальные системы учета электроэнергии, надежность, потери электроэнергии.

Важнейшими целями развития и эффективности работы электрических сетей являются внедрение энергосберегающих технологий, а также повышение надежности и безопасности электроснабжения потребителей. В Российских электрических сетях общие потери электроэнергии в 2022 году составили 8,69%.

Необходимо отметить, что более половины потерь электроэнергии в электрических сетях происходят в сетях с напряжением 10-0,4 кВ. В электрических сетях РТ, эти потери составляют 58% от общих потерь в 2022 году. Значительная часть потерь электроэнергии в сетях с напряжением 0,4 кВ связана с несимметрией фазных нагрузок. Однако известно, что симметрирование нагрузок может снизить потери электроэнергии в сетях 0,4 кВ до 50% от текущих значений при несимметричных

нагрузках. Это делает вопрос энергосбережения через оптимизацию симметрирования работы сетей 0,4 кВ особенно актуальным.

В сетях, где присутствуют однофазные потребители, несимметрия нагрузок является значительной, особенно в коммунально-бытовых сетях. В сельской местности эти нагрузки распределены по линиям 0,4 кВ и обычно неравномерны. Помимо неправильного симметрирования, причиной несимметрии является изменение соотношения мощностей отдельных фаз в течение суток. Эти изменения непредсказуемы из-за действий отдельных потребителей, таких как включение и отключение электроприемников. У городских потребителей многоквартирных домов причины несимметрии нагрузок такие же.

Необходимость симметрирования электрических сетей напряжением 0,4 кВ обусловлена повышенной опасностью эксплуатации несимметричных сетей из-за обрыва нулевого провода. При несимметричной нагрузке и обрыве нулевого провода напряжения отдельных фаз могут значительно превышать допустимые значения, что может привести к выходу из строя электроприемников потребителей и дополнительным финансовым рискам для электроснабжающих организаций. Величина фазных перенапряжений зависит от характера линии электропередачи, степени несимметрии нагрузки и может достигать критических значений. Появление опасных перенапряжений, помимо выхода из строя электроприемников потребителей, может привести к пожарам и поражениям людей электрическим током, что оказывает значительное влияние на обеспечение безопасности жизнедеятельности населения и персонала сетевых предприятий.

Применение систем интеллектуального учета электроэнергии позволит не только исключить факт кражи электроэнергии, но и поможет отслеживать потери электроэнергии, связанные с симметричным распределением нагрузки. Особенно актуально это для сетей 0,4 кВ, так как в этом случае распределение нагрузки происходит пофазно, так как большая часть электроприемников в данном классе напряжения однофазная [1, 2].

Использование интеллектуальных счетчиков с возможностью мониторинга параметров режима позволит точнее рассчитывать потери мощности и электроэнергии, а также корректировать эти режимы в реальном времени. Проведенные ранее исследования показали [2], что для расчета потерь электроэнергии целесообразно использовать усредненные графики изменения среднеквадратичных токов всех потребителей, полученных из измерений интеллектуальных счетчиков электроэнергии за неделю или сезон.

Разработанный в том же исследовании алгоритм симметрирования нагрузок в сетях 0,4 кВ следующий:

- с помощью интеллектуальных приборов учета электроэнергии за определенный промежуток времени определить значение среднеквадратичных токов фаз;
- произвести перебор возможных способов переключений, начиная с конца линии электропередач, с учетом опыта оперативного персонала;
- произвести расчет потерь мощности для выбранных вариантов переключений;
- определить для каждой опоры наиболее оптимальный вариант симметрирующих переключений с позиции потери мощности.

Рассмотренная технология симметрирования нагрузки в сетях 0,4 кВ на основе измерительных данных с интеллектуальных приборов учета электроэнергии позволит сократить потери от несимметрии, однако установка подобного оборудования к каждому потребителю является достаточно дорогостоящим решением.

## Литература

1. Оптимальное симметрирование фазных нагрузок ЛЭП 0,4 кВ с использованием интеллектуальной системы измерений / К. К. Лыгу, М. В. Казка, А. М. Маклецов [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2023. – Т. 15, № 3(59). – С. 31-44.
2. Разработка алгоритма симметрирования нагрузок в сетях 0,4 кВ при распределенной нагрузке вдоль линии / Л. Куок Кыонг, А. М. Маклецов, А. Альзаккар [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 2. – С. 87-97.

## **Xülasə** **0,4 KV ELEKTRİK ŞƏBƏKƏLƏRİNİN İNTELLEKTUAL SİMMETRİYASI** *Şakirov A. F., Makletsov A. M.*

Bu məqalədə 0,4 kV-luq elektrik şəbəkələrində yükün balanslaşdırılması imkanları nəzərdən keçirilir. Məlum olduğu kimi, yük fazalarının asimetriyası bu gərginlik sinfinə aid şəbəkələrdə elektrik enerjisi itkilərinin əsas səbəbidir. Həmçinin bu amil

elektrik enerjisinin keyfiyyətinin pisləşməsinə səbəb ola bilər. Bundan əlavə, sıfır qısaqapanması zamanı asimmetrik rejimin istismarı əhəmiyyətli artıq gərginliklərin yaranmasına gətirib çıxara bilər ki, bu da elektrik qəbuledicilərinin sıradan çıxması və qəza vəziyyətlərinin yaranması riskini artırır.

Bununla belə, bütün qovşaqların parametrlərini və rejimlərini real vaxt rejimində izləmək imkanını nəzərdə tutan intellektual elektrik enerjisi uçotu sistemlərinin tətbiqi, intellektual ölçmə qurğularından əldə edilən məlumatlar əsasında daha effektiv simmetriyanın təmin olunmasına şərait yaradır.

**Açar sözlər:** yük asimmetriyası, 0,4 kV elektrik şəbəkələri, intellektual elektrik enerjisi uçotu sistemləri, etibarlılıq, elektrik enerjisi itkiləri.

#### Summary

### INTELLIGENT SYMMETRY OF 0.4 KV ELECTRICAL NETWORKS

*Shakirov A. F., Makletsov A. M.*

*In this paper the possibility of load balancing in 0.4 kV electric networks is considered. As is known, the asymmetry of load phases is the main cause of electricity losses in networks of the voltage class under consideration. Also, this reason can lead to a deterioration in the quality of electricity. In addition, the operation of an asymmetrical mode in case of a zero fault can lead to significant overvoltages, which creates a risk of failure of power receivers and the creation of emergency situations. However, the introduction of intelligent electricity metering systems, which imply the ability to monitor the parameters and modes of all nodes in real time, provides an opportunity for more effective symmetry, based on the data received from intelligent measuring devices.*

**Keywords:** load asymmetry, 0.4 kV power grids, intelligent electricity metering systems, reliability, electricity losses.

### СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ (СНЭЭ)

**Анохин А.Е., Гарифуллин М.Ш.**

*ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия*

[sasha.103362@gmail.com](mailto:sasha.103362@gmail.com), [g\\_marsels@mail.ru](mailto:g_marsels@mail.ru)

Без устройств накопления энергии электросеть не может накапливать электроэнергию. Сложность современных энергосистем возрастает, и соответствие выработки энергии потреблению становится важнейшим элементом поддержания стабильности их работы. Маневренные электростанции, такие как гидроэлектростанции (ГЭС) или газотурбинные электростанции, могут быть использованы для устранения дисбаланса между спросом и потреблением электроэнергии в крупных энергосистемах. Использование таких маневренных электростанций позволяет изменять вырабатываемую мощность за короткое время (от долей до единиц минут) с небольшими потерями в эффективности и ресурсе. Промышленные накопители энергии, в свою очередь, позволяют накапливать избыточную вырабатываемую мощность в течение минимальных часов и обеспечивать дополнительную мощность в часы пиковой нагрузки. В этой диссертации проводится сравнение передовых методов накопления энергии.

**Ключевые слова:** Накопитель, эффективность, КПД, электроэнергия.

**Сравнения различных способов промышленной системы накопления электрической энергии.**

#### Твердотельная аккумуляторная электростанция (ТАЭС)

Наиболее эффективны с точки зрения КПД и землеотвода системы, запасующие энергию при строго вертикальном перемещении грузов. Для накопления энергии при вертикальном перемещении одного очень массивного (несколько тысяч тонн) груза. Такой вес предъявляет чрезвычайно высокие требования к прочностным характеристикам системы подъема, а также систем обеспечения безопасности. Кроме того, в случае выхода из строя одного из элементов системы подъема или возникновения необходимости планового технического обслуживания, систему придется полностью выводить из эксплуатации.

Удельные капитальные затраты становятся оправданными при емкости накопителей от 300 МВт·ч. КПД прототипа составляет 60%, при увеличении мощностей он составит 80%.

ТАЭС экономичная, экологичная, при такой же стоимости имеет преимущества перед ЭАБ и ГАЭС.

- КПД: 60% (при увеличении мощностей может достигать 80%) • Емкость: от 300 МВт·ч;

- Преимущества: Высокая эффективность и минимальные требования к землеотведению; Экономичная и экологичная;

- Недостатки: Высокие требования к прочностным характеристикам систем подъема; Полное отключение системы при техническом обслуживании или поломке.

#### Электрохимические аккумуляторные батареи (ЭАБ).

Накопители данного типа используют электричество для осуществления химических реакций, преобразующих его в химическую энергию в режиме «заряд», и возвращают в виде электроэнергии в режиме «разряд». Во время процесса изменяется состав электродов и расходуется специальная

жидкость – электролит. Электрохимические накопители отличаются достаточно высоким КПД (около 70%) и удельной емкостью в пределах 200-300 кВт·ч/м<sup>3</sup>. Срок службы некоторых моделей достигает 20 лет.

- КПД: около 70%; Удельная емкость: 200-300 кВт·ч/м<sup>3</sup>; Срок службы: до 20 лет;
- Преимущества: Достаточно высокая эффективность.
- Недостатки: Чувствительность к температуре; Необходимость длительной зарядки; Меньший срок службы по сравнению с ГАЭС и ТАЭС.

#### Литий-ионные аккумуляторы (ЛИА)

Литий-ионные аккумулятор наиболее распространены для бытовых приложений, но в последнее время находят также применение в качестве промышленных накопителей энергии. В процессе зарядки катионы лития под действием приложенного внешнего электрического поля внедряются в материал анода. При снятии внешнего заряжающего поля и подключении к аккумулятору нагрузки литий двигается обратно в катод (в область низкой концентрации), а через нагрузку протекает электрический ток.

- КПД:  $\geq 95\%$
- Срок службы: около 15 лет (3-10 тыс. циклов зарядки/разрядки)
- Преимущества: Высокая эффективность, что позволяет использовать большую часть сохраненной энергии.
- Недостатки: Относительно низкий срок службы при высоких капитальных затратах; Проблемы с окупаемостью из-за необходимости использования множества маломощных ячеек; Рост цен на сырьевой литий может ограничивать применение в промышленных масштабах.; Утилизация (ЛИА) после истечения срока службы, переработка в мире составляет не более 10% от всего масштаба.

#### Гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС)

ГАЭС использует в своей работе либо комплекс генераторов и насосов, либо обратимые гидроэлектроагрегаты, которые способны работать как в режиме генераторов, так и в режиме насосов. Во время ночного провала энергопотребления ГАЭС получает из энергосети дешёвую электроэнергию и расходует её на перекачку воды в верхний бьеф (насосный режим, см. гидроаккумулятор). Во время утреннего и вечернего пиков энергопотребления ГАЭС сбрасывает воду из верхнего бьефа в нижний, вырабатывает при этом дорогую пиковую электроэнергию, которую отдаёт в энергосеть (генераторный режим).

КПД современных ГАЭС составляет 70—75 %

Недостатками ГАЭС является большая занимаемая площадь, долгое строительство ~10лет, Риски аварий и затопления регионов, вред экологии, для строительства ГАЭС необходима местность с подходящим рельефом.

Вывод

Сравнительный анализ

Каждый из рассмотренных методов накопления электроэнергии имеет свои сильные и слабые стороны. ТАЭС представляют собой наиболее эффективный способ накопления энергии при больших объемах, но требуют значительных инвестиций в инфраструктуру и могут быть недоступны для частого использования из-за технических ограничений.

ЭАБ предлагают более гибкие решения, но их КПД ниже, а также они имеют ограничения по сроку службы и чувствительности к условиям эксплуатации.

Литий-ионные аккумуляторы являются наиболее распространенными в бытовых приложениях благодаря высокой эффективности, однако их высокая стоимость и ограниченный срок службы ставят под сомнение целесообразность использования в крупных промышленных масштабах.

Выбор между методами накопления электроэнергии зависит от конкретных требований проекта, доступного бюджета и ожидаемой нагрузки на систему накопления. Каждая технология имеет свои сильные и слабые стороны, что делает их применение целесообразным в разных условиях.

