



SUMQAYIT DÖVLƏT UNIVERSİTETİ

СУМГАИТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

SUMGAIT STATE UNIVERSITY

# ELMİ XƏBƏRLƏR

## НАУЧНЫЕ ИЗВЕСТИЯ

### SCIENTIFIC NEWS

ISSN 1680 - 1245

Print

ISSN 2706 - 719X

Online

### TƏBİƏT VƏ TEXNİKİ ELMLƏR BÖLMƏSİ

СЕРИЯ: ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

SERIES FOR NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES



Cild  
Tom  
Volume

24 №3

Sumqayıt

2024

ISSN 2706-719X (Online)  
ISSN 1680-1245 (Print)



SUMQAYIT DÖVLƏT UNIVERSİTETİ  
СУМГАИТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SUMGAIT STATE UNIVERSITY

---

**ELMİ XƏBƏRLƏR**

---

**НАУЧНЫЕ ИЗВЕСТИЯ**

---

**SCIENTIFIC NEWS**

*Təbiət və texniki elmlər bölməsi*  
*Серия: Естественные и технические науки*  
*Series for Natural and Technical Sciences*

---

*Cild 24*

*2024*

*№ 3*

---

Sumqayıt – 2024

**Sumqayıt Dövlət Universiteti**  
**Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi**  
**REDAKSİYA HEYƏTİ**

**Baş redaktor** Rüfət Əzizov, *dos., rektor*  
**Baş redaktorun müavini** Elşad Abdullayev, *dos., Elm və innovasiyalar üzrə prorektor*  
**Məsul katib** Fikrət Feyziyev, *prof., kafedra müdiri*

**REDAKSİYA HEYƏTİNİN ÜZVLƏRİ**

**Fizika** Albert Qilmutdinov, *akad. (Rusiya)*, Seong-Cho Yu, *prof. (Cənubi Koreya)*,  
**Riyaziyyat** Süleyman Özçelik, *prof. (Türkiyə)*, Kazimir Yanuşkeviç, *prof. (Belarusiya)*,  
Kamil Sabitov, *prof. (Rusiya)*, Kamil Mənsimov, *prof. (Azərbaycan)*, Həmidulla  
Aslanov, *prof. (Azərbaycan)*, Məmməd Yaqubov, *prof. (Azərbaycan)*, Vaqif Salmanov,  
*prof. (Azərbaycan)*, Rəşid Əliyev, *r.e.d. (Azərbaycan)*, Tamella Əhmədova, *dos.*  
*(Azərbaycan)*, Zəfər Hüseynov, *dos. (Azərbaycan)*, Xalidə Həsənova, *dos. (Azərbaycan)*,  
Samir Orucov, *dos. (məsul redaktor, Azərbaycan)*, Gülnarə Quliyeva, *dos.*  
*(Azərbaycan)*, Xəyalə Seyfullayeva, *dos. (Azərbaycan)*, Vüsalə Babacanova, *dos.*  
*(Azərbaycan)*, Coşqun Bayramov, *dos. (Azərbaycan)*, Sevil Lətifova, *dos.*  
*(Azərbaycan)*

**Kimya elmləri** Ramil Baxtizin, *akad.(Rusiya)*, Vaqif Abbasov, *akad.(Azərbaycan)*, Dilqəm Tağıyev,  
*akad. (Azərbaycan)*, Məhəmməd Babanlı, *AMEA-nın müxbir üzvü, prof. (Azərbaycan)*,  
İsmayıl İsmayılov, *k.e.d. (Azərbaycan)*, Tatyana Prosoçkina, *prof. (Rusiya)*,  
Eldar Əhmədov, *prof. (Azərbaycan)*, Muxtar Səmədov, *prof. (Azərbaycan)*,  
Musa Mustafayev, *dos. (məsul redaktor, Azərbaycan)*, Vəliyəddin Əhmədov, *dos.*  
*(Azərbaycan)*, Mətləb Hətəmov, *dos. (Azərbaycan)*

**Biologiya elmləri** Elşad Qurbanov, *AMEA-nın müxbir üzvü, prof. (Azərbaycan)*, Pənah Muradov, *AMEA-*  
*nın müxbir üzvü, prof. (Azərbaycan)*, Vladimir Prokofyev, *prof. (Rusiya)*, Əli Əliyev, *prof.*  
*(Azərbaycan)*, Ulduz Həşimova, *prof. (Azərbaycan)*, Selia Bell, *dos.( İngiltərə)*,  
Arzu Baxşalıyev, *dos. (məsul redaktor, Azərbaycan)*.

**Coğrafiya elmləri** Vladimir Kozodyorov, *prof. (Rusiya)*, Anatoliy Yamaşkin, *prof. (Rusiya)*, Niyaz Valiyev,  
*prof. (Rusiya)*, Yaqub Qəribov, *prof. (Azərbaycan)*, Məhəmməd Abduev, *dos.*  
*(Azərbaycan)*, İlham Mərdanov, *dos. (Azərbaycan)*, Zoya Abdullayeva, *dos.*  
*(Azərbaycan)*

**Texnika elmləri** Telman Əliyev, *akad. (Azərbaycan)*, Ağası Məlikov, *AMEA-nın müxbir üzvü, prof.*  
*(Azərbaycan)*, Nail Kaşapov, *EA-nın müxbir-üzvü, prof. (Rusiya)*, Nikolay Korovkin, *prof.*  
*(Rusiya)*, Yevgeniy Moşev, *prof.(Rusiya)*, Aleksandr Qolenişev-Kutuzov, *prof.*  
*(Rusiya)*, Mixail Verxoturov, *prof. (Rusiya)*, Leonid Ponomarenko, *prof. (Ukrayna)*,  
Vladimir Qvozdev, *prof.(Rusiya)*, Aqil Hüseynov, *prof. (Azərbaycan)*, Cavanşir  
Məmmədov, *prof. (məsul redaktor, Azərbaycan)*, İqor Korshunov, *dos. (Rusiya)*, Georgios  
Dafoulas, *dos.(İngiltərə)*, Ulduz Ağayev, *dos. (Azərbaycan)*, Şəhla Hüseynzadə, *dos.*  
*(Azərbaycan)*, Turqay Hüseynov, *dos. (Azərbaycan)*

**Сумгаитский государственный университет**  
**Научные известия. Серия: Естественные и технические науки**  
**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

**Главный редактор** Руфат Азизов, *доц., ректор*  
**Зам. Главного редактора** Эльшад Абдуллаев, *доц., Проректор по науке и инновациям*  
**Ответственный секретарь** Фикрат Фейзиев, *проф., заведующая кафедрой*

**ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ**

**Физика** Альберт Гильмутдинов, *акад. (Россия)*, Сеонг-Чу Ю, *проф. (Южная Корея)*,  
**Математика** Сулейман Озчелик, *проф. (Турция)*, Казимир Янушкевич, *проф. (Белоруссия)*,  
Камиль Сабитов, *проф. (Россия)*, Камиль Мансимов, *проф. (Азербайджан)*,  
Гамидулла Асланов, *проф. (Азербайджан)*, Мамед Ягубов, *проф. (Азербайджан)*,  
Вагиф Салманов, *проф. (Азербайджан)*, Рашид Алиев, *к.м.н. (Азербайджан)*,  
Тамелла Ахмедова, *доц. (Азербайджан)*, Зафар Гусейнов, *доц. (Азербайджан)*,  
Халида Гасанова, *доц. (Азербайджан)*, Самир Оруджев, *доц. (отв. ред.,*  
*Азербайджан)*, Гюльнара Кулиева, *доц. (Азербайджан)*, Хаяля Сейфуллаева,  
*доц. (Азербайджан)*, Вюсалия Бабаджанова, *доц. (Азербайджан)*, Джошгун  
Байрамов, *доц. (Азербайджан)*, Севиль Латифова, *доц. (Азербайджан)*

**Химия.** Рамиль Бахтизин, *акад. (Россия)*, Вагиф Аббасов, *акад. (Азербайджан)*,  
Дильгам Тагиев, *акад. (Азербайджан)*, Махаммад Бабанлы, *член-корр.НАНА, проф.*

<b>Биология</b>	(Азербайджан), <b>Исмаил Исмаилов</b> , д.н.х. (Азербайджан), <b>Татьяна Просочкина</b> , проф. (Россия), <b>Эльдар Ахмедов</b> , проф. (Азербайджан), <b>Мухтар Самедов</b> , проф. (Азербайджан), <b>Муса Мустафаев</b> , доц. (отв. ред., Азербайджан), <b>Валияддин Ахмедов</b> , доц. (Азербайджан), <b>Матлаб Гатамов</b> , доц. (Азербайджан) <b>Эльшад Гурбанов</b> , член-корр. НАНА, проф. (Азербайджан), <b>Панех Мурадов</b> , член-корр. НАНА, проф. (Азербайджан), <b>Владимир Прокофьев</b> , проф. (Россия), <b>Али Алиев</b> , проф. (Азербайджан), <b>Улдуз Гашимова</b> , проф. (Азербайджан), <b>Селиа Белл</b> , доц., (Англия), <b>Арзу Бахшалиев</b> , доц. (отв. ред., Азербайджан).
<b>География</b>	<b>Владимир Козодёров</b> , проф. (Россия), <b>Анатолий Ямашкин</b> , проф. (Россия), <b>Нияз Валиев</b> , проф. (Россия), <b>Ягуб Гарибов</b> , проф. (Азербайджан), <b>Магомед Абдуев</b> , доц. (Азербайджан), <b>Ильхам Марданов</b> , доц. (Азербайджан), <b>Зоя Абдуллаева</b> , доц. (Азербайджан)
<b>Технические науки</b>	<b>Тельман Алиев</b> , акад. (Азербайджан), <b>Агаси Меликов</b> , член-корр. НАНА, проф. (Азербайджан), <b>Наиль Кашапов</b> , проф. (Россия), <b>Николай Коровкин</b> , проф. (Россия), <b>Евгений Мошев</b> , проф. (Россия), <b>Александр Голенищев-Кутузов</b> , проф. (Россия), <b>Михаил Верхотуров</b> , проф. (Россия), <b>Леонид Понаморенко</b> , проф. (Украина), <b>Владимир Гвоздев</b> , проф. (Россия), <b>Агиль Гусейнов</b> , проф. (Азербайджан), <b>Махаммад Ахмедов</b> , проф. (Азербайджан), <b>Джаваншир Мамедов</b> , проф. (отв. ред., Азербайджан), <b>Игорь Коршунов</b> , доц. (Россия), <b>Георгиус Дафоулас</b> , доц. (Англия), <b>Улдуз Агаев</b> , доц. (Азербайджан), <b>Шахла Гусейнзаде</b> , доц. (Азербайджан), <b>Тургай Гусейнов</b> , доц. (Азербайджан)

**Sumgayit State University**  
**Scientific News. Series for Natural and Technical Sciences**  
**EDITORIAL STAFF**

<b>Editor in Chief</b>	<b>Rufat Azizov</b> , <i>ass.prof., rector</i>
<b>Deputy of Editor in Chief</b>	<b>Elshad Abdullayev</b> , <i>ass.prof., Vice-Rector for Science and Innovations</i>
<b>Executive Secretary</b>	<b>Fikrat Feyziyev</b> , <i>prof., Head of the Department</i>

**MEMBERS OF EDITORIAL STAFF**

<b>Physics</b>	<b>Albert Gilmutdinov</b> , <i>acad. (Russia)</i> , <b>Seong-Cho Yu</b> , <i>prof. (South Korea)</i> , <b>Suleyman Ozchelik</b> , <i>prof. (Turkey)</i> , <b>Kazimir Yanushkevich</b> , <i>prof. (Belarus)</i> , <b>Kamil Sabitov</b> , <i>prof. (Russia)</i> , <b>Kamil Mansimov</b> , <i>prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Hamidulla Aslanov</b> , <i>prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Mammad Yagubov</b> , <i>prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Vagif Salmanov</b> , <i>prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Rashid Aliyev</b> , <i>ass.prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Tamella Ahmadova</b> , <i>ass.prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Zafar Huseynov</b> , <i>ass.prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Khalida Hasanova</b> , <i>ass.prof. (Azerbaijan)</i> , <i>(отв. ред., Азербайджан)</i> , <b>Samir Orujov</b> , <i>ass.prof. (executive editor, Azerbaijan)</i> , <b>Gulnara Guliyeva</b> , <i>ass.prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Khayala Seyfullayeva</b> , <i>ass.prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Vusala Babajanova</b> , <i>ass.prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Joshgun Bayramov</b> , <i>ass.prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Sevil Latifova</b> , <i>ass.prof. (Azerbaijan)</i>
<b>Mathematics</b>	
<b>Chemical sciences</b>	<b>Ramil Bakhtizin</b> , <i>acad. (Russia)</i> , <b>Vagif Abbasov</b> , <i>acad. (Azerbaijan)</i> , <b>Dilgham Taghiyev</b> , <i>acad. (Azerbaijan)</i> , <b>Mahammad Babanli</b> , <i>prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Ismayil Ismayilov</b> , <i>doc. of sciences (Azerbaijan)</i> , <b>Tatyana Prosochkina</b> , <i>prof. (Russia)</i> , <b>Eldar Ahmadov</b> , <i>prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Mukhtar Samadov</b> , <i>prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Musa Mustafayev</b> , <i>ass.prof. (executive editor, Azerbaijan)</i> , <b>Valiyaddin Akhmadov</b> , <i>ass.prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Matlab Hatamov</b> , <i>ass.prof. (Azerbaijan)</i>
<b>Biological sciences</b>	<b>Elshad Qurbanov</b> , <i>prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Panah Muradov</b> , <i>prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Vladimir Prokofyev</b> , <i>prof. (Russia)</i> , <b>Ali Aliyev</b> , <i>prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Ulduz Hashimova</b> , <i>prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Selia Bell</b> , <i>ass.prof. (England)</i> , <b>Arzu Baxshaliyev</b> , <i>ass.prof. (executive editor, Azerbaijan)</i> .
<b>Geographical sciences</b>	<b>Vladimir Kozodyorov</b> , <i>prof. (Russia)</i> , <b>Anatoliy Yamashkin</b> , <i>prof. (Russia)</i> , <b>Niyaz Valiyev</b> <i>prof. (Russia)</i> , <b>Yagub Garibov</b> , <i>prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Mahammad Abduev</b> , <i>ass.prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Ilham Mardanov</b> , <i>ass.prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Zoya Abdullayeva</b> , <i>ass.prof. (Azerbaijan)</i>
<b>Technical sciences</b>	<b>Telman Aliyev</b> , <i>acad. (Azerbaijan)</i> , <b>Aghasi Malikov</b> , <i>prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Nail Kashapov</b> , <i>prof. (Russia)</i> , <b>Nikolay Korovkin</b> , <i>prof. (Russia)</i> , <b>Yevgeniy Moshev</b> , <i>prof. (Russia)</i> , <b>Aleksandr Golenishev-Kutuzov</b> , <i>prof. (Russia)</i> , <b>Mixail Verxoturov</b> , <i>prof. (Russia)</i> , <b>Leonid Ponomarenko</b> , <i>prof. (Ukraine)</i> , <b>Vladimir Gvozdev</b> , <i>prof. (Russia)</i> , <b>Agil Huseynov</b> , <i>prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Mahammad Ahmadov</b> , <i>prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Javanshir Mammadov</b> , <i>prof. (executive editor, Azerbaijan)</i> , <b>Igor Korshunov</b> , <i>ass.prof. (Russia)</i> , <b>Georgios Dafoulas</b> , <i>ass.prof. (England)</i> , <b>Ulduz Aghayev</b> , <i>ass.prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Shahla Huseynzadeh</b> , <i>ass.prof. (Azerbaijan)</i> , <b>Turgay Huseynov</b> , <i>ass.prof. (Azerbaijan)</i>

**Təsisçi: Sumqayıt Dövlət Universiteti**

“Elmi Xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi” jurnalı Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirinin 27.10.2000-ci il tarixli, 991 sayılı əmrinə əsasən nəşr edilir.

Azərbaycan Respublikası Ədliyyə Nazirliyi tərəfindən qeydiyyatdan alınmışdır.

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının qərarı ilə elmi nəşrlər siyahısına daxil edilmişdir.

Jurnal Rusiya Elmi İstinad İndeksində (REİİ) daxil edilmişdir (müqavilə № 408-10/2019)

[https://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=73721](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=73721)

Məqalələrin tərtibatı qaydaları ilə jurnalın rəsmi saytında <https://www.ssu-scientificnews.edu.az/az> tanış olmaq olar.

**Учредитель: Сумгаитский государственный университет**

Журнал «Научные Известия. Серия: Естественные и технические науки» издается на основании приказа № 991 Министра Образования Азербайджанской Республики от 27.10.2000-го года.

Зарегистрирован Министерством Юстиции Азербайджанской Республики.

Включен в список научных изданий Высшей Аттестационной Комиссии при Президенте Азербайджанской Республики.

Журнал включен в Российский Индекс Научного Цитирования (РИНЦ. Договор № 408-10/2019)

[https://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=73721](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=73721)

С правилами оформления статей можно ознакомиться на официальном сайте журнала

<https://www.ssu-scientificnews.edu.az/az>

**Founder: Sumgayit State University**

The Journal of "Scientific News. Series for Natural and Technical Sciences" is published due to the order № 991 of the Minister of Education of the Republic of Azerbaijan from 27.10.2000.

It has been registered by the Ministry of Justice of the Republic of Azerbaijan.

It has been included to the list of scientific publications of the Supreme Attestation Commission under President of the Republic of Azerbaijan

The journal is included in the Russian Scientific Citation Index (RSCI. Contract № 408-10/2019)

[https://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=73721](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=73721)

The rules for the design of articles can be found on the official website of the journal

<https://www.ssu-scientificnews.edu.az/az>

UOT 647.32.19

DOI 10.54758/16801245\_2024\_24\_3\_4

## MORRİ TIPLİ FƏZALARDA LAPLAS-BESSEL DİFERENSİAL OPERATORU İLƏ ASSOSİRƏ OLUNMUŞ SİNGULYAR İNTEQRAL OPERATORLARIN MƏHDUDLUĞU

<sup>1</sup>ABDULLAYEV SADIQ KƏRİM oğlu  
<sup>2</sup>AĞARZAYEV BƏHRUZ KƏRİMBALA oğlu  
<sup>3</sup>ABDULLAYEVA AYNUR RAMİZ qızı

*Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan, 1-professor*  
*Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası, Bakı, Azərbaycan, 2-dosent, 3-baş müəllim*  
[Atletiko76@mail.ru](mailto:Atletiko76@mail.ru)

**Açar sözlər:** *sinqulyar inteqral operatorlar, maksimal funksiyalar, Laplas-Bessel operatoru, subadditiv*

**Giriş.**  $\Omega_p$  tipli xarakteristikalar terminlərində inteqral operatorların öyrənilməsi [1],[2] işlərində başlanılmışdır. Bu tədqiqatlarda müəyyən sinifdən olan operatorların proobrazları üçün qiymətləndirmələr almaqdan ibarətdir. Artıq bu nəticələr tamamilə yeni teoremləri isbat etməyə imkan yaradır.

Təqdim olunan işdə Furye-Bessel harmonik analizində mövcud strukturlar üçün analoji araşdırmalar aparılır.

Burada əsas güclü işçi aparatlar təbii ki, SİO-lar, maksimal funksiyalar, Riss potensialı və digərləridir. Məqalədə xüsusi  $T_{\gamma_{n,k}}^y$  sürüşməyə baxılır [3].

$\Delta_{B_{m+k,k}} u(x) = f(x)$  tənliyinin həlli  $I_B^\alpha(f)$  -in qiymətləndirilməsinə gətirilir [4], bununla əlaqədar  $L_{p,\gamma_{m+k,k}}$  fəzaları daxil edilir.

### İlkin anlayışlar və bir sıra işarələmələr

Fərz edək ki,  $R^l$  -  $l$  ölçülü Evklid fəzasıdır və  $m, k \geq 0$ , tam ədədlərdir.  $n = m + k \geq 1$ ,  $R_{m+k,k}^+ = \{(x_1, \dots, x_{m+k}) \in R^{m+k} : x_{m+i} > 0, i = 1, \dots, k\}$ ,  $R_{m+0,0}^+ \equiv R^m$ .

$$- T_{\gamma_{n,k}}^y(u(x)) = c_v \int_0^\pi \dots \int_0^\pi u(x' - y', (x_{m+1}, y_{m+1})_{\alpha_1}, \dots, (x_{m+k}, y_{m+k})_{\alpha_k}) \prod_{i=1}^{m+k} \sin^{\gamma_{m+i}-1} \alpha_i d\alpha_i$$

Laplas-Bessel operatorunun doğurduğu ümumiləşmiş sürüşmə olur.

$$\Delta_{B_{m+k,k}}(x) = \sum_{j=1}^m \frac{\partial^2}{\partial x_j^2} + \sum_{j=m+1}^{m+k} \left( \frac{\partial^2}{\partial x_j^2} + \frac{\gamma_j}{x_j} \frac{\partial}{\partial x_j} \right), \quad x \in R_{m+k,k}^+, \quad \gamma_{m+1} > 0, \dots, \gamma_{m+k} > 0, \quad x', y' \in R^m,$$

$x = (x', x_{m+1}, \dots, x_{m+k})$ ,  $y = (y', y_{m+1}, \dots, y_{m+k})$ ,  $(x_{m+i}, y_{m+i})_{\alpha_i} = \sqrt{x_{m+i}^2 - 2x_{m+i}y_{m+i} \cos \alpha_i + y_{m+i}^2}$   
 $i = 1, \dots, k$ ,  $c_v$  - normallaşdırıcı vuruqdur.

Gələcəkdə qəbul edəcəyik ki, əgər  $y \in R_{m+k,k}^+$  olarsa, onda:

$$\gamma_{n,k} = (0, \dots, 0, \gamma_{m+1}, \dots, \gamma_{m+k}) \in R_{m+k,k}^+, \quad |\gamma_{n,k}| = \sum_{i=1}^k \gamma_{m+i},$$

$$y^{\gamma_{n,k}} = \prod_{i=1}^{m+k} y_i^{\gamma_i} = y_{m+1}^{\gamma_{m+1}} \dots y_{m+k}^{\gamma_{m+k}}, \quad d\mu_{n,k}(y) = y^{\gamma_{n,k}} dy.$$

$\gamma_{n,k}$  simvolunda  $n$  ədədi vektorun dərəcəsinə,  $k$  isə müsbət koordinatların sayını ifadə edir. Belə ki, əgər  $k = 0$  isə, onda  $\gamma_{n,k} = (0, \dots, 0) \in \mathbb{R}^m$ ,  $T_{\gamma_{n,k}}^y f(x) = f(y-x)$  adi sürüşmədir və  $d\mu_{n,k}(y) = dy$ .

$G \subseteq \mathbb{R}_{n,k}^+$  ölçülən çoxluq və  $p \geq 1$  ödəndikdə

$$L_{p,\gamma_{n,k}}(G) = \left[ f - u\mathcal{M} : \|\mathbb{K}(f) : L_{p,\gamma_{n,k}}(G)\| = \left( \int_G |f(y)|^p d\mu_{\gamma_{n,k}}(y) \right)^{1/p} < +\infty \right] -$$

verilən sinifdə  $p$  tərtibdən cəmlənən funksiyalar fəzası olur.

Gələcəkdə asan isbat edilə biləcək  $T^y = T_{\mu_{n,k}}^y$  xassəsindən istifadə edəcəyik.

$T_{\mu_{n,k}}^y$  öz-özünə qoşmadır

$$\int_{\mathbb{R}_{m+k,k}^+} v(s) T_{\gamma_{n,k}}^s u(x) d\mu_{\gamma_{n,k}}(s) = \int_{\mathbb{R}_{m+k,k}^+} u(s) T_{\gamma_{n,k}}^s v(x) d\mu_{\gamma_{n,k}}(s),$$

**Əsas hissə.**  $A$ -nın təyin oblastından götürülmüş  $f$  və  $g$  funksiyaları, həmçinin  $\forall \lambda, \mu > 0$  ədədləri üçün

$$|A(\lambda f + \mu g)(x)| \leq \lambda |A(f)(x)| + \mu |A(g)(x)|$$

bərabərsizliyi ödənərsə, ona subbadditiv operator deyilir.

**Tərif 1.** Tutaq ki,  $1 \leq p < +\infty$ . Əgər  $A : L_{p,\gamma_{n,k}}(\mathbb{R}_{n,k}^+) \rightarrow L_{q,\gamma_{n,k}}(\mathbb{R}_{n,k}^+)$  məhduddursa və ixtiyari  $u \in L_{p,\gamma_{n,k}}(\mathbb{R}_{n,k}^+)$  kompakt daşıyıcısı üçün

$$|Au(x)| \leq c \int_{\mathbb{R}_{m+k,k}^+} |y|^{-\beta} T_{\gamma_{n,k}}^y |u(x)| d\mu_{\gamma_{n,k}}(y), \quad x \notin \text{sup } pu, T_{\gamma_{n,k}}^y$$

doğru olarsa, harda ki,  $\beta = m+k + |\gamma_{n,k}|$  və  $C$   $u$ -dan asılı deyil, onda deyirlər ki,  $A$  operatoru  $K_{p,\gamma_{n,k}}$  sinfinə aiddir. Aşağıdakı hallara baxaq:

1. ÜSO  $T_{\gamma_{n,k}}^y$  - doğurduğu sinqulyar inteqral

$$Su(x) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_{\{s \in \mathbb{R}_{m+k,k}^+ : |s| > \varepsilon\}} \frac{f(\theta)}{|s|^{m+k+|\gamma_{n,k}|}} [T^s u(x)] \cdot s_{m+1}^{\gamma_{m+1}} \dots s_{m+k}^{\gamma_{m+k}} ds,$$

belə ki,  $\theta = s/|s|$ ,  $\varepsilon > 0$ ,  $|\gamma_{n,k}| = \gamma_{m+1} + \dots + \gamma_{m+k}$  və  $f(\theta)$  məhduddur.

2.  $B_{\gamma_{n,k}}$  - Puasson inteqralı:

$$(U_{\gamma_{n,k}} f)(x) \stackrel{df}{=} \sup_{t>0} (U_{\gamma_{n,k}} f)(x, t),$$

$$(U_{\gamma_{n,k}} f)(x, t) = a_v \int_{\mathbb{R}_{m+k,k}^+} t (t^2 + |y|^2)^{-\frac{m+k+1+|\gamma_{n,k}|}{2}} f(y) d\mu_{\gamma_{n,k}}(s);$$

3.  $B_{\gamma_{n,k}}$  - maksimal funksiyadır:

$$M_{\gamma_{n,k}} f(x) = \sup_{r>0} |B(0, r)|_{\gamma_{n,k}}^{-1} \int_{B(0,r)} T_{\gamma_{n,k}}^y |f(x)| d\mu_{\gamma_{n,k}}(y),$$

$$B(0, r) = \{y \in R_{m+k,k}^+ : |y| < \varepsilon\}, \quad |B(0, r)|_{\gamma_{n,k}} = \int_{B(0,r)} d\mu_{\gamma_{n,k}}(y);$$

Asanlıqla isbat olunur ki, bu nümunələrin hamısı  $K_{p,\gamma_{n,k}}$  sinfinə daxildir [5].

Bundan sonra  $C$  -ni müxtəlif bərabərsizliklərdə fərqli müsbət ədəd kimi götürəcəyik.

İstənilən  $\xi > 0$  üçün  $L_{p,\gamma_{n,k}}(\{x \in R_{m+k,k}^+ : |x| \geq \xi\})$ -ə daxil olan  $R_{m+k,k}^+$ -da ölçülən funksiyalar küllüsünü  $A_{p,\gamma_{n,k}}$  ilə işarə edəcəyik.

$$\alpha_{p,\gamma_{n,k}} = (n + |\gamma_{n,k}|) / p', \quad p' = p / (p - 1).$$

$u \in A_{p,\gamma_{n,k}}$  üçün aşağıdakı xarakteristikani

$$\Omega_{p,\mu_{n,k}}(u, \xi) = \left\{ \int_{\{x \in R_{m+k,k}^+ : |x| \geq \xi\}} |u(x)|^p d\mu_{\gamma_{n,k}}(x) \right\}^{1/p}, \quad \xi > 0,$$

və

$$J_{p,\mu_{n,k}} = \left\{ u \in A_{p,\gamma_{n,k}} : \int_0^\xi t^{\alpha_{p,\gamma_{n,k}}-1} \Omega_{p,\mu_{n,k}}(u, t) dt < +\infty, \quad \forall \xi > 0 \right\}.$$

çoxlughunu daxil edək. Tərifə görə kafi qədər kiçik  $\varepsilon > 0$  və sanki bütün  $t \in (0, \varepsilon)$ -lər üçün mənfi olmayan  $\varphi(t)$ ,  $0 < t < \infty$  funksiyası  $N$  sinfinə daxildir.

Fərz edək ki,  $1 \leq p < \infty$   $\varphi \in N$ -ə görə  $B$  – fəzalarını təyin edək.

$$I_{p,\infty}(\phi) = \left\{ u - \text{изм.}: \quad \|u : I_{p,\infty}(\phi)\| \stackrel{\text{df}}{=} \sup_{\xi > 0} \Omega_{p,\gamma_{n,k}}(u, \xi) \phi(\xi) < \infty \right\},$$

$$\overset{\circ}{I}_{p,\infty}(\phi) = \left\{ u \in I_{p,\infty,i}(\phi) : \quad \Omega_{p,\gamma_{n,k}}(u, \xi) \phi(\xi) \rightarrow 0 \right\}_{\xi \rightarrow 0}.$$

İşin əsas nəticələri aşağıdakı teoremlərdə öz əksini tapmışdır.

**Teorem 1.** Tutaq ki,  $p > 1$ ,  $A \in K_{p,\gamma_{n,k}}$  və  $u \in J_{p,\mu_{n,k}}$ . Onda, demək olar ki, əksər  $x \in R_{m+k,k}^+$ -lar üçün  $v(x) = A(u)(x)$  var və belə bir qiymətləndirmə doğrudur:

$$\Omega_{p,\gamma_{n,k}}(v, \xi) \leq C \xi^{-\alpha_{p,\gamma_{n,k}}} \int_0^\xi t^{\alpha_{p,\gamma_{n,k}}-1} \Omega_{p,\gamma_{n,k}}(u, t) dt, \quad \xi > 0, (\Omega)$$

harda ki,  $C$  sabiti  $u$ , eləcədə  $\xi$ -dən asılı deyil.

**İsbatı.**  $\xi > 0$  olsun. Hesab edək ki,

$$u_\xi(y) \equiv \chi_{[0,\xi]}(|y|) |u(y)|, \quad y \in R_{n,k}^+, \quad ;$$

$$I_\beta(u, \xi)(x) = (|x| + \xi)^{-\beta} \int_{\{R_{m+k,k}^+ : |y| \leq \xi\}} u(y) d\mu_{n,k}(y), \quad x \in R_{n,k}^+.$$

İxtiyari qeyd olunmuş  $\xi \in (0, \infty)$  götürək və  $u(y)$  funksiyasını cəm şəklində göstərək,  $u = u_\xi(y) + \bar{u}_\xi(y)$ ,  $\bar{u}_\xi(y) = u(y) - u_\xi(y)$ . Aydındır ki,  $\bar{u}_\xi(y) = \chi_{[\xi, +\infty)}(|y|) |u(y)|$ . Onda  $\bar{u}_\xi(y) \in L_{p,\nu}(R_{m+k,k}^+)$ ,  $A\bar{u}_\xi(x)$  s.b.  $x \in R_{m+k,k}^+$ -lər üçün mövcuddur. İndi isə sübut edək ki,  $Au_\xi(x)$  bütün  $x \in \{R_{m+k,k}^+ : |x| > \xi\}$  qiymətlərində yığılandır.



Qeyd edək ki,  $\beta > 0$ , isə, onda  $T^y(|x|^{-\beta}) \leq c|x-y|^{-\beta}$  və bundan əlavə  $x \in \{R_{m+k,k}^+ : |x| > \xi\}$ ,  $|y| \leq \frac{\xi}{2}$ , bu zaman  $c(|x| + \xi)^{-\beta} \leq |x-y|^{-\beta} \leq c_1(|x| + \xi)^{-\beta}$  ödənilir.

$T^y$  operatorunun öz-özünə qoşmalığını, birdə  $A \in K_{p,\gamma_{n,k}}$  şərtini nəzərə alsaq

$$\begin{aligned} |A(u_\xi(x))| &\leq \int_{R_{m+k,k}^+} |y|^{-\beta} T_{\mu_{\gamma_{n,k}}}^y(|u_\xi(x)|) d\mu_{\gamma_{n,k}}(y) = \int_{R_{m+k,k}^+} |u_{\xi,s}(y)| T_{\mu_{\gamma_{n,k}}}^y(|x|^{-\beta}) d\mu_{\gamma_{n,k}}(y) \leq \\ &\leq c \int_{R_{m+k,k}^+} |u_\xi(y)| |x-y|^{-\beta} d\mu_{\gamma_{n,k}}(y) \leq cI_{\beta,s}(u, \xi)(x) < +\infty \end{aligned}$$

olduğunu görürük.

İndi isə  $(\Omega)$  qiymətləndirməsini isbat edək.  $\xi > 0$  görə

$$\begin{aligned} \Omega_{p,\mu_{n,k}}(u, \xi) &\leq \left\{ \int_{\{x \in R_{m+k,k}^+ : |x| \geq \xi\}} |A(u_{\xi/2}(x))|^p d\mu_{\gamma_{n,k}}(x) \right\}^{1/p} + \\ &+ \left\{ \int_{\{x \in R_{m+k,k}^+ : |x| \geq \xi\}} |A(\bar{u}_{\xi/2}(x))|^p d\mu_{\gamma_{n,k}}(x) \right\}^{1/p} = i_1 + i_2 \end{aligned}$$

$A \in K_{p,\gamma_{n,k}}$  münasibətindən tapırıq ki,

$$\begin{aligned} i_2 &= \left\{ \int_{\{x \in R_{m+k,k}^+ : |x| \geq \xi\}} |A(\bar{u}_{\xi/2}(x))|^p d\mu_{\gamma_{n,k}}(x) \right\}^{1/p} \leq \\ &\leq c \left\{ \int_{\{x \in R_{m+k,k}^+ : |x| \geq \xi\}} |\bar{u}_{\xi/2}(x)|^p d\mu_{\gamma_{n,k}}(x) \right\}^{1/p} \leq c\Omega_{p,\mu_{n,k}}(u, \xi/2) \leq \\ &\leq c\xi^{-\alpha_{p,\gamma_{n,k}}} \int_0^\xi t^{\alpha_{p,\gamma_{n,k}}-1} \Omega_{p,\gamma_{n,k}}(u, t) dt. \end{aligned}$$

$|Au_{\xi/2}(x)| \leq cI_\beta(u, \xi/2)(x)$  bərabərsizliyindən

$$\begin{aligned} i_1 &= \left\{ \int_{\{x \in R_{m+k,k}^+ : |x| \geq \xi\}} |A(\bar{u}_{\xi/2}(x))|^p d\mu_{\gamma_{n,k}}(x) \right\}^{1/p} \leq \\ &\leq c \left\{ \int_{\{x \in R_{m+k,k}^+ : |x| \geq \xi\}} |I_\beta(u, \xi/2)(x)|^p d\mu_{\gamma_{n,k}}(x) \right\}^{1/p} \leq cAB, \end{aligned}$$

burada

$$\begin{aligned} A &= \int_{\{R_{m+k,k}^+ : |y| \leq \xi\}} |u(y)| d\mu_{n,k}(y), \\ B &= \left\{ \int_{\{x \in R_{m+k,k}^+ : |x| \geq \xi\}} (|x| + \xi)^{-\beta p} d\mu_{\gamma_{n,k}}(x) \right\}^{1/p}. \end{aligned}$$

$A$  və  $B$  üçün uyğun münasibətləri yazaq.

Tutaq ki,  $S_{n,k}^+ = \{x \in R_{n,k}^+ : |x| = 1\}$   $R_{n,k}^+$ -da vahid kürə səthidir. Sferik koordinatlara keçsək  $y \rightarrow (r, \theta)$ ,  $\theta \in S_{n,k}^+$ ,  $r \geq 0$ , alarıq ki

$$d\mu_{n,k}(y) = y^{\gamma_{n,k}} dy = \left( \frac{y}{|y|} \right)^{\gamma_{n,k}} dy = \theta^{\gamma_{n,k}} r^{n-1+\gamma_{n,k}} |dr d\sigma(\theta)|,$$

$d\sigma(\theta)$  elementi  $S_{n,k}^+$  -nin sahəsidir.

$$\begin{aligned}
 \int_{\{R_{m+k,k}^+ | y| \leq \xi\}} |u(y)| d\mu_{n,k}(y) &= \int_{S_{n,k}^+} \theta^{\gamma_{n,k}} d\sigma(\theta) \int_0^\xi |u(r\theta)| r^{m+k+|\gamma_{n,k}|-1} dr = \\
 &= c \int_{\Omega_s} d\theta_{s,m_s} \int_0^\xi u(r\theta) r^{m+k+|\gamma_{n,k}|-1} \left( r^{-(\alpha+1)} \int_0^r t^\alpha dt \right) dr = \\
 &= c \int_0^\xi t^\alpha \left( \int_{S_{n,k}^+} \theta^{\gamma_{n,k}} d\sigma(\theta) \left[ \int_t^\xi u(r\theta) r^{(m+k+|\gamma_{n,k}|-1)/p} \frac{dr}{r^{\alpha+1-(m+k+|\gamma_{n,k}|-1)/p'}} \right] \right) dt \leq \\
 &\leq c \int_0^\xi t^\alpha \left[ \int_t^\xi \frac{dr}{r^{(\alpha+1)p'-(m+k+|\gamma_{n,k}|-1)}} \right]^{1/p'} \left( \int_{S_{n,k}^+} \theta^{\gamma_{n,k}} d\sigma(\theta) \left[ \int_t^\xi u^p(r\theta) r^{(m+k+|\gamma_{n,k}|-1)} dr \right]^{1/p} \right) dt \leq \\
 &\leq c \int_0^\xi t^\alpha \frac{dt}{t^{(\alpha+1)-(m+k+|\gamma_{n,k}|-1)/p'}} \left( \int_{S_{n,k}^+} \theta^{\gamma_{n,k}} d\sigma(\theta) \left[ \int_t^\xi u^p(r\theta) r^{(m+k+|\gamma_{n,k}|-1)} dr \right] \right)^{1/p} \left( \int_{S_{n,k}^+} \theta^{\gamma_{n,k}} d\sigma(\theta) \right)^{1/p'} dt \leq \\
 &\leq c \int_0^\xi t^{(m+k+|\gamma_{n,k}|-1)/p'-1} \Omega_{p,\gamma_{n,k}}(u,t) dt.
 \end{aligned}$$

Analoji mühakimələrlə

$$\begin{aligned}
 B &\leq c \left( \int_{R_{m+k,k}^+} \frac{d\mu_{n,k}(x)}{(|x|+\xi)^{\beta q}} \right)^{1/q} = \left( \int_{S_{n,k}^+} \theta^{\gamma_{n,k}} d\sigma(\theta) \int_0^\infty \frac{r^{m+k+|\gamma_{n,k}|-1} dr}{(r+\xi)^{\beta q}} \right)^{1/q} \leq \\
 &\leq c \left( \int_0^\infty \frac{r^{m+k+|\gamma_{n,k}|-1} dr}{(r+\xi)^{\beta q}} \right)^{1/q} \leq c \xi^{(m+k+|\gamma_{n,k}|-\beta q)/q} = c \xi^{-\alpha_{p,m+k}}
 \end{aligned}$$

göstəririk:

$$i_1 \leq c \xi^{-\alpha_{p,\gamma_{n,k}}} \int_0^\xi t^{\alpha_{p,\gamma_{n,k}}-1} \Omega_{p,\gamma_{n,k}}(u,t) dt$$

Bununla isbat tamamlandı.

**Nəticə. Teorem 2.** Fərz edək ki,  $1 < p < \infty$ ,  $A \in K_{p,\gamma_{n,k}}$ ,  $\varphi \in N$  və  $\int_0^\xi \varphi^{-1}(t) t^{\alpha_{p,\gamma_{n,k}}-1} dt$

inteqralı yığılandır. Bu zaman  $A$  operatoru  $I_{p,\infty}(\varphi)$ ,  $I_{p,\infty}^0(\varphi)$  fəzalarından uyğun olaraq  $I_{p,\infty}(Z^{-1}(\varphi))$ ,  $I_{p,\infty}^0(Z^{-1}(\varphi))$  -lara məhdud təsir edir.

$$Z(\varphi) = \xi^{-\alpha_{p,\gamma_{n,k}}} \int_0^\xi \varphi^{-1}(t) t^{\alpha_{p,\gamma_{n,k}}-1} dt$$

**Lemma 1.** Totalım  $\varphi \in N$ ,  $\forall \xi > 0$  eləcədə  $\int_0^\xi \varphi^{-1}(t) t^{\alpha_{p,\gamma_{n,k}}-1} dt < \infty$

Deməli,  $I_{p,\infty}(\varphi) \subset J_{p,\mu_{n,k}}$   $u \in I_{p,\infty}(\varphi)$  qəbul edək.

$$\int_0^\xi \Omega_{p,\gamma_{n,k}}(u,t) t^{\alpha_{p,\gamma_{n,k}}-1} dt = \int_0^\xi \frac{\Omega_{p,\gamma_{n,k}}(u,t) \varphi(t) \cdot t^{\alpha_{p,\gamma_{n,k}}}}{\varphi(t) \cdot t} dt \leq$$

$$\leq \|u : I_{p,\infty}(\varphi)\| \int_0^\xi \frac{t^{\alpha_{p,\gamma_{n,k}}}}{\varphi(t) \cdot t} dt < \infty.$$

İndi isə teoremi isbat edək. Yuxarıda qeyd olunanlara görə  $(\Omega)$  qiymətləndirməsi doğrudur. Bunları nəzərə alaraq əmin oluruq ki,

$$\begin{aligned} \Omega_{p,\gamma_{n,k}}(Au, \xi) &\leq c \xi^{-\alpha_{p,\gamma_{n,k}}} \int_0^\xi t^{\alpha_{p,\gamma_{n,k}}-1} \Omega_{p,\gamma_{n,k}}(u, t) dt \leq \\ &\leq c \|u : I_{p,\infty}(\varphi)\| \xi^{-\alpha_{p,\gamma_{n,k}}} \int_0^\xi \frac{t^{\alpha_{p,\gamma_{n,k}}}}{\varphi(t) \cdot t} dt = c \|u : I_{p,\infty}(\varphi)\| Z(\varphi)(\xi). \end{aligned}$$

Buradan

$$\Omega_{p,\gamma_{n,k}}(Au, \xi) Z^{-1}(\varphi)(\xi) \leq c \|u : I_{p,\infty}(\varphi)\|.$$

Theorem 2-nin birinci hissəsi isbat olundu. İkinci hissə də analoji qayda ilə isbat olunur.