#### Литературы

1. Аккумуляторные батареи большой мощности (АББМ) [Электронный ресурс]. – 2019. URL:<http://wiki2.gridology.ru>
2. Астахов Ю.Н. Накопители энергии в электрических системах: учеб. пособие для электроэнерг. спец. вузов / Ю.Н. Астахов, В.А. Веников, А.Г. Тер-Газарян. – М.: Высшая школа, 1989. – 158 с.

3. Гидроаккумулирующие электростанции в современной электроэнергетике. Синюгин В.Ю., Магрук В.И., Родионов В.Г. 2017 год.
4. Кристина Фирсова. Лифты для накопления энергии. // Фонд «Сколково» 2024 URL:<https://sk.ru/news/lifty-dlya-nakopleniya-energii/>
5. Накопители электроэнергии [Электронный ресурс]. URL:<https://marketelectro.ru/node/nakopiteli-energii-tehnologii-i-trendy>

#### Xülasə

### ELEKTRİK ENERJİSİ SAXLAMA SİSTEMLƏRİNİN MÜQAYİSƏSİ (SNEE)

*Anokhin A. E., Garifullin M. Ş.*

Elektrik anbarı olmadan elektrik şəbəkəsi elektrik enerjisini saxlaya bilməz. Müasir enerji sistemlərinin mürəkkəbliyi artır və nəslin enerji istehlakı ilə əlaqələndirilməsi onların işinin sabitliyini qorumaq üçün kritik bir elementə çevrilir. Böyük enerji sistemlərində elektrik enerjisinə tələb və istehlak arasındakı balanssızlığı aradan qaldırmaq üçün manevr edilə bilən elektrik stansiyaları, məsələn, su elektrik stansiyaları (su elektrik stansiyaları) və ya qaz turbinli elektrik stansiyaları istifadə edilə bilər. Bu cür manevrli elektrik stansiyalarının istifadəsi qısa müddətdə (fraksiyalardan dəqiqə vahidlərinə qədər) az səmərəlilik və resurs itkisi ilə yaradılan gücü dəyişdirməyə imkan verir. Sənaye elektrik enerjisi anbarları, öz növbəsində, minimum saatlarda artıq istehsal olunan gücün yığılmasına və pik saatlarda əlavə güc təmin etməyə imkan verir. bu tezisdə elektrik enerjisinin yığılmasının qabaqcıl üsulları müqayisə olunur.

**Açar sözlər:** Saxlama, səmərəlilik, performans, elektrik enerjisi

#### Summary

### COMPARISON OF ELECTRICAL ENERGY STORAGE SYSTEMS (EESS)

*Anokhin A.E.<sup>1</sup>, Garifullin M.Sh.<sup>2</sup>*

Without power storage devices, the electric grid cannot store electricity. The complexity of modern power systems is increasing, and matching generation with energy consumption is becoming a critical element in maintaining the stability of their operation. Maneuverable power plants, such as hydroelectric power plants (HPPs) or gas turbine power plants, can be used to eliminate the imbalance between demand and consumption of electricity in large power systems. The use of such maneuverable power plants makes it possible to change the generated power in a short time (from fractions to units of minutes) with small losses in efficiency and resource. Industrial energy storage, in turn, allows you to accumulate excess generated power during minimum hours and provide additional power during peak hours. In this thesis, a comparison of advanced methods of energy storage is carried out.

**Key words:** Storage, efficiency, performance, electricity.

## ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ, ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННЫХ И ИЗОЛИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

**Ахмадуллин Айну́р Маратович**  
**Мухаметжанов Рустем Наимович**  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
[Ainur-vaz@mail.ru](mailto:Ainur-vaz@mail.ru)

**Резюме** Статья посвящена анализу современных технологий управления спросом на электроэнергию и решений для обеспечения надежного и устойчивого электроснабжения удаленных и изолированных территорий. Рассматриваются различные подходы к управлению спросом, включая стимулирующие тарифы, интеллектуальные системы управления энергопотреблением и программы энергосбережения. Особое внимание уделяется технологиям генерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и гибридным системам энергоснабжения, как наиболее перспективным решениям для удаленных территорий. Анализируются экономические и экологические аспекты внедрения данных технологий, а также проблемы и перспективы их развития в российских условиях.

**Ключевые слова:** управление спросом на электроэнергию, удаленные территории, изолированные территории, возобновляемые источники энергии, гибридные системы энергоснабжения, микросети, стимулирующие тарифы, интеллектуальные системы учета, энергосбережение.

В современном мире, где потребление электроэнергии неуклонно растет, вопросы эффективного управления спросом и обеспечения надежного электроснабжения становятся все более актуальными. Особенно остро эта проблема стоит для удаленных и изолированных территорий, где централизованное электроснабжение затруднено или экономически нецелесообразно. Поэтому возникает необходимость в разработке и внедрении инновационных технологических решений. [1, с. 79]

Управление спросом на электроэнергию (Demand Side Management, DSM) представляет собой комплекс мер, направленных на изменение графиков потребления электроэнергии потребителями. Эти меры могут включать в себя стимулирующие тарифы, такие как тарифы, зависящие от времени суток, позволяющие перенести пиковые нагрузки на периоды минимального потребления.

Интеллектуальные системы управления энергопотреблением, основанные на использовании современных информационных технологий и датчиков, позволяют автоматизировать процессы регулирования потребления в зависимости от текущей ситуации в энергосистеме. Программы энергосбережения, направленные на повышение энергоэффективности оборудования и зданий, также играют важную роль в снижении пиковых нагрузок и оптимизации потребления электроэнергии.

Для обеспечения электроснабжения удаленных и изолированных территорий наиболее перспективным направлением является использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Солнечные электростанции, ветроэлектростанции, гидроэлектростанции малой мощности и биогазовые установки могут быть эффективно интегрированы в локальные энергосистемы, обеспечивая экологически чистое и устойчивое электроснабжение. Однако, из-за нестабильности выработки электроэнергии от ВИЭ, часто используются гибридные системы энергоснабжения, объединяющие несколько видов генерации, включая традиционные дизельные генераторы и системы аккумулирования энергии. В таких системах, системы хранения энергии играют ключевую роль в сглаживании колебаний выработки ВИЭ и обеспечении надежного электроснабжения потребителей.

Микросети, представляющие собой локальные энергосистемы с возможностью автономной работы и подключения к централизованной сети, также становятся важным элементом в инфраструктуре электроснабжения удаленных территорий. Микросети позволяют оптимизировать использование местных энергетических ресурсов, повысить надежность электроснабжения и снизить зависимость от внешних источников энергии.

Внедрение технологий управления спросом и использования ВИЭ в удаленных и изолированных территориях сталкивается с рядом проблем, включая высокую стоимость оборудования, необходимость в квалифицированном персонале для обслуживания и эксплуатации, а также нормативно-правовые барьеры. Однако, перспективы развития этих технологий в России огромны, особенно в регионах с низкой плотностью населения и богатыми запасами возобновляемых энергетических ресурсов. Государственная поддержка, направленная на стимулирование инвестиций в развитие ВИЭ и реализацию пилотных проектов, является ключевым фактором для успешного внедрения этих технологий в практику. [3, с. 129]

## Литература

1. Сокольникова Т. В., Сулов К. В. «Определение оптимальных параметров накопителя для интеграции возобновляемых источников энергии в изолированных энергосистемах с активными потребителями», 2024 79 с.
2. Марченко О. В., Соломин С. В. «Эффективность совместного использования возобновляемых источников энергии» 2024, с. 94-98.
3. Карамов Д. Н. «Интеграция процесса категоризации электрохимических накопителей энергии в задачу оптимизации состава оборудования автономных энергетических комплексов, использующих возобновляемые источники энергии» 2020. 129 с.

## Xülasə

### ELEKTRİK ENERJISİNƏ TƏLƏBİN İDARƏ OLUNMASI TEXNOLOGİYALARI, UZAQ VƏ İZOLYASIYA OLUNMUŞ ƏRAZİLƏRİN ELEKTRİK TƏCHİZATININ TƏMİN EDİLMƏSİ ÜÇÜN TEXNOLOGİYALAR

*Axmadullin A.M., Muxametcanov R.N.*

Məqalə elektrik enerjisinə tələbin idarə olunması üzrə müasir texnologiyaların və uzaq, eləcə də izolyasiya olunmuş ərazilərin etibarlı və dayanıqlı elektrik təchizatının təmin edilməsi üçün həllərin təhlilinə həsr edilmişdir. Tələbin idarə olunmasının müxtəlif yanaşmaları, o cümlədən stimullaşdırıcı tariflər, enerjiyə tələbin ağıllı idarəetmə sistemləri və enerjiyə qənaət proqramları nəzərdən keçirilmişdir. Uzaq ərazilər üçün ən perspektivli həllər kimi bərpa olunan enerji mənbələri (BEM) əsasında generasiya texnologiyalarına və hibrid enerji təchizatı sistemlərinə xüsusi diqqət yetirilmişdir. Bu texnologiyaların tətbiqinin iqtisadi və ekoloji aspektləri, həmçinin Rusiya şəraitində inkişaf problemləri və perspektivləri təhlil edilmişdir.

**Açar sözlər:** elektrik enerjisinə tələbin idarə olunması, uzaq ərazilər, izolyasiya olunmuş ərazilər, bərpa olunan enerji mənbələri, hibrid enerji təchizatı sistemləri, mikroşəbəkələr, stimullaşdırıcı tariflər, ağıllı uçot sistemləri, enerjiyə qənaət.

## Summary

### TECHNOLOGIES FOR MANAGING THE DEMAND FOR ELECTRICITY, TECHNOLOGIES FOR PROVIDING ELECTRICITY SUPPLY TO REMOTE AND ISOLATED AREAS

*Akhmadullin A.M., Mukhamtzhanov R.N.*

This article is devoted to the analysis of modern technologies for demand-side management of electricity and solutions for ensuring reliable and sustainable power supply to remote and isolated territories. Various approaches to demand management are considered, including incentive tariffs, smart energy management systems, and energy conservation programs. Special attention is paid to generation technologies based on renewable energy sources (RES) and hybrid power supply systems as the most promising

solutions for remote areas. The economic and environmental aspects of the implementation of these technologies are analyzed, as well as the problems and prospects for their development in Russian conditions.

**Keywords:** electricity demand-side management, remote areas, isolated areas, renewable energy sources, hybrid power supply systems, microgrids, incentive tariffs, smart metering systems, energy conservation.

## НАЦИОНАЛЬНЫЕ ВОДОРОДНЫЕ СТРАТЕГИИ В СРАВНИТЕЛЬНОЙ ПЕРСПЕКТИВЕ

**Хамидуллин Адель Радикович**

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,*

*г. Казань, Республика Татарстан,*

**Научный руководитель к.полит.н., доцент О.Б. Януш**

*ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия*

[adel-282@mail.ru](mailto:adel-282@mail.ru)

Международные инициативы в области водородной энергетики демонстрируют значительный рост интереса к этой технологии как к ключевому элементу устойчивого энергетического будущего. Например, Международное энергетическое агентство (IEA) прогнозирует, что к 2050 году доля водорода в глобальном энергопотреблении достигнет 13%. Это указывает на важность водорода в глобальном переходе к низкоуглеродной экономике. Такие прогнозы стимулируют страны и компании к активному участию в разработке международных стандартов и созданию совместных проектов, направленных на развитие водородной инфраструктуры и технологий.

**Ключевые слова:** энергетическая политика, водородная повестка, водородная энергетика, водородная стратегия, альтернативная энергетика.

Технологические инновации играют ключевую роль в развитии водородной энергетики, способствуя повышению её эффективности и снижению затрат. Япония, например, планирует увеличить количество водородных заправочных станций до 900 к 2030 году, что является важной частью её стратегии по развитию водородной инфраструктуры. Эти усилия направлены на создание условий для массового использования водорода в транспорте и промышленности, что может привести к значительному снижению углеродных выбросов и повышению энергетической независимости. Вместе с тем, стоит отметить, что «водородные технологии наукоемки, находятся в самом начале «кривой обучения», и у них еще большой потенциал к росту эффективности и снижению стоимости» [1].

Межгосударственное сотрудничество играет важную роль в развитии водородных технологий, позволяя объединять ресурсы и экспертизу для достижения общих целей. Например, Германия и Австралия активно работают над созданием совместных проектов, направленных на производство и экспорт водорода, произведённого из возобновляемых источников энергии. Такие партнёрства способствуют ускорению внедрения водородных технологий и развитию глобального рынка водорода, что в свою очередь способствует достижению международных климатических целей.

Целью развития водородной энергетики в энергетической стратегии Российской Федерации до 2050 года (от 12 апреля 2025 г.) является создание и развитие технологий производства и применения водорода с различным уровнем выбросов парниковых газов, его безопасной транспортировки и эффективного использования. Это включает достижение экономически эффективного снижения углеродного следа продукции промышленных и энергетических предприятий, транспорта, а также диверсификацию и реализацию экспортного потенциала поставок энергетических ресурсов посредством развития внутреннего производства, потребления и экспортных поставок водорода, его производных и водородных технологий на внешние рынки [2].