### ƏDƏBİYYAT

1. Абдуллаев, С.К. Некоторые оценки для особого интеграла с суммируемой плотностью / С.К.Абдуллаев, А.А.Бабаев // ДАН СССР, –1969, т.188, №2, –с.263-265.
2. Абдуллаев, С.К. О некоторых классах интегральных операторов в пространствах суммируемых функций // ДАН СССР, –1985, т.283, №4, –с.777-780.
3. Levitan, B.M. Expansion in series by Bessel functions, and Fourier integrals // Uspekhi Mat. Nauk, 6, –1951), no. 2, –pp.102-143
4. Kipriyanov, I.A. Obtaining fundamental solutions for homogeneous equations with singularities in several variables / I.A. Kipriyanov, L.A. Ivanov // Proc. of S.L.Sobolev Workshop, Novosibirsk, 1 (1983), 55-77 pp.
5. Абдуллаев С.К., Карамалиев Н.Р. Весовые оценки сингулярных, слабо сингулярных интегралов, максимальных и дробно максимальных функций, ассоциированных обобщенным сдвигом // Труды IV Международного симпозиума «Ряды Фурье и их приложения», –Ростов – на – Дону, –28 мая, – 3 июня, –2006, –с.44-52.

### SUMMARY

#### ON THE LIMITATION OF SINGULAR INTEGRAL OPERATORS ASSOCIATED BY THE DIFFERENTIAL LAPLACE-BESSEL OPERATOR IN MORRY-TYPE SPACES

*Abdullaev S.K., Agarzaev B.K., Abdullaeva A.R.*

**Key words:** *singular integral operators, maximal functions, Laplace-Bessel operator, subadditive*

In this work, the issue of the limitless of subadditive operators taken from a rather extensive class including the Poisson integral affiliated with the Laplace-Bessel operator defined in the new proportion of spaces defined by the terms SİO, highest valuable functions,  $\Omega_p$  type delineations, is considered in this work. Thus, in the article relevant theorems about the limitless of SİO associated with given DO in Morrie-type spaces are proved.

**РЕЗЮМЕ**

**ОБ ОГРАНИЧЕННОСТИ СИНГУЛЯРНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ  
АССОЦИИРОВАННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ ОПЕРАТОРОМ ЛАПЛАСА-БЕССЕЛЯ В  
ПРОСТРАНСТВАХ ТИПА МОРРИ**

*Абдуллаев С.К., Агарзаев Б.К., Абдуллаева А.Р.*

*Ключевые слова: сингулярные интегральные операторы, максимальные функции, операторы  
Лапласа-Бесселя, субаддитив*

В статье изучается вопрос об ограниченности субаддитивных операторов из довольно широкого класса, содержащего в частности, СЮ, максимальные функции, интегралы Пуассона, ассоциированные дифференциальным оператором Лапласа-Бесселя, в новых шкалах пространств, введенных в терминах характеристик типа  $\Omega_p$ . Таким образом, здесь доказываются соответствующие теоремы об ограниченности заданных структур, выраженных дифференциальными операторами в пространствах типа Морри.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	22.04.2024
	Son variant	02.07.2024

UOT 517.928

DOI 10.54758/16801245\_2024\_24\_3\_11

## STARK OPERATORUNUN HƏYƏCANLANMASI ÜÇÜN MƏXSUSİ FUNKSIYALAR ÜZRƏ AYRILIŞ DÜSTURU

RZAYEVA GÜNAY FİKRƏT qızı [ORCID](#)  
*Researcher ID: KMX-6534-2024*

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, r.f.d., baş müəllim*  
[gunay.rzayeva@sdu.edu.az](mailto:gunay.rzayeva@sdu.edu.az)

*Açar sözlər: Stark tənliyi, həyəcanlanmış operator, Eyri tənliyi, delta funksiya, məxsusi funksiya.*

### Giriş.

Stark effekti xarici elektrik sahəsinin olması səbəbindən atomların və molekulların spektral xətlərinin yerdəyişməsi və parçalanmasından ibarətdir. Bu effekt 1913-cü ildə onu kəşf edən Starkın adı ilə bağlıdır. Stark effektinin atomların spektrlərinin tədqiqində o qədər əhəmiyyətli olmasa da molekulyar fırlanma spektrləri üçün əsas vasitə olmuşdur. Stark effekti üçün həyəcanlanma nəzəriyyəsinin öyrənilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir (bax [1]-[11]).

Aşağıdakı diferensial tənliyə baxaq:

$$-y'' + xy + p(x)y = \lambda y, \quad -\infty < x < \infty, \quad \lambda \in C. \quad (1)$$

burada  $p(x)$  əmsalı

$$p(x) = \begin{cases} \alpha_+, & x \geq 0, \\ \alpha_-, & x < 0, \end{cases} \quad (2)$$

düsturu ilə təyin olunur. Qeyd edək ki, (1) tənliyi Ştark tənliyinin həyəcanlanmasıdır.

Aydın ki, (1) diferensial tənliyinin sol tərəfi iki dəfə kəsilməz diferensiallanan finit funksiyalar üzərində  $L_0$  simmetrik operatoru təyin edir. Bu operatorun  $L = \overline{L_0}$  qapanması  $L_2(-\infty, +\infty)$  fəzasında təsir edən öz-özünə qoşma operator olur, yəni  $L_0$  operatoru ciddi öz-özünə qoşma operatorudur. Doğrudan da  $Q(x) = |x|$  funksiyası  $x \geq 0$  olduqda müsbət qiymətlər alır,  $(-\infty, \infty)$  aralığında kəsilməz və cüt funksiyadır. Bundan başqa

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{dx}{\sqrt{Q(2x)}} = \infty$$

şərtini ödəyir. Onda Sirs teoreminə [3] görə  $L$  operatoru öz-özünə qoşmadır.

Təqdim olunan işdə  $L$  operatorunun kəsilməz spektrinin məxsusi funksiyaları üzrə ayrılış düsturu alınmışdır.

### Məxsusi funksiyalar üzrə ayrılış düsturu.

Aşağıdakı Eyri tənliyinə baxaq:

$$-y'' + zy = 0. \quad (3)$$

Məlumdur ki, (bax [12]) (3) tənliyinin xətti asılı olmayan və aşağıdakı başlanğıc şərtləri ödəyən  $Ai(z)$  və  $Bi(z)$  həlləri var:

$$Ai(0) = \frac{1}{3^{\frac{2}{3}} \Gamma\left(\frac{2}{3}\right)}, Ai'(0) = \frac{1}{3^{\frac{1}{3}} \Gamma\left(\frac{1}{3}\right)},$$

$$Bi(0) = \frac{1}{3^{\frac{1}{6}} \Gamma\left(\frac{2}{3}\right)}, Bi'(0) = \frac{3^{\frac{1}{6}}}{\Gamma\left(\frac{1}{3}\right)}.$$

Bu həllərin  $\{Ai(z), Bi(z)\}$  Vronskianı üçün

$$\{Ai(z), Bi(z)\} = Ai(z)Bi'(z) - Ai'(z)Bi(z) = \pi^{-1}$$

düsturu doğrudur. Hər iki funksiya  $\frac{3}{2}$  tərtibli və  $\frac{2}{3}$  tipli tam funksiyalardır. Məlumdur ki,  $Ai(x-\lambda)$  və  $Ai(x-\lambda) - iBi(x-\lambda)$  funksiyaları  $\text{Im } \lambda \geq 0$  olduqda  $Ai(x-\lambda) \in L_2(0, +\infty)$ ,  $Ai(x-\lambda) - iBi(x-\lambda) \in L_2(-\infty, 0)$  münasibətlərini ödəyir (bax [9]).

İndi isə

$$-y'' + xy + p(x)y = \lambda y, \quad -\infty < x < \infty, \quad \lambda \in \mathbb{C}. \quad (4)$$

həyəcanlandırılmış tənliyinə baxaq. Aşağıdakı lemma doğrudur (bax [11]).

**Lemma 1.** Kompleks müstəvidən götürülmüş hər bir  $\lambda$  üçün (1) tənliyinin aşağıdakı göstərilənlərə malik olan  $\psi_{\pm}(x, \lambda)$  həlləri var:

$$\psi_{+}(x, \lambda) = \begin{cases} Ai(x + \alpha_{+} - \lambda), x \geq 0, \\ \pi[Ai(\alpha_{+} - \lambda)Bi'(\alpha_{-} - \lambda) - Ai'(\alpha_{+} - \lambda)Bi(\alpha_{-} - \lambda)]Ai(x + \alpha_{-} - \lambda) + \\ + \pi[Ai(\alpha_{-} - \lambda)Ai'(\alpha_{+} - \lambda) - Ai(\alpha_{+} - \lambda)Ai'(\alpha_{-} - \lambda)]Bi(x + \alpha_{-} - \lambda), x < 0, \end{cases} \quad (5)$$

$$\psi_{-}(x, \lambda) = \begin{cases} \pi\{Bi'(\alpha_{+} - \lambda)[Ai(\alpha_{-} - \lambda) - iBi(\alpha_{-} - \lambda)] - \\ Bi(\alpha_{+} - \lambda)[Ai'(\alpha_{-} - \lambda) - iBi'(\alpha_{-} - \lambda)]\}Ai(x + \alpha_{+} - \lambda) + \\ \pi\{Ai(\alpha_{+} - \lambda)[Ai(\alpha_{-} - \lambda) - iBi(\alpha_{-} - \lambda)] - \\ Ai'(\alpha_{+} - \lambda)[Ai'(\alpha_{-} - \lambda) - iBi'(\alpha_{-} - \lambda)]\}Bi(x + \alpha_{+} - \lambda), x \geq 0 \\ Ai(x + \alpha_{-} - \lambda) - iBi(x + \alpha_{-} - \lambda), x < 0. \end{cases} \quad (6)$$

Qeyd edək ki,  $\lambda \in (-\infty, +\infty)$  olduqda (5) düsturu ilə təyin olunan  $\psi_{+}(x, \lambda)$  funksiyası həqiqi qiymətlər alır. Digər tərəfdən isə  $\lambda \in (-\infty, +\infty)$  olduqda (6) düsturu ilə təyin olunan  $\psi_{-}(x, \lambda)$  funksiyasının  $\overline{\psi_{-}(x, \lambda)}$  kompleks qoşması da (1) tənliyinin həlli olur.  $\psi_{-}(x, \lambda)$  və  $\overline{\psi_{-}(x, \lambda)}$  həllərinin Vronskianını hesablayaq. Vronskian  $x$ -dən asılı olmadığına görə alırıq:

$$W\{\psi_{-}(x, \lambda), \overline{\psi_{-}(x, \lambda)}\} = \psi_{-}(0, \lambda)\overline{\psi_{-}'(0, \lambda)} - \psi_{-}'(0, \lambda)\overline{\psi_{-}(0, \lambda)} = 2\pi^{-1}i. \quad (7)$$

Buradan alınır ki,  $\lambda \in (-\infty, +\infty)$  olduqda  $\psi_{-}(x, \lambda)$  və  $\overline{\psi_{-}(x, \lambda)}$  funksiyaları (4) tənliyinin xətti asılı olmayan həlləri olur. Deməli, bu tənliyin hər bir həlli və o cümlədən (4) düsturu ilə təyin olunan  $\psi_{+}(x, \lambda)$  həlli  $\psi_{-}(x, \lambda)$  və  $\overline{\psi_{-}(x, \lambda)}$  həllərinin xətti kombinasiyası şəklində göstərilə bilər.

(5) bərabərliyinə əsasən  $\lambda \in (-\infty, +\infty)$  olduqda  $\psi_{+}(x, \lambda)$  həlli həqiqi qiymətlər alır. Nəticədə alırıq:

$$\psi_{+}(x, \lambda) = a_0(\lambda)\overline{\psi_{-}(x, \lambda)} + a_0(\lambda)\psi_{-}(x, \lambda), \quad \lambda \in (-\infty, +\infty). \quad (8)$$

(8) bərabərliyinin köməyi ilə  $a_0(\lambda)$  əmsalını təyin etmək olar. Doğrudan da, bu bərabərlikdən və (7) düsturundan alırıq:

$$\begin{aligned} W\{\psi_-(x, \lambda), \psi_+(x, \lambda)\} &= W\{\psi_-(x, \lambda), a_0(\lambda)\overline{\psi_-(x, \lambda)} + \overline{a_0(\lambda)}\psi_-(x, \lambda)\} = \\ &= a_0(\lambda)W\{\psi_-(x, \lambda), \overline{\psi_-(x, \lambda)}\} + \overline{a_0(\lambda)}W\{\psi_-(x, \lambda), \psi_-(x, \lambda)\} = 2i\pi^{-1}a_0(\lambda). \end{aligned}$$

(7) düsturundan və axırıncı bərabərlikdən istifadə etsək alarıq:

$$a_0(\lambda) = \frac{1}{2}. \quad (9)$$

**Teorem 1.** Aşağıdakı ayrılış düsturu doğrudur:

$$2 \int_{-\infty}^{\infty} \psi_+(x, \lambda)\psi_+(y, \lambda)d\lambda = \delta(x - y), \quad (10)$$

burada  $\delta(x)$  ilə Dirakın delta funksiyası işarə olunur.

İsbatı. Aşağıdakı tənliyə baxaq:

$$-y'' + xy + \rho(x)y - \lambda y = f(x),$$

burada  $f(x)$  ilə  $f(x) \in L_2(-\infty, +\infty)$  şərtini ödəyən hər hansı finit funksiya işarə olunur.

Məqsədimiz  $f(x)$  funksiyası üçün ayrılış düsturu almaqdır. Titçmarşın uyğun mühakimələrini (bax [13], III fəsil §1) təkrar etsək alarıq ki,  $G(x, y, \lambda)$  Qrin funksiyası aşağıdakı şəkildədir:

$$G(x, y, \lambda) = \begin{cases} \frac{f_+(x, \lambda)f_-(y, \lambda)}{i\pi^{-1}}, & y \leq x, \\ \frac{f_-(x, \lambda)f_+(y, \lambda)}{i\pi^{-1}}, & y > x. \end{cases}$$

Axırıncı bərabərlik göstərir ki,  $G(x, y, \lambda)$  funksiyası bütün kompleks müstəvidə analitik funksiya, yəni tam funksiya.

$$\Phi(x, \lambda) = \int_{-\infty}^{\infty} G(x, y, \lambda)f(y)dy$$

funksiyasını daxil edək:

Məlumdur (bax [13], III fəsil §1) ki,

$$f(x) = -\frac{1}{i\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi(x, \lambda + i0)d\lambda,$$

$$f(x) = \frac{1}{i\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi(x, \lambda - i0)d\lambda$$

bərabərlikləri doğrudur. Buradan aşağıdakı bərabərliyin doğruluğu alınır:

$$f(x) = -\frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{+\infty} [\Phi(x, \lambda + i0) - \Phi(x, \lambda - i0)]d\lambda.$$

Buradan isə alırıq:

$$f(x) = -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \text{Im} \Phi(x, \lambda)d\lambda = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \text{Re} \{i\Phi(x, \lambda)\}d\lambda.$$

Əgər (8), (9) düsturlarından və

$$\begin{aligned} &\text{Re} \left\{ \overline{\psi_-(y, \lambda)} + \psi_-(y, \lambda) \right\} \psi_-(x, \lambda) \Big|_{\lambda} = \\ &= \text{Re} \left\{ \overline{\psi_-(x, \lambda)} + \psi_-(x, \lambda) \right\} \psi_-(y, \lambda) + \left[ \overline{\psi_-(y, \lambda)} \psi_-(x, \lambda) - \overline{\psi_-(x, \lambda)} \psi_-(y, \lambda) \right] \Big|_{\lambda} = \\ &= \text{Re} \left\{ \overline{\psi_-(x, \lambda)} + \psi_-(x, \lambda) \right\} \psi_-(y, \lambda) \Big|_{\lambda} \end{aligned}$$

bərabərliyindən istifadə etsək

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(y) \text{Re} \left\{ \overline{\psi_-(x, \lambda)} + \psi_-(x, \lambda) \right\} \psi_-(y, \lambda) dy d\lambda$$

olar. Sonuncu bərabərliyi aşağıdakı şəkildə yazaq:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \operatorname{Re} \left\{ \overline{\psi_-(x, \lambda)} + \psi_-(x, \lambda) \right\} \psi_-(y, \lambda) d\lambda = \delta(x - y), \quad (11)$$

Digər tərədən isə (8), (9) bərabərliklərinə əsasən alırıq:

$$\begin{aligned} \overline{\psi_-(x, \lambda)} + \psi_-(x, \lambda) &= 2\psi_+(x, \lambda), \\ \operatorname{Re} \psi_-(y, \lambda) &= \psi_+(y, \lambda) \end{aligned}$$

Axırıncı bərabərliklərdən və (11) münasibətindən (10) ayrılış düsturunun doğruluğu alınır.  
Teorem isbat olundu.

### ƏDƏBİYYAT

1. Avron, J. Spectral and scattering theory of Schrodinger operators related to the Stark effect / J.Avron, I.Herbst // Commun. Math. Phys., 52, –1977, –pp.239–254.
2. Graffi, S. Inverse scattering for the one-dimensional Stark effect and application to the cylindrical KdV equation / S.Graffi, E.Harrell // Annales de I.H.P. Physique theorique, 36:1, –1982, –pp.41-58.
3. Березин, Ф.А. Уравнение Шредингера / Березин Ф.А., Шубин М.А. –М.: МГУ, –1983, –392 с.
4. Calogero, F. Inverse spectral problem for the one-dimensional Schrodinger equation with an additional linear potential / Calogero F., Degasperis A. // Lett. Nuovo Cimento, 23, –1978, –pp.143–149.
5. Its, A. A Riemann–Hilbert approach to the inverse problem for the Stark operator on the line / A. Its, V.Sukhanov. Inverse Problems, 32, –2016, –pp.1-28.
6. Korotyaev, E.L. Resonances for 1D Stark operators // Journal Spectral Theory, 7(3), –2017, –pp.633-658.
7. Korotyaev E.L. Asymptotics of resonances for 1D Stark operators // Lett. Math. Phys., 118(5), –2018, –pp.1307-1322.
8. Savchuk, A.M. Spectral Properties of the Complex Airy Operator on the Half-Line / A.M.Savchuk, A.A. Shkalikov // Functional Analysis and Its Applications, 51(1), –2017, –pp.66–79.
9. Khanmamedov, A.Kh. Inverse spectral problem for the Schrodinger equation with an additional linear potential / A.Kh.Khanmamedov, M.G.Makhmudova // Theoretical and Mathematical Physics, 202(1), –2020, –pp.58–71.
10. Khanmamedov, A.Kh. Triangular Representation of the Solution to the Schrodinger Equation with an Additional Linear Potential / A.Kh.Khanmamedov, D.H.Orudjov // Azerbaijan Journal of Mathematics, 13(2), –2023, –pp.100-109.
11. Khanmamedov, A. Kh. Transformation Operators for one Second-Order Differential Equation with Increasing Coefficient, Caspian Journal of Applied Mathematics / A.Kh.Khanmamedov, G.F.Rzayeva // Ecology and Economics 11(1), –2023, –pp.41-46.
12. Abramowitz, M. Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables / Abramowitz M., Stegun I. // Dover Publications, –New York, –1972.
13. Титчмарш Э.Ч. Разложения по собственным функциям, связанные с дифференциальными уравнениями второго порядка, том 1. –М.: ИЛ, –1960.



**SUMMARY**  
**FORMULA FOR EXPANSION IN EIGENFUNCTIONS FOR PERTURBATION**  
**OF THE STARK OPERATOR**

*Rzayeva G.F.*

**Key words:** *Stark equation, perturbed operator, Airy equation, delta function, eigenfunction*

A step-like perturbation of the Stark operator is considered. Expressions for the eigenfunctions of the continuous spectrum of the perturbed operator are found. A formula for expansion in terms of eigenfunctions is obtained.

**РЕЗЮМЕ**  
**ФОРМУЛА РАЗЛОЖЕНИЯ ПО СОБСТВЕННЫМ ФУНКЦИЯМ ДЛЯ ВОЗМУЩЕНИЯ**  
**ОПЕРАТОРА ШТАРКА**

*Рзаева Г.Ф.*

**Ключевые слова:** *уравнение Штарка, возмущенный оператор, уравнение Эйри, дельта-функция, собственная функция.*

Рассмотрено ступенчатое возмущение оператора Штарка. Найдены выражения для собственных функций непрерывного спектра возмущенного оператора. Получена формула для разложения по собственным функциям.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	08.08.2024
	Son variant	12.09.2024

## TlIn<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>Te<sub>2</sub> BƏRK MƏHLULLARI TERMOELEKTRİK ENERJİ ÇEVİRİCİLƏRİNDƏ PERSPEKTİVLİ MATERIAL KİMİ

<sup>1</sup>BAYRAMOV COŞQUN CÜMŞÜD oğlu [ORCID](#)

<sup>2</sup>İSMAYILOV RAMİZ MƏZAHƏR oğlu [ORCID](#)

<sup>3</sup>ORUCOV SAMİR KAMAL oğlu [ORCID](#)

<sup>4</sup>İSMAYILOVA XƏDİCƏ İKRAM qızı

<sup>5</sup>SADIQ XAVƏR

Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, 1, 2, 3 – dosent, 4 – tyutor

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan, 5 - dosent

[xadica.ismailova@sdu.edu.az](mailto:xadica.ismailova@sdu.edu.az)

**Açar sözlər:** monokristal, akustik və optik fonon, bərk məhlullar, dar zolaqlı yarımkeçirici, termoelement, istilikkeçiriciliyi.

İşdə  $TlInTe_2 - TlGdTe_2$  sistem ərintilərinin termoeffektivliyinin tədqiqinə baxılmışdır. Aşkar olunmuşdur ki,  $TlInTe_2 - TlGdTe_2$  sistem ərintilərin bərk məhlullarında qadoliniumun miqdarı artdıqda, elektrik keçiriciliyi  $\sim \sigma^n$  ( $n = 2$ ) iki tərtibə kimi artır, istilikkeçirmə isə əlavə səpilmə mexanizmlərinin meydana çıxması hesabına kəskin azalır. Tədqiq olunan temperatur oblastında  $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  bərk məhlulların bütün nümunələri üçün  $E_g > kT$  şərti ödənilir. Bu isə  $T \sim 700K$  temperaturuna kimi termoelektrik hərəkət qüvvəsi əmsalının artması ilə nəticələnir. Alınmış bu nəticə də göstərir ki,  $TlIn_{0.90}Gd_{0.01}Te_2$  tərkibli nümunədən (500 ÷ 900)K temperatur intervalında termoelektrik generatorlarında işçi material kimi istifadə oluna bilər.

[1 – 4] işlərində  $TlInS_2(Se_2, Te_2) - TlInS_2(Se_2, Te_2)$  sistem ərintilərinin fiziki – kimyəvi, elektrik və istilik – fiziki xassələri tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, üçqat birləşmələrin əsasında alınmış üçqat halkolantonoidlərin bərk məhlulları (500 ÷ 900)K temperatur intervalında yüksək termoeffektivliyə malik olmaqla bismut və surma misalında termoelektrik generatorlarında termocüt kimi istifadə oluna bilər [5]. Bu baxımdan tellur bismuta yaxın olan  $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  ( $0 < x \leq 0.10$ ) bərk məhlulların tədqiqi xüsusi maraq doğurur.

Təqdim olunan məqalədə  $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  bərk məhlulların geniş temperatur intervalında elektrikkeçiriciliyinə, termo-e.h.q.-nə, istilikkeçiriciliyinə və termoeffektivliyin konsentrasiyadan asılılığına baxılmışdır.

**Təcrübənin aparılması.** Tədqiqat obyektini olaraq  $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  ( $0 < x \leq 0.09$ ) bərk məhlulların monokristalları seçilmişdir. [5] işində  $TlInTe_2 - TlGdTe_2$  sistemi tədqiq edilmişdir. Bu sistemin RFA – nın nəticələri DTA – nın nəticələrini tamamilə təsdiq edir. Yəni müəyyən edilmişdir ki, həllolma oblastında qəfəs sabitinin tərkibdən asılı olaraq dəyşməsində Veqard qanunundan kənara çıxmalar müşahidə edilmir. Holl və termo – e.h.q. əmsallarının temperatur asılılıqlarının tədqiqi göstərmişdir ki,  $TlInTe_2$  – də  $In$  atomları tədricən  $Gd$  atomları ilə əvəz olunduqda aşqarların aktivləşmə enerjisi azalır, dielektrik nüfuzluğunun elektron hissəsi isə artır. Ərintilərin sintezi ilkin  $TlInTe_2$  və  $TlGdTe_2$  komponentlərin yüksək temperaturda əridilməsi yolu ilə yerinə yetirilmişdir. Sintez 0.01 Pa təzyiqdə kvarts ampulalarda aparılmışdır. İçərisində maddə olan ampula tamamilə sobaya daxil edilməklə temperatur 130 K/saat sürətlə (1050 ÷ 1270)K-ə qədər qaldırılmışdır. Tərkibindən asılı olaraq bu temperaturda ampula 3–9 saat müddətində saxlanmışdır. Sonra  $\sim(70 \div 115)K/saat$  sürətlə otaq temperaturuna qədər soyudulmuşdur.

$TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  bərk məhlulların monokristalları Bricmen üsulu ilə alınmışdır. Alınan tərkiblərin monokristallılığını yoxlamaq məqsədi ilə laueqrammalar çəkilmişdir.

Rentgenoqramların tədqiqi göstərdi ki,  $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  bərk məhlulları ilkin  $TlInTe_2$  üçqat birləşməsi kimi tetraqonal sinqoniyada kristallaşırlar və  $TlGdTe_2$  üçqat birləşməsi  $TlInTe_2$  birləşməsində (0 – 10)mol % oblastını əhatə edir.

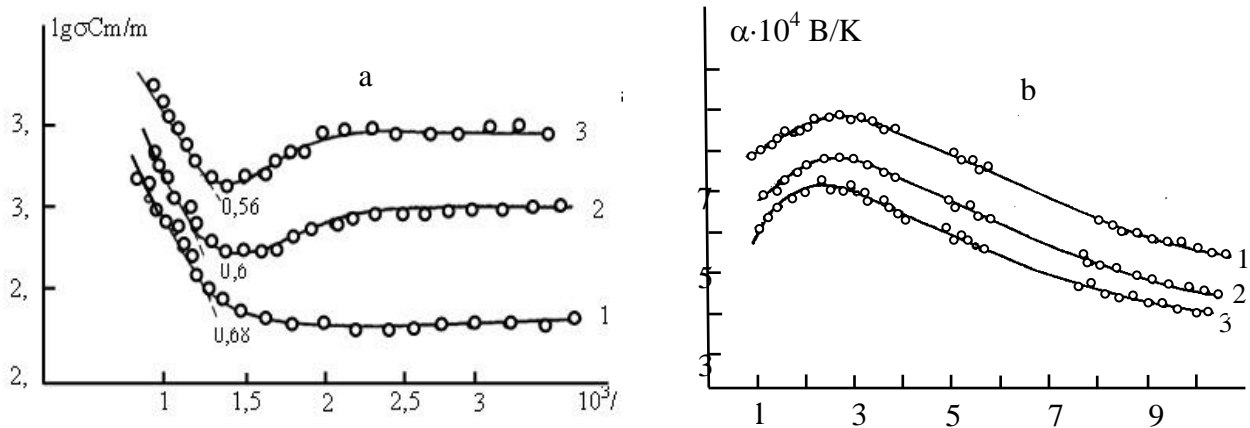
Elektrik keçiriciliyi və termoelektrik hərəkət qüvvəsinin ölçülməsi 0.01 Pa təzyiqdə vakuumba sabit cərəyanda kompensasiya üsulu ilə aparılmışdır [6]. Cərəyanın, nümunənin qalınlığının  $(3 \times 4 \times 12) \cdot 10^{-9}m^3$ , habelə gərginliyin ölçülməsi zamanı nisbi xəta ~5% olmuşdur.

Şəkil 1 (a, b) – də  $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  bərk məhlulları üçün  $\sigma$  və  $\alpha$  – nin temperatur asılılıqları göstərilmişdir. Bütün temperatur intervallarında  $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  bərk məhlulları p-tip keçiriciliyə malikdir.

Şəkil 1 (a)-dan görüldüyü kimi  $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  bərk məhlullarında ~ 500 K temperatura kimi elektrik keçiriciliyi çox kiçik meyl ilə artmaqda davam edir. Bu asılılıq aşqar zona üzrə keçiriciliklə əlaqədar olub, kvazimetallik gediş adlanır. Sonra  $\sigma$ –nin nisbətən kəskin azalması görünür və bu azalma tərkibdə  $Gd$ –un artması ilə daha da çox nəzərə çarpır. Fikrimizcə mərkəzlərin tükənməsi səbəbindən yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının sabit qalması ilə onların qəfəsdən səpilmələri nəticəsində yürüklüyün məhdudlaşması ilə əlaqədardır ki, bu da temperaturun artması ilə elektrik keçiriciliyinin azalmasına gətirib çıxarır.

Şəkil 1 (b)–dən görüldüyü kimi aşağı temperatur oblastında temperaturun artması ilə yükdaşıyıcıların kimyəvi potensialları azalır və bununla mütənasib olaraq termo – e.h.q. – də artır. Temperaturun yuxarı qiymətləri isə yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının kəskin artımına və termo – e.h.q. – nin azalmasına səbəb olur.

$TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  bərk məhlulları tədqiq olunan temperatur intervalında (80 ÷ 1000)K güclü cırılmış deşik keçiriciliyə malikdir.  $T \geq 650K$  temperaturlarda məxsusi keçiricilik müşahidə olunur,  $\sigma$  və  $\alpha$  – nin temperatur asılılığının xarakteri tədqiq olunan materialda iki növ yükdaşıyıcıların mövcud olması ilə izah olunur,  $x=0.05$  – dən başlayaraq  $TlInTe_2$ - dən onun əsasında alınan bərk məhlullara keçdikcə  $\sigma(T)$  – nin temperatur asılılığının güclü dəyişməsi yarımkeçiricilərin darzolaqlı yarımkeçiriciyə keçidlə əlaqədar olması qənaitinə gətirir.



Şəkil 1.  $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  bərk məhlulların elektrik keçiriciliyi (a) və termo – e.h.q. – nin (b) temperatur asılılığı. Əyrilər 1-x=0.01; 2-x=0.04 və 3-x=0.9

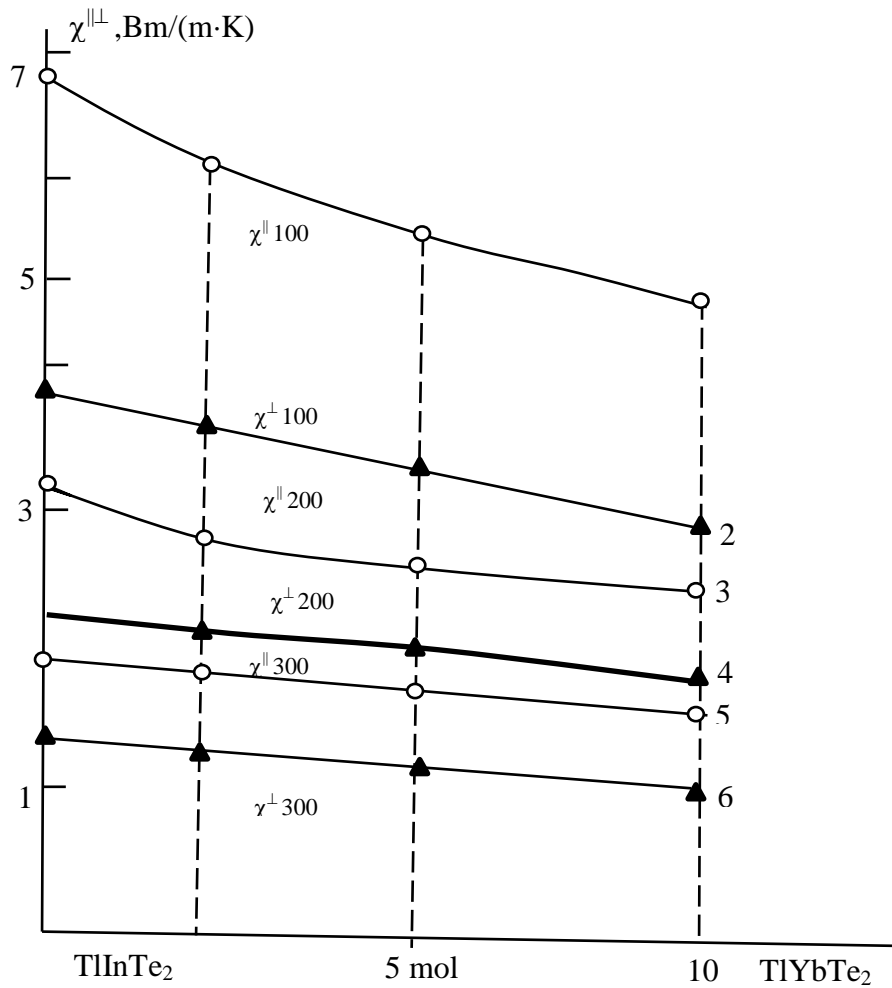
Şəkil 2-dən görüldüyü kimi  $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  bərk məhlullarında qəfəs istilikkeçirməsində anizotropluq müşahidə olunur. Məsələn, 100 K temperaturda  $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  bərk məhlullarının monokristallarında temperatur qradientinin (001) müstəvisinə paralel istiqamətində istilikkeçirmə

əmsalı  $\chi^{\parallel} = 6.75 \frac{Vt}{m \cdot K}$ , temperatur qradienti (001) müstəvisinə perpendikulyar istiqamətdə yönəldiyi halda istilikkeçirmə əmsalı  $\chi^{\perp} = 3.42 \frac{Vt}{m \cdot K}$  olmuşdur.

Ambeqaokor və Klemmeks [6] nəzəriyyəsi və uyğun olaraq aparılan hesablar  $Tl [InTe_2]_{1-x}[GdTe_2]_x$  radikal əvəzləmələrin doğruluğunu bir daha sübut etdi ki, tədqiq etdiyimiz sistemdə  $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2 \rightarrow Tl[InTe_2]_{1-x}[GdTe_2]_x \rightarrow [TlInTe_2]_{1-x}[TlGdTe_2]_x$  olduğundan  $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  bərk məhlulları üçün

$$\frac{\Delta \bar{M}}{\bar{M}} = \frac{\bar{M}_{TlGdTe_2} - \bar{M}_{TlInTe_2}}{(1-x)\bar{M}_{TlInTe_2} + x\bar{M}_{TlGdTe_2}}$$

kimi hesablanabilir.



**Şəkil 2.**  $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  bərk məhlulların monokristallarında temperatur qradientinin (001) müstəvisinə paralel (1,3,5) və perpendikulyar istiqamətlərdə (2,4,6) qəfəs istilikkeçiriciliyinin 100 (1,2), 200 (3,4) və 300 K (5,6) temperaturalarda konsentrasiyadan asılılığı

$TlInTe_2 - TlGdTe_2$  sistem ərintilərinin bərk məhlullarında elektrik və istilik xassələrinin tədqiqi göstərir ki, bərk məhlulların tərkibində qadoliumun miqdarı artdıqda elektrik keçiriciliyi iki tərtibə kimi artır, istilikkeçirmə isə əlavə səpilmə mexanizmlərin meydana çıxması hesabına azalır. Ona görə də gözləmək olar ki,  $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  bərk məhlullarında tərkibin dəyişməsi ilə elə  $TlIn_{0.01}Gd_{0.09}Te_2$  məhlulu əldə olunur ki, onda termoelektrik effektivliyinin qiyməti praktik maraq kəsb edən hala çata bilər. Aparılan hesablamalar göstərir ki, (500 ÷ 900)K temperaturda

$TlIn_{0.90}Gd_{0.01}Te_2$  bərk məhlullarında termoelektrik effektivliyi  $\sim 2.95 \cdot 10^3 K^{-1}$  -ə çatır. Termoelektrik effektivliyinin artması tərkibdə Gd – un miqdarının artımı ilə elektrik keçiriciliyinin kəskin artması, istilikkeçirmənin isə azalması hesabına baş verir.

$TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  bərk məhlulların təcrübi nəticələri əsasında alınmış enerji spektri cədvəldə göstərilmişdir. Cədvəldən görüldüyü kimi  $TlIn_{0.91}Gd_{0.09}Te_2$  tərkibli bərk məhlul 900K temperaturda ən böyük termoeffektivliyə malik olur ki, bu da onun orta temperaturlarda işləyən termoelektrik enerji çeviricilərində perspektivli material kimi tətbiqinə imkan verir.

*Cədvəl.*

$TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  bərk məhlulların termoelektrik effektivliyi

Tərkib	500 K				900 K			
	$\alpha, 10^{-6}$ B/K	$\sigma$ Cm/m	$\chi$ Bm/(m·K)	Z $10^{-3}K^{-1}$	$\alpha, 10^{-6}$ B/K	$\sigma$ Cm/m	$\chi$ Bm/(m·K)	Z $10^{-3}K^{-1}$
x=0.01	680	540	0.91	0.3	590	1500	0.71	1.1
x=0.05	670	1210	0.48	1.13	560	930	0.42	0.69
x=0.07	660	1400	0.46	1.32	550	910	0.40	0.69
x=0.09	650	1700	0.38	1.80	540	2850	0.34	2.44

### ƏDƏBİYYAT

1. Зарбалиев, М.М. Твердые растворы замещения в системе  $TlInSe_2 - TlYbSe_2$ . / М.М.Зарбалиев, Н.Ф.Гахраманов, А.М.Ахмедова [и др.] // Известия АН Азерб. Респуб. серия физ. – мат. и тех.наук. –2010, №5, –с.117-119.
2. Зарбалиев, М.М. Теплопроводность твердых растворов  $TlIn_{1-x}Dy_xTe_2$ . / М.М.Зарбалиев, Э.Г.Мамедов, А.М.Ахмедова [и др.] // Доклады РАН, Неорганич. материалы. –2007, т.43, №12, –с.1432-1435.
3. Зарбалиев, М.М. Твердые растворы замещения в системе  $TlInTe_2 - TlYbTe_2$ . // Доклады РАН, Неорганич. материалы. –1999, т.35, №5, –с.560-564.
4. Зарбалиев, М.М. Особенности электрических свойств твердых растворов  $TlIn_{1-x}Yb_xS_2(Te_2)$  // Физика АН Азерб. Респуб. –1999, т. 35, №3, –с. 26-29.
5. Иванова, Л.Д., Материалы с градиентом концентрации носителей заряда для термоэлектрических охладителей / Иванова Л.Д., Петрова Ю.В., Гранаткина Ю.В. [и др.] // РАН, Неорганич. материалы. –2007, т. 43, №12, –с.1436-1441.
6. Зарбалиев М.М. Явление переноса заряда и тепла в системах  $TlInS_2(Se_2, Te_2) - TlInS_2(Se_2, Te_2)$  / Дисс. на соиск. уч. степ. Докт. физ.- мат.наук / –Баку: БГУ, –2001, –284 с.

### SUMMARY

#### $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$ SOLID SOLUTIONS AS PROSPECTIVE MATERIALS IN THERMOELECTRIC ENERGY CONVERTERS.

Bayramov Dj.Dj., İsmayilov R.M., Orucov S.K., İsmayilova Kh.İ., Sadiq X.

**Key words:** single crystal, acoustic and optical phonon, solid solutions, narrow band semiconductor, thermocouple, thermal conductivity.

The study of the thermal efficiency of  $TlInTe_2 - TlGdTe_2$  system alloys was considered. It was found that when the amount of gadolinium in the solid solutions of the  $TlInTe_2 - TlGdTe_2$  system alloys increases, the electrical conductivity  $\sim \sigma^n$  ( $n = 2$ ) increases up to two orders of magnitude, while the thermal conductivity decreases sharply due to the appearance of additional scattering mechanisms. In the studied temperature range,  $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  solid solutions the condition  $E_g > kT$  is satisfied for all samples, and this results in an increase in the thermoelectric driving force coefficient up to the temperature  $T \sim 700K$ , so that the sample containing  $TlIn_{0.90}Gd_{0.01}Te_2$  can be used as a working material in thermoelectric generators in the temperature range of (500 ÷ 900)K.

**РЕЗЮМЕ**

**ТВЕРДЫЕ РАСТВОРЫ TlIn<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>Te<sub>2</sub> КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ЭНЕРГИИ.**

*Байрамов Дж.Дж., Исмаилов Р.М., Оруджов С.К., Исмаилова Х.И., Садик Х.*

*Ключевые слова: монокристалл, акустический и оптический фонон, твердые растворы, узкозонный полупроводник, термонара, теплопроводность.*

Рассмотрено исследование термической эффективности сплавов системы TlInTe<sub>2</sub> – TlGdTe<sub>2</sub>. Установлено, что при увеличении количества гадолиния в твердых растворах сплавов системы TlInTe<sub>2</sub> – TlGdTe<sub>2</sub> электропроводность  $\sim \sigma^n$  ( $n = 2$ ) возрастает до двух порядков, а теплопроводность резко снижается за счет появления дополнительных механизмов рассеяния. Условие  $E_g > kT$  выполняется для всех образцов твердых растворов TlIn<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>Te<sub>2</sub> в исследованном температурном диапазоне. Это приводит к увеличению коэффициента термоэлектрической движущей силы вплоть до температуры  $T \sim 700$ К. Полученный результат также показывает, что образец TlIn<sub>0.90</sub>Gd<sub>0.01</sub>Te<sub>2</sub> может быть использован в качестве рабочего материала в термоэлектрических генераторах в диапазоне температур (500 ÷ 900)К.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	08.08.2024
	Son variant	20.09.2024

UOT 544.6

DOI 10.54758/16801245\_2024\_24\_3\_21

## CATHODE POLARIZATION DURING RHENIUM AND MOLYBDENUM ELECTRODEPOSITION FROM SULFATE ELECTROLYTE

<sup>1</sup>SALAKHOVA ELZA ABDULAZIZ [ORCID](#)<sup>2</sup>TAGHIYEV DILGAM BABIR [ORCID](#)<sup>3</sup>ALIZADEH YILMAZ ELSHAN [ORCID](#)<sup>4</sup>HAJIYEVA KAMALA ISMAYIL [ORCID](#)<sup>5</sup>KHANKISHIEVA NIGAR NIZAMI [ORCID](#)<sup>6</sup>HEYBATOVA AFSANA FAZIL [ORCID](#)<sup>7</sup>KALANTAROVA PARVANA EYUB [ORCID](#)<sup>8</sup>JABBAROVA IRANA ILGAR [ORCID](#)<sup>9</sup>IBRAHIMOVA KAMALA FACHRAD [ORCID](#)

*Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after academician Murtuza Naghiyev Baku, Azerbaijan, 1-Dr. of Chemical sciences, 2-Academician, 3,9-doctoral student, 4,7-PhD, 5,6,8-senior lab. ass., [elza\\_salahova@mail.ru](mailto:elza_salahova@mail.ru)*

**Keywords:** rhenium, molybdenum, thin coatings, electrochemical deposition, alloys, current density

*Based on the study of current-voltage dependencies during cathodic electroreduction of rhenium and molybdenum ions from sulfate electrolytes, the conditions for deposition of rhenium and molybdenum were established. The effect of various factors such as the content of components in the electrolyte, current density, temperature, acidity of solutions on the composition and quality of the coatings was studied. When studying the influence of the potential sweep rate on the process of rhenium deposition from a sulfate electrolyte, it was found that the limiting current has a diffusion nature. It was found that the process of molybdenum electrodeposition from a sulfate electrolyte is accompanied mainly by chemical polarization. The effect of the potential sweep rate on the cathodic process of Mo was studied. When studying the influence of the potential sweep rate on the polarization nature, it is clear that an increase in the potential sweep rate accelerates the molybdenum deposition process to varying degrees. Based on experimental data, the optimal mode and electrolyte composition for obtaining thin rhenium and molybdenum coatings were determined.*

### INTRODUCTION

In recent years, nanotechnology, which is considered one of the main areas of world science, has been developing rapidly. The rapid development of this area poses the task of conducting fundamental research, involving the production, study and application of new nanostructured materials. Due to the high level of development of science and technology, the production of highly effective materials is one of the main tasks of the world today. In recent years, obtaining of nanoparticles of a number of substances and studying their physical and chemical properties allow to use them as promising materials in various fields of modern technology. Therefore, the need to obtain nanocoatings by the electrochemical method has become widespread. The development of new methods for obtaining inorganic substances with unique properties underlies modern materials science. Semiconductor layers containing rhenium are widely used in semiconductor technology. Depending on the chemical and stoichiometric composition, rhenium alloys exhibit very interesting properties (photoconductivity, optoelectronic, semiconductor). However, chemical and electrochemical methods are used to obtain these semiconductor coatings. The advantage of both

chemical and electrochemical methods is that, in both cases the process is carried out at a low temperature and there is no evaporation at high temperatures. The electrochemical method has its positive features. Thus, it is possible to accurately carry out the electrolysis process by the electrochemical method and regulate the thickness of the resulting coating. There is a wide range of methods for producing rhenium alloys, among which one of the main places is the electrochemical method. It is known that rhenium alloys have a number of valuable properties: corrosion resistance, special magnetic and mechanical properties, and also act as catalysts, etc. On the other hand, the production of alloys obtained by the electrochemical method from various electrolytes has many specific features that affect the properties of the resulting substances. First of all, this is due to the fact that the amount of non-metallic compounds (oxygen, hydrogen, carbon, etc.) in the alloys obtained in the electrolysis process is very small. Therefore, the production of thin films with semiconductor properties of the required composition from solutions of two or more metals is of great scientific and practical importance. There are alloys of various metals with semiconductor properties that can be obtained by electrolysis using solutions of rhenium and the corresponding metal cations. Rhenium and its alloys have unique properties and are widely used in almost all areas of modern science and technology [1-5.] The main areas of application of rhenium are electrical engineering, radio electronics, aerospace engineering, chemical industry, medicine, oil refining industry and military industry. Rhenium has a high melting point, mechanical strength, hardness and high resistance. Very high corrosion resistance, as well as good thermoelectric properties offer the prospects for its wide application in electrical and radio engineering.

Recently, rhenium alloys which are used in aviation and space technology have shown great interest [6-8]. The prospects of rhenium electrodeposition from sulfate electrolyte are described in [6-10]. Acidic and moderately acidic electrolytes are the most stable and the solubility of perrhenate in them is the highest, which allows electrolysis at high current densities. In addition, rhenium is allocated from sulfate electrolytes with relatively high chemical purity and a high current efficiency.

The electrochemistry of molybdenum compounds is still a quite relevant area for scientific research [9-12]. The complexity of electrochemical processes involving molybdenum compounds is manifested in the existence of a large number of intermediate oxidation states, as well as the significant adsorption of molybdenum compounds on electrodes. Despite the significant volume of experimental material, there is still no certain clarity on the issue of the kinetics of electrode reactions in the presence of molybdenum compounds [16-17]. Adsorption of these compounds is possible in a wide range of potentials, which certainly affects the kinetics of reactions occurring at the electrodes. Due to adsorption, molybdenum compounds may be included in composition of electrode deposits, which certainly affects the properties of the resulting materials. The practical application of the materials obtained in this way can be very multifaceted. This work is devoted to the study of the kinetic patterns of the processes of cathodic reduction of molybdenum and rhenium ions from sulfuric acid electrolytes depending on the composition of the electrolyte, cathodic current density and temperature. For this purpose, a study of cathodic processes during the reduction of rhenium and molybdenum in the sulfate electrolyte on a Pt electrode was carried out. The studies were carried out in solutions of the following composition (mol / l):

1. Electrolyte composition for rhenium (mol / l):  $3.5 \cdot 10^{-3}$   $\text{KReO}_4$  +  $2.0 \text{ H}_2\text{SO}_4$ ; pH = 0.4;  $V = 0.005 \text{ V s}^{-1}$ ;  $t = 75 \text{ }^\circ\text{C}$ ; electrode - Pt.

2. Electrolyte composition for molybdenum (mol/l):  $1.5 \cdot 10^{-3}$   $\text{Na}_2\text{MoO}_4$  +  $2.0 \text{ H}_2\text{SO}_4$ ; pH=0.4;  $V=0.005 \text{ Vs}^{-1}$ ;  $t=75^\circ\text{C}$ ; electrode – Pt.

#### **Experimental technique**

Platinum electrodes with a visible surface of  $0.07 \text{ cm}^2$  were used as the working electrode. The three-electrode cell contained the electrode under study, platinum auxiliary electrode with an area of  $4 \text{ cm}^2$ , and a silver chloride reference electrode ( $\text{Ag}/\text{AgCl}$ ). Film deposition for studying structure and composition was performed on Pt and Ni substrates with an area of  $2.0 \text{ cm}^2$ . The operating temperature during electrodeposition was  $75^\circ\text{C}$ , and the deposition time was 60 min. The



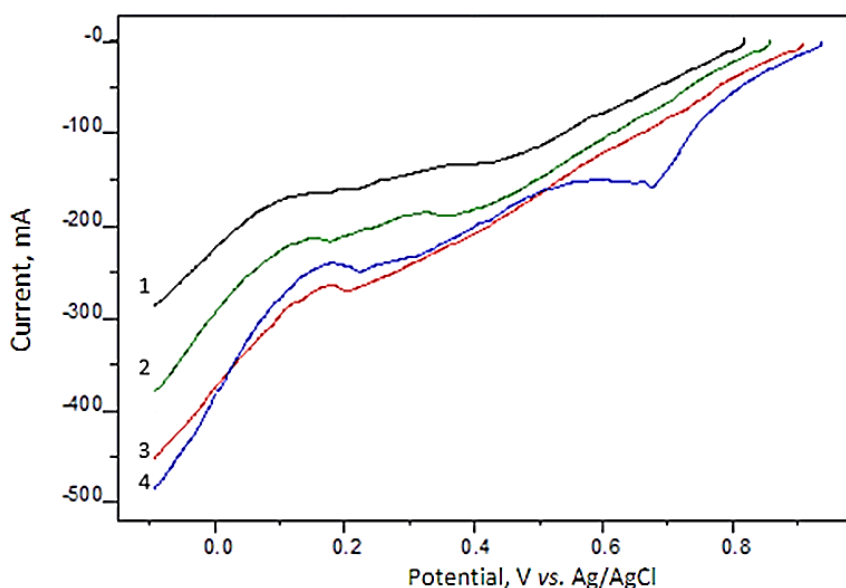
kinetics of the processes was monitored using cyclic voltammetry measurements on IVIUMSTAT. X-ray diffraction analysis of the obtained films was performed on a DRON-5 with Cu K $\alpha$ -radiation. The films were obtained in galvanostatic mode without electrolyte stirring. For analysis, the cathode deposit was dissolved by heating in concentrated nitric acid. The amount of molybdenum was also determined separately by thiocyanate complex using colorimetric method on SPECORD 50 PLUS.

### Experimental part

It is known that the nature of polarization during the discharge of any metal does not change under the same conditions of its discharge together with cations of another metal. In this work, the nature of polarization is determined for both rhenium and molybdenum separately. It was shown that in order to determine the type of cathodic polarization and study the mechanism of the electrode process, it is necessary to study the dependence of the current on temperature.

#### 1. Cathodic polarization during electrodeposition of rhenium from sulfate electrolyte.

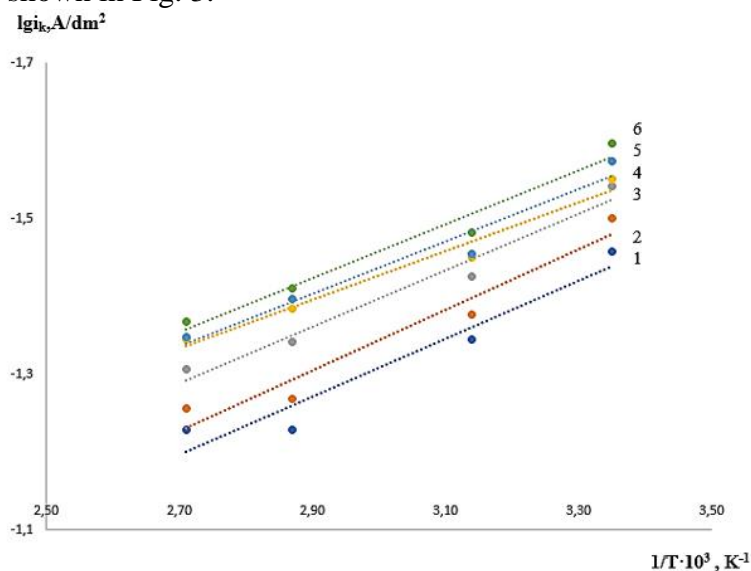
In order to study the effect of the temperature on the rate of the electrode process and the electrodeposition of rhenium from a sulfate electrolyte, polarization curves were recorded in the temperature range of 20–90<sup>0</sup> C. As can be seen from Fig. 1, with an increase in the temperature, the curve of rhenium reduction shifts to the region of more positive potentials. In the studied temperature range, the polarization curves have limiting currents. With an increase in the temperature, the rate of the electroreduction reaction increases, which is accompanied by increase in limiting currents. Consequently, with an increase in the temperature, the region of the permissible value of current density, at which high quality deposits are obtained, increases.



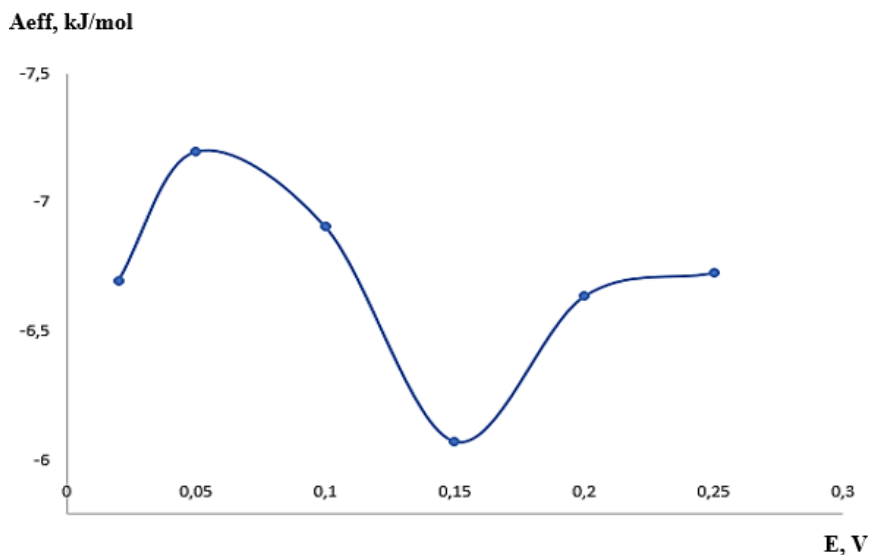
**Fig. 1.** Polarization curves of rhenium obtained from sulfuric acid electrolytes at different temperatures 1-25<sup>0</sup>C, 2 - 45<sup>0</sup>C, 3-75<sup>0</sup>C, 4-90<sup>0</sup>C. Electrolyte composition (mol/l): 3.5 10<sup>-3</sup> KReO<sub>4</sub> + 2.0 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; pH=0.4; V=0.005 Vs<sup>-1</sup>

However, an increase in the electrolyte temperature accelerates the electrodeposition of rhenium to varying degrees depending on the value of the cathode potential. Thus, if the limiting current at a temperature of 25<sup>0</sup>C appears at a potential of + 0.20 V, then at 90<sup>0</sup>C it reaches its maximum value. When studying the effect of the potential sweep rate on the process of rhenium deposition from a sulfate electrolyte, it was found that the limiting current is of a diffusion nature. To confirm these results, as well as to more accurately determine the value of the potentials corresponding to different stages of the electrode process, the nature of polarization in individual sections of the polarization curves was determined using the temperature-kinetic method. To determine the type of polarization, i.e. the nature of the slow stage that determines the rate of the

electrode process, the  $\lg i_k - \frac{1}{T}$  dependence was plotted based on the data in Fig. 1 (Fig. 2). As can be seen, in the  $\lg i_k - \frac{1}{T}$  coordinates (Fig. 2) a linear dependence is observed and the slopes is not the same. Then the effective activation energy was calculated, which changes similarly. According to the equation  $\lg i_k = \text{const} - \frac{A_{\text{eff}}}{2,303 RT}$  and by the slope of straight lines  $\lg i_k - \frac{1}{T}$ , the  $A_{\text{eff}}$  value was determined graphically. The dependence of the  $A_{\text{eff}}$  values calculated by this method on the electrode potential is shown in Fig. 3.



**Fig. 2.** The dependence of current density on temperature for rhenium at different potentials 1-0.02; 2 - 0.05; 3 - 0.1; 4 - 0.15; 5 - 0.2; 6 - 0.25 V. Electrolyte composition (mol/l):  $3.5 \cdot 10^{-3} KReO_4 + 2.0 H_2SO_4$ ;  $pH=0.4$

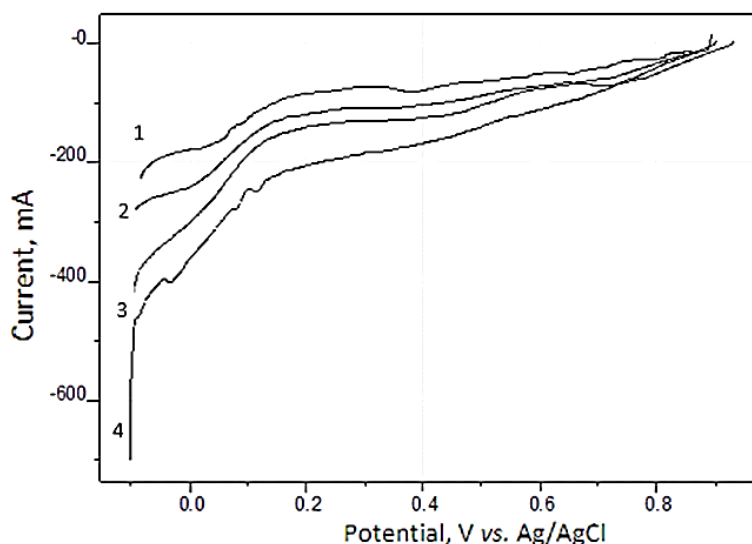


**Fig.3.** The dependence of effective activation energy ( $A_{\text{eff}}$ ) on  $E$

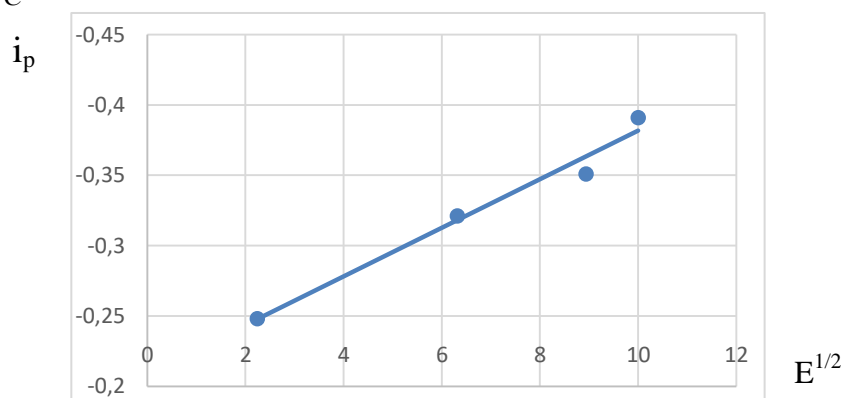
The data shown in Fig. 3 show that with a change in the cathode potential, the effective activation energy first increases, then decreases sharply, and then increases again. At low polarization values, the sharp acceleration of the electroreduction process is mainly associated with

an increase in the activity of the reducing metal ions in the solution, i.e., the usual acceleration of the chemical reaction with an increase in temperature takes place.

The established pattern allows us to conclude that at cathode potentials up to 0.05 V, the process of rhenium electrodeposition from sulfate electrolyte is accompanied mainly by chemical polarization, and then at 0.05 – 0.15 V, the process is controlled by mixed kinetics. The small value of the effective activation energy in cathode potentials and its insignificant independence from the potential show that in this case the rate of the cathode process is limited only by the diffusion of the discharging ions to the cathode surface, i.e. by a decrease in the concentration of the discharging ions at the electrode surface. The results obtained allow us to believe that the rate of the cathode process at the initial stages is limited by chemical difficulties and is determined by diffusion only in the limiting current zone. Also, to identify the reasons that complicate the electrode process of rhenium deposition in the studied electrolytes, the effect of the potential sweep rate on the nature of polarization was studied, which is shown in Fig. 4. As can be seen from the figure, an increase in the potential sweep rate accelerates the rhenium deposition process to varying degrees. At a potential sweep rate above 2 mV/sec, the deposition process rate increases, and at sweep rates below 2 mV/sec, an insignificant increase in the previous current is observed. At high potential sweep rates, the process is limited by diffusion polarization, since the dependence is linear (Fig. 5).



**Fig.4.** Polarization curves of rhenium from sulfuric acid electrolytes at different potential sweep rates 1- 0.005, 2 - 0.04, 3 — 0.08, 4—0.1. Electrolyte composition (mol/l):  $3.5 \cdot 10^{-3} \text{KReO}_4 + 2.0 \text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{pH}=0.4$ ;  $t=75^\circ\text{C}$

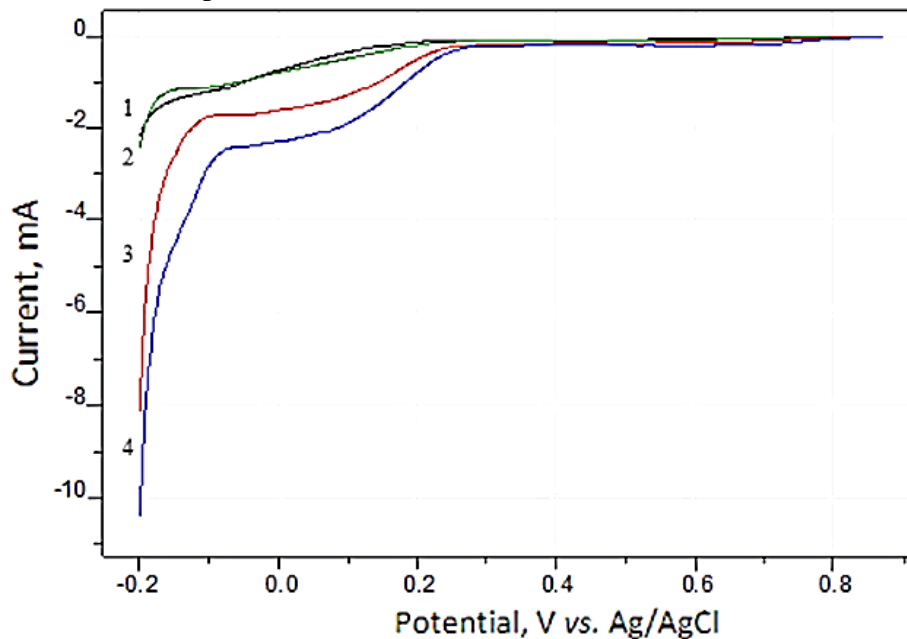


**Fig. 5.** Dependence of peak current on square root of potential sweep rate

Thus, based on the experimental data, the optimal mode was found, the kinetics and mechanism of rhenium electrodeposition from a sulfate electrolyte were studied, and the following electrolyte composition (mol/l) is recommended: Electrolyte composition (mol/l)  $3.5 \cdot 10^{-3}$   $\text{KReO}_4$  +  $2.0 \text{ H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{pH}=0.4$  ;  $V=0.005 \text{ Vs}^{-1}$   $t=75^\circ\text{C}$ .

## **2. Cathodic polarization during electrodeposition of molybdenum from a sulfate electrolyte.**

There are very few works dedicated to the molybdenum electrodeposition. The authors of [10-15] conducted experiments on molybdenum electrodeposition from a sulfite electrolyte. It was established that the most favorable environment was sulfuric acid. The electrolyte has the following composition (mol/l):  $1.5 \cdot 10^{-3} \text{ Na}_2\text{MoO}_4$  +  $1.23 \cdot 10^{-3} \text{ H}_2\text{SO}_4$ . The present work was carried out in order to clarify the possibility of obtaining Mo nanocoatings from a sulfate electrolyte. Cyclic polarization curves of molybdenum from a sulfate electrolyte were recorded at different temperatures (Fig. 6). Electrolysis was carried out at a temperature range of  $25\text{--}90^\circ\text{C}$ . It was found that with an increase in temperature, the reduction of molybdenum accelerates. To determine the polarization nature, the dependence between  $\lg i_k - \frac{1}{T}$  was studied. As can be seen from Fig. 7, a linear dependence is observed between  $\lg i_k - \frac{1}{T}$  and the slopes are not the same. Then, the effective activation energy was calculated, the data for which are presented in Fig. 8. As can be seen from the figure, in the potential range from  $+0.02$  to  $-0.12 \text{ V}$  the value of  $A_{\text{eff}}$  decreases slightly and is  $30\text{--}20 \text{ kJ/mol}$  and depends little on the polarization potential, which corresponds to the chemical nature of polarization. Thus, rhenium and molybdenum are deposited from the specified electrolyte by different polarization natures and the most favorable electrolyte for the electrodeposition of both components is sulfuric acid.



**Fig.6.** Polarization curves of molybdenum from sulfuric acid electrolytes at different temperatures 1-  $25^\circ\text{C}$ , 2 -  $45^\circ\text{C}$ , 3- $75^\circ\text{C}$ , 4- $90^\circ\text{C}$ . Electrolyte composition (mol/l):  $3.5 \cdot 10^{-3} \text{ KReO}_4$  +  $2.0 \text{ H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{pH}=0.4$ ;  $V=0.005 \text{ Vs}^{-1}$

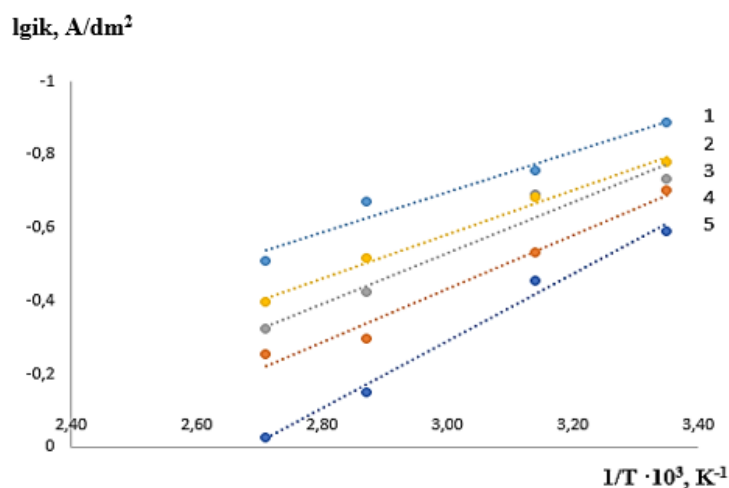


Fig.7. Current density as a function of temperature at different potentials: 1- (-0.02); 2- (-0.05); 3- (-0.1); 4- (-0.15); 5- (-0.18) V. Electrolyte composition (mol/l)  $1.5 \cdot 10^{-3} \text{Na}_2\text{MoO}_4 + 2.0 \text{H}_2\text{SO}_4$ ; pH=0.4

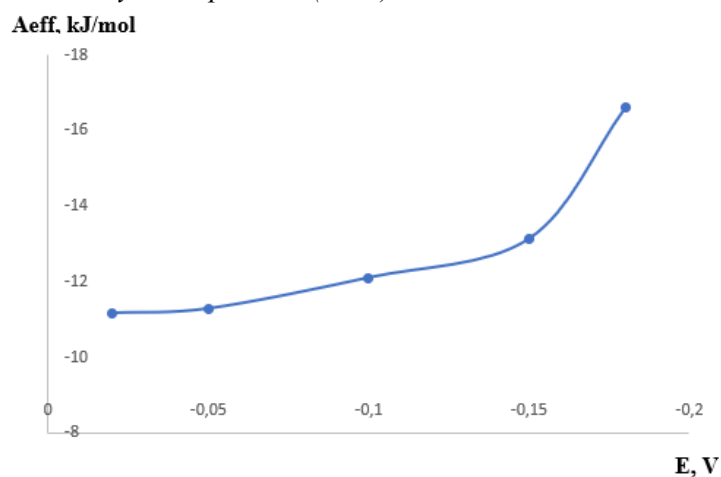


Fig.7. Dependence of current density on temperature at different potentials: 1- (-0.02); 2- (-0.05); 3- (-0.1); 4- (-0.15); 5- (-0.18) V. Electrolyte composition (mol/l)  $1.5 \cdot 10^{-3} \text{Na}_2\text{MoO}_4 + 2.0 \text{H}_2\text{SO}_4$ ; pH=0.4

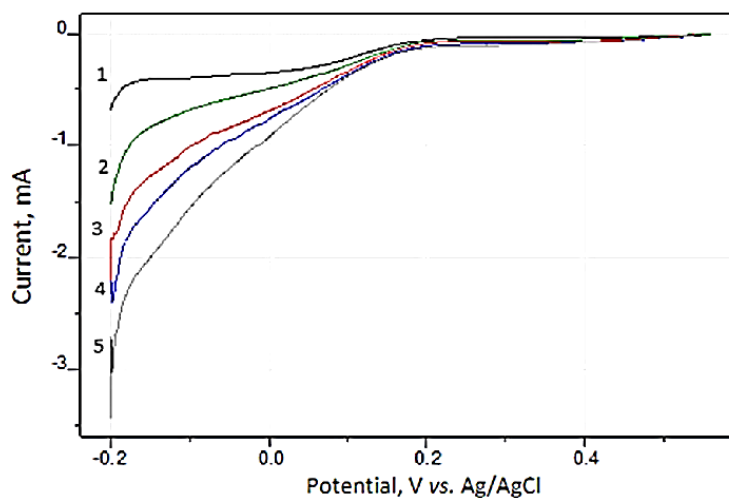


Fig.9. Polarization curves of molybdenum from sulfuric acid electrolytes at different potential sweep rates. Electrolyte composition (mol/l):  $1.5 \cdot 10^{-3} \text{Na}_2\text{MoO}_4 + 2.0 \text{H}_2\text{SO}_4$ ; pH=0.4; 1 –  $0.005 \text{Vs}^{-1}$ , 2 –  $0.02 \text{Vs}^{-1}$ , 3 –  $0.06 \text{Vs}^{-1}$  4 –  $0.1 \text{Vs}^{-1}$  t=75°C.

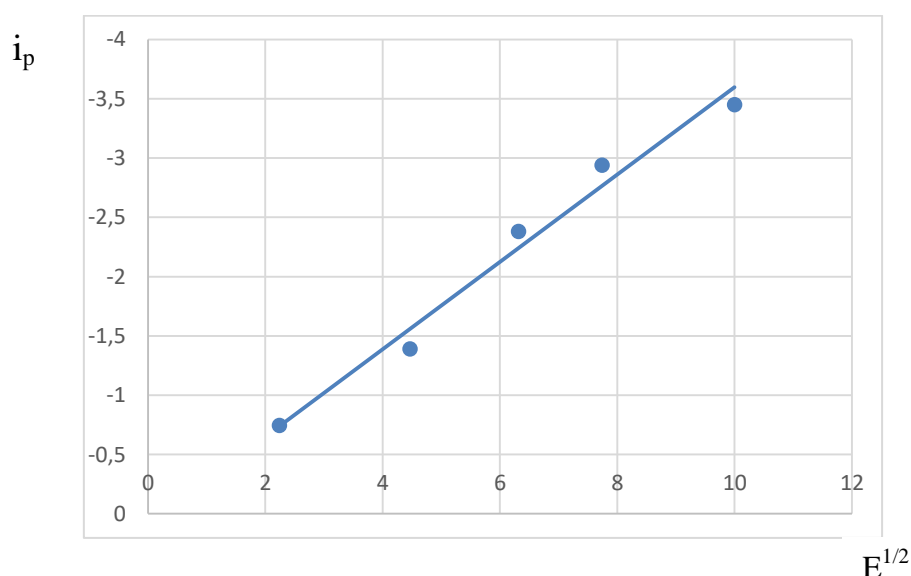


Fig.10. Dependence of peak current on square root of potential sweep rate. Electrolyte composition (mol/l):  $1.5 \cdot 10^{-3} \text{Na}_2\text{MoO}_4 + 2.0 \text{H}_2\text{SO}_4$

### Conclusion

1. As shown by the experiments, temperature has a significant effect on the rate of the studied process. As temperature increases, the rate of rhenium electroreduction increases, which is accompanied by an increasing wave height.

2. Based on the results, it can be concluded that rhenium electrodeposition from a sulfate electrolyte is accompanied mainly by chemical polarization.

3. The effect of the potential sweep rate on the cathode process was studied. The effect of the potential sweep rate on the nature of polarization shows that an increase in the potential sweep rate accelerates the molybdenum deposition process to varying degrees.

4. Thus, based on the experimental data, the following electrolyte composition is recommended for obtaining thin rhenium and molybdenum coatings (mol / l):

a) Electrolyte composition for rhenium (mol / l):  $3.5 \cdot 10^{-3} \text{KReO}_4 + 2.0 \text{H}_2\text{SO}_4$ ; pH = 0.4;  $V = 0.005 \text{ V s}^{-1}$   $t = 75 \text{ }^\circ\text{C}$ ., electrode - Pt.

b) Electrolyte composition for molybdenum (mol/l):  $1.5 \cdot 10^{-3} \text{Na}_2\text{MoO}_4 + 2.0 \text{H}_2\text{SO}_4$ ; pH=0.4;  $V=0.005 \text{ Bc}^{-1}$   $t=75^\circ\text{C}$  electrode – Pt.

### REFERENCES

1. Speranskaya, E.F. In coll. Electrochemistry of Rhenium // –Alma-Ata: Publishing House “Gylym”, –1990,–253p. (in Russian)
2. Pallant, A.A. Monograph Metallurgy of rhenium –M.: Nauka, –2007, 29 p. (in Russian)
3. Naor, Adi, Noam, Eliaz, et al. Direct Experimental Support for the Catalytic Effect of Iron-Group Metals on Electrodeposition of Rhenium. *Elec.Sol.-State Let.* –2010,13№12, c.D91-D93 <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/1.3489532/meta>
4. Naor A., Eliaz N. Ammtiac quarterly. Properties and applications of rhenium and its alloys, –2010, 5(1)p.11-15 <http://dx.doi.org/-10.4236/jmmce.2013.1503>
5. James E. Rhenium: Properties, uses and occurrence, –2016, –130 p.
6. Salakhova, E.A. The Electrodeposition of Rhenium in Alkaline and Acidic Elektrolytes / E.A.Salakhova, V.A.Majidzade, F. Novruzova [et al.] // J. Chem. Chem. Eng. 6 (2012) 489-494.

7. Salakhova, E.A. The Electrodeposition of Rhenium in Chloride-Sulphate Electrolyte / E.A.Salakhova, F.S.Novruzova, V.A.Medjidzade. // Scientific Works of the Technical University –2007, VI (1), –pp.85-88.
8. Salakhova, E.A. The Electrodeposition of Rhenium in Sulphate Electrolyte / E.A.Salakhova, V.A.Medjidzade // The Chemical Problems Journal –2006, 3, –pp.588-590.
9. Salakhova E.A. Obtaining the thin semiconductive covering Re-Se from sulphate electrolyte / E.A.Salakhova, A.M.Aliyev // *Journal of Advanced in Materials and Physics Chemistry*, China, –2012, 2(4), –pp. 253-255. <https://doi.org/10.4236/ampc.2012.24B064>.
10. Salakhova E.A. Electrochemical production of nanocoatings in the Re-Cu-Se system and their morphology / E.A.Salakhova, D.B.Taghiyev, M.A.Ramazanov [et al.] // *Chemistry and Chemical Technology*, –2021.Vol 64. No2. –C. 34-40. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216402.6298>
11. Haftbaradaran, A. Electrodeposition and characterization of metallic molybdenum from aqueous electrolytes containing high acetate concentrations / A.Haftbaradaran, N.Parvini-Ahmadi, S.Yazdani // *Surface & Coatings Technology*. Volume 324, 15september, – 2017, –pp.1-6 <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.05.024>
12. Siti, N.H. Electrodeposition of metallic molybdenum and its alloys – a review. / N.H.Siti, X.Min, E.Asselin // *Canadian metallurgical Quarterly*. The Canadian journal of Metallurgy and materials Science. Volume58, Issue1, August, –2018, –p.1-18, <https://doi.org/10.1080/00084433.2018.1511252>
13. Domanski, Daniel Feliks Raphael. The electrodeposition of metallic molybdenum thin - film coatings from aqueous electrolytes containing molybdate ions. –2015. <https://open.library.ubc.ca/soa/cIRcle/collections/ubctheses/24/items/1.0216002>
14. Ksycki, M.J. The Electrodeposition of Molybdenum from Aqueous Solutions / M.J.Ksycki, L.F.Yntema // *Journal of The Electrochemical Society*, Volume 96, Number 1.
15. Makyta M., Zatkan P., and Bezdička P. Electrodeposition of Molybdenum from Molten Salts. Institute of Inorganic Chemistry, Slovak Academy of Sciences, CSE-842 36 Bratislava Received 21 January 1992
16. Rajak Syed, Ghosh S.K., Sastry P.U., Sharma G., Hubli R.C., Chakravarty J.K. Electrodeposition of thick metallic amorphous molybdenum coating from aqueous electrolyte. *Surface and Coatings Technology*. Vol.261, January –2015. –pp.15-20 DOI:10.1016/j.surfcoat.2014.11.073
17. Syed, R.; Ghosh, S.K.; Kain, V.; Tripathi, R.P. Electrochemical investigation of molybdenum deposition from oxide based molten salt electrolyte. International Conference on Conference on Electrochemistry in Advanced Materials, Corrosion and Radiopharmaceuticals February 15-17, – 2018, India, –p.74

## XÜLASƏ

### SULFAT ELEKTROLİTİNDƏN RENİUM VƏ MOLİBDEİN ELEKTROSALINMASINDA KATOTUN QÜTBLƏŞMƏSİ

*Salakhova E.A., Tağıyev D.B., Kalantarova P.E., İbrahimova K.F., Əlizadə Y.E., Cabbarova İ.İ., Hacıyeva K.İ., Heybatova Ə.F., Xankişiyeva N.N.*

*Açar sözlər: renium, molibden, nazik örtüklər, elektrokimyəvi çökmə, ərintilər, cərəyan sıxlığı*

Renium və molibden ionlarının sulfat elektrolitlərindən katodik elektrovossant zamanı cərəyanın gərginlikdən asılılığının öyrənilməsi əsasında renium və Molibdenin çökmə şərtləri müəyyən edilmişdir. Elektrolitdəki komponentlərin tərkibi, cərəyan sıxlığı, temperatur, məhlulların turşuluğu, örtüklərin tərkibi və keyfiyyəti kimi müxtəlif amillərin təsiri öyrənilmişdir. Potensial tarama sürətinin sulfat elektrolitindən renium çökmə prosesinə təsirini öyrənərkən, məhdudlaşdırıcı cərəyanın diffuziya xarakteri daşdığı aşkar edilmişdir. Sulfat elektrolitindən Molibdenin elektroteziyası prosesinin əsasən kimyəvi qütbləşmə ilə müşayiət olunduğu müəyyən edilmişdir. Potensial tarama sürətinin molibden istehsalının katod prosesinə



təsiri öyrənilmişdir. Potensial tarama sürətinin qütbləşmənin təbiətinə təsirini öyrənərkən, potensial tarama sürətinin müəyyən dərəcədə artması Molibdenin çökmə prosesini sürətləndirdiyi aydın olur. Eksperimental məlumatlar əsasında renium və molibdendən nazik örtüklər əldə etmək üçün elektrolitin optimal rejimi və tərkibi müəyyən edilmişdir

#### РЕЗЮМЕ

#### ПОЛЯРИЗАЦИЯ КАТОДА ПРИ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИИ РЕНИЯ И МОЛИБДЕНА ИЗ СУЛЬФАТНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА

*Салахова Э.А., Тагиев Д.Б., Калантарова П.Э., Ибрагимова К.Ф., Ализаде Й.Э.,  
Джаббарова И.И., Гаджиева К.И., Гейбатова А.Ф., Ханкишиева Н.Н.*

*Ключевые слова: рений, молибден, тонкие покрытия, электрохимическое осаждение, сплавы, плотность тока*

На основе изучения зависимости тока от напряжения при катодном электровосстановлении ионов рения и молибдена из сульфатных электролитов были установлены условия осаждения рения и молибдена. Было изучено влияние различных факторов, таких как содержание компонентов в электролите, плотность тока, температура, кислотность растворов, на состав и качество покрытий. При изучении влияния скорости развертки потенциала на процесс осаждения рения из сульфатного электролита было установлено, что предельный ток имеет диффузионную природу. Установлено, что процесс электроосаждения молибдена из сульфатного электролита сопровождается в основном химической поляризацией. Изучено влияние скорости развертки потенциала на катодный процесс получения молибдена. При изучении влияния скорости развертки потенциала на характер поляризации становится ясно, что увеличение скорости развертки потенциала в той или иной степени ускоряет процесс осаждения молибдена. На основе экспериментальных данных были определены оптимальный режим и состав электролита для получения тонких покрытий из рения и молибдена

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	18.08.2024
	Son variant	17.09.2024



## PRODUCTION OF NEW GENERATION COMPOSITE MATERIALS BASED ON HIGH-DENSITY POLYETHYLENE AND “ARTESIAN CLAY” AND THE EFFECT OF APPRET

<sup>1</sup>JAFAROV VALEH JABBAR

<sup>2</sup>ALIMIRZAYEVA NAHIDA AMANULLA [ORCID](#)

<sup>3</sup>MUSAEVA GULNARA HUSEYNCHAN

<sup>4</sup>MANAFOV MUBARIS ARSUMAN

<sup>5</sup>KHALILOVA SANAM MUSA [ORCID](#)

<sup>6</sup>RAJABOVA MANSURA JAMAL [ORCID](#)

*Institute of Polymer Materials, Baku, Azerbaijan,*

*1- Corresponding member of the ANAS, professor, 2- PhD in chemistry,*

*4- PhD in chemistry, 3,5,6- engineer*

*[nahidalimirzayeva@gmail.com](mailto:nahidalimirzayeva@gmail.com)*

**Key words:** *high-density polyethylene (HDPE), natural mineral rock, size, polymer composite, tensile strength ( $\sigma$ ), elongation at break ( $\epsilon$ )*

*The article presents the creation of a new generation of high-performance composite materials using high-density polyethylene (HDPE) as a matrix and natural local mineral rocks as a filler. The goal is to obtain new generation composite materials with high physical and mechanical properties. Thus, carrying out research work towards the production of new generation composites with simple technology and low cost due to processing is considered relevant, economically and environmentally beneficial.*

*To ensure conditions for the fusion of the polymer matrix and mineral rock with each other and achieve parameters characteristic of high performance indicators, a sizing agent synthesized in the laboratory is included in the composition of the filled system.*

### Introduction

One of the advanced directions of modern science and technology is to obtain polymer composites with complex properties by mixing two or more polymers. The application of fillers to the acquired system and, as a result, the acquisition of a newer type of material is considered progressive. Currently, there is increasing interest in composite materials based on polymer matrix and small particles. Thus, they have the possibility of wide application in various fields, from catalysis to modern information technology, as well as chemistry, physics and material science.