### **Ключевые задачи:**

1. Разработка отечественных низкоуглеродных технологий: производство, хранение и транспортировка водорода и энергетических смесей, улавливание, хранение и использование углекислого газа, технологии топливных элементов и материалов нового поколения, инжиниринг водородных энергоустановок.

2. Развитие центров компетенций и инжиниринга: создание технологической базы водородной энергетики.

3. Государственная поддержка: разработка технологий, пилотных и коммерческих проектов по производству, транспортировке, хранению и использованию низкоуглеродного водорода, снижение углеродного следа продукции промышленных и энергетических предприятий, создание

инфраструктуры и производств для водородной энергетики, проекты по улавливанию и использованию углекислого газа.

4. Совершенствование нормативно-правовой базы: поддержка производства и применения водорода и его смесей, обеспечение безопасности водородной энергетики, улавливание и транспортировка углекислого газа.

5. Стимулирование использования водорода: в различных секторах экономики, включая водородный транспорт, заправочную инфраструктуру, энергоснабжение изолированных территорий.

6. Коммерческие водородные проекты: запуск, создание производственных комплексов, организация поставок водорода на внутренний и внешние рынки.

7. Подготовка кадров: разработка образовательных программ, профессиональных стандартов в области водородных технологий, проведение информационных мероприятий для формирования благоприятной социальной среды.

В свою очередь, китайская водородная стратегия направлена на значительное расширение инфраструктуры для водородной энергетики. Одной из ключевых целей является строительство 50 000 водородных заправочных станций к 2030 году, что создаст широкую сеть для обеспечения доступности водорода как топлива для транспорта и промышленности. При этом Китай стремится увеличить производство водорода из возобновляемых источников энергии, что соответствует его долгосрочной стратегии по снижению углеродного следа и достижению углеродной нейтральности к середине века. В этом контексте следует отметить, что «в рамках первого этапа развития водородной энергетики в России, временные рамки которого определены с 2021 по 2024 годы, планируется создание, как минимум, четырех водородных кластеров: Северо-Западный, Восточный, Арктический, Южный» [3]. Это подчеркивает глобальный тренд к развитию водородной энергетики, где каждая страна разрабатывает свои уникальные стратегии и планы.

Германия в рамках своей Национальной водородной стратегии, принятой в 2020 году, выделила 9 миллиардов евро на развитие водородной энергетики [4]. Основные цели этой стратегии включают стимулирование использования водорода в промышленности, транспорте и энергетике, а также развитие технологий его производства из возобновляемых источников. Германия стремится занять лидирующие позиции в области водородных технологий и экспортировать свои разработки на международные рынки, что способствует укреплению её позиций в глобальной энергетической системе.

Сравнивая водородные стратегии России, Китая и Германии, можно отметить как схожие, так и отличительные черты. Все три страны признают водород важным элементом будущей энергетики и стремятся развивать соответствующую инфраструктуру и технологии. Однако подходы различаются: Россия акцентирует внимание на внутреннем рынке и энергетической безопасности, Китай фокусируется на создании масштабной инфраструктуры и увеличении доли водорода из возобновляемых источников, а Германия делает ставку на инновации и экспорт технологий. Эти различия обусловлены как экономическими, так и геополитическими особенностями каждой страны. Водородная энергетика становится приоритетным направлением для многих стран мира в стремлении достичь углеродной нейтральности и снизить зависимость от ископаемых источников энергии. Общие тенденции в этой области включают рост инвестиций в исследования и разработки, создание инфраструктуры для производства, транспортировки и использования водорода, а также стимулирование использования водорода в промышленности, транспорте и энергетике.

Несмотря на общие цели, такие как снижение выбросов и развитие водородной инфраструктуры, стратегии различных стран имеют свои особенности. К концу 2024 года по всей территории Китая планируется построить более 600 объектов для производства водорода из возобновляемых источников энергии посредством электролиза воды. Из них свыше 90 проектов уже завершены, а более 80 находятся на стадии строительства. Совокупная производственная мощность, введенная в эксплуатацию, составляет приблизительно 125000 тонн в год. Производственные и потребительские мощности водорода в основном сосредоточены в традиционных промышленных районах, таких как Шаньдун, Внутренняя Монголия, Шэньси, Нинся и Шаньси [5]. Германия, напротив, сосредотачивается на международном сотрудничестве и импорте водорода, а также на использовании водорода в энергетике и промышленности. Россия, после изменений в стратегических ориентирах в 2022 году, направила усилия на развитие внутреннего рынка водорода и технологий его производства, что позволяет ей адаптироваться к новым экономическим условиям и санкционному давлению. Эти различия обусловлены как экономическими, так и географическими факторами, а также доступностью ресурсов.

Для дальнейшего развития водородной энергетики в России необходимо сосредоточиться на развитии научных исследований и разработке собственных технологий для производства, хранения и транспортировки водорода. Это позволит снизить зависимость от внешних поставок оборудования и технологий, а также укрепить позиции России на внутреннем и международном рынках. Кроме того, важно стимулировать внутренний спрос на водородные технологии, создавая благоприятные условия для их внедрения в промышленность, транспорт и энергетику. Это может быть достигнуто через государственную поддержку, включая субсидии, налоговые льготы и программы финансирования. В перспективе Россия должна продолжить развитие водородных кластеров и инфраструктуры, что позволит интегрировать водород в существующую энергетическую систему. Это создаст основу для перехода к низкоуглеродной экономике и укрепления энергетической безопасности страны.

### Литературы

1. Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / под ред. А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагина; ИЭИ РАН–Московская школа управления СКОЛКОВО – Москва, 2019. – 210 с. - ISBN 978-5-91438-028-8.
2. Распоряжение Правительства РФ от 12.04.2025 N 908-р <Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года> " от 12.04.2025 № N° 908-р // <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202504140013>. - 2025
3. Ивановская И.И., Поснова М.В. Современные исследования в контексте глобальной трансформации: сборник статей II Международной научно-практической конференции (4 сентября 2023 г.). — Петрозаводск: МЦНП «НОВАЯ НАУКА», 2023. — 88 с. : ил. — Коллектив авторов.
4. Водородная стратегия ФРГ // РСМД URL: <https://russiancouncil.ru/analytics-andcomments/columns/europeanpolicy/vodorodnaya-strategiya-frg/> (дата обращения: 19.04.2025).
5. Отчет о развитии водородной энергетики Китая в 2024 году // RenEnURL: <https://renew.ru/otchet-o-razviti-vodorodnoj-energetiki-kitaya-v-2024-godu/> (дата обращения: 25.04.2025).

### Xülasə

#### MİLLİ HİDROGEN STRATEGİYALARI MÜQAYİSƏLİ PERSPEKTİVDƏ

*Xamidullin A.R., Yanuş O.B.*

Hidrogen enerjisi sahəsində beynəlxalq təşəbbüslər sürətlə inkişaf edir və bu, dayanıqlı enerji gələcəyinin əsas elementi kimi hidrogenə olan artan marağı əks etdirir. Beynəlxalq Enerji Agentliyinin (IEA) proqnozlarına görə, 2050-ci ilə qədər global enerji istehlakında hidrogenin payı 13%-ə qədər artacaq. Ölkələr və şirkətlər standartların hazırlanması və birgə layihələrin inkişafı ilə fəal şəkildə məşğul olur, hidrogen infrastrukturalarının inkişafına töhfə verirlər. Buna misal olaraq, Yaponiyanın 2030-cu ilə qədər hidrogen yanacaq doldurma stansiyalarının sayını 900-ə çatdırmağı planlaşdırması göstərilə bilər. Almaniya və Avstraliya arasında olduğu kimi dövlətlərarası əməkdaşlıq hidrogen texnologiyalarının tətbiqini sürətləndirir və iqlim məqsədlərinə nail olmağa kömək edir. Rusiyada isə 2050-ci ilə qədər hidrogen istehsalı və tətbiqi texnologiyalarının yaradılması, karbon izi azaldılması və ixrac potensialının inkişafı məqsəd olaraq qoyulub.

**Açar sözlər:** enerjisiyasəti, hidrogengündəliyi, hidrogenenerjisi, hidrogenstrategiyası, alternativenerji.

### Summary

#### NATIONAL HYDROGEN STRATEGIES IN A COMPARATIVE PERSPECTIVE

*Khamidullin A.R., Yanush O.B.*

International initiatives in the field of hydrogen energy are rapidly developing, reflecting the growing interest in hydrogen as a key element of a sustainable energy future. Forecasts by the International Energy Agency (IEA) indicate an increase in the share of hydrogen in global energy consumption to 13% by 2050. Countries and companies are actively involved in developing standards and joint projects, contributing to the development of hydrogen infrastructure. An example is Japan, which plans to increase the number of hydrogen refueling stations to 900 by 2030. Interstate cooperation, such as between Germany and Australia, accelerates the implementation of hydrogen technologies and helps achieve climate goals. In Russia, the goal by 2050 is the creation of technologies for the production and application of hydrogen, reduction of the carbon footprint, and development of export potential.

**Keywords:** energy policy, hydrogen agenda, hydrogen energy, hydrogen strategy, alternative energy.

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СЕРВИСЫ (ВКЛЮЧАЯ СЕРВИСЫ У ПОТРЕБИТЕЛЯ)

**Ахмадуллин Айну́р Маратович**  
**Мухаметжанов Рустем Наимович**  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
[Ainur-vaz@mail.ru](mailto:Ainur-vaz@mail.ru)

**Резюме** В статье рассматривается актуальность развития энергосберегающих сервисов, направленных на повышение энергоэффективности и снижение потребления энергоресурсов. Особое внимание уделяется сервисам, предоставляемым непосредственно потребителю, анализируются их виды, преимущества и перспективы внедрения. Подчеркивается роль современных информационных технологий и интеллектуальных систем в создании и реализации эффективных энергосберегающих решений, способствующих устойчивому развитию и повышению качества жизни.

**Ключевые слова:** энергосбережение, энергоэффективность, энергосберегающие сервисы, потребитель, интеллектуальные системы, снижение потребления, энергосберегающие технологии, устойчивое развитие.

Вопросы энергосбережения и повышения энергоэффективности приобретают все большее значение в современном мире. Рост энергопотребления, истощение природных ресурсов и негативное воздействие на окружающую среду стимулируют поиск новых подходов и решений для рационального использования энергии. В этом контексте энергосберегающие сервисы, особенно ориентированные на конечного потребителя, играют ключевую роль.

Энергосберегающие сервисы – это комплекс мероприятий и услуг, направленных на снижение потребления энергоресурсов, оптимизацию использования энергии и повышение энергоэффективности объектов. Они могут включать в себя аудит, проектирование, внедрение и мониторинг энергосберегающих технологий, а также обучение и консультирование потребителей.

Сервисы, предоставляемые непосредственно потребителю, представляют собой важную часть этой концепции. Они позволяют пользователям контролировать и оптимизировать свое энергопотребление, снижать затраты на оплату коммунальных услуг и вносить вклад в охрану окружающей среды. [1, с. 300]

Развитие технологий привело к появлению широкого спектра энергосберегающих сервисов для потребителя, таких как:

Системы "умный дом" – позволяют автоматизировать управление освещением, отоплением, вентиляцией и другими энергопотребляющими устройствами, оптимизируя их работу в зависимости от потребностей пользователя и внешних условий.

Онлайн-платформы для мониторинга и анализа энергопотребления – предоставляют пользователям подробную информацию о структуре их энергопотребления, выявляют возможности для оптимизации и предлагают индивидуальные рекомендации по энергосбережению.

Консультации и энергоаудит – помогают потребителям оценить энергоэффективность своих домов и квартир, выявить источники потерь энергии и разработать план мероприятий по их устранению.

Установка энергоэффективного оборудования – включает в себя замену устаревших приборов на современные, энергосберегающие модели (например, светодиодные лампы, энергоэффективные окна и двери, современные системы отопления).

Сервисы по управлению спросом (Demand Response) – позволяют потребителям участвовать в управлении энергосистемой, снижая потребление в периоды пиковых нагрузок и получая за это компенсацию.

Внедрение энергосберегающих сервисов предоставляет потребителям значительные преимущества, включая:

- Снижение затрат на оплату коммунальных услуг.
- Повышение комфорта и качества жизни за счет автоматизации и оптимизации управления энергопотреблением.
- Увеличение стоимости недвижимости.
- Вклад в охрану окружающей среды и устойчивое развитие.

Перспективы внедрения энергосберегающих сервисов связаны с развитием цифровых технологий, распространением "интернета вещей" (IoT) и ростом осведомленности потребителей о преимуществах энергосбережения. Важную роль играют государственная поддержка и стимулирование внедрения энергосберегающих технологий, а также развитие рынка энергосервисных компаний (ЭСКО). [2, с. 94]

Энергосберегающие сервисы, ориентированные на конечного потребителя, являются эффективным инструментом для повышения энергоэффективности и снижения потребления энергоресурсов. Их развитие способствует устойчивому развитию, улучшению качества жизни и снижению негативного воздействия на окружающую среду. Важно продолжать исследования в этой области, разрабатывать новые сервисы и стимулировать их внедрение для достижения целей энергосбережения и устойчивого развития.