The development of scientific research on the study of particles with different natural mineral composition as a filler has led to the achievement of polymer composites with many characteristic physical-mechanical and operating properties. Such materials have properties such as high thermal and electrical conductivity, magnetization, shielding of ionizing rays.

Currently, a number of scientific research works are on the agenda with relevance. One of such researches is the researches observed with the formation of a synergistic effect by combining them with each other for the purpose of saving the amount of raw materials with the polymer mixtures used, increasing the properties of a number of the polymers used. In this way, the purchase of quality material is achieved. One way to create polymer composites with high physical and mechanical indicators is the formation of a synergistic effect with the integration of the participating polymer mixtures, in other words, complete packing. The nature, structure, origin and similarity of the polymers participating in the system are important factors for their compatibility with each

other. The study of a number of physical-mechanical properties of the composites (PE-PP), (PE:PVX) and (PE-PS) obtained on the basis of the systems selected by the annealing of polymers and obtaining a homogeneous mass is of theoretical and experimental scientific interest. [1-3].

An appret is added to the composite in order to increase the cohesiveness of the matrix and the filler and also to improve the properties of the composite. It was determined that when an appret is added to the system, depending on its composition and properties, a synergistic effect is observed in the composite.

The nature of the filler is the main factor for the formation of polymer-filler adhesion. Thus, as a result of scientific research on the study of dispersed particles as a filler, it was found that precisely as a result of adding a filler to the composite, it was possible to obtain polymer composites with many specific operating properties and high parameters. Such materials have properties such as high thermal and electrical conductivity, magnetization, shielding of ionizing rays.

#### **Purpose of work:**

In every scientific research, there is a certain essence to achieve the set goal. The purpose of conducting the research is to obtain polymer composites with high properties and to achieve a wide range of practical use of the obtained products. In this regard, high pressure polyethylene was taken as a polymer matrix and filled with selected natural rock. Samples of different proportions of the mixture of two components were taken and their physical and mechanical indicators were determined. In order to achieve higher results, an appret synthesized in the laboratory was added to the composite.

#### **Setting the issue:**

The properties of polymer composites filled with dispersed fillers depend on various factors - the dispersion property of the filler, different mass % ratios of the components that make up the composite, the adhesion force between the polymer matrix and the filler, as well as the degree of distribution of the filler in the polymer. The research was carried out according to the mentioned indicators.

It is known from various literature sources that in order to achieve the obtained results with high indicators, it is necessary to add appropriate components to the system. In this regard, epoxy resin and a number of appropriate polymer-containing matrices are available [1].

Filled systems are characterized by a number of superior features. It is practical to obtain a competitive material with ecologically clean, high physical-mechanical strength properties [2].

#### **Problem solution:**

Taking into account the above, positive results were obtained in the research work.

High-pressure polyethylene (HDPE) was used as the matrix, and "Artesian clay" of the Southern region was used as the filler. A copolymer of maleic anhydride synthesized in the laboratory with acrylic acid was used as an appret.

HDPE is distinguished by a number of properties, such as low average molecular weight, relatively low crystallinity and density. It is used for the purpose of stabilization of nanoparticles, which are active particles, in the preparation of polymer composites with different composition and inclusion of metal oxide nanoparticles as a filler. In general, polyolefins have a number of advantages, such as being able to work in a wide range of temperatures, easily obtained, environmentally friendly and safe, cheap, etc. characteristics expand their fields of use [3].

Appret is used in order to facilitate the bonding between the polymer and the filler and also to obtain a composite with high physical and mechanical indicators.

#### **Practical part:**

For hundreds of years, by the employees of the "Recycling and Ecology of Polymer Materials" laboratory No. 2.11 of the Institute of Polymer Materials of the Ministry of Science and Education, compositions based on polyolefins and mineral fillers were prepared, and copolymers synthesized in the laboratory were included in the system in order to improve the properties by taking composites in various proportions [5].

"Artesian clay": both the mineralogical and chemical composition of the mineral are presented in the following tables.

**Table 1.**

*Mineralogical composition of samples, -%*

SiO <sub>2</sub> quartz	Feldspar	CaCO <sub>3</sub> (carbit)	Illite	Caolinite	Mont morillonite	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	volcanic ash
30	15	8	6	6	20	5	10

**Table 2 .**

*Chemical composition of samples, -%*

Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CT	YTI
1.3	2.8	15.39	57.05	0.01	0.01	2.4	6.27	0.69	0.01	5.83	0.1	8.2

\*Note: YTI – 950°C indicates the amount of volatile components.

Judging by the composition of the mineral, in addition to SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, K<sub>2</sub>O are the majority.

The demand for fillers is related to their dispersion, resistance to the external environment, compatibility with the polymer matrix, low cost, environmental friendliness and safety.

Preparation of composite samples:

After choosing the direction of scientific research, work was carried out to determine the various properties of polymer composite samples.

The polymer- is high-density polyethylene (HDPE) grade 17803-015.

Filler - "Artesian clay" from the southern region.

Physical and mechanical characteristics of the obtained samples:

**Table 3.**

№	Components, c %	Tensile force σ, MPa	Relative extension, ε, %
1.	HDPE-100	10.7	44
2.	HDPE-70 Filler-30	7.6	20
3.	HDPE -60 Filler -40	7.7	22.5
4.	HDPE -50 Filler -50	10.6	22.0
5.	HDPE -40 Filler -60	10.0	17.0
6.	HDPE-30 Filler -70	11.0	4.0

### Experimental part:

Natural rock brought in solid state in the form of a large mass is crushed. It is ground in a laboratory mill, then dried in a drying oven at a temperature of 350-4500C. After drying, it is passed through a 106 μm sieve. The sifted dispersed sample is mixed in a roller for 20-25 minutes and the homogeneous mass is kept under the press for 10-15 minutes. The obtained sample is shaped into a shovel with a special knife according to the standard.

The physical and mechanical parameters of the obtained composite samples are presented in table-3 above. Looking at Table 3, the ratio of the components that make up the sample composite with the value of the tensile strength limit of the sample is relatively high is HDPE-30 and filler-70 mass %. Thus, when the ratio of components is 30/70 wt.%, the limit of tensile strength is 11.0.

( $\sigma=11.0$  MPa). Therefore, the sample with a small amount of polymer (30 wt. %) and a large amount of filler (70 wt. %) has a higher strength.

This means that a synergistic effect occurs when the polymer-filler cohesion is higher. The value of the relative elongation at break is also similar with the same ratio of components.

Polymer – high-density polyethylene (HDPE) - grade 178030-015

Filler - “Artesian clay” from the southern region.

Apprete -is a copolymer of maleine anhydride with acrylic acid.

Physical and mechanical characteristics of the obtained samples:

**Table 4**

№	Components, %	Tensile force, $\sigma$ , MPa	Relative extension, $\epsilon$ , %
1.	HDPE -70 Filler -30 Apprete-3	11.0	65
2.	HDPE -60 Filler -40 Apprete -3	11.5	47
3.	HDPE-50 Filler -50 Apprete -3	13.4	24
4.	HDPE-40 Filler -60 Apprete -3	14.5	21
5.	HDPE-30 Filler -70 Apprete -3	15.9	18

An appret is added to the composite both to improve the adhesion between the filler and the matrix, and to achieve high physical and mechanical properties. The resulting appret is a copolymer of maleic anhydride with acrylic acid. When appret is introduced into the system, a rise in a number of properties is observed.

As can be seen from Table 4, the value of the tensile strength limit of the composite sample gets the highest value - 15.9 MPa ( $\sigma=15.9$  MPa) when the ratio of components is HDPE-30 and filler-70 mass %. Appret is up to 3 mass % in any ratio of composite samples. The value of the relative elongation at break also varies according to the values of the ratio of components. So, as can be seen from both tables, as the amount of filler increases and appret is added to the system, the value of this indicator decreases. This is explained by the fact that the filler and appret increase the strength of the composite.

### **Conclusion**

Composites based on high pressure polyethylene (HDPE) and mineral filler in different mass % ratios were obtained. Samples were taken in different proportions of the components that make up the composite and their physical and mechanical indicators were determined.

As a result of the research, we can say that the proportion of components of composites with more profitable and higher properties is HDPE-30 blunt. % and filler-70 cu. % are composites corresponding to the amount. The high result is also relevant for composite samples with appret. Regardless of the ratio of components, the appret was taken in the amount of 3-5% by mass.

Based on the comparative analysis of the conducted researches, it is possible to come to the conclusion that the new system of polyolefins filled with natural minerals can be used to obtain high-quality composite materials due to the nature of the components included in the composition, their physical and mechanical properties. One of the main factors in achieving the set goal is to obtain a higher quality target product with high physical and mechanical indicators as a result of

obtaining a homogeneous mass by creating favorable conditions for complete fusion with the presence of appret in the composite.

Since the physical and mechanical indicators of the composites obtained with the participation of appret have a higher value, it is recommended to use them in the relevant fields of industry and technology, in the preparation of construction materials [8].

The presented scientific research work is considered economically and ecologically favorable.

## REFERENCES

1. Kablov V.F., Novopoltseva O.M. Polymer mixtures. Volgograd. State Technical University. – 2018, –p.142
2. Jafarov, V.C. Creation of PCs resistant to foreign and harsh environment / V. C.Jafarov, S.A.Bektashi, S.M.Khalilova, [et al.] // News of the Azerbaijan Engineering Academy. –2019. №2. – pp. 77-82
3. Limanova, N.M. Properties of low-density polypropylene-polyethylene mixtures and phase structure of the components / N.M.Limanova, E.S.Popova, O.A.Ledieva [et al.] // Macromolecular compounds, Series A, –1998,vol. 40, No. 1, –pp. 51-57
4. Пахаренко, В.А. Наполненные термопласты : справочник / В. А. Пахаренко, В. Г. Зверлин, Е. М. Кириенко; под общ. ред. Ю. С. Липатова. – Киев : Техника, –1986. –181с.
5. Bektashi, N.R. Filled systems based on recycled ASPE with new composition / N.R.Bektashi, V.C.Jafarov // PMI-50. –Sumgait, – 2016. –pp. 83
6. Kurbanova, N.I. The influence of metal-containing nanofillers on the properties of mixed and dynamically vulcanized thermoplastic elastomers based on isotactic polypropylene and ternary ethylene propylene diene elastomer / Kurbanova N.I., Alimirzoeva N.A., Kuliev A.M. [et al.] // Plastics. – M., – 2016. No. 5-6, – p.25-31
7. Бекташи, С.А. О механизме аппретизирующего действия сополимеров малеинового ангидрата при формировании полимерного композита на основе полиэтилена и минеральных наполнителей / С.А.Бекташи, П.Ш.Алханов, М.А.Манафов, [и др.] // Вестник Азербайджанской инженерной академии. –Баку, –2020. Т.12. № 3. –pp. 81-86
8. Jafarov, V.C. The role of ionomer-structured appret in polymer compositions / V.C. Jafarov, P.Sh. Alkhanov, M.A. Manafov, [et al.] // News of the Azerbaijan Engineering Academy. – Baku, –2024. V-16, №- 1. –pp. 94-100.

## XÜLASƏ

### YÜKSƏK TƏZYİQ POLİETİLENİ VƏ “ARTEZİAN GİLİ” ƏSASINDA YENİ NƏSİL KOMPOZİT MATERIALLARIN ALINMASI VƏ APPRETİN TƏSİRİ

*Cafarov V.C., Əlimirzayeva N.Ə., Musayeva G.H.,  
Mənafov M.Ə., Xəlilova S.M., Rəcəbova M.C.*

**Açar sözlər:** *yüksək təzyiqliq polietileni, təbii mineral süxur, appret, polimer kompozit, dartılmada möhkəmlilik həddi ( $\sigma$ ), qırılma zamanı nisbi uzanma ( $\epsilon$ )*

Məqalədə mətiris kimi yüksək təzyiqliq polietilenindən (YTPE) və doldurucu kimi təbii yerli mineral süxurlardan istifadə edilməklə yüksək istismar göstəricilərinə malik yeni nəsil kompozit materiallarının yaradılması təqdim edilir. Məqsəd yüksək fiziki-mexaniki xassələrə malik yeni nəsil kompozit materialların alınmasından ibarətdir. Belə ki, sadə texnologiyaya məxsus, eləcə də aşağı maya dəyərli yeni nəsil kompozitlərin təkrar emal yolu ilə alınması istiqamətində tədqiqat işlərinin yerinə yetirilməsi aktual sayılır, iqtisadi və ekoloji cəhətdən əlverişli hesab edilir.

Polimer mətirisin və mineral süxurun biri-biri ilə uyuşması şəraitinin təmin edilməsi və yüksək istismar göstəricilərinə xas olan parametrlərin alınmasına nail olunması məqsədi ilə laboratoriya şəraitində sintez olunan appret doldurulmuş sistemə daxil edilir.

**РЕЗЮМЕ**

**ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ И «АРТЕЗИАНСКОЙ ГЛИНЫ» И ВЛИЯНИЕ АППРЕТА**

*Джафаров В.Дж., Алимирзоева Н.А., Мусаева Г.Х.,  
Манафов М.А., Халилова С.М., Раджабова М.Дж.*

**Ключевые слова:** *полиэтилен высокого давления (ПЭВД), природная минеральная порода, аппрет, полимерный композит, предел прочности ( $\sigma$ ), относительное удлинение при разрыве ( $\epsilon$ )*

В статье представлено создание нового поколения композиционных материалов с высокими эксплуатационными характеристиками с использованием полиэтилена высокого давления (ИТПЭ) в качестве матрицы и природных местных минеральных пород в качестве наполнителя. Целью является получение композиционных материалов нового поколения с высокими физико-механическими свойствами. Таким образом, выполнение научно-исследовательских работ в направлении получения композитов нового поколения с простой технологией и низкой себестоимостью за счет переработки считается актуальным, экономически и экологически выгодным.

Для обеспечения условий сплавления полимерной матрицы и минеральной породы между собой и достижения параметров, характерных для высоких эксплуатационных показателей, в состав заполняемой системы включают синтезированный в лабораторных условиях аппрет.

Daxilolma tarixi:	Ilkin variant	25.06.2024
	Son variant	05.08.2024



## 2-METİLANİLİNİN 1-PROPANOLLA KATALİTİK ALKİLLƏŞMƏSİNİN TƏDQIQI

<sup>1</sup>AĞAYEV ƏKBƏR ƏLİ oğlu [ORCID](#)

<sup>2</sup>ƏLİYEV NAILƏ ABDULLA qızı [ORCID](#)

<sup>3</sup>ŞAHTAXTİNSKAYA PƏRİ TURABXAN qızı [ORCID](#)

<sup>4</sup>TURABXANLI SƏMAYƏ ELDƏNİZ qızı

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

*1-professor, 2-baş müəllim, 3-dosent, 4-doktorant*

[naila550@mail.ru](mailto:naila550@mail.ru)

**Açar sözlər:** 2-metilanilin, 1-propanol, bərk katalizator, alkilləşmə, 2-propil-6-metilanilin, N-propil-2-metilanilin.

Anilin və onun homoloqlarının spirtlər və olefinlərlə alkilləşmə reaksiyasını iki məqsədlə həyata keçirmişlər. Birinci məqsəd aromatik aminlərin N- və N, N- alkil törəmələrini, ikinci halda isə anilin nüvəsində əvəz etmə yolu ilə onun karbona görə alkil törəmələrini almaq üçün. Hər iki sinif birləşmələr qiymətli yarımməhsullar olduğundan, onların hər birini ayrıca və ya hər ikisini eyni vaxtda sintez etmək üçün çoxsaylı cəhdlər olmuşdur. Onu da qeyd edək ki, bu tədqiqatlarda üstünlük spirtlərə verilmiş və katalizator kimi müxtəlif birləşmələrdən istifadə edilmişdir. N- etilanilin qiymətli boyaq, N, N-dietilanilin isə polimerləşmə reaksiyalarında birgə katalizator rolunu oynayır [1]. 2.6-dietilamin butaxlor herbisidinin sintezində aralıq maddə kimi götürülür.

Zərif üzvi sintezdə katalizin istifadə edilməsi qiymətli üzvi birləşmələrin, prinsipə yeni texnologiyaların yaradılmasına imkan verir. Bu baxımdan 2.6-dimetilanilin yüksək selektivliyə malik olan sintez metodunun yaradılması geniş çeşidli bioloji aktiv birləşmələrin, o cümlədən dərman preparatı, analgetik və kardioaktiv vasitə kimi istifadə olunan “Lidokain”in və sistemli təsiri olan yüksək effektiv “Ridomil” funksiyasının alınması üçün böyük əhəmiyyət kəsb edir. Bu sahədə dərc olunmuş işlər [2, 3] də dediklərimizi əyani göstərir.

2.6-dimetilanilin alınmasında yarana biləcək ekoloji və texnoloji problemləri həll etmək üçün Boldireva M.E. [4] müvafiq fenolun ammoniyakla reaksiyasını təklif etmiş və müsbət nəticə əldə etmişdir. Bu zaman nüvədəki digər əvəzləyicilər qalmaq şərti ilə hidrosil qrupu amin qrupu ilə əvəz olunur. İlk öncə o, karbon daşıyıcısı üzərinə hopdurulmuş palladium katalizatorunun alınma üsulunu işləyib hazırlamış, daha sonra elektron mikroskopiya, elektron zond, civə parometriya, adsorbsion metodları tətbiq etməklə katalizatorun quruluş göstəricilərinə, aktivlik və selektivliyinə təsirini öyrənmişdir. Katalizatorun optimal tərkibinin 0.5% Pd/C olduğunu müəyyən edən müəllif karbon daşıyıcısının “sibunit”, palladiumun aktiv layının isə 150 mkm qalınlığında mövcudluğunu da vurğulayır. Hidrogen iştirakı ilə 2.6-dimetilfenolun 2.6-dimetilsikloheksanona və 2.6-dimetilsikloheksanola çevirmə reaksiyalarının qanunauyğunluqlarını tədqiq etdikdən sonra Boldireva prosesin dönən olduğunu da qeyd edir. Hidrogen və Pd/C iştirakı ilə 2.6-dimetilsikloheksanonun ammoniyakla qarşılıqlı təsirdən 2.6-dimetilanilin və 2.6-dimetilsikloheksilamin iki paralel marşrut üzrə alınır. Onların əmələgəlmə sürətlərinin nisbəti prosesin temperaturundan, hidrogen və ammoniyakın parsial təzyiqlərindən asılıdır. Reaksiya zamanı əmələ gələn 2.6-dimetilsikloheksenamin dehidrogenləşmə nəticəsində dimetilaminə çevrilir.

Tərkibində 0.5% Pd olan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katalizatoru iştirakı ilə 3.5-dimetilfenolun qaz fazada aminləşmə reaksiyası ilə 3.5-dimetilanilinin alınmasına nail olan Çin alimləri [5] optimal texnoloji rejimi də açıqlamışlar (T=250<sup>0</sup>C, 3.5-dimetilfenol: H<sub>2</sub>:NH<sub>3</sub>=1:10:10mol/mol/mol). Müəyyən edilmiş şəraitdə 3.5-dimetilfenolun konversiyası 90%, alınan məqsədli məhsulun çıxımı isə 75% təşkil edir.

Çin alimləri [6] anilinin metil və etil törəmələri ilə yanaşı, izopropil homoloqlarını da almağı qarşılarına məqsəd qoymuş və ona nail olmuşlar. Molekulyar ələklər (HWC-3) iştirakı ilə 615-640 K temperaturda, 0,1-0,5 MPa təzyiqdə və verilən xammalın 1,0-1,5 st<sup>-1</sup> həcmi sürətində anilini izopropanolla alkilləşdirdikdə onun birdəfəlik konversiyası 19% və izopropilanilinə görə selektivlik 94% təşkil edir. Alınan məqsədli məhsulun dəqiq fraksiyalaşma və azeotrop distillə üsulları ilə təmizlənməsi prosesin digər üsullardan fərqli olaraq daha effektiv və ekoloji təmiz olmasına gətirib çıxarır.

Anilinin propanolla alkilləşmə reaksiyası atmosfer təzyiqində ionu əvəz edilmiş əsasi (Li, Na, K, Ca, Sr və Ba) seolitlər iştirakı ilə öyrənilmiş və reaksiyanın karbon və azota görə paralel alkilləşmə mexanizmi üzrə getdiyi müəyyən edilmişdir. Tədqiqatçıların [7] fikrincə əsas məhsul o-izomerdir, lakin seolitə əsaslıyı artdıqca N-alkilləşmənin selektivliyi artmağa başlayır. Digər işdə 2-metilanilinin metanolla alkilləşmə reaksiyasından bir sıra maddələrin alındığı bildirilir. Onlara N-metiltoluidini, 2.6-dimetilanilini, N,N-dimetiltoluidini, 2.4.N.N-tetrametilanilini və 2.4.6-trimetilanilini misal göstərmək olar. Bu tədqiqatçıların fikrincə 2-metilanilindən alınan 2-, N-dimetilanilin sonra molekul daxili izomerləşərək 2.6-dimetilanilinə çevrilir. N-metilanilini anilin və metanol əsasında almaq üçün digər tədqiqatçılar [3] katalizator kimi Mg<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> təklif etmişlər. 350<sup>0</sup>C temperaturda anilinin konversiyası 45%, alınan məqsədli məhsulun selektivliyi cəmi 68% və katalizatorun sabit iş müddəti çox olmur (50 saat).

Çin alimləri [8] CuO-ZnO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katalizatoru iştirakı ilə anilinin izopropanolla alkilləşmə reaksiyası ilə N-izopropilanilinin selektiv sintezinə nail olmuşlar. Digər alimlər [9] bu reaksiyada Zn<sub>1-x</sub>Ni<sub>x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> katalizatorunun selektiv xassələrini müəyyən etmiş, mono N-alkilləşmənin x-in aşağı qiymətlərində daha aktiv və selektiv həyata keçməsinə göstərmişlər. Katalizatorun quruluşu ilə katalitik xassələri arasındakı əlaqəni müəyyən etməyə cəhd göstərən bu alimlər kationların şpinel qəfəsdə paylanmasını əsas göstərirlər.

Anilinin izopropanolla alkilləşmə reaksiyası HZSM-5 seolit iştirakı ilə təfəsilatı ilə tədqiq edilmişdir. Katalizatorun alınma üsulunun onun közərdilmə və hidrotermal emalı temperaturunun (823-1123 K və 573-823 K), quruluşunun və məsələlərin ölçülərinin anilinin konversiyasına və alınan məqsədli məhsulun (n-izopropilanilinin) selektivliyinə təsiri öyrənilmişdir [10]. Bu tədqiqatçıların dediyinə görə katalizatorun Luis mərkəzləri köməkçi rolunu oynayır, anilin nüvəsində alkilləşmə isə əsasən Brenstedin güclü turşu mərkəzlərində baş verir.

Aromatik aminlərin spirtlərlə alkilləşmə reaksiyasında alkilləşdirici kimi daha çox metanola müraciət olunsada, digər homoloqların (etil, propil, izopropil) alınmasında etil, propil və izopropil spirtləri, həcmnin propiləndə götürülmüş, lakin effektiv katalitik sistemlərin işlənilib hazırlanmamasına görə və mürəkkəb texnologiyanın tətbiqinin çətinlikləri üzündən bu istiqamət geniş tədqiq olunmamışdır.

Ona görə də aromatik aminlərin C<sub>2</sub>-C<sub>3</sub> alkil törəmələrinin effektiv alınma üsulunun yaradılması və mükəmməl texnologiyanın işlənilib hazırlanması aktual olub, bu sahədə çalışan alimlərin və tədqiqatçıların maraq dairəsindədir.

2-metilanilinin 1-propanolla alkilləşmə reaksiyasının tədqiqatlarında ilk məqsəd daha səmərəli katalizatorun seçilməsi olmuş və bu istiqamətdə yerinə yetirilən təcrübələrdə bərk halda olan bir sıra katalizatorlar sınaqdan keçirilmişdir.

Təcrübələr tərpənməz laylı katalizatorlarla təchiz olunmuş axan rejimdə işləyən reaktoru olan laboratoriya qurğusunda aparılıb. Katalizatorun həcmi 20 sm<sup>3</sup>, reaksiyanın müddəti 1 saatdır. Maye və qaz halında olan reaksiya məhsullarının analizi xromatoqrafik yolla Xrom-5 və Xromatek-Kristal-5000 cihazlarında həyata keçirilib.



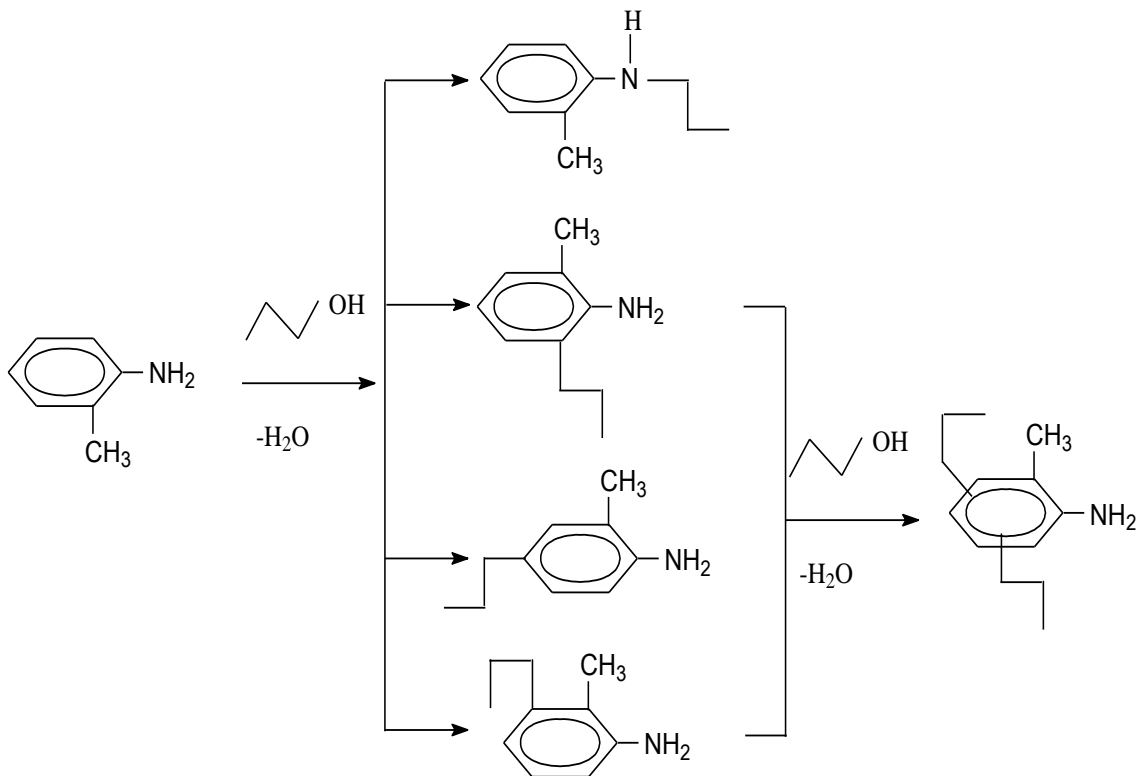
Xromatoqrafik analiz zamanı istifadə olunan bərk daşıyıcıların kimyəvi, katalitik adsorbsiya aktivliklərinin nümunədəki komponentlərin göstəricilərinə mənfi təsiri ehtimalını əvvəlcədən bildiyimizə görə inert daşıyıcılar (xromosorb W, xromoton və s.) seçilmişdir. Alkilatların analizi xromaton N-AW (Fr. 0.16-0.20 mm) üzərinə 6.0% SE-30 (silikon elastomeri) hopdurulmuş və ölçüləri 3,6 mmx4.0 mm olan xromatoqrafik kalona doldurulmuş faza iştirakı ilə aparılmışdır. Alovlu-ionlaşdırılmış detektor olan halda analiz 80-180 °C temperatur həddlərində temperaturun 8.0 °C/dəq sürətlə artırılması yolu ilə əvvəlcədən proqramlaşdırılmış rejimə əsasən həyata keçirilmişdir.

Bərk katalizatorlar kimi oksid və seolit sistemləri götürülmüş və onların tərkibi aşağıda göstərilmişdir.

Misferrit katalizatorunda aktiv kütlənin ( $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ ) payı 25.0 kütlə%, vanadium-xrom-alüminium katalizatorunun tərkibi kütlə % ilə  $\text{V}_2\text{O}_5$  - 3.0,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  - 7.0,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 93.0 olmuşdur. H-mordenitdə modul 22, pentasildə isə 40 təşkil etmiş, palladiumun hər iki seolitdəki qatılığı 1.0% kütlə olmuşdur.

2-metilanilin 1-propanolla alkiləşmə reaksiyasında müxtəlif katalizatorların aktivliyi cədvəldə verilir.

Alınan nəticələrin təhlilindən görünür ki, 2-metilanilin 1-propanolla alkiləşmə reaksiyasından alınan əsas məhsullara N-propil-2-metilanilin, 2-propil-6-metilanilin, 3- və 4-propil-2-metilanilinlər, dipropil-2-metilanilin izomerləri aiddir. Katalitik alkiləşmə prosesində baş verən çevrilmələri aşağıdakı sxem ilə ifadə edə bilərik.



Temperatur və reaksiyada istifadə olunan katalizatorun tərkibindən asılı olaraq 2-metilanilin 1-propanolla qarşılıqlı təsiri amidəki azot (N-) atomuna və nüvədəki karbon (C-) atomlarına görə baş verir. Temperaturun aşağı qiymətində (300°C) bütün hallarda N-alkiləşmə üstünlük təşkil edir. Aşağı selektivlik (53.0%) misferrit katalizatoru iştirakında yuxarı selektivlik (92.0%) isə vanadium-xrom-alüminium oksid katalizatoru götürüldükdə əldə olunur.

Bəzi katalizatorlar iştirakı ilə 2-metilanilinin 1-propanolla alkilləşmə reaksiyasının tədqiqinin nəticələri. Reaksiya şəraiti:  $\theta = 1.0 \text{ st}^{-1}$   $\nu = 1:3 \text{ mol/mol}$

Adı	Katalizatorun adı					
	CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · Y-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · Y-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H-mordenit	Pd, H- mordenit	H-pentasil	Pd-HSVM
Temperatur, °C	300	300	300	300	300	300
	370	370	370	370	370	370
2-metilanilinin konversiyası	84.0	70.0	63.5	67.0	66.0	74.5
	100	98.5	98	100	100	100
Çevrilmiş 2- metilanilinə görə hesablanmış reaksiya məhsullarının çixımı, o cümlədən						
N-propil-2- metilanilin	92.0	53.0	80.0	85.0	78.0	80.0
	30.0	7.0	3.0	2.0	2.5	-
2-propil-6- metilanilin	5.5	40.0	10.0	9.5	12.0	10.0
	56.5	80.0	76.0	65.5	56.0	42.0
4-propil-2- metilanilin	8.0	4.0	1.5	2.0	4.0	3.0
	-	8.5	11.0	23.5	33.0	43.0
3-, 5-propil-2- metilanilin	-	-	-	-	1.0	1.0
	-	-	1.0	2.0	2.0	4.5
Dipropil-2- metilanilinlər	-	1.0	2.0	1.5	2.0	3.0
	1.5	1.5	3.0	3.5	3.0	5.0
Digər məhsullar	1.5	1.5	3.0	1.0	2.0	2.0
	2.5	2.5	4.0	1.5	2.5	3.0

Temperaturun artması N-propil-2-metilanilinə görə selektivliyi aşağı salır. Pd-HSVM iştirakında bu birləşmə praktiki olaraq alınmır, CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>·Y-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katalizatoru olan halda isə N-propilləşmənin payı 30%-ə qədər təşkil edir. Misferrit katalizatorundan başqa digər katalitik sistemlərin N-alkilləşməyə meyli 370 °C-də çox deyil. Çevrilmiş 2-metilanilinə görə hesablanmış bu maddənin çıxımı 2.0-7.0% olur. Temperaturun artması N-propilləşmənin sürətini azaltsa da, C-alkilləşmənin sürəti kifayət qədər olur. Misferrit vanadium-xrom-alüminium oksid sistemi və H-mordenit iştirakında üstünlüyü orto-propilləşmə təşkil edir və bu maddəyə görə reaksiyanın selektivliyi müvafiq olaraq 56.5, 80.0 və 76.0% olur. Pd, H-mordenit, H-pentasil və Pd-HSVM seolitləri iştirakında orto-propilləşmə ilə yanaşı, p-propilləşmənin də payı artır. Belə ki, çevrilmiş 2-metilanilinə görə hesablanmış 4-propil-2-metilanilinin çıxımı Pd, H-mordenitdə 23.5%, Pd-HSVM olduqda isə 43.0% təşkil edir. Orto- və para- izomerlərin ümumi selektivliyinə gəldikdə isə bu göstərici 85.0-89.0% olur. Katalizatorlarda 3-propil-2-metilanilinin selektivliyi 1.0-4.5% təşkil edir ki, daha yüksək nəticə Pd-HSVM seoliti götürüldükdə əldə olunur. Katalitik prosesdə 2-metilanilinin 1-propanolla ardıcıl alkilləşməsinə də rast gəlinir. Əmələ gələn dipropil-2-metilanilinə görə selektivlik 1.5-5.0% həddində olub, daha çox palladium pentasil iştirakı olduqda əldə olunur. 2-metilanilinin-1-propanolla alkilləşmə prosesində o-toluidinin digər alkil homoloqları da (məsələn, etiltoluidinlər) alınır və onların çıxımı temperaturun artması ilə yüksəlir.

Temperaturun artması digər mühüm göstəricini də yəni 2-metilanilinin konversiyasını da çoxaldır və bəzi katalizatorlar (Pd-HSVM, H-pentasil, Pd, H-mordenit) iştirakında 100% edir.

Ümumiyyətlə, alınan nəticələr göstərir ki, elektrofil əvəz etmə reaksiyalarının, o cümlədən, alkilləşmə proseslərinin əsas qanunauyğunluqları heterogen bərk katalizatorlar səthində də özünü

doğrudur. Protonlaşmış 2-metilnilin praktiki olaraq aromatik nüvəyə görə propilləşmir, metilaminin molekulyar forması isə çox güman ki, səthdəki propilamid qruplarla qarşılıqlı təsirdə olaraq 2-metilnilinin o- və p-propil izomerlərini əmələ gətirir. Katalizatorlar kimi seolitləri səciyyələndirən cəhət turşu mərkəzlərin kristallitin kanallarında, həm də səthində paylanmasıdır. Alınan nəticələrin təhlili göstərir ki, bu və ya digər izomerlərə və izomer qarışıqlarına görə selektiv alkiləşmənin tənzimlənmə qaydalarından asılı olub, orto-izomeri  $V_2O_5 \cdot Cr_2O_3 \cdot Y-Al_2O_3$  katalizatoru iştirakında 80.0%, para-izomeri Pd-HSVM katalizatoru götürüldükdə 43.0% selektivliklə alınmağa imkan verir.

#### ƏDƏBİYYAT

1. Голосман, Е.З. Кинетические и термодинамические аспекты N-алкилирования анилина / Е.З.Голосман, Е.С.Мортиков, С.А.Иванова // Изв. Вузов Химия и химическая технология. –1986, вып. 7, –с.108-112
2. Agayev, A.A. Alkylation of 2-methylaniline with methanol in the presence of ferrite catalysed / A.A.Agayev, N.A.Mustafayeva, M.M.Muradov [et al.] // European Science Review, –2016, № 9-10, –р. 256-258
3. Патент 2240308 Россия Способ получения N-метиланилина /Горбунов Б.Н., Слепов С.К., Митин А.А., Утробин А.Н./ опубл. в РЖХим 05.04-19Н77П
4. Болдырева М.Э. Разработка каталитического процесса получения 2,6-диметиланилина из 2,6-диметилфенола на катализаторе Pd: / С. Авт. канд. дисс. на соиск. уч. ст. к.х.н. / –М.: 1993, –24 с.
5. Zheng, Hai-Tao. Vapor phase synthesis of N,N-diethylaniline / Н.-Т. Zheng, Tao-Ke-yi. // Petrochem. Technol. –2001, 30, № 11, –с. 844-846
6. Zhang Xin Cheng, Study of the synthesis of 3,5-dimethylaniline by gas-phase lamination of 3,5-dimethylphenol / X.Ch.Zhang, Chen-Li-yu, R.H.Sun // Chem. React. Eng and Technol, –2003, 19, № 2, –с. 145-149
7. Патент 2559350 Россия Способ получения анилина и/ или N-метиланилина и катализатор для него /Горбунов Б.Н., Слепов С.К., Утробин А.Н., Митин А.А.// опубл. в РЖХим 06.04-19Н76П
8. Gang Li, Xingxing Ma, Chungi Jia, Qingqing Han and others Ruthenium-catalyzed meta/orto selective C-H alkylation of azoarenes using alkylbromides // Chemical Communication, –2017, 7, –р. 333-336
9. Патент 2559350 Россия Способ получения анилина и/ или N-метиланилина и катализатор для него /Горбунов Б.Н., Слепов С.К., Утробин А.Н., Митин А.А.// опубл. в РЖХим 06.04-19Н76П

#### SUMMARY

##### STUDY OF THE CATALYTIC ALKYLATION OF 2-METHYLANILINE WITH 1-PROPANOL

*Agayev A.A., Aliyeva N.A., Shakhtakhtinskaya P.T., Turabkhanly S.E.*

**Key words:** 2-methylaniline, 1-propanol, solid catalyst, alkylation, 2-propyl-6-methylaniline, N-propyl-2-methylaniline.

The results of a study of the alkylation reaction of 2-methylaniline with 1-propanol in the presence of solid catalysts, in particular  $CuFe_2O_4 \cdot Y-Al_2O_3$ ,  $V_2O_5 \cdot Cr_2O_3 \cdot Y-Al_2O_3$ , H-mordenite, Pd-H-mordenite, H-pentacyl, Pd-HSVM, are presented. It was shown that the alkylation of 2-methylaniline with 1-propanol occurs at the nitrogen (N-) and carbon atoms of o-toluidine. At low temperatures (300 °C) N-alkylation of the amine occurs. With increasing temperature, depending on the composition of the zeolite catalyst, o- and p-alkylation increases with the formation of propyl homologues of 2-methylaniline.

**РЕЗЮМЕ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО АЛКИЛИРОВАНИЯ  
2-МЕТИЛАНИЛИНА 1-ПРОПАНОЛОМ**

*Агаев А.А., Алиева Н.А., Шахтаминская П.Т., Турабханлы С.Э.*

**Ключевые слова:** *2-метиланилин, 1-пропанол, твердый катализатор, алкилирование, 2-пропил-6-метиланилин, N-пропил-2-метиланилин.*

Приводятся результаты исследования реакции алкилирования 2-метиланилина 1-пропанолом в присутствии твердых катализаторов в частности  $\text{CuFe}_2\text{O}_4 \cdot \text{Y-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5 \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{Y-Al}_2\text{O}_3$ , Н-морденит, Pd-Н-морденит, Н-пентацил, Pd-НЦВМ. Показано, что алкилирование 2-метиланилина 1-пропанолом происходит по азотному (N-) и углеродному атома о-толуидина. При низких температурах (300 °C) преобладает N-алкилирование амина. С ростом температуры в зависимости от состава цеолитного катализатора усиливается о- и п-алкилирование с образованием пропильных гомологов 2-метиланилина.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	30.04.2024
	Son variant	03.06.2024

УДК 547-396+691.175.743

DOI 10.54758/16801245\_2024\_24\_2\_43

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛОГЕКСИЛОВЫХ ЭФИРОВ НА ОСНОВЕ СМЕСИ ЖИРНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ НЕФТЯНЫХ КИСЛОТ

<sup>1</sup>САДИЕВА НАЗИЛЯ ФЕЙРУЗ ГЫЗЫ [ORCID](#)  
<sup>2</sup>НАСИБОВА ГЮНАЙ ГАМБАР ГЫЗЫ [ORCID](#)  
<sup>3</sup>ЭФЕНДИЕВА ЛАЛА МАГОММЕД ГЫЗЫ [ORCID](#)  
<sup>4</sup>ИСКЕНДЕРОВА СЕВИЛ АЛИШАН ГЫЗЫ [ORCID](#)  
<sup>5</sup>АЛИЕВА САЙЙАРА ГУЛАМ ГЫЗЫ [ORCID](#)  
<sup>6</sup>ЧЕРЕПНОВА ЮТТА ПАВЛОВНА [ORCID](#)  
<sup>7</sup>МУСТАФАЕВА ИНДЖИ АББАС ГЫЗЫ

*Институт нефтехимических процессов им.акад. Ю.Г.Мамедалиева, Баку, Азербайджан*  
*1-д.ф.х., с.н.с., 2-д.ф.х., зав.лаб., 3-д.х.н., зав.отд., 4-д.ф.х., в.н.с.,*  
*5-д.т.н., зав.лаб., 6-д.ф.х., в.н.с., 7-специалист*  
[ay\\_ten\\_babayeva@yahoo.com](mailto:ay_ten_babayeva@yahoo.com)

**Ключевые слова:** циклогексанол, жирные кислоты, синтетические нефтяные кислоты, этерификация, сложный эфир, катализатор, пластификатор, антиоксидант.