## Литература

1. Чигинёв А.В. Плюсы и минусы реального энергосбережения. Доклад на XV международной научно-практической конференции «Энергоресурсосбережение. Диагностика - 2020», г. Димитровград, 26-28 марта 2020 г., с. 300-311.
2. А.С. Корнеев, М.Е. Курбанбаев VI Международная молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ», «Тенденции развития отрасли энергосберегающих технологий» 214-6 17-23 ноября 2023 года с. 94-98.
3. А.С. Корнеев, М.Е. Курбанбаев VI Международная молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ», «Развитие энергосберегающих сервисов (включая сервисы у потребителя)» 214-6 17-23 ноября 2023 года

**Xülasə**  
**ENERJİYƏ QƏNAƏT XİDMƏTLƏRİ**  
**(İSTEHLAKÇILAR ÜÇÜN NƏZƏRDƏ TUTULAN XİDMƏTLƏR DAXİL OLMAQLA)**  
*Axmadullin A.M., Muxametcanov R.N.*

Məqalədə enerjiyə qənaət xidmətlərinin inkişafının aktuallığı, enerji səmərəliliyinin artırılmasına və enerji istehlakının azaldılmasına yönəlmiş məsələlər nəzərdən keçirilir. Birbaşa istehlakçıya göstərilən xidmətlərə xüsusi diqqət yetirilir, onların növləri, üstünlükləri və tətbiq perspektivləri təhlil olunur. Davamlı inkişafa töhfə verən və həyat keyfiyyətini yaxşılaşdıran effektiv enerjiyə qənaət həllərinin yaradılması və tətbiqində müasir informasiya texnologiyalarının və intellektual sistemlərin rolu vurğulanır.

**Açar sözlər:** enerjiyə qənaət, enerji səmərəliliyi, enerjiyə qənaət xidmətləri, istehlakçı, intellektual sistemlər, istehlakın azaldılması, enerjiyə qənaət texnologiyaları, davamlı inkişaf.

**Summary**  
**ENERGY SAVING SERVICES (INCLUDING SERVICES AT THE CONSUMER)**  
*Akhmadullin A.M., Mukhamtzhanov R.N.*

The article discusses the relevance of the development of energy saving services aimed at improving energy efficiency and reducing energy consumption. Particular attention is paid to services provided directly to the consumer, analyzes their types, advantages, and prospects for implementation. The role of modern information technologies and intelligent systems in creating and implementing effective energy saving solutions that contribute to sustainable development and improve the quality of life is emphasized.

**Keywords:** energy saving, energy efficiency, energy saving services, consumer, intelligent systems, consumption reduction, energy saving technologies, sustainable development.

## ПОЛИТИКА ЭНЕРГОПЕРЕХОДА В ЕС: ПРИОРИТЕТЫ И ОБЩЕСТВЕННОЕ ВОСПРИЯТИЕ

**Марданшин Искандер Рафисович**  
**Научный руководитель к.полит.н., доцент О.Б. Януш**  
*ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия*  
*Isk123@bk.ru*

**Резюме** В статье анализируются риторика и политические стратегии энергоперехода в Европейском союзе, данные о восприятии обществом «зелёной» повестки (на основе опросов европейской социологической службы Eurobarometer), а также влияние европейской политики на внешнеэкономические отношения с Россией.

**Ключевые слова:** энергопереход, Европейский Союз, риторика, климатическая политика, устойчивое развитие

В последние десятилетия риторика энергоперехода заняла центральное место во внутренней и внешней политике Европейского союза. Европейская комиссия позиционирует энергопереход как цивилизационный выбор, в основу которого положены идеи климатической справедливости, устойчивого развития, технологического лидерства и энергетической независимости. За последние годы риторическая стратегия ЕС по вопросам перехода к новым эко-технологиям и отказу от традиционных энергоносителей претерпела существенные изменения, что связано с не только

внутренними соображениями, но и масштабными внешнеполитическими вызовами — в первую очередь, с эскалацией отношений с Россией, являвшейся на протяжении десятилетий одним из основных поставщиков энергоресурсов для Евросоюза.

Отдельного внимания заслуживают процессы согласования новой климатической и энергетической повестки между институтами ЕС и государствами-членами. Перспективы и риски энергоперехода вызывают множество споров не только среди политиков, но и в экспертном и общественном дискурсе, что делает анализ риторики

Европейский союз последовательно формирует новый нарратив по вопросам климата и энергетики, который выражен в ряде программных документов – в том числе, в European Green Deal (2019), Fit for 55 (2021) и REPowerEU (2022) [1][2][3]. В центре риторики – необходимость ограничить рост глобальной температуры, достичь углеродной нейтральности к 2050 г. и превратить ЕС в мировой образец устойчивого развития.

Риторика ЕС строится вокруг следующих концептов:

- *"Климатическая нейтральность" и "нулевые выбросы";*
- *"Справедливый переход", включающий защиту социальных прав населения при реформе топливно-энергетического комплекса;*
- *"Зелёная трансформация" промышленности и "цифровизация" энергосистем;*
- *"Энергетическая безопасность" и "диверсификация" поставщиков.*

При этом в официальных коммуникациях появляется всё больше акцентов на внешнеполитические задачи — особенно на ослабление зависимости Евросоюза от внешних игроков и укрепление внутреннего рынка. Особое значение приобретает "справедливость" энергоперехода: ЕС подчёркивает один из принципов справедливого энергоперехода (Just Transition) — недопустимость того, чтобы энергетические реформы увеличивали неравенство и социальную напряжённость. Реализация такой риторики возможна лишь в условиях постоянной корректировки нарратива, с учётом разницы позиций стран и влияния экзогенных событий — например, энергетического кризиса 2021–2022 гг. и конфликта на Украине.

Важнейшим ресурсом современного европейского энергоперехода является восприятие "зелёной повестки" обществом. По данным специальных выпусков Eurobarometer, абсолютное большинство граждан ЕС поддерживают ключевые цели политики. Согласно Special Eurobarometer 527 (2023), 93% опрошенных европейцев считают изменение климата "очень серьёзной" или "серьёзной" проблемой. 88% опрошенных считают, что увеличение доли ВИЭ и сокращение ископаемого топлива должны быть приоритетом для национальных правительств. Примечательно, что 85% считают необходимым уменьшить зависимость от энергоресурсов стран вне ЕС, в том числе, России [4]. Детальный анализ региональной динамики показывает, что уровень поддержки выше всего в странах Северной и Западной Европы, где устойчивая энергетика рассматривается и как инструмент национального престижа, и как вклад в социальную стабильность. В государствах Восточной и Южной Европы чаще встречается акцент на "справедливость перехода", опасения потери рабочих мест и роста тарифов (Eurobarometer 534, 2024) [5].

Интерес представляют данные о значении внешнеполитических аспектов: до 2022 года главной причиной поддержки энергоперехода считалась экология, однако после событий вокруг Украины — вопросы энергетической независимости приобрели сравнимую значимость. Более половины респондентов (56%) в 2024 г. поддержали тезис, что ускоренный отказ от российского газа и нефти оправдан геополитической ситуацией [5].

Риторика энергоперехода в ЕС – сложный, динамичный инструмент, выступающий одновременно фактором внутренней интеграции, легитимации внешней политики и мобилизации ресурсов гражданского общества. Формирование единого нарратива требует учёта региональных различий, корректного ответа на вызовы "справедливости" и постоянной адаптации к изменяющимся социальным и внешнеполитическим условиям.

## Литература

1. European Commission. The European Green Deal. URL: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)
2. European Commission. "Fit for 55". URL: [https://commission.europa.eu/publications/fit-55-delivering-eu-climate-target-2030\\_en](https://commission.europa.eu/publications/fit-55-delivering-eu-climate-target-2030_en)
3. European Commission. REPowerEU: Affordable, secure and sustainable energy for Europe. 2022. URL: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/repower\\_eu\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/repower_eu_en)

4. Special Eurobarometer 527. “Attitudes of European citizens towards the environment”. 2023. URL: <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2829>
5. Standard Eurobarometer 534. “Public opinion in the European Union”. Winter 2023–2024. URL: <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2932>

Xülasə  
**AB ENERJİ KEÇİD SİYASƏTİ: PRİORİTETLƏR VƏ İCTİMAİ QƏBUL**  
*Mardanshin İ.R., Yanush O.B.*

Məqalədə Avropa İttifaqında enerji keçidi üzrə ritorika və siyasət strategiyaları, cəmiyyətin “yaşıl gündəmə” münasibəti (Eurobarometer məlumatları əsasında), həmçinin Avropa siyasətinin Rusiya ilə xarici iqtisadi münasibətlərə təsiri təhlil olunur.

**Açar sözlər:** enerji keçidi, Avropa İttifaqı, ritorika, iqlimsiyasəti, davamlı inkişaf

Summary  
**ENERGY TRANSITION POLICY IN THE EU: PRIORITIES AND PUBLIC PERCEPTION**  
*Mardanshin I.R., Yanush O.B.*

The article analyzes the rhetoric and policy strategies of the energy transition in the European Union, public perceptions of the "green agenda" (using Eurobarometer data), and the impact of European policy on foreign economic relations with Russia.

**Keywords:** energy transition, European Union, rhetoric, climate policy, sustainable development

**ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ АВТОМАТИЗАЦИИ  
БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

**Тимергалиева Венера Раилевна**  
**Куракина Ольга Евгеньевна**  
*ФГБОУ ВО «КТЭУ», г. Казань, Республика Татарстан*  
[venefca@mail.ru](mailto:venefca@mail.ru), [esis.kgeu@bk.ru](mailto:esis.kgeu@bk.ru)

В статье рассматривается концепция цифрового двойника как инновационного инструмента автоматизации бизнес-процессов в электроэнергетике. Раскрываются основные принципы функционирования цифровых двойников, их роль в повышении эффективности, надежности и управляемости энергетических объектов. Подчеркиваются преимущества использования технологии для прогнозного обслуживания, оптимизации процессов и стратегического планирования. Отмечены примеры внедрения в мировой и российской практике, а также обозначены ключевые вызовы и перспективы развития технологии в условиях цифровой трансформации отрасли.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, электроэнергетика, автоматизация, цифровизация, бизнес-процессы, прогнозирование, мониторинг, эффективность.

Цифровая трансформация становится основополагающим направлением развития современной энергетики. В условиях растущей сложности технических систем, высоких требований к надёжности и эффективности, а также перехода к концепциям устойчивого развития, отрасли требуются инструменты, способные обеспечить более высокий уровень управления и оптимизации. Одним из таких инструментов является технология цифрового двойника, которая представляет собой виртуальное отображение физического объекта или процесса, синхронизированное с ним в реальном времени на основе потока данных с датчиков, аналитики, математического моделирования и машинного обучения.

Цифровой двойник – это не просто 3D-модель или графическое изображение. Это динамически обновляемая цифровая копия, которая может отражать текущее техническое состояние объекта, прогнозировать его поведение в будущем и помогать принимать обоснованные управленческие решения. В контексте электроэнергетики, где огромное количество оборудования и инфраструктуры требует постоянного мониторинга, обслуживания и анализа, цифровой двойник становится неотъемлемым элементом в построении «умной» энергетики будущего. Он может применяться для моделирования работы электростанций, распределительных сетей, трансформаторных подстанций, линий электропередач, отдельных элементов генерации и потребления, а также для воссоздания целостной картины функционирования энергетической системы.

Внедрение цифровых двойников в электроэнергетике позволяет перейти от традиционного реактивного подхода к обслуживанию оборудования — когда действия предпринимаются после поломки — к проактивной и предиктивной модели, где система сама сигнализирует о потенциальных неисправностях задолго до их возникновения. Таким образом, повышается уровень надёжности

энергоснабжения, снижаются риски аварий и простоев, уменьшаются затраты на внеплановый ремонт. Помимо технической диагностики, цифровой двойник предоставляет мощный инструмент для анализа бизнес-процессов. Виртуальная модель позволяет оценивать эффективность текущих процессов, выявлять узкие места, проводить оптимизацию ресурсного обеспечения, логистики, планирования ремонтов и инвестиций.

Одним из наиболее значимых аспектов использования цифровых двойников является возможность тестирования различных сценариев развития без воздействия на реальный объект. Это особенно важно в электроэнергетике, где любые изменения должны проходить тщательную оценку последствий. Цифровая модель позволяет просчитывать влияние различных решений, таких как модернизация оборудования, изменение конфигурации сети, интеграция возобновляемых источников энергии или внедрение новых стандартов безопасности. Это повышает качество стратегического планирования и управления рисками.