*Статья посвящена методу синтеза циклогексильных эфиров на основе смеси жирных и синтетических нефтяных кислот в присутствии гетерогенного катализатора TiO<sub>2</sub>. Оптимальные условия синтеза циклогексильных эфиров изучены влиянием количества катализатора, мольного соотношения исходного сырья и температуры. В дальнейших исследованиях были определены показатели синтезированных циклогексильных эфиров аналитическими и спектральными методами, составлен материальный баланс процесса получения циклогексильного эфира на основе смеси жирных и синтетических нефтяных кислот. Полученные эфиры были испытаны в качестве пластификатора и нового антиоксиданта.*

**Введение.** В литературе приводится множество способов получения сложных эфиров органических кислот, главным образом жирного, нафтенного и ароматического рядов, которые применяют в качестве растворителей, пластификаторов, антиоксидантов, депрессантов [1-3].

Исследована каталитическая активность кислот Бренстеда в отношении этерификации жирных кислот (ЖК) при комнатной температуре. Примечательно, что гетерополикислота H<sub>3</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub> (HPW) показала очень высокую активность, по сравнению с классическими катализаторами, т.е. п-толуолсульфоновая кислота и серная кислота. Высокие выходы этиловых эфиров (около 90%) были достигнуты после 4-часовой реакции при 25°C в реакциях, катализируемых HPW. Также было исследовано влияние спирта и природы ЖК на реакцию выхода [4].

В данной статье исследуется получение эфира этиленгликоль-нафтенат-п-хлорбензоата на основе п-хлорбензойной кислоты и этиленгликолевого эфира ПНК (в пересчете на 2% по массе хлорбензойной кислоты) с выходом 85% при температуре 110-120°C в течение 5-6 часов в присутствии катализатора – перхлоратной кислоты и синтезирование эфира этиленгликоль-нафтенат-α-нафтилацетата на основе моноэтиленгликолевого эфира ПНК и α-нафтилуксусной кислоты (2% от массы α-нафтилуксусной кислоты) с выходом 80% при 110-120°C в течение 6-7 часов в присутствии катализатора – перхлоратной кислоты. Физико-

химические показатели синтезированных эфиров определены и идентифицированы спектральными методами. Синтезированные эфиры были протестированы на предмет улучшения термоокислительной стабильности и антидепрессивных свойств дизельного топлива. Установлено, что эти эфиры могут быть использованы в качестве антиоксидантов и антидепрессантов в дизельном топливе [5].

Авторами был произведен синтез смешанных пропиленгликолевых диэфиров на основе ПНК и ЖК в присутствии катализатора ZnO и осуществлена предварительная оценка возможности применения синтезированных диэфиров в качестве пластификатора поливинилхлорида и антиоксиданта для дизельного топлива. Найдены оптимальные условия проведения этерификации: соотношение кислот и спирта – 2,0:1,3, количества катализатора – 1,2-1,6 мас. %, температура – 110-120 °С, продолжительность реакции 3,5-4 ч. В зависимости от взятой жирной кислоты выходы смешанных диэфиров колебались в пределах 88-90 %. Структурно-групповой состав полученных смешанных диэфиров был определен спектральными методами ИК- и ЯМР-спектроскопией [6].

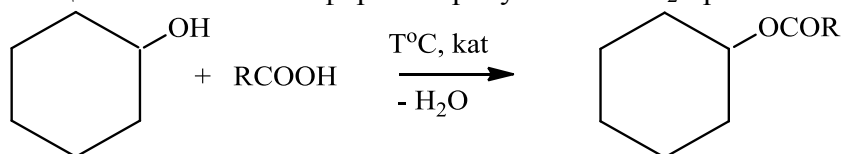
Статья посвящена получению и исследованию 1,4-бутандиоловых смешанных (несимметричных) диэфиров синтетических нефтяных и алифатических жирных кислот (C<sub>6</sub>–C<sub>8</sub>). Установлено, что высокий выход целевого продукта (90,3%) наблюдается при следующих условиях: температура – 110–120°С, количество катализатора – 1,3% масс. (по кислоте), мольное соотношение компонентов – кислота: спирт - 2:1,4. Определены физико-химические показатели и структуры синтезированных продуктов. Показано, что 1,4-бутандиоловые смешанные диэфиры имеют хорошую совместимость с поливинилхлоридом, образуя бесцветные эластичные пластикаты. Синтезированные эфиры испытаны в качестве антиоксиданта, улучшающего термоокислительную стабильность дизельного топлива. Определено, что осадок, образующийся в результате окислительной полимеризации и поликонденсации дизельного топлива из-за наличия в его составе гетероатомных соединений, уменьшается при добавлении 0,004 масс. % синтезированных диэфиров с 4,6 мг/100 мл до 1,0 мг/100 мл дизельного топлива [7].

Значительно меньшее количество работ [8, 9] по синтезу циклогексильных эфиров ЖК и нефтяных кислот и дефицит в пластификаторах, антиоксидантах, депрессантах ставит перед нами цель разработать метод их получения и исследования. С этой целью в настоящей статье были проведены исследования, направленные на разработку более эффективного и доступного способа синтеза циклогексильных эфиров смеси жирных кислот и синтетических нефтяных кислот (СНК).

#### **Экспериментальная часть**

Для получения циклогексильных эфиров в качестве сырья были использованы алифатические жирные кислоты: пеларгоновая, каприновая и лауриновая кислоты, TiO<sub>2</sub>, толуол, синтетические нефтяные кислоты, полученные в лабораторных условиях жидкофазным окислением нафтен-парафиновых углеводородов выделенных из масляного дистиллята нефти Т-1500 в присутствии катализатора дибромбензоат Mn, в барботажном реакторе при температуре 140 °С и имеющие следующие физико-химические показатели: T<sub>кип.</sub> – 195-205 °С/6,65·10<sup>-4</sup> МПа; кислотное число (К.ч.) = 140 мгКОН/г; молекулярная масса, рассчитанная по к.ч. г/моль – 400; ρ<sub>4</sub><sup>20</sup> - 0,9945; n<sub>D</sub><sup>20</sup> - 1,5140[10].

Синтез циклогексильных эфиров в присутствии TiO<sub>2</sub> протекает по следующей схеме:



где R – радикал смеси жирных кислот (ряда C<sub>9</sub>-C<sub>11</sub>) и СНК.

С целью определения оптимальных условий синтеза циклогексильных эфиров ЖК и СНК ссылаясь на ранее проведенные работы [7] было изучено влияние молярного

соотношения спирта и кислот, количества -  $TiO_2$  и температуры на ход реакции. Проведённые реакции дали нам возможность найти оптимальный режим (температура – 110-120°C, количество катализатора – 1,8 мас. % (по кислоте), соотношение ЦГ:СНК:ЖК – 1,5:0,5:0,5 моль) для синтеза циклогексилового эфира СНК. В найденном оптимальном режиме был синтезирован циклогексиловый эфир на основе смеси каприновой кислоты и СНК, представленный ниже:

- для синтеза сложного эфира ЦГ и смеси  $C_9H_{19}COOH$  и СНК взято 100 г (0,25 моль) СНК, 43 г (0,25 моль)  $C_9H_{19}COOH$ , 75 г (0,75 моль) циклогексанола, 2,6 г (0,03 моль)  $TiO_2$  и 155 г (1,7 моль) толуола (взятого в количестве 70 % от общей смеси компонентов). По окончании реакции содержимое колбы охлаждается до комнатной температуры, после чего фильтрованием проводится отделение смеси от катализатора. Надо отметить, что при использовании гетерогенного катализатора обработка сырого эфира проходит без нейтрализации, промывки, сушки. После отгонки растворителя – толуола, эфир-сырец подвергается вакуумной перегонке. Определены физико-химические показатели полученного эфира (табл.2) и составлен материальный баланс (табл.1).

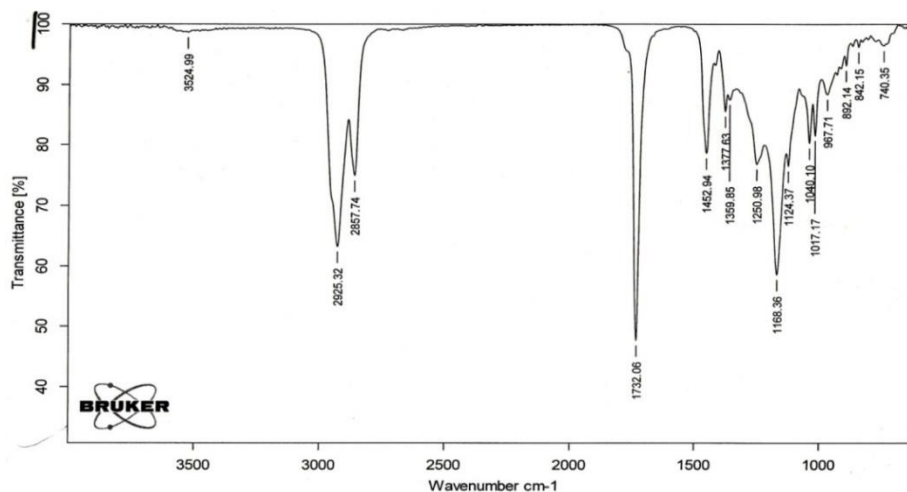
**Таблица 1.**

*Материальный баланс процесса получения циклогексилового эфира смеси каприновой- и синтетических нефтяных кислот*

Сырье			Продукты		
Наименование	количество, г/моль	%	Наименование	количество, г/моль	%
СНК	100	26,62	Вода	8,6	2,29
Каприновая кислота	43	11,45			
ЦГ	75,0	19,97	ЦГ	23	6,12
$TiO_2$	2,6	0,69	$TiO_2$	2,4	0,64
Толуол	155	41,27	Толуол	150	39,94
Итого	375,6	100	Циклогексиловый эфир	184	48,99
			Потери	7,6	2,07
			Итого	375,6	100

### Обсуждение результатов

ИК-спектр циклогексилового эфира смеси каприновой кислоты и СНК снят на «Alpha» ИК-Фурье-спектрометре производства немецкой фирмы BRUKER и представлен на рисунке 1.



**Рис.1.** ИК- спектр циклогексилового эфира смеси каприновой кислоты и СНК.

В спектре представлены полосы поглощения карбонильных групп в областях  $1732\text{ см}^{-1}$ , а также эфирных групп –  $1040, 1124, 1168, 1250\text{ см}^{-1}$ , С-Н связь циклического кольца –  $967, 1017\text{ см}^{-1}$  (рис. 1).

Аналогичным способом были проведены этерификации с другими представителями алифатических жирных кислот, определены физико-химические показатели синтезированных эфиров и представлены в таблице 2.

**Таблица 2.**

*Некоторые физико-химические показатели циклогексильных эфиров*

№	Радикал		Выход, % мас.	Т.кип., °С / $10^{-4}$ МПа	$\rho_4^{20}$	$n_D^{20}$	Кислотное число, мгКОН/г	Летучесть, %
1.	C <sub>8</sub> H <sub>17</sub>	I	47,4	122-124	0,9153	1,4552	0,3	0,6
		II	45,4	180-190	0,9566	1,4735	0,5	0,8
2.	C <sub>9</sub> H <sub>19</sub>	I	47,0	133-135	0,9004	1,4564	0,4	0,6
		II	42,7	180-190	0,9520	1,4800	0,7	0,9
3.	C <sub>10</sub> H <sub>21</sub>	I	42,0	165-167	0,8998	1,4570	0,4	0,7
		II	46,6	180-190	0,9505	1,4862	0,6	0,8

Синтезированные циклогексильные эфиры СНК и соответствующих ЖК представляют собой светло-жёлтые маслянистые жидкости со специфическим запахом, нерастворимые в воде, но хорошо растворимые в органических растворителях.

В качестве пластификаторов в основном применяют высококипящие сложные эфиры различных классов. Учитывая, что эфиры циклогексанола карбоновых, особенно нефтяных кислот приобретают важное практическое и теоретическое значение как пластификаторы и антиоксиданты [3, 11]. Цель дальнейшего исследования заключается в изучении пластифицирующих свойств циклогексильных эфиров на основе ЖК и СНК при изготовлении композиции на основе поливинилхлорида (ПВХ). Эти составы выдерживались в термостате определенное время в зависимости от температуры (65, 75, 85°C). Затем охлажденные композиции выдерживались под нагрузкой до комнатной температуры на фильтровальной бумаге до отсутствия жирного пятна и определены оптимальные пределы совместимости (30-40 мас.ч.) синтезированных эфиров с ПВХ [12].

**Таблица 3.**

*Результаты синтезированных циклогексильных эфиров как  
антиоксидантов и депрессантов*

Наименование	Гидроочишен- ное дизельное топливо	Циклогексильно- вый эфир пеларгоновой кислоты и СНК	Циклогексильно- вый эфир каприновой кислоты и СНК	Циклогексильно- вый эфир ундекановой кислоты и СНК
Определение термоокислительной стабильности, при 120°C, количество осадка (0,004 %) в мг/100 мл топлива	1,7	0,3	0,32	0,35
Температура, °С (0,05 %) помутнение- застывание	-28 -38	-31 -38	-31 -37	-30 -37

Результаты испытательных работ показали, что циклогексильные эфиры на основе смеси ЖК и СНК обладают более эффективными пластифицирующими свойствами по



сравнению с эфирами на основе индивидуальных СНК, а также ЖК. Синтезированные эфиры могут быть рекомендованы в качестве пластификаторов в производстве поливинилхлоридных изделий.

Термоокислительные и низкотемпературные свойства являются одним из основных признаков, на основе которых классифицируют современные дизельные топлива для высокооборотных двигателей. Для улучшения термоокислительных и низкотемпературных свойств дизельных топлив синтезированные эфиры были введены в дизельное топливо в качестве антиоксидантных и депрессорных присадок и получены положительные результаты [13].

Полученные нами положительные результаты дают возможность увеличить ассортимент сложных эфиров карбоновых кислот и рекомендовать их в качестве новых пластификаторов, антиоксидантов и депрессорных присадок.

#### **Заключение**

Были синтезированы циклогексоловые эфиры на основе смеси синтетических нефтяных и жирных кислот с использованием  $TiO_2$  в качестве катализатора. Изучено влияние молярного соотношения спирта и смеси кислот, количества -  $TiO_2$  и температуры на ход реакции и найден оптимальный режим (температура – 110-120°C, количество катализатора – 1,8 мас.%, соотношение ЦГ:ЖК:СНК – 1,5:0,5:0,5 моль) синтеза циклогексоловых эфиров. Синтезированные эфиры могут быть рекомендованы в качестве эффективных пластификаторов ПВХ, антиоксидантов и депрессорных присадок.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Sadiyeva, N.F. Synthesis and study of mixed propylene glycol diesters of synthetic petroleum- and fatty acids / Sadiyeva N.F., Iskenderova S.A., Cherepnova Y.P. [et all.] //Azerbaijan State Oil and Industry University, Azerbaijan journal of chemical news. –Baku, Vol. 4, № 2, –2022, – pp.4-11.
2. Yusifova L.M. Improvement of thermal oxidative characteristics of diesel fuels with esters of cyclic polyatomic alcohols // Azerbaijan Chemical Journal, –2020, №4, –pp. 37-42 .
3. Насибова, Г.Г. Эффективные пластификаторы для поливинилхлорида/ Г.Г.Насибова, С.А.Искендерова, Э.Б.Зейналов, [и др.] // Пластические массы, № 3- 4, –2018. с. 17-19,
4. Vinícius Wilker de Godói Silva, Leticia Oliveira Laier, Márcio José da Silva; Novel  $H_3PW_{12}O_{40}$ : Catalysed Esterification Reactions of Fatty Acids at Room Temperature for Biodiesel Production; Catal Letter 135, 12 February, –2010. –pp. 207–211 .
5. Керимов, П.М. Синтез и исследование эфиров этиленгликоль-нафтенат-п-хлорбензоата,  $\alpha$ -нафтилацетата в присутствии катализатора - перхлоратной кислоты / П.М. Керимов, О.М. Алескерова, С.Г. Алиева, [и др.] // СГУ Научные известия: серия естественные и технические науки, –Сумгаит, том 24, №1, –2024. –с. 26-33.
6. Sadiyeva, N.F. Research and application of mixed propylene glycol diesters based on natural petroleum- and fatty acids / N.F.Sadiyeva, S.Isgenderova, Yu.Cherepnova. [et al.] // Polish journal of science, №47, –2022, –pp. 13-18 .
7. Садиева, Н.Ф. Синтез и исследование смешанных диэфиров синтетических нефтяных и жирных кислот / Н.Ф. Садиева, Г. Г. Насибова, С. А. Искендерова, [и др.] // Журнал прикладной химии, –2023, Т. 96, Вып. 4, –с. 345-349.
8. Sadiyeva, N.F. Synthesis of cyclohexil esters and fields of their application / N.F.Sadiyeva, G.G. Nasibova, Y.P. Cherepnova, [et al.] // Azerbaijan Journal of Chemical News, –2023.Vol 5, №2, –pp. 4-12.
9. Sadiyeva N.F., Nasibova G.Q., İsgəndərova S.A., Çerepnova Y.P., Məmmədova X.R., Quliyeva E.M., Bayramova M.N. Sintetik neft turşularının tsikloheksil efirlərinin yeni plastifikator və antioksidant kimi tətbiq olunma imkanları //Akademik Sahib Müseyib oğlu Əliyevin 90 illik yubileyinə həsr edilmiş konfrans, 22 iyun. –2023.

10. Abbasov, V.M. Transformator yağı distillatının maye fazada katalitik oksidləşməsilə sintetik neft turşuları qarışığının sintezi / V.M.Abbasov, L.M.Əfəndiyeva, G.Q.Nəsibova, [və b.] // Məruzələr Jurnalı, –2022. V 78, № 3-4, –s.51-56.
11. Садиева, Н.Ф. Получение смешанных диэфиров нефтяных кислот и их применение как пластификаторов и антиоксидантов / Н.Ф.Садиева, С.А.Искендерова, Л.М.Эфендиева, [и др.] // Нефтепереработка и Нефтехимия, –2020, №6, –с.19-21.
12. Sadiyeva, N.F. Synthesis and application of effective plasticizers, antioxidants / N.F. Sadiyeva, Y.P.Cherepnova, S.A.İskenderova, [et al.] // Azerbaijan Journal of Chemical News, –2023. Vol 5, №1, –pp. 30-37.
13. Нефтепродукты. Методы испытаний, часть 2: / Под ред. Т.П.Шашиной. –М.: Издательство стандартов, –1977. –с.317–323.

**XÜLASƏ**  
**SİNTETİK NEFT VƏ YAĞ TURŞULARI QARIŞIĞI ƏSASINDA**  
**TSİKLOHEKSİL EFİRLƏRİNİN TƏDQIQI**  
*Sadiyeva N.F., Nəsibova G.Q., Əfəndiyeva L.M., İsgəndərova S.Ə.,*  
*Əliyeva S.Q., Çerepnova Y.P., Mustafayeva İ.A.*

*Açar sözlər:* tsikloheksanol, yağ turşuları, sintetik neft turşuları, eterifikasiya, efir, katalizator, plastifikator, antioksidant.

Məqalə TiO<sub>2</sub> heterogen katalizatorunun iştirakı ilə yağ və sintetik neft turşuları qarışığı əsasında tsikloheksil efirlərinin sintezinə həsr olunmuşdur. Tsikloheksil efirlərinin sintezinin optimal şəraiti katalizatorun miqdarının, xammalın molyar nisbətinin və temperaturun məqsədli məhsulun çıxımına təsiri ilə öyrənilmişdir. Növbəti tədqiqatlarda sintez olunmuş tsikloheksil efirlərinin göstəriciləri analitik və spektral üsullarla təyin olunmuş, yağ və sintetik neft turşuları əsasında sintez olunmuş tsikloheksil efirlərinin material balansı tərtib olunmuşdur. Alınmış efirlər müvafiq olaraq plastifikator, yeni antioksidant kimi sınaqdan keçirilmişdir.

**SUMMARY**  
**STUDY OF CYCLOHEXYL ESTERS BASED ON A MIXTURE OF FATTY**  
**AND SYNTHETIC PETROLEUM ACIDS**

*Sadiyeva N.F., Nasibova G.G., Afandiyeva L.M., Isgenderova S.A.,*  
*Aliyeva S.G., Cherepnova Y.P., Mustafayeva I.A.*

*Keywords:* cyclohexanol, fatty acids, synthetic petroleum acids, esterification, ester, catalyst, plasticizer, antioxidant.

The article is devoted to the method of synthesis of cyclohexyl esters based on a mixture of fatty and synthetic petroleum acids in the presence of a heterogeneous TiO<sub>2</sub> catalyst. The optimal conditions for the synthesis of cyclohexyl esters were studied by the influence of the amount of catalyst, the molar ratio of the feedstock and temperature. In further studies, the parameters of the synthesized cyclohexyl esters were determined by analytical and spectral methods, and a material balance was compiled for the process of obtaining cyclohexyl ester based on a mixture of fatty and synthetic petroleum acids. The resulting esters were tested as a plasticizer and a novel antioxidant.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	30.05.2024
	Son variant	27.06.2024

## STUDY OF BIOLOGICAL ACTIVITY OF $Fe_3O_4$ NANOCOMPOSITE COMPLEXES WITH TRYPSIN OBTAINED IN THE MEDIUM OF SYNTHETIC AND NATURAL POLYMERS

<sup>2</sup>HUMBATOVA SAADAT FAIQ [ORCID](#)

<sup>1</sup>ZEYNALOV NIZAMI ALLAHVERDI [ORCID](#)

<sup>3</sup>SULEYMANOVA RENA HEYBAT

<sup>4</sup>GULIYEVA AYTAN RIZVAN

<sup>5</sup>GULUBAYOVA LALA NATIQ

*Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after acad. M.Nagiyev, Baku, Azerbaijan  
1- doctor of Chemical Sciences, 2,3,4- scientific worker, 5- engineer*

[seadet.humbetova@inbox.ru](mailto:seadet.humbetova@inbox.ru)

**Keywords:** magnetite nanoparticles, natural and synthetic polymers, trypsin, immobilization, enzyme.

*This article analyzes the activity of trypsin released into solutions with different pH values and immobilized on composite materials containing magnetite nanoparticles ( $Fe_3O_4$ ), obtained in the presence of several synthetic and natural polymers. While release in polymer-based gels is observed in neutral and near-neutral media, in polymer- $Fe_3O_4$ -nanoparticle composites, on the contrary, release occurs with a greater magnitude in acidic media. Considering that the experiments were carried out at room temperature and the final amount of release was recorded after 24 hours, subsequent studies were carried out under conditions close to the human's body temperature. It has been determined that increasing the temperature to 36-37°C accelerates the release of trypsin both from composites without  $Fe_3O_4$  nanoparticles obtained based on Poly-n-vinylpyrrolidone (PVPr), and gel samples with  $Fe_3O_4$  nanoparticles, characterized by a significant degree of release. In addition, at pH values of 5-8, the release in composites containing magnetite nanoparticles shows a certain linear behavior, which along with controlled release indicates the efficiency of enzyme transport in these media.*

### Introduction

Recently, natural and synthetic polymer-based gels created to enhance the therapeutic efficacy of physiologically active drugs in pharmacology, along with carriers, coatings, thin ultra-films, and other gel-forming nanobiomaterials prepared through their combination with metal nanoparticles, have become among the most current fields of study [1-3]. By adjusting the chemical composition of the polymer matrix, its average molecular weight, the nature and amount of functional groups it contains, as well as the specific size and concentration of the metal nanoparticles, it is possible to regulate the pre-determined purpose, duration of the pharmacological effect, electrical, and optical properties of the bionanocomposite [4]. For example, the efficient delivery of active drugs immobilized on a matrix structured with metal nanoparticles to the required area and their controlled release to maintain therapeutic levels are achieved [5]. At this point, how the nanocomposite containing metal nanoparticles behaves in response to the irritating factors of the environment is crucial. Among the metal nanoparticles used in this direction,  $Fe_3O_4$  composites form the basis of highly effective antibacterial drugs [6]. The prepared metal nanoparticle composite is pre-designed considering the characteristics of the working environment and classified as nanomaterials sensitive to pH, temperature, ionic strength, and physical impacts [7].

Recently, loading drug preparations and enzymes onto nanogels and their combinations with metal nanoparticles to achieve a more synergistic effect has led to the emergence of a new field in biotechnology [8,9]. Immobilizing enzymes on polymer carriers with metal nanoparticles expands their use in medicine and other fields of microbiology. In this case, the presence of gels observed in supramolecular form and metal nanoparticles results in excellent and improved antibacterial and biological advantages in the material. Especially, the antibacterial nanoparticle complex of nanogels is formed first, and then the drug substance is immobilized. The obtained nanogel-nanometal-drug triple combination has significantly more positive indicators in terms of its effect, long-term controlled release, and antibacterial properties compared to its predecessors [10].

### **Experimental Section**

Poly-n-vinylpyrrolidone (PVPr) - Average molecular weight 360,000. Obtained from Fluka.

Polyacrylic acid (PAA) - Average molecular weight 230 kDa. Chemical purity is 97-98%, obtained from Merck.

Gum-arabic (GA) - Chemical purity is sufficient for biological research (98%) and used in synthesis processes without purification. CAS number 9000-01-5, obtained from Sigma Aldrich.

Arabinogalactan (AG) - Chemical purity sufficient for biological research, containing less than 15% moisture, and used in synthesis processes without purification (CAS 9036-66-2).

Trypsin, used as a biologically active compound, is from Biofarma (Ukraine). Its molar mass is 21,000 g/mol.

N,N-Methylene-bis-acrylamide (MBAA), used as a reagent for the crosslinking of natural and synthetic polymers, is chemically pure and obtained from Merck Fluka.

The preparation of magnetite nanoparticles was carried out according to the methodology described in [11], using FeCl<sub>2</sub> and FeCl<sub>3</sub> salts as sources of iron oxide.

The preparation of magnetite nanoparticle carriers was performed according to the scheme presented in [12,13].

To determine the concentration of trypsin in solution, a standard concentration curve was first established based on the optical densities of standard trypsin solutions (Table 1) at 280 nm using a Specord UV-VIS device (trypsin's molar extinction coefficient E<sub>1%1cm</sub> = 14). The concentration of the enzyme in the cuvette was  $C = 1.1 \times 10^{-6}$  M.

**Table 1.**

*The dependency values of the optical densities of standard concentration trypsin solutions on their concentration.*

$C_{trypsin}, \text{mg/l}$	$A, \text{Optic density}$
40	0.870
32	0.780
24	0.587
18	0.440
8	0.220
4	0.090
2	0.041
1	0.020

By measuring the optical density of the trypsin solution with an unknown concentration and using the calibration graph, its concentration in the solution was determined. The immobilization of trypsin on the synthesized metal gel complexes was carried out according to the appropriate methodology [14-15]. Samples of PVPr-based hydrogels with a mean molecular weight of 40 kDa, crosslinked with 10% (by weight) MBAA, were formed with the corresponding metal ions, dried, ground, and sieved through a 0.02 mm sieve to achieve a constant weight. 100 mg of the sample was placed in a 25 ml volumetric flask, and 5 ml of a trypsin solution with a concentration of 40 mg/l was added and left stationary for 24 hours. The solution was then filtered, and the optical

density of the filtrate was measured to determine the concentration of trypsin using the calibration graph.

To determine the optimal conditions for the desorption of trypsin immobilized on the carrier, the desorption of the enzyme was investigated in the pH range of 1-10. After determining the optimal pH, the time dependency of the release of the enzyme into the solution at room temperature under stationary conditions was studied. The enzyme-gel complex was kept in the optimal pH environment until the amount of released enzyme stabilized. The degree of desorption (D%) of the immobilized trypsin into the solution, depending on the pH of the environment, was determined using the following expression:

$$D = \frac{C_t \times V_i}{10 \times M_{\max}}$$

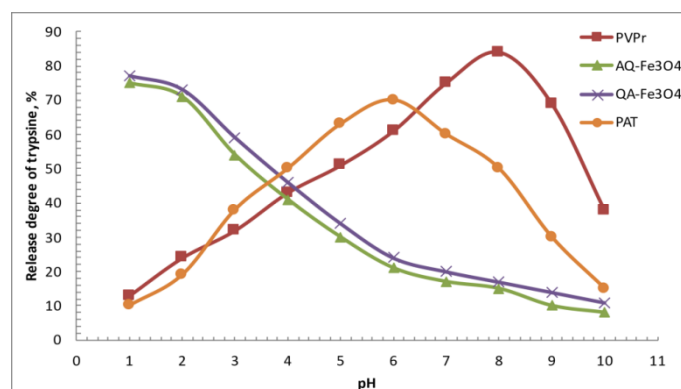
Where,  $M_{\max}$  represents the maximum amount of immobilized enzyme on the carrier (in mg),  $V_i$  denotes the volume of the solution (in ml), and  $C_t$  signifies the concentration of the enzyme in the solution (in mg/l).

### Results and Discussion

As noted, the use of drug substances mixed into polymer matrices for achieving long-term effects is well-known. One of the key parameters influencing this is the pH of the medium. For example, the stomach environment is acidic (pH 1.4), whereas the medium in the duodenum is near neutral (pH 6.7–7.4). If we aim for the drug substance to be effective in the duodenum, then the synthesized hydrogel should contain fragments that maintain weak acidic groups [16-17].

It is well-known that each enzyme exhibits biological activity at specific pH values in the environment. An enzyme active in an acidic environment may be inactive in an alkaline environment or may undergo chemical degradation. Therefore, the kinetics of transporting or releasing immobilized biological active compounds in specific environments is crucial. During the research, initial investigations focused on the study of trypsin immobilized on natural and synthetic matrices composed of magnetite  $Fe_3O_4$  nanoparticles at various pH levels.

The study of trypsin desorption from polymer gel and magnetite  $Fe_3O_4$  nanoparticle composites under static conditions in the pH range of 3 to 11 showed that desorption into the environment occurred during 24 hours relatively closely depending on the nature of the polymer and the degree of ionization of its functional groups, but varied significantly at different pH values (Figure 1).



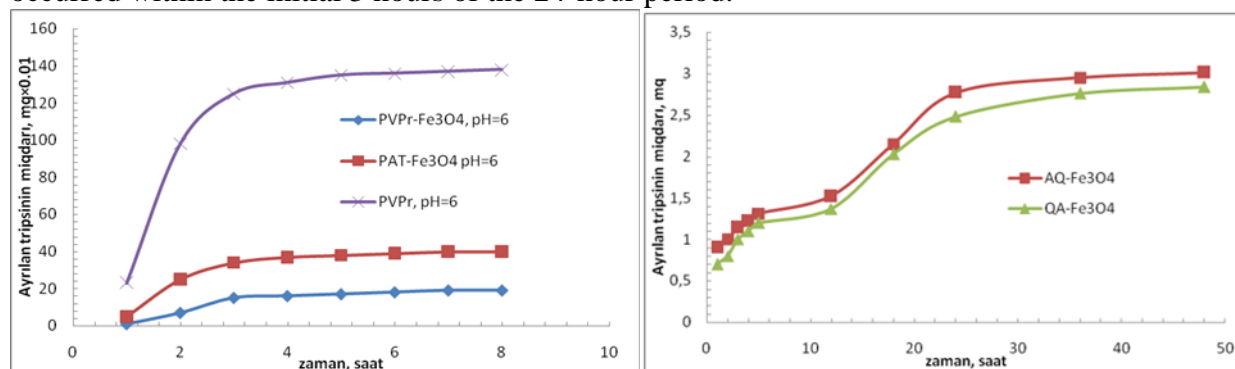
**Figure 1.** pH dependence of trypsin releasing in synthetic polymer-based gels PVPr, PAA, and natural gel complexes with  $Fe_3O_4$  magnetite nanoparticles.  
 ■-PVPr, ●-PAA, ×-QA- $Fe_3O_4$ , Δ-AG- $Fe_3O_4$ ,  $T=20$  °C,  $t=24$  hours

Desorption from magnetite  $Fe_3O_4$  nanoparticle composites, however, exhibited high desorption rates in completely different environments. While desorption was observed in neutral or

near-neutral environments in gels based on free polymers, desorption in acidic environments was significantly higher in magnetite  $Fe_3O_4$  nanoparticle composites.

As seen figure 1, the desorption of immobilized trypsin from synthetic polymer-based PVPr and PAA gel samples starts minimally at pH 1 and reaches its maximum at pH 6 and pH 8. As the environment becomes more alkaline, i.e., at pH=9 and above, the separation of trypsin into the solution decreases sharply. This can be explained by the fact that as the concentration of hydroxyl ions in the medium increases, the degree of swelling of the hydrogel gradually decreases. In addition, above pH=9, both the decomposition of the enzyme macromolecule and the decrease in the degree of swelling of the hydrogels occur. Initiation of the collapse formation process in the hydrogel prevents trypsin from separating from the carrier. Desorption of trypsin from natural polymer-based matrices with magnetite nanoparticles is characterized by high rates in acidic environments. This is explained by the consistent presence of metal oxide nanoparticles in acidic environments and the high degree of protonation of functional groups in such environments, leading to the enzyme's desorption from the structure. Considering that the experiments were conducted at room temperature and the final amount of desorption was recorded after 24 hours, subsequent studies were carried out under conditions closer to body temperature.

For this purpose, synthetic polymer-based gels and  $Fe_3O_4$  magnetite nanoparticle gel complexes retaining an optimal amount of trypsin were maintained at suitable pH levels between 36-37°C for 1-24 hours, and the desorption of the enzyme was studied. It was determined that increasing the temperature to 36-37°C accelerates the desorption of trypsin from both  $Fe_3O_4$ -free PVPr-based composites and  $Fe_3O_4$  nanoparticle gel samples, characterized by significant desorption rates.  $Fe_3O_4$  magnetite nanoparticle composites demonstrate controlled desorption at pH values of 5-8 and prove the efficiency of enzyme transport in these environments. Increasing the temperature enhances the mobility and agility of macromolecules, causing the opening of coiled macromolecules. As a result, the trypsin molecule is released both on the surface and internally. Furthermore, increasing the temperature affects the electrostatic attraction that binds the enzyme to the polymer chain more strongly, leading to the breaking or weakening of bonds, thereby resulting in enzyme desorption. For each gel sample, observing the time dependence of desorption at pH values suitable for optimal swelling at 36°C showed that the majority of enzyme desorption occurred within the initial 3 hours of the 24-hour period.



**Figure 2.** The kinetics of trypsin release into the solution at 36.5°C from synthetic and naturally-containing nanocomposites based on PVPr and  $Fe_3O_4$  magnetite nanoparticles.

As seen in the figures, stabilization in the amount of released trypsin is observed in all gel samples after reaching a maximum swelling capacity of the carrier. The reason for the incomplete separation of the enzyme content lies in the establishment of a certain equilibrium process between the immobilized and released amounts. In the case of the free polymer-based gel sample, a sudden increase is observed in the amount of trypsin released within 2 hours, with the majority of the immobilized protein being released into the environment within a short period. Conversely, trypsin release from magnetite  $Fe_3O_4$  nanoparticle-containing synthetic and natural nanocomposites occurs

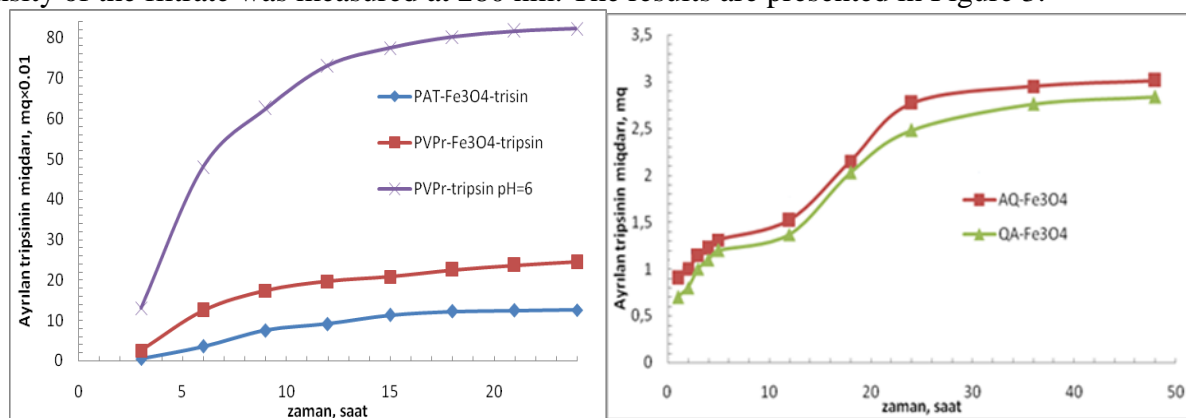


in smaller portions. This can be attributed to the nature of the polymer, the presence of amino groups in its composition, and the presence of functional groups susceptible to hydrolysis. Most importantly, the presence of stable nano iron oxides in the structure stabilizes the system and regulates the enzyme's release into the environment.

Due to the rapid attainment of maximum swelling capacity in synthetic polymer-based gels, the enzyme content readily separates into the environment. The mechanism of trypsin release from natural polymer-based gels with magnetite nanoparticles differs somewhat. Initially, a minor increase in trypsin release is observed within 5-6 hours, followed by a significant difference in release within the next 10-14 hours. This is due to the enzyme losing its biological activity after 10-12 hours, leading to hydrolysis of peptide molecules and necessitating the re-release of a certain portion of trypsin for the formation of a new equilibrium state.

The increase in average molecular mass of the polymer and the incorporation of magnetite metal nanoparticles into the natural polymer-based or composite composition contribute to both an increase in the immobilized trypsin quantity and an extension of its release duration. This positively impacts the duration of action of trypsin on damaged organs, especially as it exhibits activity at pH 7.8 and 8.0 as an enzyme of the gastric gland.

The release of immobilized trypsin from polymer gel complexes synthesized under optimal pH conditions and containing nano iron oxide in physiological conditions has also been investigated. Five samples, each weighing 100 mg, were taken, with each sample (Mmax) retaining 0.05 mg of trypsin. Additionally, 4 ml of buffer systems were used, to which 1 ml of 4.3% (0.154 mol/l) NaCl solution was added, resulting in a final NaCl concentration of 0.9% in the solution. Each sample received 100 mg of PVPr-trypsin and polymer-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticle-containing trypsin-retaining gel, and was kept for 24 hours at 293 K. The solution was then filtered, and the optical density of the filtrate was measured at 280 nm. The results are presented in Figure 3.



**Figure 3.** Kinetics of the release of trypsin from PVPr-based gel and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticle composites of natural and synthetic polymers in the presence of 0.9% NaCl, T=36.5°C.

It can be seen from the figure 3 that under physiological saline conditions at the optimal pH value, the rate of trypsin release decreases with small portions compared to conditions without NaCl. Despite the fact that trypsin released from PVPr-based gel initially occurs sharply and in bursts, after 10 hours, the release becomes gradual. As noted above, the presence of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> ions in the physiological saline can be attributed to the ion strength factor. The formation of ion strength in the visible environment limits trypsin release and affects the direction of equilibrium processes between the gel and the environment where trypsin is present. In contrast, in magnetite Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticle gel complexes, trypsin release under physiological saline participation is observed in a completely different manner. Generally, the presence of NaCl in the environment reduces the amount of trypsin released into the environment and occurs in small amounts. Controlled and equal dosing occurs after 20 hours. Similarly, here, the amount of initial release increases proportionally, and later remains at the same level. Compared to conditions without NaCl,

there is a 35-45% reduction in the amount of release. However, the residual amount of trypsin in the composition is separated in the same way

### **Conclusion**

Thus, the investigation of immobilized trypsin in composites containing magnetite Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles with participation of synthetic and natural polymers at various pH levels has been conducted. It has been shown that compared to synthetic polymers, natural polymers immobilize a higher amount of trypsin in magnetite iron oxide nanoparticle composites. This is associated with the abundance of functional groups in natural polymer compositions. The time for immobilized trypsin to be released from the carrier under the influence of pH shows that the use of natural polysaccharide-based Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetite nanoparticles results in a wider time interval for its release. Similarly, analogous studies conducted with natural polymers have determined that the presence of sodium and chloride ions in the environment affects the amount of trypsin released in all cases and slows down the process. Likewise, trypsin release is regulated after 10 hours and characterized by a consistent amount each time.

The results obtained from using trypsin as a model enzyme in gels stabilized with magnetite Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles in both natural and synthetic-based structures for protein immobilization, environmental release under specific conditions, and biological activity investigations suggest that gel nanocomposites can be used for enzyme transport in neutral and near-neutral pH media. The amount of enzyme they release into the environment stabilizes over 24 hours, which is essential for controlled release and long-term effectiveness. The inclusion of micro amounts of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> particles in gel matrices affects the kinetics of enzyme release and enhances its specific activity, thereby enhancing its retention for enzymes.