Кроме того, цифровой двойник интегрируется с существующими цифровыми платформами — SCADA-системами, системами диспетчерского управления, промышленными IoT-решениями, ERP и MES, создавая единое цифровое пространство. Это даёт компаниям возможность получать объективные данные о состоянии инфраструктуры, согласовывать технические и финансовые решения, проводить автоматизированную аналитику и выстраивать цифровые процессы на всех уровнях управления.

Мировая практика демонстрирует растущий интерес к этой технологии. Так, ведущие международные компании, такие как Siemens, General Electric, ABB активно внедряют цифровых двойников на объектах генерации и передачи энергии. В России также происходят пилотные внедрения: цифровые двойники трансформаторных подстанций, распределительных сетей и электростанций тестируются в рамках проектов «Россетей», «Интер РАО», «Системного оператора ЕЭС» и других энергетических компаний. Они используются для моделирования технического состояния, управления нагрузкой, прогнозирования пикового спроса и повышения эффективности эксплуатации объектов.

Несмотря на очевидные преимущества, массовое внедрение цифровых двойников сопряжено с рядом вызовов. Среди них можно выделить высокую стоимость разработки и интеграции цифровых моделей, необходимость создания единой архитектуры цифровых данных, организационные и кадровые сложности, а также вопросы кибербезопасности. Однако постепенное снижение стоимости сенсорных технологий, развитие облачных платформ, распространение стандартов цифровой совместимости и рост цифровой зрелости энергетических предприятий создают благоприятные условия для масштабного внедрения этой технологии в ближайшие годы.

Цифровой двойник сегодня — это не просто инновация, а фундамент будущего энергоинфраструктуры. Он становится неотъемлемой частью стратегии цифровизации отрасли, меняя подход к эксплуатации, обслуживанию, проектированию и управлению активами. Эта технология даёт электроэнергетике возможность стать более гибкой, устойчивой к внешним воздействиям и технологически продвинутой. Цифровые двойники открывают двери к полностью автоматизированным системам управления, в которых решения принимаются на основе точных данных, прогнозных моделей и адаптивных алгоритмов. Всё это делает цифровой двойник одним из ключевых инструментов на пути к умной, устойчивой и экономически эффективной энергетике будущего.

## Литература

1. Абрамов А. Н., Смирнов И. Ю. Цифровой двойник как элемент цифровой трансформации в электроэнергетике. Энергетическая политика, 2021.
2. Козлов С.В., Егоров М.А. Внедрение цифровых двойников в системах управления энергоснабжением. Энергосбережение и водоподготовка, 2020.
3. Фролов А. В., «Моделирование энергетических объектов с использованием цифровых двойников». Вестник РАН. Энергетика, 2021.

Xülasə

**RƏQƏMSAL İKİQAT ELEKTRİK SƏNAYESİNDƏ İŞ PROSESLƏRİNİN AVTOMATLAŞDIRILMASI ÜÇÜN  
PERSPEKTİVLİ BİR VASİTƏ KİMİ**

*Timerqaliyeva V.R., Kurakina O.E.*

Bu məqalədə elektrik energetikası sahəsində biznes proseslərinin avtomatlaşdırılması üçün innovativ alət kimi rəqəmsal əkiz (Digital Twin) anlayışı araşdırılmışdır. Rəqəmsal əkiz texnologiyasının əsas prinsipləri, enerji infrastrukturunun səmərəliliyinin,

etibarlılığının və idarəolunmasının artırılmasındakı rolu təhlil edilir. Məqalədə proqnozlaşdırıcı texniki xidmət, proseslərin optimallaşdırılması və strateji planlaşdırma sahəsində rəqəmsal əkiz texnologiyasının üstünlükləri vurğulanır. Həm beynəlxalq, həm də Rusiya təcrübəsində tətbiq nümunələri təqdim edilmiş, sənayenin rəqəmsal transformasiyası kontekstində texnologiyanın əsas çağırışları və inkişaf perspektivləri müəyyən edilmişdir.

**Açar sözlər:** rəqəmsal əkiz, elektrik energetikası, avtomatlaşdırma, rəqəmsallaşma, biznes prosesləri, proqnozlaşdırma, monitoring, səmərəlilik

**Summary**  
**DIGITAL TWIN AS A PROMISING TOOL FOR AUTOMATING BUSINESS PROCESSES**  
**IN THE ELECTRIC POWER INDUSTRY**  
**Timergalieva V.R., Kurakina O.E.**

This article explores the concept of the digital twin as an innovative tool for automating business processes in the electric power industry. It discusses the fundamental principles of digital twin technology, its role in improving efficiency, reliability, and the manageability of energy infrastructure. The advantages of predictive maintenance, process optimization, and strategic planning using digital twins are emphasized. The article also highlights practical examples of implementation in both global and Russian contexts, and outlines the key challenges and development prospects of this technology within the framework of the industry's digital transformation.

**Keywords:** digital twin, electric power industry, automation, digitalization, business processes, forecasting, monitoring, efficiency

**УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РОССИИ. ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ**

**Узбеков Ильнур Рафкатович**  
**Воркунов Олег Владимирович**  
*ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан*  
[ilnuryz1985@mail.ru](mailto:ilnuryz1985@mail.ru)

**Резюме** Управление качеством электрической энергии в России является критически важной темой, охватывающей аспекты как экономики, так и социальной сферы, поскольку качество электроэнергии напрямую влияет на эффективность функционирования промышленности, бытовых и коммерческих потребителей. В условиях динамично развивающегося энергетического рынка и глобальных изменений в области энергетической политики, проблема качества электроснабжения становится все более актуальной. Данная статья нацелена на выявление существующих проблем в области управления качеством электрической энергии, анализ причин их возникновения и разработку возможных путей решения

**Ключевые слова:** анализ, качество электрической энергии, перебои, помехи, электроснабжение, авария.

Актуальность данного исследования можно объяснить нарастающими требованиями к качеству электрической энергии со стороны потребителей, а также необходимостью соответствия международным стандартам. Главным образом, улучшение качества электроснабжения способствует повышению надежности работы электроэнергетических систем и снижению затрат на ремонт и обслуживание оборудования. В то же время, существуют серьезные вызовы, включая устаревшую инфраструктуру, недостаток инвестиций в модернизацию систем, а также пробелы в законодательстве, регулирующем качество электрической энергии в стране. Поэтому анализ этих проблем является важным шагом на пути к эффективному управлению энергоресурсами на современном этапе.

Управление качеством электрической энергии в России сталкивается с множеством актуальных проблем, которые оказывают серьезное влияние как на потребителей, так и на производителей электрической энергии. В условиях стремительного роста потребления и модернизации инфраструктуры, ряд сложностей остается нерешенными, что негативно сказывается на надежности и качестве поставляемой электроэнергии.

Основная проблема связана с устаревшей инфраструктурой электроэнергетических сетей. Значительная часть оборудования была введена в эксплуатацию десятилетия назад и требует обновления или репарации. Износ оборудования приводит к частым авариям и сбоям в снабжении, что, в свою очередь, сказывается на качестве электроэнергии — потребители сталкиваются с перепадами напряжения, кратковременными авариями и ухудшением показателей надежности [3].

Социально-экономические последствия от низкого качества электроэнергии также нельзя недооценивать. Например, повышение частоты аварий становится причиной не только экономических потерь, но и негативного влияния на здоровье населения и атмосферу в целом, так как необходимость в дополнительных источниках электроэнергии может приводить к росту выбросов от

энергоёмких производств. Следовательно, актуальные проблемы в области управления качеством электрической энергии имеют междисциплинарный характер, затрагивая не только технические аспекты, но и социальные и экономические влияния.

Другим важным техническим аспектом является недостаточное внимание к цифровизации и автоматизации процессов контроля качества электроэнергии. Многим предприятиям не хватает современных систем измерения и мониторинга, что затрудняет оперативное реагирование на возникающие проблемы и требует больше времени для принятия решений. Например, системы SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), которые позволяют в режиме реального времени отслеживать состояние электросетей, ещё не внедрены повсеместно. Отсутствие таких технологий усложняет контроль за качеством электроэнергии и препятствует своевременному выявлению и устранению проблем.

На фоне этих проблем, важно также учитывать влияние экономических факторов. Нехватка инвестиций в электроэнергетическую инфраструктуру и недостаточное финансирование программ по автоматизации и модернизации приводят к отставанию в развитии технологий, что создает замкнутый круг: низкое качество электроэнергии приводит к высокому экономическому ущербу, а нехватка средств не позволяет производителям инвестировать в обеспечение качества.

В условиях постоянного роста потребностей в электроэнергии и требований к ее качеству, современные технологии и методики играют ключевую роль в решении проблем, связанных с качеством электрической энергии. Инновационные решения позволяют не только повысить надежность электроснабжения, но и удовлетворить растущие потребности потребителей, улучшая общую эффективность энергетических систем.

Одной из передовых технологий в управлении качеством электрической энергии являются системы мониторинга и управления, основанные на принципах IoT. Эти системы обеспечивают сбор данных с различных источников в реальном времени, что позволяет оперативно выявлять отклонения от нормальных параметров и предотвращать сбои [2].

Также стоит отметить технологии энергосбережения и интеграции возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в сети. Использование солнечных панелей, ветряных установок и других источников в сочетании с современными накопителями энергии позволяет значительно повысить качество электрической энергии [5].

Другим важным направлением является применение технологий активных фильтров для снижения гармонических искажений. Эти устройства нейтрализуют нежелательные гармоники в системе, что приводит к улучшению качества электрической энергии и увеличению срока службы оборудования, подключенного к электрическим сетям.

Также важно учитывать программы по мониторингу и контролю качества. Регулярные проверки станций и проводимых мероприятий на соответствие установленным стандартам являются необходимыми для поддержания необходимого уровня качества и оперативного реагирования на выявленные нарушения.

Среди рекомендаций для дальнейших действий выделяется необходимость создания комплексного подхода, основанного на сотрудничестве между государственными органами, энергетическими компаниями и научными учреждениями. Партнерство между ними даст возможность создать платформу для обмена знаниями и опытом, что, в свою очередь, будет способствовать быстрому решению актуальных проблем в области качества электрической энергии.

## Литература

1. А. С. Семенов, В. А. Бондарев, С. А. Заголило. Контроль качества электроэнергии и анализ полученных результатов при измерении напряжения. DOI 10.17513/fr.41709 // Фундаментальные исследования (Fundamental Research). 01.01.2017 URL: <http://www.fundamental-research.ru/en/article/view?id=41709> (дата обращения: 16.03.2025).
2. Денис Ефремов, И.З. Глуцкий. Увеличение переходной устойчивости электрического генератора путем управления группой устройств хранения энергии различных типов. DOI 10.17588/2072-2672.2017.6.005-014 // Vestnik IGEU. 01.01.2017 URL: <http://vestnik.ispu.ru/sites/vestnik.ispu.ru/files/published/6-17-str.5-14.pdf> (дата обращения: 16.03.2025).
3. Ирек Салихович Латыпов, В. В. Сушков, Гузель Азатовна Хмара, Андрей Николаевич Паршуков, Р. Н. Хамитов. Увеличение пропускной Способности электрической сети и повышение энергоэффективности действующей электроэнергетической системы нефтегазопромысловых потребителей. DOI 10.18799/24131830/2022/4/3497 // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University

Geo Assets Engineering. 20.04.2022 URL: <http://www.izvestiya.tpu.ru/archive/article/view/3497> (дата обращения: 16.03.2025).

4. 4. Карташев, И. И. Управление качеством электроэнергии : учебное пособие / Карташев И. И. - Москва : Издательский дом МЭИ, 2019. - ISBN 978-5-383-01355-7. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383013557.html> (дата обращения: 26.03.2025)
5. С. Е. Герасимов, С. А. Иванов, А. А. Кузнецов [и др.]. Качество электроэнергии, источники и средства компенсации реактивной мощности в электроэнергетических системах : учебное пособие /— Санкт-Петербург : СПбГПУ, 2021. — 100 с. — ISBN 978-5-7422-7361-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/192882> (дата обращения: 26.03.2025).

**Xülasə**  
**RUSİYADA ELEKTRİK ENERJİSİNİN KEYFİYYƏTİNİN İDARƏ EDİLMƏSİ:**  
**PROBLEMLƏR VƏ HƏLL YOLLARI**  
*Uzbekov İ.R., Vorkunov O.V.*

Rusiyada elektrik enerjisinin keyfiyyətinin idarə edilməsi həm iqtisadiyyatın, həm də sosial sahənin aspektlərini əhatə edən son dərəcə mühüm mövzudur, çünki elektrik enerjisinin keyfiyyəti sənayenin, məişət və kommersiya istehlakçılarının fəaliyyətinin səmərəliliyinə birbaşa təsir göstərir. Enerji bazarının dinamik inkişafı və enerji siyasətində qlobal dəyişikliklər fonunda elektrik enerjisi təchizatının keyfiyyəti problemi daha da aqryallaşır. Bu məqalə elektrik enerjisinin keyfiyyətinin idarə olunması sahəsində mövcud problemlərin müəyyənləşdirilməsinə, onların yaranma səbəblərinin təhlilinə və mümkün həll yollarının işlənilib hazırlanmasına həsr olunmuşdur.

**Açar sözlər:** təhlil, elektrik enerjisinin keyfiyyəti, fasilələr, maneələr, enerji təchizatı, qəza.

**Summary**  
**ELECTRIC ENERGY QUALITY MANAGEMENT IN RUSSIA. PROBLEMS AND SOLUTIONS**  
*Uzbekov I.R., Vorkunov O.V.*

Electric energy quality management in Russia is a critically important topic covering aspects of both the economy and the social sphere, since the quality of electricity directly affects the efficiency of industry, household and commercial consumers. In the context of a dynamically developing energy market and global changes in energy policy, the problem of electricity supply quality is becoming more urgent. This article is aimed at identifying existing problems in the field of electric energy quality management, analyzing the causes of their occurrence and developing possible solutions.

**Keywords:** analysis, quality of electrical energy, interruptions, interference, power supply, accident.

## MÜNDƏRİCAT

### I BÖLMƏ ENERGETİKADA ENERJİ SİYASƏTİ VƏ İDARƏETMƏ

1. <b>Harunov A.T, Camalova A.V, Xalıqova L.E.</b> Çoxmənzilli yaşayış komplekslərində enerji səmərəliliyinin artırılması məqsədilə yaşayış binalarında liftlərdə rekuperasiya texnologiyalarından istifadə olunması. (SDU) .....	3
2. <b>Ələsgərov G.A., Məmmədov Ş.H.</b> İstilik təchizatı sistemlərində Su hazırlığının səmərəliliyinin yüksəldilməsi. (AzMİU) .....	5
3. <b>Баламетов А.Б., Агаханова К.А., Исгендеров Ф.Г., Баламетов Э.А.</b> Методы адресного распределение потоков и потерь для моделирования задач оптового рынка. (АГУНП).....	8
4. <b>Məmmədov R.E.</b> Elektrik enerjisi itkiləri və onların hesablanması üsulları. (ADAU) .....	13
5. <b>Şöyübov M.</b> Energetikanın iqtisadiyyatı və inkişaf tendensiyaları. (MDU) .....	15
6. <b>Balametov E.E.</b> Control of active power flows in heterogeneous networks using phase-shift transformers. (AZERCONNECT” LLC).....	18
7. <b>Mahmudova N.</b> Müasir texnologiyaların iqtisadiyyat və biznes sahəsində rolu. (H. Əliyev adına Hərbi İnstitut).....	22
8. <b>Hümbətova A.S.</b> Rəqəmsal dövlət idarəçiliyi və elektron xidmətlərin inkişaf meyilləri. (SDU) .....	25
9. <b>Qasıмова Z.M., Tağıyeva A.V.</b> Sahibkarlıq fəaliyyətinin inkişafında dövlətin tənzimləyici rolunun qiymətləndirilməsi. (SDU) .....	26
10. <b>Məhərrəmov S.Q.</b> Tarixi münaqişələrdə enerji amili və bu günün enerji təhlükəsizliyi çağırışları. (SDU) .....	30
11. <b>Musayeva F.</b> Azərbaycanın davamlı enerji mənbələri. (SDU).....	32
12. <b>Rakhmonov I.U., Toirov M.T.</b> Thermal Management of Lighting devices (TSTU).....	35
13. <b>Rəhmanov Ə.B.</b> Şəhər sahillərinin integrativ planlaşdırılmasında memarlıq və texnoloji yanaşmaların sintezi. (AzMİU) .....	36
14. <b>Ahmet Şit.</b> Interaction of Energy & Climate Security Risk with Financial Risk in EU Member States. (MTÖU) .....	38
15. <b>Haydar Karadağ, Ahmet Şit, Mustafa Şit.</b> The Impact of Countries' Energy Expenditures on Sustainable Financial Development: A Study on Highly Representative Countries in the European Union. (MTÖU) .....	39
16. <b>Atajiev Sh.M., Toirov M.T., Harunov A.T., Talifli A.F.</b> Reactive Power control using fast-switching thyristor modules (TSTU, SSU) .....	40
17. <b>Yusupaliyev Kh.U., Korjobova M.F.</b> Factors Affecting the forecast indicators of electricity consumption of textile industry enterprises (TSTU) .....	45
18. <b>Ибадов Ч.Ш.</b> Баланс электроэнергии в электрических сетях Азербайджанской Республики (ОАО Азеришыг).....	48

### II BÖLMƏ ENERJİ SİSTEMLƏRİ VƏ KOMPLEKSLƏRİ

19. <b>Шакиров А.Ф., Маклецов А.М.</b> Разработка методики интеллектуального симметрирования сетей 0,4 Кв. (ФГБОУ ВО «КГЭУ»).....	58
20. <b>Həsənli C.Ş.</b> 110 Kv yarımstansiyalarının elektrik şəbəkələrinin dayanıqlığının praktik tətbiqi. (SDU)59	
21. <b>Hüseynov R.A.</b> Elektromaqnit vibrotəsirləndiricinin maqnit sisteminin tədqiqi. (SDU) .....	61
22. <b>Bobojanov M.Q., Makhmutkhonov S.K., Aliguliyeva Kh.V., Harunov A.T.</b> Influence of electric arc furnace operation on electrical network parameters. (TSTU, SDU) .....	64
23. <b>Məmmədzadə R.K., Camalxanova İ.S., Camalədinova Ü.H., Əhmədov S.E.</b> Aqressiv şəraitdə güc kablalarının istismarının analizi. (SDU).....	67
24. <b>Merve Kibar Altaylı, Hakan Ülker, Asım Balbay.</b> LQR ve PID tabanlı kontrol algoritmlərinin OWC (səlimli su kolonu) dalga enerjisi sistemlərində performans kəşləştirməsi. (BTÜ, MTÖÜ) .....	69

25. <b>Алиев Н.А., Гаджибалаев Н.М., Ширинова А.Я., Байрамалиева Э.Н.</b> Методы оптимизации энергетических показателей ветроэнергетических установок. (SDU).....	73
26. <b>Əhmədova T. Ə., Nəsiyeva K.R.</b> Robototexniki komplekslərdə bucaq yerdəyişməsinə ölçən vericinin tədqiqinə dair. (SDU).....	75
27. <b>Abdulova N.A., Teyyubova S.R.</b> Elektrik maşınlarında yaranan istismar nasazlıqları və onların əsas mənşəyi. (SDU).....	79
28. <b>Quliyeva T.S., Həsənova Ü.E.</b> Elektrik maşınlarının istismar nasazlıqları diaqnostikasının mövcud üsulları və analizi. (SDU).....	81
29. <b>Сагындикова А.Ж.</b> Индукционный нагрев металла с использованием транзисторного преобразователя частоты. (АУЭК).....	83
30. <b>Байрамалиева Э.Н.</b> Моделирование нагрузки в виде обобщенных операторных уравнений. (SDU).....	87
31. <b>Səfərova T.A., Tağızadə R.A.</b> Energetika sistemləri və komplekslərində təhlükəsizlik məsələlərinin tədqiqi. (SDU).....	89
32. <b>Sadıqlı V.M., Aslanov İ.B., Əliyev Q.E., Rzayev C.Z., Şükürov Ə.T., Ağayeva S.S.</b> Metropoliten nəqliyyatının istismarında elektrik şəbəkələrinin etibarlılığına təsir edən göstəricilərin nəzərə alınması. (AzTU).....	91
33. <b>Əliyev N.N.</b> IEC 61850 standartına uyğun rəqəmsal 110/10 kv yarımstansiya layihəsi. (SDU).....	95
34. <b>Səlimova A., Zeynalova N., Yaqublu T., Rəcəbov K.</b> Enerji sistemlərinin ötürmə qabiliyyəti və iqtisadi səmərəliliyini artırmaq üçün facts texnologiyalarının tətbiqi. (Azərenerji” ASC).....	97
35. <b>Sultanov E.F., Həsənov E.A., Əlicanov R.R.</b> Gəmi göyərtə mexanizmlərində tətbiq edilən elektrik intiqallarının növləri və onların idarəetmə sistemlərinin müqayisəli təhlili. (ADA).....	101
36. <b>Əhmədov S.E.</b> Sənaye obyektlərinin torpaqlanma quruluşunun istismar göstəricilərini təyin edən parametrlərin təhlili. (SDU).....	105
37. <b>Rəhimov Ş.R., Məmmədova G.A.</b> Matlabda reaktiv gücün kompensasiyasına nəzarət modelinin qurulması. (SDU).....	107
38. <b>Məmmədzadə R.K., Cüməliyeva İ.C., Əhmədov S.E.</b> HEVX-nın torpaqlayıcılarının istismar göstəricilərinin aktuallığı praktiki tətbiqi. (SDU).....	110
39. <b>Ниёзов Н.Н., Нишоналиев Р.Н.</b> Методы обеспечения устойчивости электрических сетей в условиях роста доли возобновляемых источников энергии. (ТГТУ).....	112
40. <b>Латинов Ш.Ш.</b> Оптимизация энергосистем в условиях неопределенности: обзор методов и приложений. (ТГТУ).....	116
41. <b>Rəsulzadə M.Ş.</b> Alçaq mexaniki tezlikli rəqslərin alınması üsulları. (SDU).....	120
42. <b>Cəfərxanov Ə.C.</b> Elektrik təchizatı sisteminin etibarlılıq göstəricilərinin müəyyən edilməsi metodikasının işlənməsi. (SDU).....	121
43. <b>Əlizadə C.E.</b> Elektrik şəbəkəsində güc kabellərinin mühafizəsi. (SDU).....	124
44. <b>Qasımzadə A.R.</b> Paylayıcı elektrik şəbəkələrində aktiv istehlakçı. (ADNSU).....	125
45. <b>Hüseynov T.E., Babayeva Z.E.</b> Paylayıcı şəbəkənin modernizasiyası – dayanıqlı inkişaf həlləri (Azəriçiq ASC).....	127

### III BÖLMƏ BƏRPA OLUNAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİ

46. <b>Muradov M.M., Nəzərova M.K., Qarayeva İ.E., Vəliyeva K.S., Şirinova G.S., Əliyeva L.İ.</b> Tullantıların anaerob qıvcırma prosesinin biokatalizatorun iştirakı ilə təcrübi tədqiqi. (SDU).....	131
47. <b>Muradov M.M., Nəzərova M.K., Qarayeva İ.E., Pirquliyeva M.S., Vəliyeva K.S., Kərimova S.G.</b> Şəhər kanalizasiya çöküntülərinin anaerob qıvcırma prosesinin biokatalizatorun iştirakı ilə termodil rejimdə tədqiqi (SDU).....	133
48. <b>Abdulova N.A.</b> Fotoelektrik sistemlərin xüsusiyyətlərinin tədqiqi. (SDU).....	136
49. <b>Harunov A.T., Əliquliyeva X.V., Bobojanov M.Q., Makhmutxonov S.K., Ömərov S.A.</b> Günəş elektrik stansiyasından əlavə enerji mənbəyi kimi istifadə etməklə çoxmənzilli yaşayış kompleksinin enerji səmərəliliyinin artırılması. (SDU).....	138
50. <b>Muradəliyev A.Z., Hüseynov K.Ş.</b> Gəmilərdə bərpa olunan enerji mənbələrinin tətbiqinin yanacaq sərfiyyatına təsiri. (ADA, Azərenerji ASC).....	142