### **REFERENCES**

1. Aime, C. Nanocomposites from biopolymer hydrogels: Blueprints for white biotechnology and green materials chemistry / C.Aime, T.Coradin // *Journal Polymer Science. Part. –B: Polymer Physics*, –2012, –p.669 - 680.
2. Ahmed.E.M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review // *Journal Advances Research*. –2015. 6. –p. 105-121.
3. Panoraia, I.S. Polymer based gels: Recent and future applications in drug delivery field / I.S.Panoraia, A.G.Evren., S.C.Emre. [et al.] // *Curr Drug Deliv*. –2023. 20(9) –p.1288-1313.
4. Hanemann,T., Szabo.D.V. Polymer-nanoparticle composites: From synthesis to modern applications. *Materials (Basel)*. –2010. 3. –p.3468–3517.
5. Hamidi, M. Hydrogel nanoparticles in drug delivery / M.Hamidi, A.Azadi, P.Rafiei // *Advances Drug Delivery Review*. –2008. 60. –p.1638-1649.
6. Aseri, A. Magnetic nanoparticles: Magnetic nano-technology using biomedical applications and future prospects / A.Aseri, S.K.Garg, A.Nayak, [et al.] // *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*. –2015. 31. –p.119-131.
7. Karchoubi, F. New insights into nanocomposite hydrogels; a review on recent advances in characteristics and applications / F.Karchoubi, R.A.Ghotli, H.Pahlevani [ey al.] // *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. –2024.Vol.7. –p.54-78.
8. Banerjee, R. Nanomedicine: Magnetic nanoparticles and their biomedical applications / R.Banerjee, Y.Katsenovich, L.Lagos [et al.] // *Curr. Med. Chem*. –2010. 17. –p.3120-3141.
9. Gaharwar, A.K. Nanocomposite hydrogels for biomedical applications / A.K.Gaharwar, N.A.Peppas, A.Khademhosseini // *Biotechnology Bioengine-ering*. –2014. 111. –p.441-453.
10. Keskin, D. Nanogels: A novel approach in antimicrobial delivery systems and antimicrobial coatings / D.Keskin, G.Zu, A.M.Forson, [et al.] // *Bioact Mater*. –2021.10. –p.3634–3657.
11. Daou, T.J. Hydrothermal synthesis of monodisperse magnetite nanoparticles / Daou.T.J. , Pourroy.G., Be´gin-Colin.S., [et al.] // *Chem. Mater*. –2006. 18. –p.4399-4404.



12. Deshmukh.R. Niederberger.M. Mechanistic aspects in the formation, growth and surface functionalization of metal oxide nanoparticles in organic solvents / R.Deshmukh, M.Niederberger // Chem. Eur. J. –2017. 23, –p.8542-8570.
13. Drozdov, A.S. A universal magnetic ferrofluid: nanomagnetite stable hydrosol with no added dispersants and at neutral pH / A.S.Drozdov, V.Ivanovski, D.Avnir, [et al.] // Journal of Colloid and Interface Science. –2016. 468. –p.307-312.
14. Tapdıqov, Sh.Z. Hydrogels for immobilization of trypsin based on poly-N-vinylpyrrolidone and arabinogalactan graft copolymers / Sh.Z.Tapdıqov, N.A.Zeynalov, D.B.Taghiyev, [et al.] // J.Chem.Soc.Pak., –2015. 37..6. –p.1112-1118.
15. Tapdıqov, Sh.Z. Content of arabinogalactan from cherry gum (*prunus avium*) and as polymer carrier for immobilization of trypsin / Sh.Z.Tapdıqov, N.A.Zeynalov, S.F.Humbatova [et al.] // Asian Journal of Chemistry. –2016. 28.1. –p.189-190.
16. Liechty, W.B. Polymers for drug delivery systems. / W.B.Liechty, D.R.Krystio, B.V.Slaughter, [et al.] // Annu Rev Chem Biomol Eng. –2010. Vol.1. –p.149-173.
17. Patra, J.K., Nano based drug delivery systems: recent developments and future prospects / J.K.Patra, G.Das, L.F.Fraceto [et al.] // Journal of Nanobiotechnology. –2018. 16.

### XÜLASƏ

#### **SİNTETİK VƏ TƏBİİ POLİMERLƏR MÜHİTİNDƏ ALINAN $Fe_3O_4$ NANOKOMPOZİTLƏRİN TRİPSİN İLƏ KOMPLEKSLƏRİNİN BİOLOJİ AKTİVLİYİNİN TƏDQIQI**

*Humbatova S.F., Zeynalov N.A., Süleymanova R.H., Quliyeva A.R., Qulubayova L.N.*

**Açar sözlər:** *maqnetit nano hissəcik, təbii və sintetik polimer, tripsin, immobilizə, ferment*

Təqdim olunan məqalədə bəzi sintetik və təbii polimerlər iştirakında alınmış maqnetit ( $Fe_3O_4$ ) nanohissəcikləri olan kompozitlərə immobilizə olunmuş tripsinin müxtəlif pH-larda məhlula ayrılaraq aktivliyinin tədqiqi həyata keçirilmişdir. Yalnız polimerlər əsasında alınmış gellərdə ayrılma neytral və ona yaxın mühitlərdə müşahidə olunursa, polimer- $Fe_3O_4$  nanohissəcikli kompozitlərdə isə əksinə turş mühitdə ayrılma daha böyük qiymətlə baş verir. Eksperimentlərin otaq temperaturunda aparıldığını və ayrılmanın yekun miqdarının 24 saatın sonunda qeyd edildiyini nəzərə alaraq sonrakı tədqiqatlar orqanizmin bədən temperaturuna yaxın şəraitdə tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, temperaturun  $36-37^{\circ}C$ -yə artırılması  $Fe_3O_4$  nanohissəciksiz poli-N-vinil pirrolidon (PVPr), əsaslı kompozitdən, eləcə də  $Fe_3O_4$  nanohissəcikli gel nümunələrindən tripsinin məhlula ayrılmasının sürətləndirir və bu böyük ayrılma dərəcəsi ilə xarakterizə olunur. Həmçinin pH-ın 5-8 qiymətlərində, maqnetit nanohissəcikli kompozitlərdə ayrılma müəyyən dərəcədə xətti xarakter daşıyır, bu isə nəzarətli ayrılma ilə yanaşı həmin mühitlərdə fermentin daşınmasının effektivliyini göstərir.

### РЕЗЮМЕ

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ $Fe_3O_4$ -НАНОКОМПОЗИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ С ТРИПСИНОМ, ПОЛУЧЕННЫХ В СРЕДЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ И ПРИРОДНЫХ ПОЛИМЕРОВ**

*Гумбатова С.Ф., Зейналов Н.А., Сулейманова Р.Г., Кулиева А.Р., Кулубекова Л.Н.*

**Ключевые слова:** *наночастицы магнетита, натуральные и синтетические полимеры, трипсин, иммобилизация, фермент.*

В представленной статье проанализирована активность трипсина, высвобожденного в растворе с различными значениями pH, и иммобилизованного на композитных материалах с содержанием наночастиц магнетита ( $Fe_3O_4$ ), полученных в присутствии ряда синтетических и природных полимеров. Если в гелях, изготовленных только на основе полимеров, высвобождение наблюдается в нейтральных и близких к нейтральным средах, то в композитах полимер-наночастицы  $Fe_3O_4$ , наоборот, высвобождение происходит с большей величиной в кислых средах. Учитывая, что эксперименты проводились при комнатной температуре и окончательное количество высвобождения было зафиксировано после 24 часов, последующие исследования были проведены в условиях, близких к температуре тела организма. Было установлено, что повышение температуры до  $36-37^{\circ}C$

---

ускоряет высвобождение трипсина как из композитов без наночастиц  $Fe_3O_4$ , полученных на основе поли-N-винилпирролидона (PVPr), так и из образцов геля с наночастицами  $Fe_3O_4$ , характеризующихся значительной степенью высвобождения. Кроме того, при значениях pH=5-8 высвобождение в композитах с содержанием наночастиц магнетита демонстрирует определенный линейный характер, что указывает на эффективность транспортировки фермента в этих средах наряду с контролируемым высвобождением.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	30.08.2024
	Son variant	20.09.2024

UTC 504.574.556.

DOI 10.54758/16801245\_2024\_24\_3\_57

## STUDY OF RADIONUCLIDES IN WATER AND SEDIMENT SAMPLES TAKEN FROM SABIRABAD AREA OF ARAZ RIVER

NABIYEVA MADINƏ ABDULXANOVNA [ORCID](#)  
HACIYEVA SEVINC RAFIQ [ORCID](#)  
SHAMILOV NAZIM TELMAN  
ALIYEVA TARANA IBRAHIM [ORCID](#)

Baku State University, Baku, Azerbaijan  
1-doctoral student, 2,3- professor, 4-assos.prof.  
[nabiyevamadina@gmail.com](mailto:nabiyevamadina@gmail.com), [tarana\\_chem@mail.ru](mailto:tarana_chem@mail.ru)

**Keywords:** radioactivity, isotopes, contamination, accumulation, regulations

*With an emphasis on the relationship between water chemistry and ecological health, this study examines the chemical-ecological condition of the Araz River. International standards, scientific research, and regulatory frameworks are the sources of the acceptable limits for radionuclides. In order to verify compliance with national and international regulations and to obtain data that can serve as a baseline for determining potential changes in environmental radioactivity due to nuclear, industrial, and other human activities, the activity concentrations of Cs-137, Pb-210, Ra-226, Ra-228, Th-234, Th-232, K-40, U-235, and U-238 were measured in the Araz river water and bottom sediment samples collected from the Sabirabad area (Suqovushan). The obtained results indicate that the activity concentrations of the radionuclides measured in the study area are below the guidance levels that the IAEA, EPA, and WHO recommend. The negative exception is U-238 and U-235 having higher levels suggest anthropogenic influences and contamination. To reduce pollution and restore ecological integrity, the results highlight the necessity of focused environmental management techniques.*

### Introduction

The Araz River, which flows through Azerbaijan and forms part of its southern border with Iran, is an important water resource that crosses the South Caucasus at a length of around 1,072 kilometers. This river is vital to the region's economy, agriculture, and biodiversity, serving as a habitat for a wide range of aquatic and terrestrial species. The Araz River is an important waterway, but it also has many environmental problems, especially with regard to its ecological health and chemical purity. River contamination has increased as a result of recent industrial activity, agricultural runoff, and inadequate wastewater treatment. Rivers in Azerbaijan's territory have been significantly contaminated with a variety of pollutants over the years due to years of occupation and exploitation, according to numerous studies conducted in the past several years. The Aras River, into which these rivers eventually flow, has been contaminated chemically and radioactively as a result of this. As is well known, water sources such as lakes, reservoirs, rivers, springs, and canals that are both inside and outside of the occupied territories are vital to maintaining both the natural environment inside these areas and the surrounding areas. We regretfully indicate that rivers that flow through our occupied territories have been tainted by wastewater and other pollutants from Armenia. The ecosystems along the river may be significantly impacted by these alterations in water chemistry, which may also have an impact on biodiversity, nutrient dynamics, and the equilibrium of aquatic life. Comprehending the Araz River's chemical-ecological condition is essential for evaluating the key waterway's present condition and developing successful

conservation plans. Proactively addressing radionuclide contamination can guarantee safe and sustainable resource use while also maintaining the ecosystem's health of the river.

The radioactivity of a river like the Araz can be influenced by natural sources as well as anthropogenic activities. Naturally occurring radioactive materials (NORM) are present in the Earth's crust and can enter waterways through erosion, runoff, and geological processes. Human activities, such as mining and industrial processes, can also introduce radioactive substances into the environment. It is crucial to comprehend the importance of radioactive elements and isotopes in environmental research in order to provide specifics on the radioactivity background and the chemical elements of the Araz River.

Other than their chemical functions, main radioactive isotopes and chemical elements environmentally can be classified according to their source and impact:

1. Cesium-137 is a byproduct of nuclear fission, primarily from nuclear reactors and fallout from nuclear weapons testing. In aquatic systems, Cs-137 can accumulate in sediments and biota, potentially affecting ecosystem health and human safety if concentrations are high.
2. Lead-210 is a decay product of radon-222 and is found in the environment due to natural processes and anthropogenic pollution. Pb-210 can be absorbed by aquatic organisms and accumulate in sediments. Its presence can indicate historical pollution and sedimentation rates.
3. Radium-226 is a decay product of uranium-238 and is commonly found in soil and rocks. High concentrations of Ra-226 in water can be harmful to aquatic life and may pose health risks to humans through water consumption.
4. Radium-228 is a decay product of thorium-232 and is often found in natural waters. Like Ra-226, Ra-228 can be toxic to aquatic organisms and can indicate the presence of other radioactive materials.
5. Thorium-232 (Th-232) is a naturally occurring isotope found in soil and rocks. It decays into a series of other radioactive isotopes, and high levels in water can affect the ecosystem.
6. Potassium-40 (K-40) is a naturally occurring isotope of potassium, found in soil, rocks, and water. It contributes to natural background radiation but is generally less harmful compared to other isotopes.
7. Beryllium-7 (Be-7) is produced in the atmosphere through cosmic ray interactions and can be deposited into water bodies through precipitation. Its presence can be used to trace recent atmospheric deposition and hydrological processes.
8. Thorium-234 (Th-234) is a decay product of uranium-238. It can provide insights into sedimentation rates and the movement of particles in the water.
9. Uranium-235 (U-235) is a naturally occurring isotope of uranium but is less common than U-238.

It is used in nuclear reactors and can be a source of environmental contamination if concentrations are elevated.

10. Uranium-238 is the most common isotope of uranium and is found naturally in soil and rocks.

U-238 can decay into various radioactive products and its presence in water can be an indicator of uranium mining or natural uranium deposits.

Radionuclides can linger in the environment for extended periods of time, and they are stored in bottom sediments found in rivers. Because radioactive sediments can deteriorate the quality of habitats for benthic organisms, such as insects and crustaceans, and interfere with their life cycles and ecological functions, elevated concentrations of radionuclides in sediments contaminate habitat. Further contamination of the water can also result from physical disturbances

or changes in the conditions of the sediment that release radionuclides that have been trapped in it back into the water column.

Long-term exposure to these radioactive substances may cause bioaccumulation and toxicity: As radionuclides proceed up the food chain, their concentrations will rise due to their accumulation in the tissues of fish and other aquatic organisms. The rates of growth, reproduction, and survival may be impacted by this accumulation. Additionally physiological and biochemical disturbances can result from exposure to elevated radionuclide concentrations in aquatic organisms. Lead-210 (Pb-210) and Ra-228, for instance, can obstruct vital biological functions and cause organ damage or higher death rates. Elevated radionuclide levels are a serious health risk for communities that depend on the Araz River for drinking water. Radiation sickness and an elevated risk of cancer can result from prolonged exposure to radiation-rich water. For instance, it is well known that radionuclides like U-238 and Ra-226 raise the risk of cancer, especially cancers of the kidneys and bones. Though this is more common in cases of extreme exposure, high concentrations of radionuclides in drinking water can cause acute radiation sickness, which is characterized by symptoms like nausea, vomiting, and fatigue. Eating contaminated fish and other aquatic products can expose humans to radionuclides that build up in aquatic organisms and enter the food chain.

Implementing strict regulations and monitoring programs is crucial to reducing the harmful effects of radionuclide contamination. One such measure is routine testing, which involves routinely collecting samples of water and sediment to measure radionuclide levels and analyze trends over time. Hence, maintaining radionuclide concentrations within regulatory bounds set by health and environmental authorities. The purpose of the permitted radionuclide concentrations in sediment samples and river water is to safeguard both the environment and human health. While guidelines for sediments may be less precise, they are still influenced by background levels and possible ecological effects. For water, these levels are typically described in terms of dose limits or maximum contaminant levels. Following these recommendations helps guarantee that radioactive contamination stays below safe thresholds, reducing risks to aquatic ecosystems and public health.

### **Results and Discussions**

The primary goal of the study is to measure the radionuclide content of natural water and bottom sediment samples collected from the Sabirabad region, in the section of the Araz River just prior to its confluence with the Kura, and to perform a comparison between the results of the analysis and the lowest amount that is allowed. Pre-sterilized containers were used for sampling, transportation, and storage, and all processes adhered to standard protocols. In order to accurately determine radioactive elements and evaluate their concentrations, a number of established methodologies are used when measuring radionuclides in water and sediment samples: ICP-MS ionizes samples and measures the mass-to-charge ratio of ions to determine trace levels of radionuclides. To prepare samples, sediment samples are dissolved and water samples are filtered to produce a transparent solution. After that, the sample was put into the plasma source, where ions were produced and their mass-to-charge ratios examined. From there, radionuclides were measured according to their concentrations and isotopic signatures.

**Table 1.**

*Results of analysis in the water and sediment samples*

<b>Parameter</b>	<b>Unit</b>	<b>MDA in water</b>	<b>MDA in sediment</b>
<b>Cs-137</b>	Bq/kg	0.2	0.2
<b>Pb-210</b>	Bq/kg	2.3	19.5
<b>Ra-226</b>	Bq/kg	0.4	23
<b>Ra-228</b>	Bq/kg	0.3	0.2
<b>Th-232</b>	Bq/kg	-	-
<b>Th-234</b>	Bq/kg	2.13	39.5
<b>K-40</b>	Bq/kg	4.3	452.9
<b>Be-7</b>	Bq/kg	-	-

<b>U-238</b>	Bq/kg	0.24	32.4
<b>U-235</b>	Bq/kg	0.8	1.6

\*MDA stands for – Minimum Detectable Activity

National and international regulations set the permissible limits of radionuclides in river water and sediment samples to protect the environment and public health. Although these restrictions can differ from country to country, they often adhere to standards established by regulatory agencies, the World Health Organization (WHO), and the International Atomic Energy Agency (IAEA). Quality indicators of drinking water provided to consumers in the Republic of Azerbaijan "Drinking water. "Hygienic requirements and quality control" was set according to the state standard AZS 929:2023. The new standard, approved in April 2023, was developed based on the Water and Health Protocol of the UN Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes. This standard is the recommendations of the working document presented by the European office of the World Health Organization, Directive 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of Europe of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption, ГОСТ 2874-82, СанПин 2.1.4.1074- 02, designed with USEPA standards in mind. According to this standard, microbiological (8 indicators), organoleptic, physical-chemical (100 indicators) and radiological (2 indicators) indicators of drinking water are measured. Radiological parameters mentioned are Total  $\alpha$  and  $\beta$  radioactivity.

In accordance with the WHO Drinking Water Quality Guidelines, Cs-137 ought to be as low as practically possible. Generally speaking, acceptable water levels are included in general safety recommendations rather than being specified in Bq/L. It is common practice to measure concentrations in the range of a few Bq/L. Permissible levels for sediments are typically more precisely defined, while background levels for Cesium-137 are normally required by general environmental guidelines to be less than 10 Bq/kg. A level more than 50 Bq/kg could be a sign of contamination.

The maximum contaminant level for Radium-226 in water is 0.185 Bq/L, while background levels in sediments can vary from 10 to 50 Bq/kg. A level of elevation more than 100 Bq/kg might be reason for alarm. Also, general environmental guidelines for Radium-228 background levels range from 5 to 20 Bq/kg.

Typical levels for Lead-210 are around 10 to 100 Bq/kg, with higher levels indicating potential anthropogenic influences and the same range and concern applies to Thorium-232 and Thorium-234. Potassium-40 (K-40) natural background levels generally monitored but not subject to specific limits as natural background levels are around 1,000 to 10,000 Bq/kg. Beryllium-7 as well, is naturally occurring and levels in sediments are generally low, usually below 5 Bq/kg.

When it comes to Uranium-238 based on IAEA Guidelines and EPA (Environmental Protection Agency) limits in the water samples maximum contaminant level of 0.0015 Bq/L (30  $\mu\text{g/L}$ ) and in the sediments background levels are usually around 10 to 30 Bq/kg. Concentrations above 50 Bq/kg indicate contamination. Uranium-235 background levels are usually low, around 1 to 10 Bq/kg.

Hence, by comparing regulations and results of our sample analysis we see that levels for Uranium radionuclides are higher than permissible limit for the drinking water:

The presence of Uranium-238 (U-238) at levels of 0.24 Bq/L in river water and 32.4 Bq/kg in sediment samples can have various potential impacts on both human health and the environment. Due to its chemical toxicity, drinking water containing uranium over an extended period of time can cause kidney damage. Excessive levels may cause nephrotoxicity, which adversely impacts the functioning of the kidneys. It is well known that uranium causes cancer development. Due to uranium's long-term presence in the body, chronic exposure can raise the risk of developing cancers, especially lung cancer if uranium dust is inhaled. Long-term uranium exposure from drinking water can raise the risk of cancer by adding to the total radiation dose. There is no specific

international standard for U-238 levels in sediments; however, background levels are typically much lower than 32.4 Bq/kg. For aquatic organisms, uranium can be toxic, which can have an impact on survival, growth, and reproduction. Aquatic ecosystems may be disrupted by elevated levels that cause bioaccumulation in fish and other organisms. If accumulated sediments are disturbed, uranium may enter the food chain and affect aquatic organisms, which may in turn affect humans who consume these organisms.

Uranium-235 alone is not subject to any particular drinking water standards; however, the total amount of uranium in drinking water is usually subject to widespread regulations. U-235 is present at concentrations that are significantly higher than the usual allowable limits for total uranium in drinking water (1.6 Bq/kg for sediments and 0.8 Bq/L for river water samples), indicating a serious contamination problem. Elevated levels of radionuclides affect the ecological balance of the river and our findings is important for the evaluation of quality of the water.

### **Conclusion**

In the South Caucasus, the Araz River is an important waterway that passes through Azerbaijan and is essential to regional ecosystems, communities, and agriculture. Serious risks to human health and ecological systems are posed by inappropriate radionuclide levels in the water and sediments of the Araz River. The Araz river water and bottom sediment samples collected from the Sabirabad area (Suqovushan) were tested for Cs-137, Pb-210, Ra-226, Ra-228, Th-234, Th-232, K-40, U-235, and U-238 activity concentrations. The purpose of the measurements was to verify compliance with national and international regulations and to obtain data that can be used as a baseline for determining potential changes in environmental radioactivity caused by nuclear, industrial, and other human activities.

The concentrations of Uranium-238 in sediments (32.4 Bq/kg) and river water (0.24 Bq/L) point to a possible risk to the environment and human health. Since the concentration for water is higher than the allowable limit for drinking water, prompt action is required to minimize health risks and prevent exposure. Significant contamination that may impact aquatic life and possibly make its way into the food chain is also indicated by the sediment levels. The levels of Uranium-235 in river water (0.8 Bq/L) and sediments (1.6 Bq/kg) indicate potential risks to both human health and the environment. While the sediment levels are higher than natural background levels, they are less concerning compared to water but still warrant attention due to potential environmental and ecological impacts. In order to address these issues and safeguard both human health and environmental quality, it is imperative to put monitoring, treatment, and remediation measures into place. There are several filtration techniques, such as reverse osmosis and ion exchange. Dredging and stabilization are two methods that can be used to manage contaminated sediments and stop radioactive waste from seeping back into the water. To stop additional contamination, sources of radionuclide pollution, such as mining operations or industrial discharges, must be detected, relocated and addressed.

### **REFERENCES**

1. International Atomic Energy Agency (IAEA). (n.d.). *Safety Standards*. Retrieved from <https://www.iaea.org/topics/safety-standards>.
2. World Health Organization (WHO). (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum* [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/gug93.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gug93.pdf).
3. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2017). *Radionuclides Rule*. Retrieved from <https://www.epa.gov/dwreginfo/radionuclides-rule>.
4. European Union (EU). (2013). *Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 Laying Down Basic Safety Standards for Protection Against the Dangers Arising from Exposure to Ionising Radiation* [https://ec.europa.eu/environment/radiation/radiation\\_protection/legislation\\_en.html](https://ec.europa.eu/environment/radiation/radiation_protection/legislation_en.html).

5. Ministry of Ecology and Natural Resources of Azerbaijan. *Environmental Regulations and Standards*. <http://www.eco.gov.az/>.
6. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). (2008). *Sources and Effects of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2008 Report*. United Nations Publications. <https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2008.html>.
7. United Nations Environment Programme (UNEP). (2005). *Environmental Effects of Radionuclides*. <https://www.unep.org/resources/report/environmental-effects-radionuclides>.
8. Sinnhuber, M., & Singh, S. (2020). *Environmental Radioactivity: Measurement and Assessment*. *Journal of Environmental Radioactivity*, 208, 106014. doi:10.1016/j.jenvrad.2019.106014.
9. Zhou, Q., & Wang, Y. (2019). *Radionuclides in Sediments: Background Levels and Environmental Impact*. *Radiation Protection Dosimetry*, 185(4), 464-478. doi:10.1093/rpd/ncz007.
10. International Union for Conservation of Nature (IUCN). (2018). *Guidelines for Radioactive Contaminants in Water and Sediment*.
11. Aliyev, A., & Mammadov, T. (2020). *Assessment of Radionuclides Contamination in Araz River and Its Impact on Local Ecosystems*. *Azerbaijan Journal of Ecology*, 18(2), 150-162. doi:10.35690/ajeco.2020.18.2.150.
12. Ismayilov, T., & Rustamov, M. (2021). *Radiation Monitoring and Environmental Quality Assessment of the Araz River Region*. *Proceedings of the Azerbaijan National Academy of Sciences*, 76(4), 200-210.
13. Aliyev, V., & Kerimov, N. (2022). *Evaluation of Radioactive Contamination in the Araz River Basin: Sources and Effects*. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 15567-15578. doi:10.1007/s11356-021-13800-3.
14. Azerbaijan National Academy of Sciences. (2022). *Research Report on Environmental Radioactivity in Azerbaijan*.

#### XÜLASƏ

### ARAZ ÇAYININ SABİRABAD ƏRAZİSİNDƏN GÖTÜRÜLMÜŞ SU VƏ ÇÖKÜNTÜ NÜMUNƏLƏRİNDƏ RADİONUKLİDLƏRİN ÖYRƏNİLMƏSİ

*Nəbiyeva M.A., Hacıyeva S.R., Şəmilov N.T., Əliyeva T.İ.*

**Açar sözlər:** radioaktivlik, izotoplar, çirklənmə, akkumulyasiya, qaydalar

Su kimyası ilə ekoloji sağlamlıq arasındakı əlaqəyə diqqət yetirməklə bu tədqiqat Araz çayının ekoloji-kimyəvi vəziyyətini araşdırır. Beynəlxalq standartlar, elmi tədqiqatlar və normativ bazalar radionuklidlər üçün məqbul hədlərin mənbəyidir. Milli və beynəlxalq qaydalara uyğunluğu yoxlamaq və nüvə, sənaye və digər insan fəaliyyəti nəticəsində ətraf mühitin radioaktivliyində potensial dəyişiklikləri müəyyən etmək üçün baza rolunu oynaya biləcək məlumatları əldə etmək üçün Sabirabad ərazisindən (Suqovuşan) götürülmüş Araz çayının suyu və dib çöküntüsü nümunələrində Cs-137, Pb-210, Ra-226, Ra-228, Th-234, Th-232, K-40, U-235 və U-238 ölçülmüşdür. Əldə edilən nəticələr göstərir ki, tədqiqat sahəsində ölçülən radionuklidlərin aktivlik konsentrasiyası BAEA, ƏMMA və ÜST-nin tövsiyə etdiyi səviyyələrdən aşağıdır. Mənfi istisna U-238 və U-235-dir, daha yüksək səviyyələr antropogen təsirləri və çirklənməni göstərir. Çirklənmənin azaldılması və ekoloji bütövlüyün bərpası üçün nəticələr ətraf mühitin idarə edilməsi üsullarının diqqətə çatdırılmasının zərurliyini vurğulayır.

#### РЕЗЮМЕ

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ОБРАЗЦАХ ВОДЫ И ОСАДКОВ, ВЗЯТЫХ В САБИРАБАДСКОМ РАЙОНЕ ИЗ РЕКИ АРАЗ

*Набиева М.А., Гаджиева С.Р., Шамилов Н.Т., Алиева Т.И.*

**Ключевые слова:** радиоактивность, изотопы, загрязнение, аккумуляция, правила

С акцентом на взаимосвязь между химией воды и экологическим здоровьем, это исследование изучает химико-экологическое состояние реки Араз. Международные стандарты, научные



исследования и нормативные рамки являются источниками приемлемых пределов для радионуклидов. Чтобы проверить соответствие национальным и международным нормам и получить данные, которые могут служить исходными данными для определения потенциальных изменений радиоактивности окружающей среды из-за ядерной, промышленной и другой деятельности человека, концентрации активности Cs-137, Pb-210, Ra-226, Ra-228, Th-234, Th-232, K-40, U-235 и U-238 были измерены в пробах воды и донных отложений реки Араз, отобранных в районе Сабирабада (Суговушан). Полученные результаты показывают, что концентрации активности радионуклидов, измеренные в исследуемой области, ниже уровней, рекомендуемых МАГАТЭ, АООС и ВОЗ. Отрицательным исключением являются U-238 и U-235, имеющие более высокие уровни, что говорит об антропогенном влиянии и загрязнении. Для снижения загрязнения и восстановления экологической целостности результаты подчеркивают необходимость целенаправленных методов управления окружающей средой.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	18.08.2024
	Son variant	17.09.2024

## PAXLALILAR AİLƏSİ (*FABACEAE LINDL.*) BİTKİLƏRİNİN MİKROMİSET KOMPLEKSLƏRİNİN EKOLOJİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

ƏLİYEVƏ GÜLNAR RAHİM qızı

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, b.f.d., b.m.*

[gulnar.aliyeva.1988@inbox.ru](mailto:gulnar.aliyeva.1988@inbox.ru)

**Açar sözlər:** *mikromisetlər, ekosistem, mikoflora, fitopatogen, aqresenoz, rizosfer, filoplan, mikotoksinlər, pleomorfizm*

**İşin aktuallığı.** Mikroskopik göbələklər - mikromisetlər - yerüstü ekosistemlərdə digər orqanizmlərlə sıx əlaqə və qarşılıqlı əlaqədə olurlar. Süni və təbii ekosistemlərdə, xüsusən də “torpaq-mikoflora-fitoqlora” sistemində mövcud olan qanunauyğunluqların və əlaqələrin öyrənilməsi mühüm ekoloji problemdir. Bu aspektdə mikromisetlərin digər torpaq mikroorqanizmlərinə təsiri yaxşı öyrənilmişdir, lakin ədəbiyyatda xüsusilə iqtisadi qiymətli paxlalı bitkilərin torpaq göbələklərinin icmasına təsiri haqqında kifayət qədər məlumat yoxdur.

Təxminən 25 min növü məlum olan fitopatogen mikromisetlər becərilən məhsulların məhsuldarlığını azaltmaqla yanaşı, keyfiyyətini də xeyli pisləşdirə bilər. Fitopatogen mikromisetlərin bir çox növləri toksiki, fərsətçi və allergendir, yəni immuniteti aşağı olan insanlar üçün ciddi təhlükə yarada bilər.

Paxlalı bitkiləri uğurla becərmək üçün bir sıra amilləri, o cümlədən bioloji amilləri nəzərə almaq lazımdır, bunların arasında mikroskopik göbələklər xüsusi yer tutur və bu, bütün bitki xəstəliklərinin 90% -ə qədərində səbəb ola bilər.

Məlumdur ki, bitkilərin, xüsusən də paxlalı bitkilərin intravital kök eksudasiyası prosesi torpaq mikromisetlərinin sayı və tərkibində dəyişikliklərə, torpağın bioloji aktivliyinə və toksigen göbələk növlərinin toplanmasına kömək edir. Lakin bu məsələ ilə bağlı məlumatlar son dərəcə azdır və bəzən ziddiyyətlidir.

Beləliklə, paxlalı bitkilərlə biosenozların ayrı-ayrı komponentlərinin ekoloji xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi mühüm, lakin hələ də kifayət qədər öyrənilməmiş problemdir. [3]

**İşin məqsədi.** Bu işin məqsədi müxtəlif ekosistemlərdə paxlalılar ailəsinin (*Fabaceae Lindl.*) ot bitkilərinin rizosferinin və filoplanının mikromiset komplekslərinin ekoloji xüsusiyyətlərini müəyyən etməkdir.

Bu məqsədə nail olmaq üçün qarşıya aşağıdakı vəzifələr qoyulmuşdur:

1. Yabani və mədəni paxlalı bitkilərin rizosferində mikromiset komplekslərinin yayılma qanunauyğunluqlarını və təbii şəraitdə və aqrosenozlarda onlarda bitki və insanlar üçün təhlükəli növlərin mövcudluğunu müəyyən etmək;

2. Müxtəlif texnogen yüklərə malik biotoplarda mikromisetlər kompleksinin əmələ gəlməsinin xüsusiyyətlərini müəyyən etmək;

3. Aqrosenozlarda paxlalı bitkilərin rizosferində mikromiset kompleksinin struktur xüsusiyyətlərini qiymətləndirmək;

4. Aqrosenozlarda paxlalı bitkilərin rizosfer və filoplan mikromisetlərinin ekoloji xüsusiyyətlərini müəyyənləşdirmək.

**Elmi yenilik.** İlk dəfə olaraq müxtəlif otlu yabani və mədəni paxlalı bitkilərin rizosferinin mikromiset komplekslərinin strukturunun tam ekoloji təsviri verilmiş və onların müxtəlifliyi aşkar edilmişdir.

İlk dəfə olaraq tədqiq olunan paxlalı bitkilərin rizosferinin və filoplanının mikokompleksində toksigen, fürsətçi və allergen göbələk növlərinin tərkibi müəyyən edilmişdir. Paxlalı bitkilər altında mikromisetlərin rizosfer komplekslərinin növ tərkibinin dəyişməsi, bolluğunun artması və biomüxtəlifliyinin azalması təsadüfi növlərin aradan qaldırılması və aqrosenozlarda ayrı-ayrı göbələklərin dominantlığının artması hesabına müəyyən edilmişdir. Torpaq mikromisetləri arasında paxlalı bitkilərin becərilməsi zamanı intravital kök eksudatlarına həssas, davamlı və indikator növlər də müəyyən edilmişdir.

İlk dəfə olaraq paxlalı bitkilər altında *Fusarium* cinsinin fitopatogen növlərinin (*F.oxysporum*, *F.proliferatum*, *F.solani*) rast gəlmə tezliyinin azalması, eləcə də *Aspergillus niger* fitopatogen növlərinin və *Trichoderma* cinsinin antaqonist göbələklərinin baş vermə tezliyinin artması aşkar edilmişdir.

İlk dəfə olaraq müxtəlif torpaq və iqlim şəraitində təbii yoluxucu fonda paxlalı bitkilərin mikoziyalarının və onların patogenlərinin yayılması və inkişafı müəyyən edilmişdir. [1,2]

**Praktik əhəmiyyəti.** Müxtəlif paxlalı bitkilər altında mikromiset komplekslərinin yayılma qanunauyğunluqlarını bilmək mikromisetlərin növ tərkibində dəyişikliklər, fitopatogen, antaqonist və insanlar üçün təhlükəli mikroorqanizmlərin toplanması haqqında məlumat almağa imkan verir. Bunun sayəsində kənd təsərrüfatı texnologiyasının xüsusiyyətlərinə görə mikofloranın mikrobioloji pozulma dərəcəsini qiymətləndirmək və mikofloranın optimal balansını yaratmaq üçün tədbirlər görmək mümkün olur. Tədqiq olunan paxlalı bitkilərin rizosferində və filoplanında mikromisetlərin yayılmasına dair əldə edilmiş məlumatlar onların becərilməsi texnologiyalarının tənzimlənməsində istifadə edilə bilər. Paxlalı bitkilər becərildikdən sonra torpaqda digər kənd təsərrüfatı bitkilərinə zərər verə bilən fitopatogen növlər (*Alternaria alternata*, *F.chlamydosporium*, *F.gibbosum* və *Ulocladium botrytis*) qaldığından, paxlalılardan sonra bu mikofloraya əkin dövriyyəsinin strukturunda ən az həssas olan bitkiləri seçmək lazımdır. [6]

Təqdim edilən əsas müddəalar:

1. Rizosfer mikromisetlərinin komplekslərinin tərkibi və quruluşu təbii ekosistemlərdə *Elaborum* fəsiləsinin müxtəlif bitki növləri üçün səciyyəvidir. Antropogen yüklü şəraitdə rizosfer mikromisetlərinin sayı və onların biomüxtəlifliyinin göstəriciləri artır, lakin paxlalı bitki növləri üçün mikromiset komplekslərində fərq azalır;

2. Paxlalı bitkilərin mikokomplekslərində aqro- və texnogen yükün yüksək səviyyədə olduğu ekosistemlərdə fitopatogen və insan sağlamlığı üçün təhlükəli (allergen, toksikogen) göbələk növlərinin xüsusi çəkisi artır;

3. Aqrosenozlarda paxlalı bitkilərin filoplan kompleksində əhəmiyyətli nisbəti geniş spektrli fitomikozlar törədən fitopatogen mikromisetlər tutur;

4. Aqrosenozlarda paxlalı bitkilərin mikokompleksləri göbələklərin indikator növləri və bitkilərə münasibətdə təcrid olunmuş mikromisetlərin patogen aktivliyinin fərqli spektri ilə xarakterizə olunur.

Bitkilərin mikromisetləri - parazitləri məhsul itkisinə və mikotoksinlərlə – digər orqanizmlərin böyüməsini və inkişafını maneə törədən bioloji aktiv ikincil metabolitlərlə çirklənməyə səbəb olur, bu da böyük iqtisadi ziyanə səbəb olur. [5]

Qeyd etmək lazımdır ki, son 40 ildə göbələklərin ekologiyasında bütün növ müasir ümumi ekoloji metod və yanaşmalardan istifadə edilmişdir ki, bunun sayəsində göbələklərin suda və torpaqda biokütləsini, onun morfoloqiyasını, təbii ekosistemlərdə və antropogen amillərin təsiri altında maddənin ehtiyatlarına çevrilməsini, canlılığını və töhfəsini qiymətləndirmək mümkündür.

Torpaq biotası torpağın sənaye emissiyaları ilə çirklənməsinin öyrənilməsi üçün göstərici obyekt olduğundan onun mikrobiotası da ekoloqların və həkimlərin yaxından diqqət mərkəzindədir. Buna görə də mikromisetlərin öyrənilməsində müvafiq müasir istiqamətlərdən biri texnogen təzyiqlə məruz qalan yerüstü ekosistemlərdə mikroskopik göbələklərin icmalarının hərtərəfli öyrənilməsidir.

Mikobiotalara antropogen təsir prosesləri üzvi maddələrin biotransformasiyası proseslərində balanssızlığa səbəb olur və buna görə də mikromisetlərin uçotunun rolu əhəmiyyətli dərəcədə artır. [4]

Ətraf mühiti və qidamı çirkəndirən mikotoksinlərin mənbəyi kimi fitopatogen mikroskopik göbələklərin tədqiqatlarını qeyd etmək lazımdır. Tədqiqatlar fitopatogen mikromisetlərin kolleksiyalarının hərtərəfli öyrənilməsinə həsr edilmişdir.

Müəyyən edilmişdir ki, torpaq mikoflorası son dərəcə mürəkkəb, müxtəlif və boldur, mikroorqanizmlərin kütləsi 7-8 t/ha-a qədər və ya təxminən 1-2 t/ha quru maddədir. Tədqiqatlar torpaq əmələ gətirən proseslərdən asılı olaraq torpaq mikoflorasında dəyişiklikləri aşkar etmişdir. Bundan əlavə, torpaqda mikromisetlərin kəmiyyət və növ tərkibi əksər hallarda təkcə torpağın növündən deyil, həm də ali bitkilərin tərkibindən asılıdır.

O da məlumdur ki, mikrofloranın məzmunu və fəaliyyəti, hidrotermal rejimin dəyişməsi və mikroorqanizmlərin çoxlu təkrarlanan nəsilləri səbəbindən torpaq əmələ gəlməsinin illik tsiklində müəyyən dinamika ilə xarakterizə olunur.

Bununla belə, mikromisetlərin öyrənilməsində ən böyük çətinliklər onların geniş yayılma sahəsi və növlərin böyük müxtəlifliyidir, buna görə də mikroskopik göbələklər indiyə qədər kifayət qədər öyrənilməmişdir. [7]

Paxlalılar ailəsi və ya Güvə ailəsi (*Fabaceae Lindl.* və ya *Leguminosae Lindl.*) taksonomiyada ən geniş yayılmış növlərdən biridir və müxtəlif həyat formaları ilə təmsil olunur. Paxlalı bitkilərin 700-ə yaxın cinsi və ən azı 17000 növü məlumdur.

Mədəni paxlalı bitkilərin köklərində *Rhizobium* cinsinə aid azot fiksasiya edən bakteriyaların introduksiyasından və endogen məskunlaşmasından sonra kök parenxima toxumasının böyüməsi nəticəsində yaranan düyünlər olur. Atmosferdən udduqları azot bitkilərin özləri tərəfindən böyümək üçün istifadə olunur və onlar torpağa şumlandıqdan sonra orada qalır və sonrakı məhsullar üçün əlçatan olur. Buna uyğun olaraq, paxlalı bitkilər torpağı havadan bağlamaq qabiliyyətinə görə azotla zənginləşdirilməsində böyük rol oynayır.

Məlumdur ki, hər hansı kənd təsərrüfatı məhsulunun məhsuldarlığı ilk növbədə mineral qida elementləri ilə, xüsusilə torpaqda bitkilər üçün mövcud olan azot birləşmələrindən asılıdır. Son onilliklərdə gübrələrin istifadəsi bahalaşmış. Bundan əlavə, mineral gübrələrin istifadəsi metabolik pozğunluqlar nəticəsində zərərli qida maddələrinin və zəhərli birləşmələrin sərbəst buraxılmasına səbəb olur. Kənd təsərrüfatının intensivləşdirilməsinə keçid zamanı ehtiyatlara qənaət və təbiətin mühafizəsi tələbləri nəzərə alınmalıdır.