51. <b>Harunov A.T., Əliquliyeva X.V., Baxışlı N.V., Atajiev S.M.</b> Binalarda günəş enerjisi sistemlərinin inkişafı və sıfır karbon emissiyalı tikinti konsepsiyası: modelləşdirmə, monitoring və enerji optimizasiyası. (SDU, TDTU) .....	145
52. <b>Mahmudova T.S.</b> Impact of silicon carbide technology on efficiency and sustainability in solar energy systems. (BDU).....	152
53. <b>Quliyeva A.İ., Camalxanova İ.S.</b> Günəş davamlı inkişaf və enerji təhlükəsizliyinin açarındır. (SDU) .....	155
54. <b>Cəfərova S.N., Məmmədov A.Ə., Allahverdiyeva S.N.</b> Bərpa olunan enerji mənbələrinin mövcud vəziyyəti və inkişaf perspektivləri. (SDU, NKPI, PMI) .....	156
55. <b>Nadirov N.A., Bayramova A.S.</b> Aqrar sektorda günəş enerjisinin tətbiqi. (ADAU).....	158
56. <b>Шахназарли Р.З., Назаралиев Х.Г., Гараева Ш.Г.</b> Синтез и исследование фунгицидной активности циклопропансодержащих эфиров. (ИПМ, СГУ) .....	162
57. <b>Balayeva Ə.H., Şirinova A.Y., Abdullayeva Ü.R.</b> Nəqliyyat vasitələrinin istismarında tormozlanmada yaranan mexaniki enerjinin nəqli, toplanması və elektromexaniki çevirmə prosesində yaranan itkilər. (SDU).....	164
58. <b>Гаджибалаев Н.М., Гамидов М.Г., Гамидова Г.М., Джаббарова С.М.</b> Обеспечение энергетической безопасности, на основе возобновляемой источников энергии. (SDU, ADNSU).....	168
59. <b>Latifova S.S., Mammadov M.M., Novruzova R.E., Abdulova I.N.</b> Integrating the concept of alternative energy into the education of the younger generation. (SDU).....	171
60. <b>Asifli M.R.</b> Bərpa olunan enerji mənbələri. (NTM PHŞ).....	174
61. <b>Рахмонов И.У., Реймов К.М., Расулов А.Н.</b> Интеллектуальные методы анализа и диагностики инверторов в крупных солнечных электростанциях. (ТГТУ, КГУ).....	176
62. <b>Курбонов Н.Н., Узakov Н.Ч.</b> Комплексные методы молниезащиты и прогнозирования грозových рисков в ветроэнергетике. (ТГТУ) .....	180
63. <b>Жураев С.Р., Джураев К.С.</b> Техничко-экономическое обоснование новой конструкции гидроаккумулирующей установки. (ТГТУ) .....	186
64. <b>Gubadova R.B., Nazarova R.Z.</b> Investigation of biodegradable adsorbents and their modified derivatives. (BMU) .....	190
65. <b>Məhərrəmov Ə.F.</b> Türk dünyasında günəş enerjisi potensialı və gələcək əməkdaşlıq imkanları. (SDU) .....	193
66. <b>Məmmədov A.Ə.</b> Günəş PV sistemləri üçün maksimum güc nöqtəsinin izləmə (MPPT) alqoritmlərinin dizayn və simulyasiyası. (SDU).....	195
67. <b>Iftikhar Ahmad.</b> Green Hydrogen Through Advanced Electrolyzer Modeling: a Pathway Toward Sustainable Energy Systems and Global Energy Security. (SDU).....	196
68. <b>Hüseynov N.R., Guliyev H.B.</b> Research on the integration of renewable energy sources into the power system based on fuzzy logic. (SDU, ADNSU).....	199
69. <b>Саитов В.Е., Аллахвердиев И.А.</b> Организация поения сельскохозяйственных птиц при клеточном их содержании на птицеферме (ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ, СГУ) .....	202
70. <b>Саитов В.Е., Аллахвердиев И.А.</b> Анализ конструкций и процесса работы устройств капельных поилок для сельскохозяйственных птиц (ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ, СГУ) .....	205
71. <b>Саитов В.Е., Аллахвердиев И.А.</b> Методика эксперимента по определению оптимальных конструктивно-технологических параметром капельной поилки (ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ, СГУ).....	212
72. <b>Насыев S.İ.</b> Bərpa olunan enerji mənbələri (ADAU) .....	216

#### IV BÖLMƏ

#### ELEKTRON TƏHLÜKƏSİZLİYİ VƏ İNFORMASIYA – ÖLÇMƏ TEXNİKASI

73. <b>Əhmədova S.M., Hüseynli A.A.</b> Ağıllı ev layihəsində sensorlar və qurğular arasında əlaqə protokolları. (SDU, BDU) .....	219
74. <b>Əliyeva T.R.</b> Alçaq mexaniki tezlikli elektromaqnit tipli vibrotəsirləndiricinin layihələndirilməsinə temperaturun təsiri. (SDU).....	221
75. <b>Sultanov E.F., İsmayilov S.S., Əlicanov R.R.</b> Gəmi siqnal qurğularının proqramlaşdırılan məntiq kontrollerləri (PLC) ilə idarə olunmasının üstünlükləri. (ADA) .....	222
76. <b>Əsgərova G.B.</b> Süni intellekt texnologiyalarının kompüter qrafikasında tətbiqi və onların effektivliyinin artırılması. (SDU) .....	226

77. <b>Hacıyeva K.R.</b> Yeni növ 3D printer modelinin yaradılması. (SDU) .....	227
78. <b>Qədirova T.T.</b> Blackcat kodlaşdırma proqramı. (HƏHİ) .....	230
79. <b>Hüseynova Q.H.</b> ÇİS-in çevik avtomatlaşdırılmış sahələrinin texniki nəzarət sahələrinin layihələndirilməsinin konstruktör təminatı. (SDU).....	232
80. <b>Qüdrətli İ.R.</b> Rəqsi intiqalın temperatura görə təshih olunması. (SDU) .....	233
81. <b>Orucəliyev T.M.</b> Süni intellekt və informasiya-ölçmə texnologiyalarının şəhərsalma sistemlərində tətbiqi: elektron təhlükəsizlik və enerji dayanıqlığı. (AzMİU) .....	237
82. <b>Əliyeva T.Ə.</b> Mexaniki emal sexinin idarəetmə sisteminin məntiqi funksiyalarının modelləşdirilməsi (SDU).....	239
83. <b>Məmmədov Y.O.</b> Elektron təhlükəsizliyi və informasiya-ölçmə texnikası. (ADAU).....	241
84. <b>Алиева А.Г.</b> Выбор технических средств корпоративной сети инженерного факультета Сумгайтского государственного университета. (SDU) .....	243
85. <b>Снисаренко А.А., Валиуллина Д.М.</b> Интеллектуальные системы диагностики устройств грозозащиты. (ФГБОУ ВО «КГЭУ»).....	246
86. <b>Ахундзаде Т.Р.</b> Нечеткие проблемы в интеллектуальных системах. (SDU) .....	248
87. <b>Гусейнов Т.К., Гаджиев З.Р., Дуньямалыев А.А., Насирова И.М.</b> Вибрационный преобразователь температуры окружающей среды. (SDU).....	249
88. <b>Галятдинов Р.Р., Гарифуллин М.Ш.</b> Подсчёт дискретных и аналоговых сигналов для контроля в энергетической системе. (ФГБОУ ВО «КГЭУ»).....	251
89. <b>Валиуллина Д.М., Мадышев Р.А.</b> Проблемы безопасности в энергетических комплексах. (ФГБОУ ВО «КГЭУ) .....	253
90. <b>Узбеков И.Р., Воркунов О.В.</b> Инновационные подходы к определению мест повреждения высоковольтных кабельных линий. (ФГБОУ ВО «КГЭУ) .....	255
91. <b>İsrafilzadə N.A.</b> Sənaye müəssisələrinin elektrik təchizatı sistemlərinin modelləşdirilməsi. (SDU).....	257
92. <b>Heydərov E.</b> Gələcəyin əsgərinin süni intellektdən istifadə etməklə formallaşdırılması perspektivlərinin tədqiqi. (HƏHİ).....	259
93. <b>Məmmədli E.R.</b> Maşın öyrənməsinə əsaslanan zərərli proqram aşkarlanmasında mövcud çətinliklər. (SDU) .....	263
94. <b>Aghayev UX., Talibov N.H., Huseynov A.H.</b> Analysis of improvement process of intellectuality of systematical designing process of technical systems. (SDU) .....	265
95. <b>Balakışiyeva D.R.</b> “Əsrin müqaviləsi”-nin regional enerji təhlükəsizliyində rolu. (SDU).....	270
96. <b>Qasımbəyli C.Q.</b> Azərbaycan enerji təhlükəsizliyi və onun inkişad istiqamətləri (SDU) .....	271
97. <b>Газиева Р.Т., Исмаилов М.А., Курбонов Н.М.</b> Совершенствование системы управления процессом линтерования хлопковых семян на основе методов интеллектуальных технологий. (ТИАМЕ) .....	274
98. <b>Allahverdiyeva K.Ə., Quliyeva L.İ.</b> Firewall zəiflikləri və onların aradan qaldırılması. (SDU) .....	277
99. <b>Zeynalova S.M.</b> Çoxfunksiyalı als mühitində fəaliyyət göstərən avtomatlaşdırılmış layihələndirmə alətinin arxitekturasının işlənməsi. (SDU).....	281
100. <b>Rəsulov R.Z., Hüseynzadə A.E.</b> Patternlərə əsaslanan mürəkkəb maşınqayırma elementlərinin avtomatlaşdırılmış layihələndirilmə sistemi. (SDU) .....	284
101. <b>Jafarova Sh.M., Huseynova L.I., Kamalova G.S.</b> Development of an electronic information security model. (SDU) .....	288
102. <b>Alakbarli F.H., Giliyeva N.A., Askerova S.F.</b> Modeling systems with variable parameters in the tia environment. (SDU) .....	290
103. <b>Hüseynova Q.H.</b> Çevik istehsalat sahələrinin texniki nəzarət sahələrinin informasiya təminatı. (SDU) .....	293
104. <b>Hüseynova A.S.</b> Elektroenergetikada İoT texnologiyaları: Rəqəmsal enerji sistemlərinə doğru. (SDU) .....	295
105. <b>Ахундзаде Т.Р.</b> Определение и классификация в теории интеллектуализации информационных систем. (SDU) .....	296
106. <b>Əmiraslanov B.Q., Atakışiyev C.R., Yusifov E.A.</b> Neft sənayesi üçün blokçeyn texnologiyası əsasında rəqəmsal təhlükəsizlik modelinin analizi (SDU, UFAZ) .....	298
107. <b>Səlimova M.R.</b> Multiagent sistemlərin tətbiqi ilə texniki qərarların qəbul edilməsi (SDU).....	300
108. <b>Səlimova M.R.</b> Şəbəkələrdə informasiyanın axtarış agentlərinin təşkili üsulları (SDU) .....	302

**V BÖLMƏ**  
**YÜKSƏK ENERJİ FİZİKASI**

109. **İsmayilov R.M., İsmayılova X.İ.**  $(TlInTe_2)_{1-x}(TlYbTe_2)_x$  bərk məhlullarında geniş konsentrasiya intervalında termoeffektivlik. (SDU).....305
110. **Bayramov C.C., Mustafayeva Ü.M., Ötərhanova G.N.**  $TlIn_{1-x}Nd_xTe_2$  bərk məhlullarının kristal qəfəsdə sıxlığının lokal dəyişmələrinin istilik keçirməsinə təsiri. (SDU) .....306
111. **Abdullayeva S.C.** Böhran təzyiqindən yüksək təzyiqlərdə konvektiv istilik mübadiləsi. (SDU) .....309
112. **Kuanyshev A.N., Suleimenova R.T.** Sustainable EOR strategies for heavy oil: simulation-driven optimization in carbonate reservoir. (AOGU).....310
113. **Sabzalieva Ch. E., Mursakulov N.M., Abdulzade N.N.** Structural and optical properties of  $Cu(In,Ga)(Se,S)_2$  thin films obtained by sputtering from two magnetrons simultaneously. (ETN Fİ, RPİ).....313
114. **Novruzova H.İ., Əhmədov S.E.** Enerji obyektlərinin ifrat gərginliklərdən müasir mühafizə vasitələri ilə qorunmasının tədqiqi. (SDU) .....318
115. **Байрамов Д.Дж., Абдулова И.Н., Гулиева С.Ш.** Негатронные эффекты в твердых растворах  $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$ . (SDU).....320
116. **Xəlilova R.C.**  $TlInSe_2$  birləşməsində kimyəvi rəbitənin istidən genişlənməyə təsiri. (SDU) .....322
117. **Səlimova V.V., Sadıqova S.R., Şahsuvarova Q.Ə.**  $TlInS_2$  kristalının istidən genişlənməsi və izotermik sıxılması. (SDU).....324
118. **Nuriyeva S.Q., Məmmədova S.X.**  $CH_3NH_3SnI_2Cl$  Perovskit təbəqəsinin sintezi və optik xassələri. (BDU) .....326
119. **Xəlilova T.R., Hüseynova K.M., Sadıqova Sara., Şahsuvarova Qərənfil.** Mn dopinq olunmuş  $TlGaS_2$  kristalın optik xassələri. (SDU).....327
120. **Sərdarova N.S., Abdulova İ.N., İsgəndərova A.F., Qəfərova S.O.**  $A''B''C_2^{VI}$  tip kristalların və  $TlIn_{1-x}LnSe_2$  bərk məhlullarının enerji spektri. (SDU) .....330
121. **İsgəndərova A.F.**  $A^3B^3C_2^6$  tip kiistalların istilikkeçirməsində fononların səpilmə mexanizmi. (BDU)334
122. **Hüseynova S.İ., Hacıyeva F.V.** PVDF/CdS/ZnS əsaslı nanokompozitlərin quruluşunun tədqiqi. (BDU).....335
123. **Abdulova İ.N., Rzayeva A.S., Babayeva A.Ə., İbrahimova A.B., Quliyeva S.Ş.**  $TlIn_{1-x}Gd_xS_2$  bərk məhlulları sabit təzyiqdə və sabit həcmdə xüsusi istilik tutumların fərqi. (SDU).....337
124. **Bayramov J.J., Talıflı A.F., Abdulova I.N.** Influence of defects on thermal and elastic properties of solid solutions  $(TlInS_2)_{1-x}(TlGdS_2)_x$ . (SDU).....339
125. **Тагиев М.М., Абдуллаева И.А., Алиева Х.Ф., Абдинова Г.Д., Мамедзаде А.М., Пириева Т.И.** Теплопроводность экструдированных образцов твердых растворов  $Bi_{0,85}Sb_{0,15}$  с различными размерами зерен. (UNEC, Fİ, RPİ, Bİ).....341
126. **Qurbanova F.R.** Sublimasiya üsulu ilə  $SiO_2$  nanohissəciyinin alınması prosesinin kompüter modelləşdirilməsi. (BDU).....345
127. **Hüseynova J.C.** Polietilen və maqnetit nanohissəcikləri əsasında nanokompozitlərin istilik fiziki xassələrinin tədqiqi. (BDU) .....347
128. **Казимова А.Ф., Насиров В.И.** Получение, рентгенографические и ДТА исследования монокристалла  $K_{0,980}Na_{0,020}NO_3$ . (ADPU, HƏHİ) .....349
129. **Talıflı A.F., Aliguliyeva Kh.V.** Electronic Structure And Chemical Bonding of  $\alpha$ - $In_2Se_3$ . (SDU) .....352
130. **İbrahimova L.N., Hüseynəliyev M.H.** Trietanolamin komponentinin kimyəvi çökdürmə yolu ilə alınmış CdSe nazik təbəqəsinin optik xassələrinə təsiri. (NDU).....354
131. **Ağayeva F.Ş., Məmmədova R.C.** Kimyəvi sensorların analizi. (SDU) .....358
132. **Aliguliyeva Kh.V., Aleskerova D.M., Otarkhanova G.N., Harunov A.T., Rakhmetova M.T., Abykanova B.T., Aliyeva V.B.** Influence of  $BiSe_3Te_6$  semiconductor additive on the electrical and mechanical strength of Low-density polyethylene composites. (BDU, SDU) .....361