Çoxillik paxlalı otlar tərəfindən mənimsənilən havadan azotun əsas komponenti onların yerüstü orqanlarında, daha kiçik hissəsi (azotun 1/3 hissəsinə qədər) köklərdə olur və torpaqda qalır. Qırmızı yoncanın bitki və kök qalıqlarında bitkilərin yerüstü hissələrində mövcud olan azotun ümumi miqdarının 45%, çəhrayı və ağ yonca 20-30%, yonca 20%, lupin 8% təşkil edir. 1 ha torpağa yonca becərildikdə yerüstü kütlədə və bitki qalıqlarında azotun miqdarı ildə 300 kq, lupin - 150-200 kq, qırmızı yonca - 180 kq, şirin yonca - 150 kq, dənli paxlalılar - 50-60 kq azot təşkil edir.

Çoxillik otlar əkin dövründə istifadə edildikdə, fosfor və kalium azotla birlikdə, daha az miqdarda olsa da, verilir. Fosforun torpaqdan aşağı - 7% -ə qədər istifadə dərəcəsi var. Müəyyən edilmişdir ki, hər bir ton çoxillik paxlalı otların və samanın quru maddədəki bitki qalıqları 0,5%-ə qədər (qalıqların mütləq quru kütləsinə) bioloji azot, 30%-ə qədər fosfor, 72%-ə qədər kalium və 75%-ə qədər kalsium qaytarır. Təcrübədə paxlalı çoxillik otların qarışıqından ən ucuz üzvi gübrə kimi birinci kəsimdə yem kimi, ikinci kəsimdə isə yaşıl peyin gübrəsi kimi istifadə olunur. [8]

Paxlalı otlar kənd təsərrüfatı bitkilərində yaşıl peyin kimi istifadə olunur ki, bu da zərərvericilərə, xəstəliklərə və əlaq otlarına qarşı uğurla mübarizə aparmağa imkan verir. Onlar spesifik artımı təşviq edirlər.

## ƏDƏBİYYAT

1. Ağayev, C.T. Abşeron iqtisadi bölgəsi şəraitində örtülü sahədə becərilən bitkilərin xəstəlik və zərərvericiləri, onlardan başlıca ziyanlı növlərə qarşı yeni mübarizə tədbirlərinin işlənilməsi və tətbiqi // C.T.Ağayev. ETİ-nin yekun hesabatı, –Bakı, –2012, –112 s.
2. Cəfərov, İ.H. Fitopatologiya / İ.H.Cəfərov, –Bakı: Şərq-Qərb, –2012, –568 s.

3. Александрова, Г.А. Микромицеты в жилых помещениях города Перми / Г.А.Александрова, И.Н.Кирьянова, А.П.Брессен, [и др.] // Проблемы медицинской микологии, –2012, т.14, № 2, –54-57 с.
4. Антонов, В.Б. Микозы и микогенная аллергия как антропогенно-очаговые заболевания // Успехи медицинской микологии. Материалы третьего всероссийского конгресса по медицинской микологии, –М.: Национальная Академия Микологии, –2005, т. 5, –54-56 с.
5. Ахатов, А.К. Защита растений от болезней в теплицах // А.К.Ахатов, Ф.С.Джалилов, О.О.Белешапкина, [и др.] –М.: Товарищество научных изданий КМК, –2002, –194 с.
6. Берестецкий, А.О. Выделение, идентификация и характеристика фитотоксина, образуемого грибом *Alternaria cirsiinoxia* // А.О.Берестецкий, О.С.Юзихин, А.С.Каткова, [et al.] // Прикл. биохимия и микробиология, -2010, -Т. 46, -№ 1, -84-88 с.
7. Богомолова, Е.В. Исследование взаимосвязи микобиоты каменистого субстрата с сообществами микромицетов из других экологических групп // Е.В.Богомолова, И.Ю.Кирцидели, А.Е.Коваленко // Иммунопатология, Аллергология, Инфектология, – 2010, -№ 1, –56 с.
8. Tang, K.W. Microbial abundance, composition and enzymatic activity during decomposition of copepod carcasses // K.W.Tang, K.M.L.Hutalle, H.P.Grossart // -Aquat Microb Ecol, -2006, - Vol. 45, -219-227 p.

**SUMMARY**  
**ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF MICROMYCETE COMPLEXES**  
**OF PLANTS OF LEGUME FAMILY (*FABACEAE LINDL.*)**

*Aliyeva G.R.*

**Key words:** *micromycetes, ecosystem, mycoflora, phytopathogen, aggresenosis, rhizosphere, phylloplane, mycotoxins, pleomorphism*

Microscopic fungi - micromycetes - are in close contact and interaction with other organisms in terrestrial ecosystems. The study of existing laws and relationships in artificial and natural ecosystems, especially in the "soil-mycoflora-phytoflora" system, is an important ecological problem. In this aspect, the effect of micromycetes on other soil microorganisms is well studied, but there is not enough information in the literature, especially on the effect of economically valuable legumes on the community of soil fungi.

**РЕЗЮМЕ**  
**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МИКРОМИКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ**  
**РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА БОБОВЫХ (*FABACEAE LINDL.*)**

*Алиева Г.Р.*

**Ключевые слова:** *микромицеты, экосистема, микофлора, фитопатоген, аггресеноз, ризосфера, филлоплана, микотоксины, плеоморфизм*

Микроскопические грибы – микромицеты – находятся в тесном контакте и взаимодействии с другими организмами наземных экосистем. Изучение существующих закономерностей и связей в искусственных и природных экосистемах, особенно в системе «почва-микофлора-фитофлора», является важной экологической проблемой. В этом аспекте влияние микромицетов на другие почвенные микроорганизмы хорошо изучено, однако в литературе недостаточно сведений, особенно о влиянии хозяйственно ценных бобовых культур на сообщество почвенных грибов.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	08.08.2024
	Son variant	18.09.2024

УДК 681.5.017

DOI 10.54758/16801245\_2024\_24\_3\_68

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РРБ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

<sup>1</sup>АЛЕКПЕРЛИ ФАЗИЛ АЗИН оглы [ORCID](#)  
<sup>2</sup>ГУЛИЕВА НЮБАР АЛИМУРАД ГЫЗЫ [ORCID](#)

Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан  
1-профессор, 2-ассистент  
[n.guliyeva@mail.ru](mailto:n.guliyeva@mail.ru)

**Ключевые слова:** реакторно-регенераторный блок, каталитический процесс, закоксованность, симуляция, контроллер, система автоматического управления, реальный масштаб времени, косвенное оценивание

Разработано программное обеспечение в среде ПЛА для исследования систем управления реакторно-регенераторного блока путем симуляции в реальном масштабе времени. С помощью разработанной программы установлена правомерность метода косвенного оценивания степени закоксованности катализатора на выходах реактора и регенератора, а также возможность управления всех основных параметров блока одним управляющим воздействием – скоростью циркулирующего катализатора.

### Введение

Реакторно-регенераторный блок (РРБ) является основным технологическим узлом процессов химической технологии, проводимых в присутствии пылевидных катализаторов. Сюда относится также и процессы дегидрирования различных фракций углеводородов. Большее распространение получил процесс дегидрирования изобутана в изобутилен с применением алюмосиликатных катализаторов. В [1] приведена математическая модель, тепловой динамики реакторно-регенераторного блока, на основе которого разработан метод косвенного измерения физически не измеримых координат этой системы. Данное решение может послужить решению не менее важной проблемы, как стабилизация и автоматическое регулирование наиболее важных переменных состояния этого узла. Этими координатами являются:

- температура в реакторе;
- температура в регенераторе;
- степень закоксованности катализатора на выходе реактора;
- степень остаточного кокса на катализаторе на выходе регенератора.

РРБ представляет собой сложный объект управления по двум причинам:

- технологические режимы двух основных аппаратов – реактора и регенератора обеспечиваются одним управляемым потоком – скоростью циркулирующего катализатора;
- отсутствуют технические возможности непосредственного измерения степени закоксованности катализатора на выходе реактора и степени остаточного кокса на катализаторе на выходе регенератора в реальном масштабе времени.

### Постановка задачи

Перечисленные особенности реакторно-регенераторных блоков требуют разработку программного обеспечения, реализующего метод косвенного оценивания степени закоксованности катализатора на выходе реактора и степени остаточного кокса на

катализаторе на выходе регенератора и позволяющего исследования системы регулирования вышеприведенных параметров путем симуляции в реальном масштабе времени.

### Получение и реализация передаточных функций

Для решения поставленной задачи с помощью специальных программ на основе кинетических моделей получены передаточные функции по каналам [1]. Приведем передаточные функции по названным каналам:

- «скорость катализатора – степень закоксованности на выходе реактора»;

$$W_{c1}(s) = \frac{-0.0048}{129s + 1}$$

- «скорость катализатора – степень остаточной закоксованности на выходе регенератора»;

$$W_{c2}(s) = \frac{0.061}{126s + 1}$$

- «скорость катализатора – температура реактора»;

$$W_{t1}(s) = \frac{0.5}{89s + 1}$$

- «скорость катализатора – температура регенератора»

$$W_{t2}(s) = \frac{0.541}{125s+1}$$

Существуют различные программные средства для исследования систем автоматического регулирования. Среди них особое место занимает Simulink приложение Matlab, которое позволяет симуляцию в течение заданного времени, т.е. не в реальном времени. Настоящее время основным техническим средством автоматического регулирования являются различные программируемые контроллеры, в частности контроллеры типа Simatic фирмы Siemens. В библиотеке программных средств этих контроллеров отсутствует блок реализации передаточных функций, необходимых при симуляции и построении систем регулирования, отличных от одноконтурной схемы. В [2,3] предложены способы реализации передаточных функций, основанных на методы решения дифференциальных уравнений на аналоговых вычислительных машинах [2,4] и разностных уравнений [2,5]. Здесь применен способ, предложенный в [3], который позволяет реализовать передаточные функции произвольного порядка с запаздыванием. Текст упрощенной программы, оформленной как функция (FC1) на языке SCL следующий:

```
// Реализует передаточную функцию W(s)=b0*#tau/(a1*s+1)
#T:="Data_block_2".T;
#kz:=REAL_TO_INT(#tau/#T+0.5);
#boz:=#bos*#T;
#a1z[0]:=#a1s+#T;
#a1z[1]:=-#a1s;
#yz[0]:=(#boz*#xz[#kz]-#a1z[1]*#yz[1])/#a1z[0];
#yz[1]:=#yz[0];
FOR #i := 0 TO 9 DO;
  #xz[10-#i]:=#xz[9-#i];
END_FOR;
```

### Описание программных модулей симуляции системы управления РРБ

Программные модули разработаны в среде TIA (Totally Integrated Automation – комплексная автоматизация) и состоят из блоков:

- FC1 – функции реализации передаточных функций вида  $W(s) = \frac{b_0}{a_1s+1} e^{-\tau s}$ ;

- FC2 – функции для реализации передаточных функций по каналам РРБ;

- OB35- организационный блок, для циклического вызова регулятора в целях работы в реальном масштабе времени;

- DB1- блок данных для глобальных переменных и массивов.

Текст программы FC1 приведен выше, формальными параметрами которой являются:

- tau – время запаздывания в секундах в формате действительной константы или переменной (Real);

- bos - параметр числителя непрерывной передаточной функции в формате действительной константы или переменной (Real);

- als - параметр знаменателя непрерывной передаточной функции в формате действительной константы или переменной (Real);

- xz – массив в действительном формате (Real), для размещения текущего и прошлых значений входа. Размерность массива зависит от порядка числителя передаточной функции, запаздывания и интервала дискретности. В данном случае не имеет значения. Текущее значение входного воздействия подается на x[0];

- yz – массив в действительном формате (Real), для размещения текущего и прошлых значений выхода. Размерность массива зависит от порядка знаменателя передаточной функции. Текущее значение выходного находится на y[0].

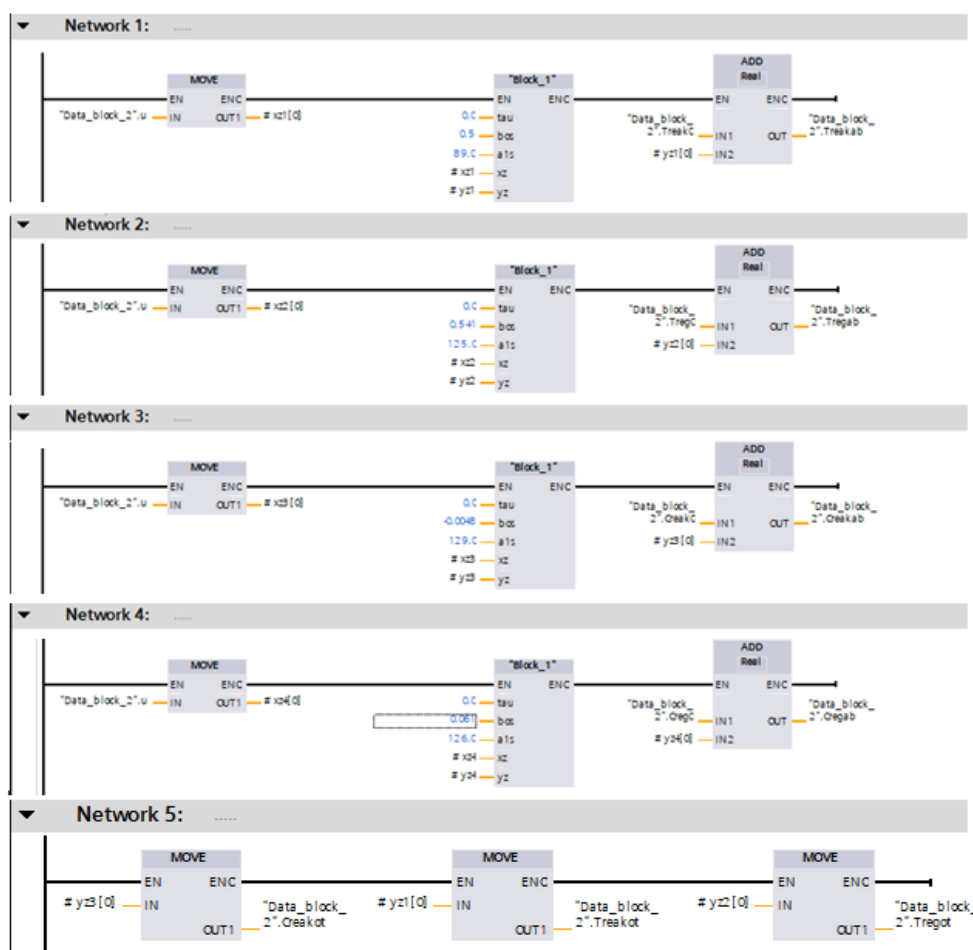


Рис.1

Программа блока OB35 составлена на языке и состоит из 1-го Network (Рис.2):

Программа функции FC2 составлена на языке LAD и состоит из 5-и Network (Рис.1):

Network 1 ÷ Network 4 – определяют текущие значения температуры реактора, температуры регенератора, степени закоксованности на выходе реактора и степени остаточной закоксованности на выходе регенератора по передаточным функциям РРБ.



На Network 1 ÷ Network 4:

- блоки Move подают на входы xz1[0] ÷ xz4[0] текущее значение регулирующего воздействия, полученного на выходе регулятора;
- блоки FC1 вычисляют относительные значения параметров РРБ соответственно по передаточным функциям каналов «скорость катализатора – температура реактора», «скорость катализатора – температура реактора», «скорость катализатора – степени закоксованности на выходе реактора» и «степени остаточной закоксованности на выходе регенератора»;
- блоки ADD вычисляют текущие абсолютные значения параметров РРБ.

На Network 5 блоки Move текущие относительные значения параметров РРБ передают на соответствующие переменные в целях визуализации.

Блок **SUB** по абсолютному значению задания, вводимого с экрана визуализации и по номинальному значению регулируемого параметра вычисляет относительное значение задания на регулятор.

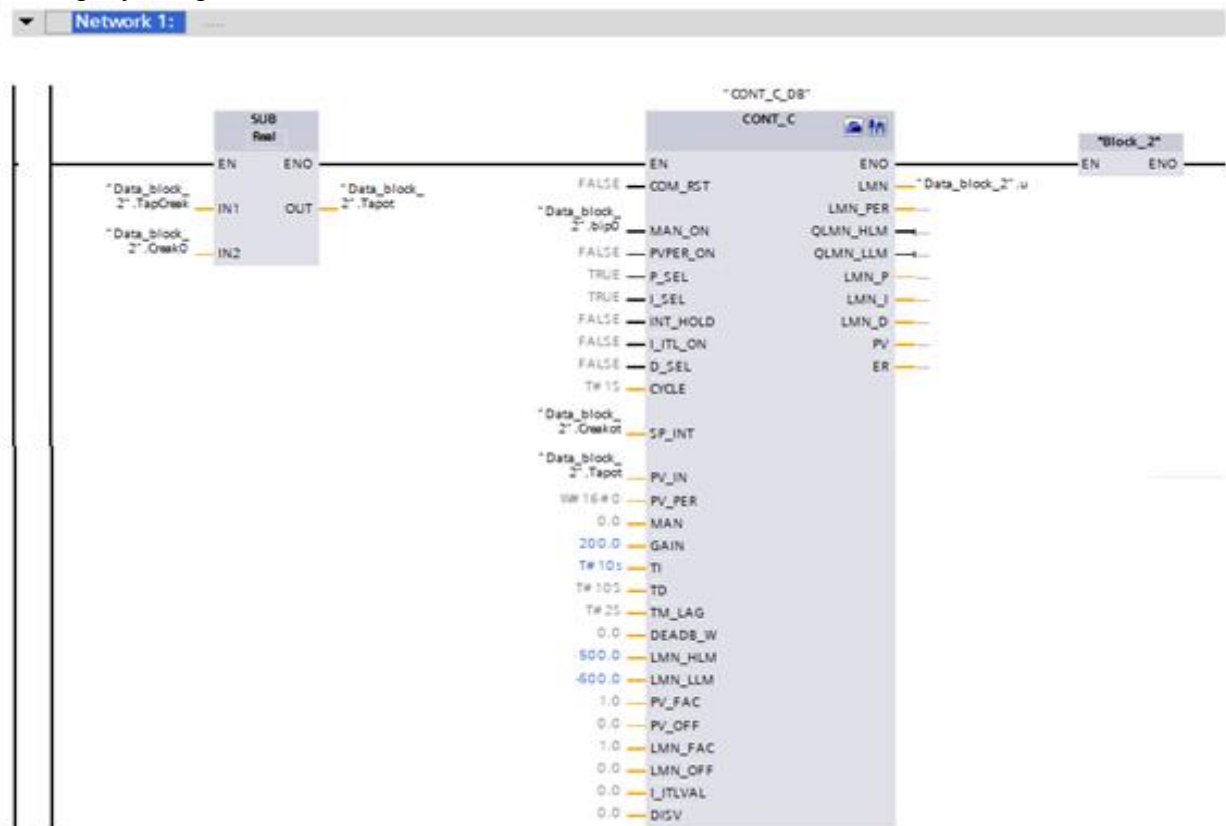


Рис. 2

Блок **CONT\_C** является ПИД регулятором, который при необходимости может работать как П, И, ПД или ПИ регулятор. Полное описание параметров приводится в [6]. Здесь приводим лишь самые необходимые:

- MAN\_ON = 0/1 - автоматический режим/ручной режим. Стандартное значение (СЗ)=1;
- P\_SEL=0/1 – пропорциональный составляющий отключен/включен. СЗ=1;
- I\_SEL=0/1 –интегрирующий составляющий отключен/включен. СЗ=1;
- D\_SEL=0/1 –дифференцирующий составляющий отключен/включен. СЗ=0;
- SP\_INT – вход для задания в формате REAL;
- PV\_IN – вход для текущего значения регулируемого параметра в формате REAL;

- GAIN – вход для коэффициента пропорциональности в формате REAL, C3=2.0. Реальное значение=200.0;
- TI – вход для времени интегрирования в формате TIME, C3=T#20s. Реальное значение= T#10s;
- TD – вход для времени дифференцирования в формате TIME, C3=T#10s;
- LMN\_HLM – вход для максимального значения регулирующего выхода. C3=100.0;
- LMN\_LLM - вход для минимального значения регулирующего выхода. C3=0.0;
- LMN – выход для регулирующего воздействия в формате REAL.

Реальные значения параметров настройки регулятора получены с помощью Matlab.

**Block\_2** вызывает функцию FC2 для вычисления текущих значений измеряемых и регулируемых параметров по передаточным функциям.

Отметим что, в настоящей программе предусмотрено регулирование степени закоксованности катализатора на выходе реактора. Коэффициент усиления соответствующего канала имеет отрицательный знак (-0.0048). В этой связи на вход SP\_INT подано текущее значение регулируемого параметра (Creakot), а на вход PV\_IN – задание (Tapot).

Переменные блока данных **DB1** представлены на таблице.

**Таблица.**

Name	Offset	Start value	Retain	Visible in ...	Setpoint	Comment
Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Treakot	...	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Текущее отн.значение температуры реактора
Treak0	...	713.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Номинальное значение температуры реак.
Treakab	...	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Текущее абс.значение температуры реактора
Tregot	...	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Текущее отн.значение температуры регене...
Treg0	...	923.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Номинальное значение температуры реген.
Tregab	...	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Текущее абс.значение температуры реген.
Creakot	...	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Текущее отн.значение закоксованности по...
Creakot1	...	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Вспомогательная переменная
TapCreak	...	0.25	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Задание на рег.температуры реактора
Creak0	...	0.25	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Номинальное значение закоксованности п...
Creakab	...	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Текущее абс. значение акоксованности по...
Cregot	...	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Текущее отн.значение закоксованности по...
Creegot1	...	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Вспомогательная переменная
Creg0	...	0.05	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Номинальное значение закоксованности п...
Cregab	...	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Текущее абс.значение закоксованности по...
u	...	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Управляющее воздействие
bip0	...	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Бинарная нулевая величина
bip1	...	true	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Бинарная единичная величина
T	...	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Интервал дискретизации
yalanci	...	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Вспомогательная переменная
Tapot	...	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Относительное задание

### Симуляция системы управления РРБ

Для наглядности симуляции системы управления РРБ создан экран (Screen) визуализации (Рис.3), который позволяет в реальном масштабе времени выполнения следующих функций:

- контроль за измеряемым параметрам, как в цифровом, так и графическом виде;
- изменение задания регулятора выбранного параметра регулируемого параметра и следит за изменением всех параметров по времени.

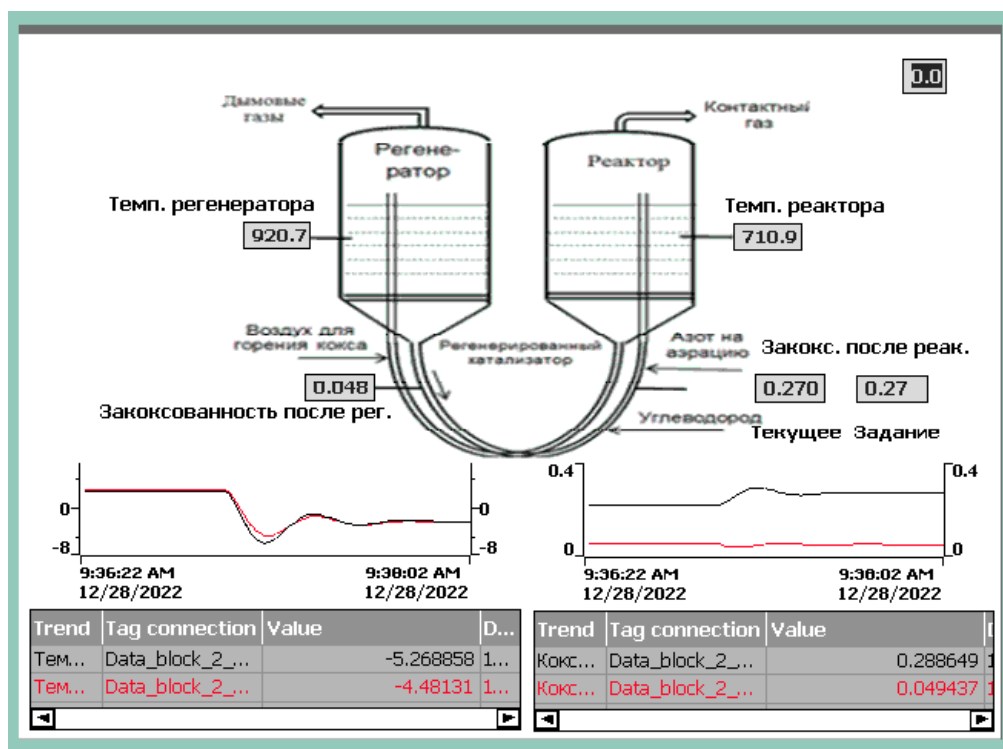


Рис.3

В настоящей программе в качестве регулируемого параметра выбрана степень закоксованности катализатора на выходе реактора.

Назначения всех цифровых виртуальных показывающих приборов и прибора ввода задания указаны на экране. Для графического наблюдения за изменением параметров во времени, использованы два элемента TREND:

- левый – для наблюдения за температурами в реакторе и регенераторе. Так как пределы изменения их абсолютных значений отличаются примерно на 200 °К, они заданы в приращениях, т.е. разности между текущими и номинальными значениями;

- правый – для наблюдения за степенями закоксованностей на выходах реактора и регенератора. Они заданы в абсолютных значениях, поскольку, пределы изменения их соизмеримы.

На рисунке изображены переходные процессы при изменении задания регулятора от 0.22 на 0.27. Время регулирования степени закоксованности катализатора на выходе реактора составляет 40 сек., а переходы из одного уравновешенного состояния в другое для степени остаточной закоксованности на катализаторе, на выходе регенератора составляет 46 сек., для температур в реакторе и регенераторе 45 сек.

**Заключение.** Разработано программное обеспечение в среде ГИА для исследования систем управления реакторно-регенераторного блока путем симуляции в реальном масштабе времени. С помощью разработанной программы установлена правомерность метода косвенного оценивания степени закоксованности катализатора на выходах реактора и регенератора, а также возможность управления всех основных параметров блока одним управляющим воздействием – скоростью циркулирующего катализатора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Нагиев, Г.А. Косвенная оценка переменных состояния реакционно-регенерационных систем на основе компьютерной симуляции / Г.А.Нагиев, Н.А.Гулиева // Измерительная техника № 8, –2021, –с.41-49.

2. Алекперли, Ф.А. Симуляция системы управления технологическими процессами и адаптация ее программного обеспечения к промышленным условиям / Ф.А.Алекперли, С.Ф.Аскерова // Вестник компьютерных и информационных технологий №9 (171), –2018, –с.39-48
3. Алекперли, Ф.А. Реализация передаточных функций произвольного порядка на регулирующих контроллерах. / Алекперли, Ф.А., Байрамова И.С. // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. Т. 4, №1, –2020, –с.117-120
4. Урмаев, А.С. Основы моделирования на аналоговых вычислительных машинах / А.С.Урмаев. –М.: Наука, –1978. –271с.
5. Кузин, Л.Т. Расчет и проектирование дискретных систем управления / Л.Т.Кузин, –М.: Машгиз, –1962. –683 с.
6. Описание регулятора или дерслик
7. Siemens/ Simatic. Программирование контроллеров s7-1200. Системное руководство.

### XÜLASƏ

#### REAKTOR-REGENERATOR BLOKUNUN İDARƏETMƏ SİSTEMİNİN REAL ZAMAN MİQYASINDA TƏDQIQI

*Ələkbərli F.H., Quliyeva N.Ə.*

*Açar sözlər: reaktor-regenerator bloku, katalitik proses, koklaşma, simulyasiya, kontroller, avtomatik idarəetmə sistemi, real zaman, dolayı qiymətləndirmə*

Məqalədə bərk katalizatorlu katalitik proseslərin əsas qovşağı olan reaktor-regenerator blokunun əsas parametrlərinin – reaktor və regeneratordan çıxışlarında katalizatorun koklaşma dərəcəsinin dolayı qiymətləndirilməsi, bu kəmiyyətlərin və həmin aparatlarda temperaturların tənzimlənməsinin real zaman miqyasında tədqiqinə baxılır. Bu məqsədlə TİA mühitində program təminatı tərtib edilmiş və onun vasitəsilə simulyasiya yolu ilə qoyulan məsələlər tədqiq edilir

### SUMMARY

#### RESEARCH OF REACTOR-REGENERATOR UNIT CONTROL SYSTEM IN REAL TIME SCALE

*Alekperli F.H., Guliyeva N.A.*

*Keywords: reactor-regenerator unit, catalytic process, coking, simulation, controller, automatic control system, real time, indirect assessment.*

In the article, the main parameters of the reactor-regenerator unit, which is the main node of catalytic processes-the indirect assessment of the degree of coking of the catalyst at the outlets of the reactor and regenerator, the real-time study of these quantities and the regulation of temperatures in these devices are considered.

For this purpose, the software is designed in the TIA environment and the issues posed through simulation are studied through it.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	03.04.2024
	Son variant	15.05.2024

UOT 681.515.

DOI 10.54758/16801245\_2024\_24\_3\_75

## U-ƏDƏDLƏR NƏZƏRİYYƏSİNİN BİZNES QƏRAR QƏBULETMƏ MƏSƏLƏSİNƏ TƏTBİQİ

<sup>1</sup>CABBAROVA KÖNÜL İMRAN qızı [ORCID](#)

<sup>2</sup>HUSEYNOV OLEQ HACIAGA oğlu [ORCID](#)

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan*

*1- dosent, 2-t..e.d.*

[konul.jabbarova@mail.ru](mailto:konul.jabbarova@mail.ru) , [oleg\\_huseynov@yahoo.com](mailto:oleg_huseynov@yahoo.com)

*Açar sözlər: U-ədədlər, gözlənilən faydalılıq, etibarlılıq, təbiət vəziyyətləri*

U-ədədlər nəzəriyyəsinin vacibliyi onun biliklərə əsaslanan qərar qəbuletmə məsələlərin həllində verdiyi adekvat nəticədir. Qərarlar informasiyanın keyfiyyətindən çox asılıdır, buna görə informasiya etibarlı olmalıdır. Bu məqsədlə, məqalədə bu tip qərar qəbuletmə məsələsi U-ədədlər nəzəriyyəsinin tətbiqi ilə həll edilmişdir. Təbiət vəziyyətləri U-ədədlərlə təsvir olunur. Müxtəlif sahələri əhatə edən qərar qəbuletmə məsələlərində olduğu kimi, baxılan məsələdə də Gözlənilən Faydalılıq nəzəriyyəsinin tətbiqi ilə alınan nəticələr irəli sürülən yanaşmanın səmərəliliyini bir daha sübut edir.

**Giriş.** Gözlənilən faydalılıq (GF) müxtəlif qərar qəbuletmə məsələlərinin həllində geniş istifadə olunur. [1] –də tam bazar məkanında klassik portfelin seçilməsi məsələsi üçün gözlənilən faydalılığın (GF) paradiqmasının sınaqdan keçirilməsi nəzərdən keçirilir. Müəlliflər tələbin təbiət vəziyyətinin ehtimallarından, eləcə də qiymətlərdən və gəlirlərdən asılı olduğuna inanırlar. [2]-də marketing riskinin qısa təsviri və əsas idarəetmə konsepsiyası əsasında faydalılıq, faydalılıq funksiyası və faydalılıq nəzəriyyəsi təhlil edilir, həmçinin nümunə kimi marketing risklərinin idarə edilməsi ilə bağlı qərarların qəbul edilməsində faydalılıq nəzəriyyəsinin konkret tətbiqi verilir və praktiki tətbiq zamanı yarana biləcək bəzi mümkün problemlər izah edilir. Nəticədə faydalılıq nəzəriyyəsinin marketing risklərinin idarə edilməsi ilə bağlı qərar qəbul edərkən nəzəri dəyəri və üstünlükləri olduğu sübut olunur, lakin praktik tətbiqdə hələ də daha inkişaf etdirilməli və təkmilləşdirilməlidir [2].

Bu məqalədə U-informasiya şəraitində qərar qəbuletmə məsələsinə Gözlənilən Faydalılığın tətbiqinə baxılır. Məqalədə U-ədədlərə əsaslanan hesabi əməllərdən istifadə olunur [3].

### **Məsələnin qoyuluşu.**

Bir il ərzində bir istehsal firması üçün biznes qərarlarının qəbul edilməsi prosesi nəzərdən keçirilir [4]. Güman edək ki, istehsal templəri cari tələbatdan xeyli aşağıdır. Rəhbərlik aşağıdakı qərarları nəzərdən keçirir:

- İstehsal gücünün aşağı artımı;
- Yeni zavodun quraşdırılması ilə istehsal güclərinin orta artımı;
- Yeni məhsul xəttinin quraşdırılması hesabına istehsal güclərinin yüksək artımı;
- Heç nə etməmək;

- Təbiətin aşağıdakı vəziyyətlərinə (bazar şərtləri) baxılır: aşağı tələb -, orta tələb -, yüksək tələb -, çox yüksək tələb -. Gələcək tələbatın qeyri-müəyyənliyi səbəbindən alternativlərin mümkün mənfəəti barədə məlumatlar qeyri-dəqiqlik və qismən etibarlılıq ilə xarakterizə olunur. Bu baxımdan, qərar qəbuletmə məsələsi aşağıdakı U-ədədli matris şəklində təsvir olunmuşdur [4]:

**Cədvəl 1.**

*U-ədəd qiymətli həllər matrisi.*

	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$
$a_1$	(O,A)	(YO,A)	(YuO,A)	(OO,H)
$a_2$	(A,A)	(O,T)	(OO,T)	(ÇY,T)
$a_3$	(OZ,H)	(AO,A)	(YO,A)	(OY,A)
$a_4$	(O,A)	(O,A)	(O,A)	(O,A)

Qarşıya qoyulan məsələ,  $U(a_i)$  alternativlərinin U-ədəd qiymətli gözlənilən faydalılıqlarını (GF) hesablamaq və maksimal U qiymətinə malik alternativini ən yaxşı alternativ kimi seçməkdən ibarətdir [4].

$$do(GF(a^*)) = \max_{i=1,\dots,4} do(GF(a_i)) \text{ şərtini ödəyən } a^* \text{-ni tapmaq lazımdır.}$$

**Məsələnin həlli.**

U-ədəd qiymətli informasiyalar Cədvəl 1-də verilir [4]. İstifadə olunan U-ədədlər Cədvəl 2,3 –də verilir.

**Cədvəl 2.**

*U-ədədli meyarların A hissəsi üçün lingvistik termlər*

<b>Linqvistik qiymət</b>	<b>Qeyri-səlis qiymət</b>
Olduqca aşağı (OA)	(-92,-83,-67,-58)
Çox aşağı (ÇA)	(-67,-58,-42,-33)
Aşağı (A)	(-42,-33,-17,-8)
Zəif Orta (ZO)	(-17,-8,8,17)
Aşağı Orta (AO)	(8,17,33,42)
Orta (O)	(33,42,58,67)
Yuxarı Orta (YO)	(58,67,83,92)
Yüksək Orta (YüO)	(83,92,108,117)
Olduqca Orta (OO)	(108,117,133,142)
Yüksək (Y)	(133,142,158,167)
Çox Yüksək (ÇY)	(158,167,183,192)
Olduqca Yüksək (OY)	(183,192,200)

**Cədvəl 3.**

*U-ədədli meyarların B hissəsi üçün lingvistik termlər*

<b>Linqvistik qiymət</b>	<b>Qeyri-səlis qiymət</b>
Nadir halda (N)	(0,0,0.1,0.5)
Hərdənbir (H)	(0,0,0.3,0.9)
Tez-tez (T)	(0.1,0.4,0.6,0.9)
Adətən (A)	(0.1,0.7,1,1)

Təbiət vəziyyətlərinin ehtimalları haqqında məlumat da qeyri-dəqiqliklə xarakterizə olunur. Lakin, hesablamaların sadəliyi üçün təbiət vəziyyətinin ədədi ehtimallar hallarını təhlil edəcəyik.

Ehtimalların aşağıdakı ədədi qiymətlərini nəzərdən keçirək:  $P(S_1)=0.3$ ,  $P(S_2)=0.25$ ,  $P(S_3)=0.35$ ,  $P(S_4)=0.1$  [4]. Bu halda, alternativlərin U- qiymətli gözlənilən faydalılıqları (GF) aşağıdakı kimi tapılır:

$$GF(a_1)=P(S_1) \cdot (O,A)+P(S_2) \cdot (YO,A)+P(S_3) \cdot (YuO,A)+P(S_4) \cdot (OO,H)=$$
$$=((62.4,69.6,82.9,90.1)(0,0.0007,0.299,0.897));$$

$$GF(a_2)=P(S_1) \cdot (A,A)+P(S_2) \cdot (O,T)+P(S_3) \cdot (OO,T)+P(S_4) \cdot (ÇY,T)=$$
$$=((48.95,57.55,72.95,81.55)(0.0004,0.089,0.286,0.74));$$

$$GF(a_3)=P(S_1) \cdot (OA,H)+P(S_2) \cdot (AO,A)+P(S_3) \cdot (YO,A)+P(S_4) \cdot (OY,A)=$$
$$=((12.25,20.25,33.95,41.05)(0.0002,0.226,0.599,0.897));$$

$$GF(a_4)=P(S_1) \cdot (O,A)+P(S_2) \cdot (O,A)+P(S_3) \cdot (O,A)+P(S_4) \cdot (O,A)=$$
$$=((33,42,58,67)(0.0004,0.994,0.994,0.994)).$$

Ən yaxşı alternativ müəyyən etmək üçün, Qeyri-səlis Optimallıq Prinsipinə (FPO) əsaslanaraq Z-ədədləri müqayisə edəcəyik [5]. Alınan nəticələr aşağıdakılardır:

$$do(GF(a_1)) = 1, do(GF(a_2)) = 0.59, do(GF(a_4)) = 1, do(GF(a_3)) = 0,$$
$$do(GF(a_1)) = 1, do(GF(a_3)) = 0.49, do(GF(a_4)) = 1, do(GF(a_2)) = 0.67,$$
$$do(GF(a_1)) = 0.9, do(GF(a_4)) = 1, do(GF(a_2)) = 1, do(GF(a_3)) = 0.5.$$

Gördüyünüz kimi,  $a_4$  ən yaxşı alternativdir.

**Nəticə.** Məqalədə qeyri-müəyyənlik və qismən etibarlılıqla xarakterizə olunan biznes məsələsinin U-ədəd nəzəriyyəsinin tətbiqi ilə həllinə baxılır. Araşdırmanın nəticəsi olaraq ən yaxşı alternativ kimi maksimal U qiymətinə malik alternativ seçilir.

## ƏDƏBİYYAT

1. Kubler, F., Selden, L. Wei, X. Asset Demand Based Tests of Expected Utility Maximization American Economic Review 104(11), –2014, –p.3459–3480.
2. Shi, G., Wang, Q. The Application of Utility Theory in the Decision-Making of Marketing Risk Management / Proceeding of the International Academic Conference on Frontiers in Social Sciences and Management Innovation (IAFSM 2018). Advances in Economics, Business and Management Research (AEBMR), 62, –2019, –p. 303-310.
3. Aliev, R.A. Approximate arithmetic operations of U-numbers. Procedia Computer Science 102, –2016, –p.378 – 384.
4. Jabbarova, K.İ. Application of expected utility to business decision making under U-number valued information. Advances in Intelligent Systems and Computing 896, 716-723 (2018)
5. Aliev, R. A.; Huseynov, O. H.; Serdaroglu, R. Ranking of Z-Numbers and Its Application in Decision Making. International Journal of Information Technology & Decision Making, . 2015, 15(6), -pp. 1503-1519

## SUMMARY

### APPLICATION OF U-NUMBERS THEORY TO THE BUSINESS DECISION MAKING PROBLEM

*Jabbarova K.I., Huseynov O. H.*

**Keywords:** *U-numbers, expected utility, reliability, state of nature*

The importance of U-number theory is its adequate result in solving knowledge-based decision-making problems. Decisions are highly dependent on the quality of information, so information must be reliable. For this purpose, this type of decision-making problem is solved in the article by applying the theory of U-numbers. State of nature is described by U-numbers. As in decision-making issues covering various

fields, the results obtained by applying the theory of Expected Utility in the considered issue once again demonstrate the effectiveness of the proposed approach.

**РЕЗЮМЕ**  
**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ U-ЧИСЕЛ К ЗАДАЧЕ ПРИНЯТИЯ БИЗНЕС-РЕШЕНИЙ**  
*Джаббарова К.И., Гусейнов О.Г.*

**Ключевые слова:** *U-числа, ожидаемая полезность, надежность, состояния природы*

Важность теории U-чисел заключается в адекватном результате, который она дает при решении задач принятия решений на основе знаний. Решения во многом зависят от качества информации, поэтому информация должна быть достоверной. С этой целью в статье была решена проблема принятия решений такого типа с применением теории U-чисел. Состояния природы описываются с U-числами. Как и в вопросах принятия решений, охватывающих различные области, результаты, полученные с применением теории ожидаемой полезности в рассматриваемом вопросе, еще раз доказывают эффективность предложенного подхода.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	16.07.2024
	Son variant	09.08.2024



UOT 654.

DOI 10.54758/16801245\_2024\_24\_3\_79

## AVTOMATİK İDARƏETMƏ SİSTEMİNİN STRUKTUR SXEMİNİN HAZIRLANMASI VƏ SİMULYASIYASI

ABDULOVA NAFİSƏ ABDULFƏS qızı [ORCID](#)

Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, t.f.d., dosent  
[nafisa.abdulova@sdu.edu.az](mailto:nafisa.abdulova@sdu.edu.az)

**Açar sözlər:** elektrik ötürücüsü, nasos qurğusu, tezlik tənzimləyicisi, proporsional inteqral tənzimləyici, təzyiqli tənzimləyici.