**VI BÖLMƏ**  
**ƏTRAF MÜHİTİN MÜHAFİZƏSİ VƏ ƏMƏYİN TƏHLÜKƏSİZLİYİ**

133. **Гулиева А. А., Рафиева Х.Л.** Исследование процесса очистки мышьяка из сульфатных технологических растворов бедных руд и отходов, и изучение его влияния на окружающую среду. (BDU) .....364
134. **Nəzərəliyev X.Q., Şahnəzərli R.Z., Əbdürəhmanova M., Fəttayeva C.İ.** Aşağı təzyiqliq polietileni nanodispers doldurucu və qoz qabığı kəpəyi əsasında kompozitlərin alınması və xassələrinin tədqiqi. (PMİ).....367
135. **Əliyeva A., Mahmudov E., Babayeva T., Qurbanov O.** “Gisela-6” calaqaqtisinin böyümə və nəsilvermə qabiliyyətinin artırılmasına təsir edən kəhrəba turşusu +  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  kompleks birləşmənin təbiiqi. (SDU, ADAU) .....368
136. **Ibrahimova N.E., Nazarova R.Z.** Modification of sodium alginate and its application fields. (BMU) .....372
137. **Guliyev A., Babayeva T., Abdullayeva M., Yelmarli T., Aliyeva A., Guliyev N.** Sustainable water management and environmental protection. (SDU, ADNSU).....374
138. **Məmmədov H.N., Valehov N.S., Valehova F.A.** Geoməkan və aerokosmik məlumatlar əsasında Şəki-Zaqatala zonasının dağ-meşə örtüyünün ekoloji monitorinqi. (MAA) .....379
139. **Əhmədova R.R., Seyidova G.M., Rüstəмова G.C., Nəsirova I.M.** İstilik elektrik stansiyalarının atmosferə təsiri . (SDU) .....383
140. **İdrisov T., Gurbanov M., Gulieva U., Orujova G.** Effect of UV irradiation on the concentration of hydrocarbons in oil fraction. (RPI) .....385
141. **Mammadova N., Gurbanov M., Gulieva U., Shafiyeva Sh.** Radiation-based treatment of synthetic surfactants in liquid waste from oil refineries. (RPI).....388
142. **Gurbanov M., Guliyeva U., Mirzazada E., Aliyeva S., Orujova G.** Infrared spectroscopic characterization of different plastic waste materials. (RPI) .....390
143. **Guliyev H., Mammadov M.** Application issues of green energy technologies for electric car charging devices. (ATU, MAA).....392
144. **Muradova Q.Ş.** İqlim dəyişikliyi və Azərbaycan strategiyası. (SDU) .....397
145. **Asifli M.R.** Ətraf mühitin mühafizəsi və əməyin təhlükəsizliyi. (NTM PHŞ).....398
146. **Ozan Akdağ.** Şəbəkələrin yeni analitik model ilə deprem gibi doğəl afetlere karşı gücləndirilməsi. (MTÖÜ) .....400
147. **Qurbanov Ə.X.** Azərbaycanda dayanıqlı nəqliyyat yanaşması: mühafizə və təhlükəsizliyin uğurlu birliyi. (MDU).....405
148. **Belli E.** Plastik kirliliği: küresel bir tehdit ve sürdürülebilir çözüm yolları. (AzTU) .....408
149. **Латинов С.С.** Развитие распределенной энергетики с целью увеличения энергетической безопасности (ОАО Азеришыг) .....409
150. **Əliyeva A., Seyidova G., Ələsgərova R.** Yaşıl hidrogen: enerji keçidinin açarı (SDU) .....412

**ONLAYN BÖLMƏ**

151. **İsgəndərova Ü.N., Quliyev M.B., Süleymanova L.E.** Naxçıvan Muxtar Respublikasında alternativ enerji mənbələrinin potensialı və inkişaf perspektivləri. (NDU) .....414
152. **Mehdiyeva N., İntiqamzadə V.** Yüksək gərginlikli dövrlərdə ferrozonans proseslərinin analizi. (QU, ADNSU).....416
153. **Rustamova Hasanli N.N.** Real-time image encryption framework using digital signature integration: an algorithm design and a C# implementation.(MAA) .....419
154. **Hasanli S.T.** Impact of foreign trade on the balance of payments of the Republic of Azerbaijan: current status and emerging patterns. (MAA).....421
155. **Исаева Т.М.** Об интеллектуальной системе измерения потерь активной мощности воздушной линии переменного тока. (ADNSU) .....423
156. **Bədəlov Ə.M., Hüseynli N.M., Səfərova C.Z.** Azərbaycanın dayanıqlı enerji sisteminin maliyyə təminatı. (LDU).....427
157. **Masimova A.İ., Surkhayli A.E., Shirinova H.A.** Spectroscopic ellipsometry study of light absorption of PVC+Si nanocomposites for renewable energy systems. (BDU) .....429
158. **Гасанов А.Р., Гасанов Р.А., Агаев Э.А., Ахмедов Р.А.** Акустооптическая линия задержки на основе дифракции Рамана-Ната. (MAA).....431

159. **Велиева Т.Д.** Исследование индуктивностей рассеяния и распределения магнитных потоков в двухобмоточных трансформаторах с произвольно расположенными обмотками. (ADNSU).....434
160. **Беляева З.А., Потапов А.А.** Цифровая фильтрация помех в измерительных системах энергетики. (ФГБОУ ВО «КГЭУ») .....438
161. **Qədirova A.V., Nuriyeva S.Q.** ZNO/ÇLKNB hibrid Nanomateriaların ÇLKNB-lərin kütlə faizindən asılı olaraq lüminessensiya spektrləri. (BDU).....440
162. **Gurbanov A.K., Seyidova E.Y., Salmanli N.Y.** Scientific characterization of the impact of hydroelectric development on the natural-geographical components of the Gilanchay basin. (NDU) .....442
163. **Хузяшев Р.Г., Минаев И.А., Сарычев Д.В.** Волновое определение места повреждения в разветвленных распределительных сетях. (КГЭУ).....446
164. **Onay M.** Yenilenebilir enerji alternatifini biyodizel üretiminde sıcaklık ve süre koşullarının performansına etkisi. (MTÖÜ).....448
165. **Samadova A., Najiyeva S., Mustafayev İ.** Investigation of the manganese element in natural water sources contaminated by wastewater from the mining industry. (BDU, RPI) .....451
166. **Ayşe Biçer.** Investigation of thermal and mechanical properties of concretes doped with expanded clay. (MTÖÜ) .....453
167. **Kabulov R.R., Akbarov F.A., Alimov A.A., Homidova N.R., Muminov Kh.A.** The current voltage characteristics of a cigs based solar cells with a thin layer of silver. (TDTU) .....461
168. **Зиангиров А.Ф.** Применение микропроцессорных средств и систем учета для диагностики аварийных режимов в электрических сетях 0,4 Кв. (ФГБОУ ВО «КГЭУ») ..464
169. **Ахмадуллин А.М., Мухаметджанов Р.Н.** Оценка устойчивости железобетонных опор воздушных линий электропередачи напряжением 35–220 Кв. (ФГБОУ ВО «КГЭУ»).....467
170. **Савельева Д.А., Воркунов О.В.** О применении устройств компенсации реактивной мощности в сетях низкого напряжения. (КГЭУ) .....469
171. **Яковлева Е.В.** Повышение качества электроэнергии в сетях 0,4 Кв с применением вольтодобавочных трансформаторов. (ФГБОУ ВО «КГЭУ»).....471
172. **Шакиров А.Ф., Маклецов А.М.** Интеллектуальное симметрирование электрических сетей 0,4 Кв. (ФГБОУ ВО «КГЭУ»).....472
173. **Анохин А.Е., Гарифуллин М.Ш.** Сравнение систем накопления электрической энергии (СНЭЭ). (ФГБОУ ВО «КГЭУ»).....474
174. **Ахмадуллин А.М., Мухаметджанов Р.Н.** Технологии управления спросом на электроэнергию, технологии для обеспечения электроснабжения удаленных и изолированных территорий. (ФГБОУ ВО «КГЭУ»).....476
175. **Хамидуллин А.Р., Януш О.Б.** Национальные водородные стратегии в сравнительной перспективе. (ФГБОУ ВО «КГЭУ»).....481
176. **Ахмадуллин А.М., Мухаметджанов Р.Н.** Энергосберегающие сервисы (включая сервисы у потребителя). (ФГБОУ ВО «КГЭУ») .....481
177. **Марданшин И.Р., Януш О.Б.** Политика энергоперехода в ЕС: приоритеты и общественное восприятие. (ФГБОУ ВО «КГЭУ») .....482
178. **Тимергалиева В.Р., Куракина О.Е.** Цифровой двойник как перспективный инструмент автоматизации бизнес-процессов в электроэнергетике. (ФГБОУ ВО «КГЭУ»).....484
179. **Узбеков И.Р., Воркунов О.В.** Управление качеством электрической энергии в России. Проблемы и решения. (ФГБОУ ВО «КГЭУ») .....486

## İXTİSARLAR

ADAU	Azərbaycan Dövlət Aqrar Universiteti
ADNSU	Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
AZMIU	Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti
AУЭК	Алматинский университет энергетики и коммуникаций
ADA	Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
AzTU	Azərbaycan Texniki Universiteti
AETLAEİ	Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış Energetika İnstitutu
AOGU	Atyrau Oil and Gas University
ADPU	Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
AZERCONNECT LLC	AZERCONNECT Limited Liability Company
AUES (G. Daukeev)	Almaty University of Energy and Communications named after Gumarbek Daukeev
BDU	Bakı Dövlət Universiteti
BTÜ	Bursa Teknik Üniversitesi
BMU	Bakı Mühəndislik Universiteti
Bİ	Biofizika institutu
ETN Fİ	Elm və Təhsil Nazirliyinin Fizika İnstitutu
QU	Qarabağ Universiteti
LDU	Lənkəran Dövlət Universiteti
MTÖÜ	Malatya Turqut Özal Üniversitesi
MDU	Mingəçevir Dövlət Universiteti
MAA	Milli Aviasiya Akademiyası
NKPİ	Y.H.Məmmədəliyev adına Neft- Kimya Prosesləri İnstitutu
NDU	Naxçıvan Dövlət Universiteti
NTM PHŞ	Nizami Tibb Mərkəzi Publik Hüquqi Şəxs
PMİ	Polimer Materiallar İnstitutu
SDU	Sumqayıt Dövlət Universiteti
HƏHİ	Heydər Əliyev adına Hərbi İnstitut
ТИAME	Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers
TDTU	İslom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
<b>RPI</b>	Radiasiya Problemləri İnstitutu
UNEC	Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti
ФГБОУ ВО «КГЭУ	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Казанский государственный энергетический университет