Təzyiqli tənzimləyicisinin I-inteqral və P-proporsional hissələrinin inteqrasiya vaxt sabitlərinin dəyərini və əmsallarını əldə etmək, nasosun elektrik intiqalının iş xüsusiyyətlərini öyrənmək üçün Matlab proqram paketinin mühitində həyata keçirilən riyazi modeldən istifadə edərək onun işini simulyasiya edəcəyik [3].

Riyazi modeli qurmaq üçün struktur sxemlər üçün lazım olan bütün növ elementləri ehtiva edən lazımi sayda kitabxana təmin edir. Bunlar vizual təsvirin elementləridir, məsələn, osilloqraf, XY qrafiki; müxtəlif növ bağlantılar: proporsional, aperiodik, inteqrasiya edici; müxtəlif məhdudlaşdırıcılar, toplayıcılar; bütün növ mənbələr: sabitlər, generatorlar və s. Müvafiq olaraq, layihələndirmə tapşırığı nəzərdən keçirilən avtomatlaşdırılmış elektrik intiqalının riyazi modelinin tətbiqi ilə avtomatik idarəetmə sisteminin (AİS) strukturunu yenidən yaratmaqdan ibarətdir. Tapşırığın məqsədindən və əhatə dairəsindən asılı olaraq, strukturun hər bir elementinin nisbi vahidlərdə hesablanmış məlumatları modelə daxil edilir. Hesablama prosesi zamanı sistemə lazımi təsirləri tətbiq etmək mümkündür, bunun nəticəsində müxtəlif proseslərin osilloqramları alınır [1].

Nasosun elektrik intiqalı modelinin qurulması elə aparılmalıdır ki, ventilyator və nasos mühərriki modelləri ümumi dəyərdən - rotorun fırlanma sürətindən istifadə etsin. Bu halda elektrik bucaq sürətindən istifadə olunacaq.

Nasos tərəfindən yaradılan təzyiqlin miqdarı aşağıdakı ifadə ilə təsvir edilir: yaranan  $H$ ,  $m$ . təzyiqlin  $Q$ ,  $m^3/saat$  təchizat həcmindən asılılığı:

$$H = \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 - CQ^2 \quad (1)$$

burada  $H$  - gücləndirici nasosun yaratdığı təzyiqlərdir;

$\omega$  - elektrik valının fırlanma sürəti, döv/dəq;

$\omega_n$  - valın fırlanmasının nominal mexaniki sürəti, döv/dəq;

$C$  - layihələndirmə əmsalındır, onu  $C=1$  olaraq qəbul edirik.

Nasosun işlədiyi magistral xətt, P nasosu işləyərkən verilən həcmi ilə istilik sisteminin optimal işləməsi üçün tələb olunan  $H$  təzyiqləri arasındakı əlaqə kimi təsvir edilir:

$$H = H_s + Q^2/R \quad (2)$$

burada  $H_s$  - istilik stansiyasının və istehlakçının hündürlüklərinin fərqiindən yaranan təzyiqlərdir;

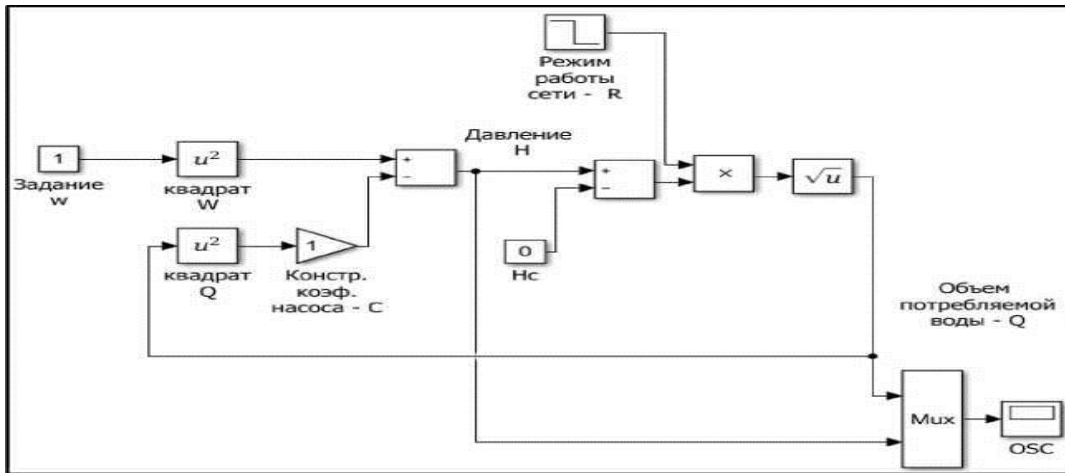
$R$  - sistem müqavimətinin dəyişməsinə təsvir edən əmsaldır

$Q$  - istehlakçıya verilməli olan suyun həcmidir -  $m^3 / saat$ .

Magistral modelini həyata keçirmək üçün biz əsas xəttin xarakteristikasını elə çeviririk ki, çıxış parametri qaytarma həcmindən dəyəri olsun:

$$Q = \sqrt{(H - H_s)R} \quad (3)$$

1 və 3 düsturlarına əsasən, Simulink-dən istifadə edərək, biz nasos-magistral sisteminin modelini quraq. (şəkil 1).



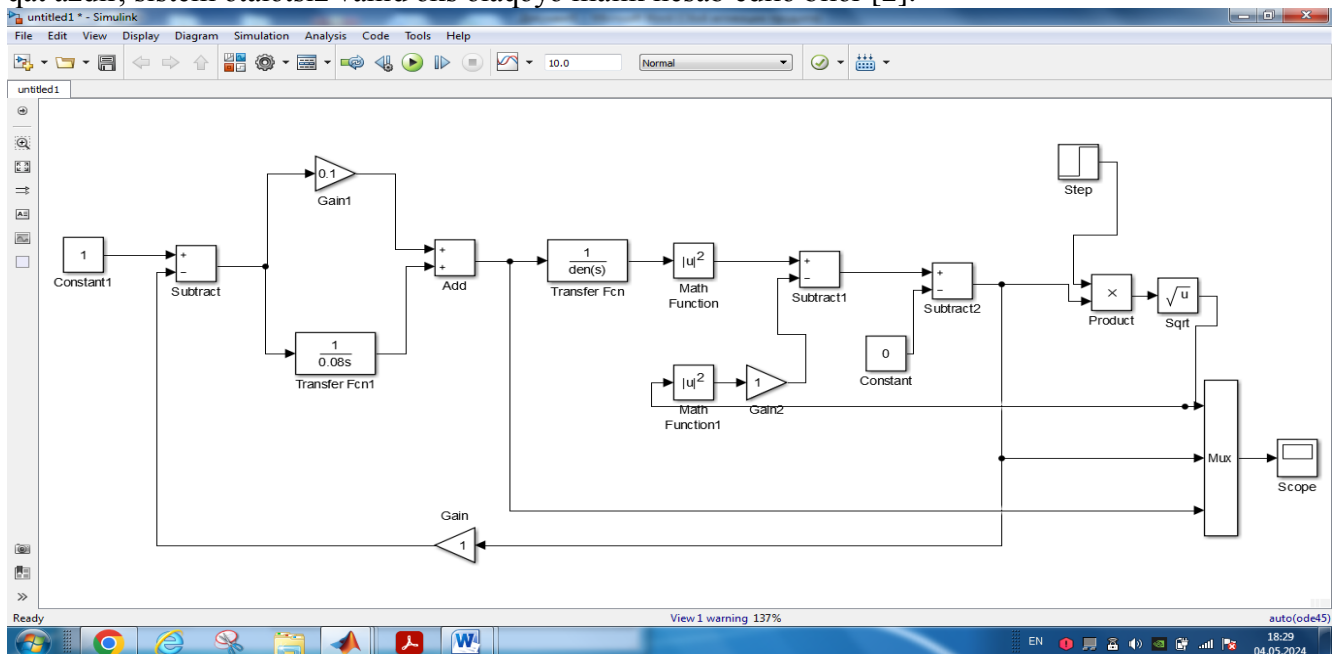
Şəkil 1. Nasos-magistral sisteminin modeli

$R=l$  əmsalının qiyməti sistemin nominal (maksimum mümkün) rejimdə, maksimum təzyiqdə işləməsinə bərabərdir; minimum performansda  $R$  dəyəri sıfıra yaxındır, lakin istilik sistemi işləyərkən 0 dəyəri qəbul edilə bilməz.

Yaradılan model tənzimləmə və idarə oluna bilən real obyektə əks etdirir.  $H_s$ ,  $R$ ,  $C$  dəyərlərini dəyişdirərək, model müəyyən bir sistemdə baş verən hər hansı bir prosesi təhlil etməyə imkan verir. Modelə elektrik intiqalının avtomatik idarəetmə sistemini (AİS) əlavə edərək, nasosun cari modelini layihələndiririk.

Bizim məqsədimiz təzyiqli avtomatik olaraq saxlaya bilmək üçün müəyyən bir yolu tapmaqdan ibarətdir, başqa sözlə desək, elementləri tənzimləyici, filtr və obyekt bağlantısı olan, müvafiq olaraq  $W_r$ ,  $W_s$ ,  $W_o$  ötürmə funksiyaları ilə sarpmaya görə tabeli tənzimləmənin qapalı sistemi yaratmaq lazımdır.

Obyekt bağlantısının ətaləti asinxron mühərrikin elektrik intiqalı, tezlik çeviricisi və tənzimləmə dəyərlərin sensorları tərəfindən yaradılır. Sensorların ətaləti intiqalın ətalətindən qat-qat azdır, sistem ətalətsiz vahid əks əlaqəyə malik hesab edilə bilər [2].





*Şəkil 2. Nasosun avtomatlaşdırılmış elektrik intiqalının idarəetmə sisteminin riyazi modeli və oscillogramının göstərişi*

Tezlik çeviricisi iki daxili dövrəyə (kontura) malikdir - cari dövrə və sürət dövrəsi, eləcə də təzyiqlə nəzarət dövrəsi - texnoloji dövrə isə üçüncü kontur hesab edilə bilər.

Beləliklə, biz tezlik çeviricisi əlaqəsinin, obyektin və filtrin ötürülmə funksiyalarını ikinci dərəcəli aperiodik keçid şəklində təqdim edirik, ikinci qapalı dövrə sisteminin standart ötürmə funksiyası aşağıdakı formaya malikdir:

$$\Phi_2(p) = \frac{1}{8T_\mu^3 p^3 + 8T_\mu^2 p^2 + 4T_\mu p + 1}$$

TT – təzyiqlə tənzimləyici

R – şəbəkənin iş rejimi

T – təzyiqlə tapşırığı

W – kvadrat

C – nasosun struktur əmsalı

H – təzyiqlə

Q – istehlak edilən suyun həcmi

01 – tənzimləyicinin proporsional əlaqəsi

1/08 - tənzimləyicinin integral əlaqəsi

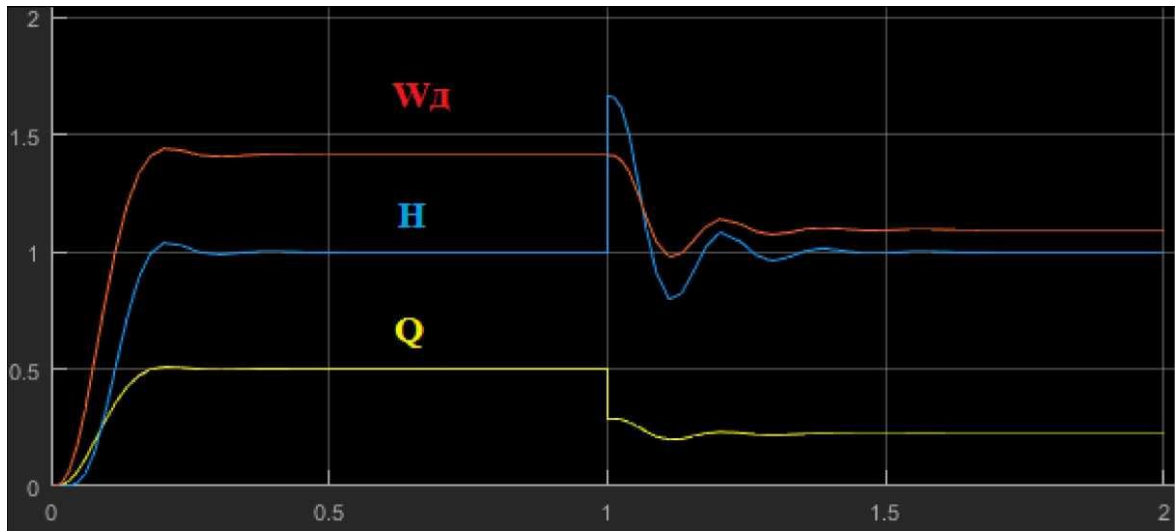
Elektrik ötürücüsü (mühərrik, çevirici, cərəyan konturu və sürət)

Modul optimala konfigurasiya edilmiş sistemin tək bir təsirə verdiyi cavabdan bir qədər böyük həddi aşırma xəttin müqavimətinin artan təsirindən qaynaqlanır. Bundan sonra, təzyiqlə dəyərini sabit saxlamaq üçün sistemin həyata keçirdiyi işi aydın şəkildə görünür - qrafik Şəkil 3-də göstərilmişdir.

İstehlak azaldıqda aşağıdakı proseslər baş verir: tədarük azaldığı anda təzyiqlə kəskin şəkildə dəyişir (belə ki, nasos eyni sürətlə işləməyə davam edir), təzyiqlə saxlamaq üçün idarəetmə sistemi nasosun fırlanma tezliyini zəiflədir (azaldır) və bununla da onun məhsuldarlığını aşağı salmaqla nəticə etibarilə təzyiqlə bərpasını təmin edir.

Nəzarət sistemlərini qurarkən, aşağıdakı ümumiləşdirmələr qəbul edilir:

- idarəetmə sisteminin hər bir sonrakı dövrəsi (konturu) əvvəlkindən təxminən iki dəfə az sürətə malikdir;
- bütün konturlar nisbətən aşağı hədd tənzimləmə ilə keçici prosesləri təmin edir;
- çoxdövrəli (çoxkonturlu) sistemin dinamik xassələri və hər şeydən əvvəl onun sürəti dövrlərin sayı və kompensasiya olunmamış zaman sabiti  $T_{\mu}$ -nin dəyəri ilə tamamilə müəyyən edilir;
- hər hansı bir kontur üçün tənzimləyici eyni standart dizayna uyğun olaraq hazırlanmışdır.



Şəkil 3. Təzyiqi sabit saxlamaq üçün avtomatik idarəetmə sisteminin oscillogramının göstərişi

Ümumiyyətlə isə  $i$  nömrəli kontur üçün keçirici funksiya aşağıdakı düsturla müəyyən edilir:

$$R_i(p) = K_{ri} + \frac{1}{T_{ri}p} ,$$

burada  $K_i$  - tənzimləyicinin gücləndirmə əmsəlidir;

$T_i$  - tənzimləyicinin vaxt sabitidir.

Tənzimləyicinin xüsusi növü kompensasiya olunan əlaqənin strukturu ilə müəyyən edilir.

#### Nəticə.

Nasos qurğusunun avtomatlaşdırılmış elektrik intiqalının layihələndirilməsi nəticəsində elektrik enerjisi sərfiyyatı azaldılmış, nasosun maksimal texniki xüsusiyyətlərindən istifadə edilmişdir. Tənzimlənən elektrik intiqalının tətbiqi ilə nasos avadanlıqlarının, eləcə də əlaqəli avadanlıqların xidmət müddətini artırmaq, elektrik avadanlıqlarının əsaslı təmir intervalını artırmaq, həmçinin su təchizatı şəbəkəsinə qulluq xərclərini azaltmaq və eləcə də su itkilərini azaltmaq mümkün olmuşdur.

#### ƏDƏBİYYAT

1. Həşimova, A.R. Avtomatlaşdırılmış elektrik intiqalı elementləri. Dərs vəsaiti./ A.R. Həşimova, N.A. Abdulova, –Bakı: Elm və təhsil, –2023, –271s.
2. Ермоленко А.Д. Автоматизация процессов: Учебное пособие / А.Д. Ермоленко, О.Н. Кашин, Н.В. Лисицын; Под общ. ред. В.Г. Харазов. –Санкт- Петербург: Профессия, –2012 – 304 с.
3. Мартынов, Н.Н. МАТЛАВ 5.х. Вычисления, визуализация, программирование / Н.Н.Мартынов, А. П.Иванов. –М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, –2000.

**SUMMARY**  
**DEVELOPMENT AND SIMULATION OF THE STRUCTURAL SCHEME**  
**OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM**

*Abdulova N. A.*

**Keywords:** *electric drive, pump unit, frequency regulator, proportional integral regulator, pressure regulator*

In the article, the calculation and selection of energy equipment was carried out, the calculation and selection of electric transmission was carried out, the calculation and selection of the frequency converter was carried out, the power supply system of the pumping station was calculated, the block diagram of the control system was prepared, and the parameters of the dynamic nodes were determined. A PI (proportional integral) regulator of pressure has been synthesized, the compliance of the simulation with the requirements has been evaluated.

**РЕЗЮМЕ**  
**РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ**  
**АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

*Абдулова Н. А.*

**Ключевые слова:** *электропривод, насосный агрегат, частотный регулятор, пропорционально-интегральный регулятор, регулятор давления*

В статье произведен расчет и выбор энергетического оборудования, проведен расчет и выбор электропередачи, проведен расчет и выбор преобразователя частоты, рассчитана система электроснабжения насосной станции, Подготовлена структурная схема системы управления и определены параметры динамических узлов. Синтезирован ПИ (пропорционально-интегральный) регулятор давления, оценено соответствие моделирования предъявляемым требованиям.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	08.08.2024
	Son variant	17.09.2024

УДК 681.398

DOI 10.54758/16801245\_2024\_24\_3\_84

## НОВЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ДАТЧИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ОДНОТРУБНЫМ ТРУБЧАТЫМ РЕЗОНАТОРОМ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ

АМИРАСЛАНОВ БАХРУЗ КУРБАН оглу [ORCID](#)*Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан, д.ф.т.*[bahruz.amiraslanov@sdu.edu.az](mailto:bahruz.amiraslanov@sdu.edu.az)

**Ключевые слова:** плотность, вибрационный метод, механический резонатор, вибрационный плотномер, добротность, частотный преобразователь, измерение

*В статье рассматриваются способы повышения точности измерения различных параметров при измерении плотности жидкостей. Предложены сравнительные основные преимущества и недостатки плотномеров, а также однотрубного резонатора с электромагнитной компенсацией колебаний в местах соединения концов трубки резонатора с опорой.. Представлена формула, обозначающая настройку виброплотномеров с трубчатым резонатором.*

**Введение.** Принцип действия вибрационных плотномеров основан на изменении резонансной частоты трубчатого камертона в зависимости от плотности измеряемой среды, протекающей через него. Основные достоинства плотномеров, построенных на указанном принципе следующие:

1. Измеряемая среда непосредственно протекает через камертон, изготовленный в виде U-образной, прямолинейной и др. формы трубки. Жидкость в трубке при помощи электромагнитных сил приводится в гармонические колебания. Период колебаний зависит от вязкости жидкости, находящейся в трубке. Процесс измерения жидкости достаточно длительный и занимает несколько минут. Одновременно камертон является чувствительным элементом, что обеспечивает довольно широкий диапазон измерения плотности.

2. Независимость резонансной частоты от внешних электрических полей. Резонансная частота определяется только собственными параметрами конструкции.

3. Относительная несложность изменение частоты (периода) колебаний.

4. Хорошая проработанность алгоритмов и принципиальных схем возбуждения и поддержания собственных колебаний.

5. Относительная простота методики калибровки.

К недостаткам следует отнести:

1. Зависимость резонансной частоты от температуры и давления вещества, протекающего через камертон, что требует коррекцию показаний при изменении указанных параметров. Также, на показания влияют вязкость и массовый расход. Поэтому необходимо указывать верхний предел этих показателей, при котором погрешность остается в допустимых пределах.

2. Влияние электрических полей на показания прибора, поскольку в системе используются поляризованные электромагниты.

3. Недопустимость передачи колебаний в корпус прибора и технологическую линию, что требует разработки специальных способов гашения колебаний на концах камертонных трубок.

**Актуальность проблемы.** Основным элементом частотных преобразователей является колебательный контур или частотно-зависимая цепь с параметрами, определяемыми контролируемой величиной. Существуют измерители с электромагнитными и механическими резонаторами, причем последние более перспективны для точного измерения различных параметров. Это объясняется тем, что добротность механических колебательных систем значительно превосходит аналогичный параметр электромагнитных контуров. Принцип построения частотного преобразователя на базе механического резонатора заключается в том, что контролируемый параметр, воздействуя на жесткость или массу системы, изменяет частоту ее колебаний. В качестве приемников и возбуждателей колебаний используют различные электрические или пневматические преобразователи.

Из числа электрических преобразователей, получивших наибольшее распространение, можно назвать электростатические, пьезоэлектрические, магнитострикционные, тензометрические, электромеханические и магнитоэлектрические.

**Решения проблемы.** В настоящее время вибрационно-частотные преобразователи с механическими резонаторами получили распространение для измерения механических величин параметров упругих элементов, давления и разности, температуры, вязкости жидкостей.

Материал трубок камертона должен иметь большой модуль упругости и обладать малым внутренним затуханием (сталь, титан, кварцевое стекло и т.п.). Известно, что частота поперечных колебаний трубки, неподвижно закрепленной на концах, описывается выражением

$$\omega = \frac{\lambda^2}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{ml^3}} \quad (1)$$

где  $\lambda = const$  - постоянная, зависящая от условий закрепления трубки;

$E = const$  - модуль упругости материал трубки;

$I$  - момент инерции поперечного сечения трубки;

$m$  и  $l$  - общая масса и длина трубки.

Учитывая

$$I = \rho_T S_T, \quad m = m_T + m_x, \quad m_T = V_T \rho_T, \quad m_x = V_x \rho_x, \quad V_T = S_T l,$$

$$V_x = S_x l, \quad S_T = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2), \quad S_x = \frac{\pi}{4} d^2,$$

где  $\rho_T, \rho_x$  - плотность материала трубки и измеряемого вещества;  $S_x, S_T$  - площадь проходного отверстия и кольцевого сечения трубки;  $D, d$  - наружный и внутренний диаметры трубки.

$$\omega = \frac{\lambda^2}{4\pi d^2} \sqrt{\frac{EI_T}{I_T + I_x}}$$

Выражение (1) можно переписать в виде

$$\omega = \omega_0 \sqrt{\frac{K}{K + \rho_x}} \quad (2)$$

где  $\omega$  - частота собственных колебаний пустого резонатора;

$K = \rho_T (D^2/d^2 - 1)$  - постоянная резонатора.

Как видно из выражения (2) для определения плотности  $\rho_x$  по измеряемой частоте  $\omega$  достаточно рассчитать  $\omega_0$  и  $K$  по известным параметрам  $\lambda, l, D, d, \rho_T, E$  и подставить в (2). Однако на практике этим способом не пользуются -  $\omega_0$  и  $K$  определяются экспериментально. Процедура определения параметров  $\omega_0$  и  $K$  называется калибровкой прибора, а  $\omega_0$  и  $K$  являются калибровочными коэффициентами.

Отметим, что формулу (2) можно получить исходя из иных соображений. Линейную модель колебательной системы можно описать как

$$m\ddot{X} + K_y X = 0 \quad (3)$$

Где  $X$  – смещение трубки относительно положения равновесия;

$K_y$  – здесь коэффициент упругости.

Резонансная частота определяется выражением:

$$\omega = \sqrt{\frac{K_y}{m}} \quad (4)$$

Поставляя  $m = m_T + m_x = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)l\rho_T + \frac{\pi}{4}d^2l\rho_x$  и учитывая  $K_y = const$  приходим к выражению вида (2). Однако в этом случае

$$\omega_0 = 2\sqrt{\frac{K_y}{\pi l(D^2 - d^2)}} \quad (5)$$

Поскольку  $K$  и  $\omega_0$  определяются экспериментально, то наличие неизвестного параметра  $K_y$  в (5) не вызывает каких-нибудь затруднений. Однако необходимо соблюдать температуру калибровки  $t = 20^0C$ , которой соответствует некоторое фиксированное значение  $K_y$ .

Имеются различные типы камертонных трубчатых резонаторов. С целью гашения колебаний на концах трубок в настоящее время используют следующий способ. Берут две камертонные трубки, которые в концах соединяются специальными гибкими стяжками  $I$ , а возбуждение этих трубок осуществляется противофазно путем размещения катушек  $B_1$  и  $B_2$  возбуждения специальным способом. Снимающие колебания катушки (адаптеры) размещаются напротив соответствующих возбудителей. При этом по плоскости  $A - A$  происходит компенсация усилий, т.е. происходит взаимное уничтожение колебаний.

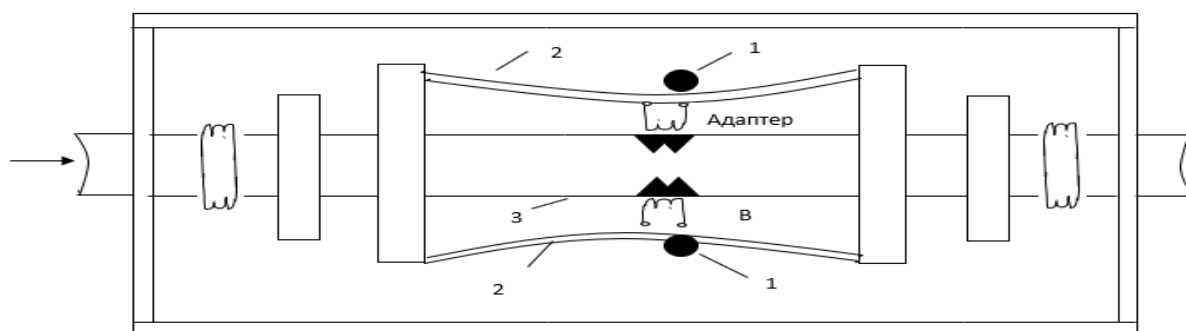
Отметим, что устранение передачи колебаний в конструкцию прибора в однотрубных камертонах является относительно сложной задачей, поскольку в одной трубке невозможно получить противофазное колебания.

Одно из решений этой задачи состоит в закреплении трубки непосредственно в корпус прибора, причем масса корпуса берется гораздо большей чем масса самой трубки. Чем больше разница масс, тем меньше амплитуда остаточных колебаний. Ясно, что при таком подходе увеличивается металлоемкость разработки, повышаются вес и габариты прибора.

Другая конструкция однотрубного камертонного резонатора с кинематическим компенсатором колебаний в точках закрепления разработана в НПЦ СИРАТ. На рис.1 показана схема этого резонатора. Здесь трубка размещается по центру натянутой рамы. Необходимое усилие натяжения достигается болтами с овальными головками. Болты



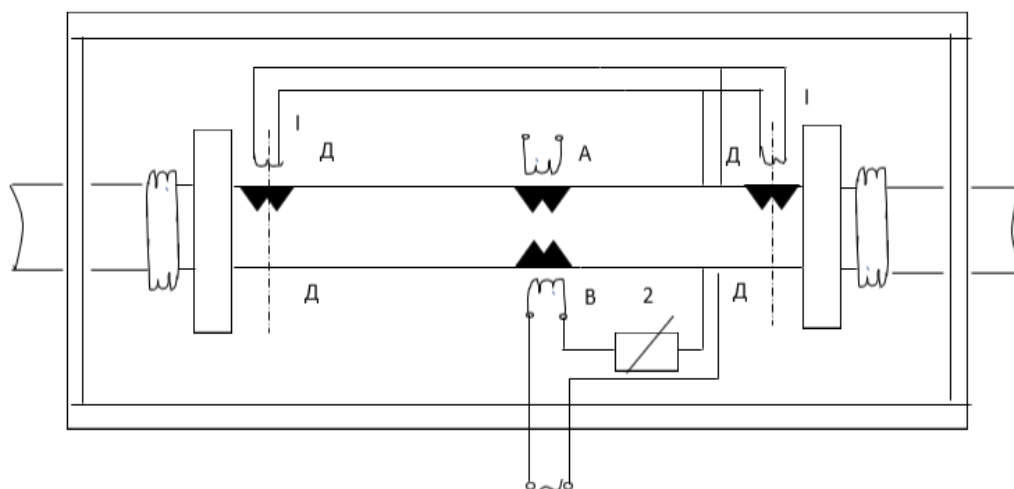
фиксируются контргайками. Струны играют роль манivelлы, на концах которого гасятся колебания трубки.



*Рис.1. Однотрубный трубчатый резонатором с кинематической компенсацией колебаний на концах трубки.*

Принцип действия предложенной схемы заключается в следующем: путем введения дополнительных электромагнитов 1, параллельно подключенных через переменное сопротивление 2 к возбудителю В создаются противофазные колебания к колебаниям, создаваемым возбудителем В (Рис 2).

Формула (2) является градуировочной характеристикой вибрационных плотномеров с трубчатыми резонаторами. До недавнего времени, как правило, градуировочную характеристику линеаризовали в измеряемом интервале плотности. При этом погрешность линеаризации определяется шириной шкалы и способом аппроксимации. Однако с появлением однокристалльных микропроцессоров реализации выражения (2) в исходном виде не составила особых трудностей.



*Рис.2. Однотрубный трубчатый резонатором с электромагнитной компенсацией колебаний на концах трубки.*

### Выводы.

1. Использование вышеуказанных способов в промышленности АСУ ТП в измерительных трактах ИИС, в частности в системах коммерческого учета количества нефти и нефтепродуктов при транспортировке по трубопроводам, позволит повышение точности измерения жидкостей плотности, а также трактов преобразования и обработки

технологической информации за счет подавления систематической погрешности минимум на один порядок, а измерительных шумов на три и более порядков.

2. Предложенный способ снижает металлоемкость изделия, облегчает настройку камертона, способствует созданию автоколебательной системы с большой добротностью.

3. Материал статьи может быть полезен инженерно-техническим и научным работникам, занятым разработкой, внедрением и эксплуатацией вибрационных приборов, используемых при измерении плотности, вязкости и массового расхода.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гусейнов Т.К. Исследование камертонного резонатора замкнутого типа вибрационного-частотного плотномера жидкости // Автоматизация и современные технологии, –М., – 1998, №4, –с.2-5.
2. Səfərova, T. A. Q. Maye mühitində axın sıxlıqölçənin işlənməsinin problemləri və onların həlli yolları / T. A. Səfərova, B. Q.Əmiraslanov // Elmi xəbərlər. Təbiət və Texniki Elmlər Bölməsi. – 2023. – Vol. 23, No. 4. – P. 90-93. – DOI 10.54758/16801245\_2023\_23\_4\_90. – EDN NVIILL. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59888607>

#### XÜLASƏ

#### ELEKTROMAQNİT KOMPENSASIYASI İLƏ BİR BORULU BORU REZONATORU İLƏ SIXLIQ ÖLÇMƏ SENSORUNUN İNKİŞAFINA YENİ BİR YANAŞMA

*Əmiraslanov B.Q.*

*Açar sözlər: sıxlıq, vibrasiya üsulu, mexaniki rezonator, vibrasiya sıxlıqölçən cihaz, keyfiyyət faktoru, tezlik çeviricisi, ölçmə.*

Məqalədə mayelərin sıxlığının ölçülməsi zamanı müxtəlif parametrlərin ölçülməsinin dəqiqliyini artırmaq yolları araşdırılır. Sıxlıqölçənlərin müqayisəli əsas üstünlükləri və çatışmazlıqları, həmçinin rezonator borusunun uclarının dayağa birləşmə yerlərində titrəmələrin elektromaqnit kompensasiyası ilə bir borulu rezonatoru təklif olunur. Boruşəkilli rezonatorlu vibrasiya sıxlıqölçənlərinin sazlanmasını ifadə edən formula təqdim olunur.

#### SUMMARY

#### A NEW APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF A DENSITY MEASURING SENSOR WITH A SINGLE-PIPE TUBULAR RESONATOR WITH ELECTROMAGNETIC COMPENSATION

*Amiraslanov B.K.*

*Key words: density, vibration method, mechanical resonator, vibration density meter, quality factor, frequency converter, measurement*

The article examines ways to increase the accuracy of measuring various parameters when measuring the density of liquids. The comparative main advantages and disadvantages of density gauges, as well as a single-tube resonator with electromagnetic compensation of vibrations in the places of connection of the ends of the resonator tube to the support, are proposed. The formula expressing the tuning of vibration density meters with a tubular resonator is presented..

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	16.07.2024
	Son variant	09.08.2024

## METAL KONSTRUKSIYALARIN KORROZİYADAN MÜHAFİZƏSİNDƏ ELEKTROKİMYƏVİ KATOD MÜHAFİZƏ QURĞULARI

ŞİRİNOVA AYNUR YAŞAR qızı [ORCID](#)

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, tex.f.d., baş müəllim*  
[aynur.shirinova@sdu.edu.az](mailto:aynur.shirinova@sdu.edu.az)

*Açar sözlər.* metal, konstruksiya, korroziya, katod mühafizə, üsul, qurğu

**Giriş.** Metal materiallara sadə metallar (ərintiləri), metal məmulatları və konstruksiyalar aid edilir. Onların ətraf mühitlə kimyəvi və ya elektrokimyəvi qarşılıqlı təsiri nəticəsində kortəbii məhv olma baş verir və bu proses korroziya adlanır. Korroziyaya uğrama adətən müxtəlif maye və qaz mühitlərində baş verir və metalların öz-özünə məhv olması, dağılması ilə nəticələnir, onların kimyavi məhlullarda həll olmasından fərqlidir [1].

Dəniz sularında istismar edilən metal konstruksiyaların korroziyadan mühafizəsi probleminin aktuallığı aşağıdakı dörd əsas aspektlə müəyyən edilir [2]:

- 1) insan tələfatı ilə müşayiət olunan qəzaların və ya fəlakətlərin qarşısının alınması məqsədilə istismar olunan obyektlərin etibarlılığının artırılması;
- 2) ətraf mühitin çirklənməsinin qarşısının alınması məqsədilə müxtəlif obyektlərin etibarlılığının artırılması;
- 3) metal ehtiyatlarının məhdud olması və tükənməsi ilə əlaqədar problemlər;
- 4) müxtəlif təyinatlı sənaye maşın və mexanizmlərin, metal konstruksiyalı tikinti obyektlərinin, magistral boru kəmərlərinin, körpülərin və s.-nin korroziyası nəticəsində maddi itkilərin azaldılması - iqtisadi problemlər.

Birinci aspektdə – insan tələfatı ilə müşayiət olunduğu üçün vacib hesab olunur və böyük məsuliyyət tələb edir. Dənizdə neft və qaz terminallarının tikintisi və istismarı zamanı insanların təhlükəsizliyinin qorunması, metal konstruksiyaların quraşdırılması proseslərində təhlükəsizlik məsələləri, qoyulmuş tələblər, istifadə edilən metal materialların markalarının düzgün seçilməsi, qaynaq və bərkətmə işlərində müasir texnologiyalardan istifadə və s. aktual məsələlərdir və ciddi diqqət tələb edir.

İkinci – istismarda olan metal konstruksiyaların korroziyası nəticəsində ətraf mühitin çirklənməsi baş verir və bunun qarşısının alınması aktual məsələ hesab edilir.

Üçüncü – metalların bahalı olması, metal ehtiyatlarının məhdudluğu və tükənmələri ilə əlaqədar problemlər aktual məsələdir.

Dördüncü – müxtəlif növ metal konstruksiyaların korroziya nəticəsində məhv olması, itkilərin artması iqtisadi problemdir və onun həlli, qarşısının alınması aktual məsələdir.

Yuxarıda qeyd olunanları nəzərə almaqla kompleks həll üsulu bu məqalənin əsas istiqamətini müəyyən edir və mərhələlər üzrə həyata keçirilir.

Metalları korroziyadan mühafizə etmək üçün çoxsaylı üsul və vasitələr işlənmişdir. Lakin, aparılan tədqiqatlar göstərir ki, bunlar yuxarıda sadalanan bütün aspektləri əhatə etməzlər və kifayət qədər təsirli olmadıqları üçün nəticə etibarilə korroziyanın faizi yüksəlir.

**Məsələnin qoyuluşu.** Yuxarıda sadalanan nöqsanların qismən aradan qaldırılması üçün kompleks mühafizə üsulunun işlənməsi və real obyektlərdə tətbiqi məsələsi qoyularaq elektrokimyəvi katod mühafizə qurğuları analiz edilməli, onların çatışmazlıqları aşkar edilməlidir.

Odur ki, məqalə katod mühafizə qurğularının tədqiqinə həsr edilmiş, geniş analiz aparılmış və korroziyanın faizinin azaldılması yolları araşdırılmışdır.

**Elektrokimyəvi katod mühafizə qurğularının analizi.** Metal konstruksiyaların (MK) istismarı zamanı, onların sıradan çıxmasının əsas səbəblərindən biri istismarı dövründə baş verən korroziyanın əmələ gəlməsidir. Məlumdur ki, dəniz şəraitində metal tikililərin (konstruksiyaların) çox hissəsi suyun içərisində yerləşdirilir. Onların belə bir istismar şəraitində fasiləsiz korroziyaya uğramalarına səbəb suyun tərkibi, mühitin nəmliyi, axan cərəyanlar və müxtəlif xarici təsirlərdir. Bu cür korroziyalaşmanın vəziyyəti sabit qalmır, dayaqqlar üzərində vaxtdan asılı olaraq korroziyalaşmanın miqdarı artır, dayaqqların xüsusi müqaviməti azalır və dayaqqların tez-tez sıradan çıxmasına səbəb olur [1, 3].

Bu məqalədə dəniz neft-mədən qurğularının elektrokimyəvi katod mühafizə (EKM) və avtomatlaşdırılmanın müasir problemləri tədqiqatə cəlb edilmiş, ədəbiyyat mənbələrinə və təcrübəyə istinad etməklə mövcud üsul və vasitələr analiz edilmiş, EKM qurğularının müqayisəli təhlili aparılmışdır. Əsas diqqət katod mühafizəsinin potensialına (KMP) nəzarət qurğularının (NQ) müasir vəziyyətinə, katod mühafizə stansiyasının (KMS) parametrlərinin seçilməsi metodikasına, elektrokimyəvi KMS-nin struktur səviyyələrinə və digər xüsusiyyətlərinə ayrılmışdır.

Məlum olmuşdur ki, MK-nın dayaqqlarında yaranan elektrik potensialı fasiləsiz dəyişir və onun qiymətinə görə korroziyanın dərəcəsi təyin edilir. Müəyyən edilmişdir ki, elektrokimyəvi yolla polad dayaqqlarda potensialın qiymətini 0,8 V-dan 1,0 V-a dək aralıqda saxlamaqla onların korroziyaya uğramasının qarşısını almaq mümkündür. Bu zaman dayaqqlara yaxın anodların yerləşdirilməsi məsləhət görülür.

Elektrokimyəvi üsulla korroziyanın mühafizəsi prosesi - katodla mühafizə olunan metal dayaqqlar arasında polyarizasiya prosesi gedir və bunun nəticəsində dayaqqlar üzərinə xarici elektrik cərəyanının təsirindən dəniz suyunda olan duzlar yığılır və bu da korroziyadan mühafizə təbəqəsini yaradır. Göründüyü kimi elektrokimyəvi mühafizənin əsas parametri MK-nin elektrod potensialı və təsirlənmə cərəyanıdır.

Korroziyanın potensialı və mühafizə potensialı poladın növündən asılı olaraq cədvəl 1-də verilir.

**Cədvəl 1**

*Poladın elektrod potensialı*

Göstəricilər	Dəniz suyu		
	Müqayisə elektroduna nəzərən potensialın qiyməti, V		
	NHE	MSE	XGE
1. Stasionar potensial, V	-035	-065	-059
2. Minimal mühafizə potensialı	-055	-085	-079
3. Potensiallar fərqi	02	02	02
4. Maksimal mühafizə potensialı (rənglənməmiş səthlər üçün)	-25	-28	-274
5. Potensiallar fərqi	215	215	215
6. Rənglənən səthlər üçün maksimal mühafizə potensialı	-12	-15	-144
7. Potensiallar fərqi	085	065	071

Cədvəl 1-də NHE –normal hidrogen elektrodu, MSE –missulfat elektrod, XGE –xlor gümüş elektrod adını daşıyırlar. Elektrokimyəvi mühafizənin tipi texniki-iqtisadi nöqteyi-nəzərdən seçilir. Bu halda protektor mühafizəsinin istifadəsi zamanı suyun keçiriciliyi 2 Om/m-dən az olmamalıdır [4].

Metal tikintilərinin mühafizəsinin toplusu katod stansiyası tərəfindən birləşdirici xətlərin, anodların və elektrik cərəyanı keçirən mühitin birləşməsi sistemi katod mühafizəsi hesab olunur. Katod mühafizəsində katod stansiyalarından istifadə edilir. Burada düzləndiricilərin çıxışında gərginlik 6;12; 24; 48 V cərəyanı 400 A və güc isə 5 kVt-a kimi götürülür.

Katod mühafizə stansiyasının qida mənbələri cədvəl 2-də verilir.

**Cədvəl 2.**

*Katod mühafizə stansiyasının qida mənbələri*

Katod stansiyalarının tipləri	İşçi cərəyanlar, A	Düzləndirilmiş gərginliklər, V	Çıxış gücü, Vt	Stansiyanın qida gərginliyi, V
KS –150	125/625	12/24	150	220
KS – 300	255/125	12/24	300	-//-
KS – 600	50/25	12/24	600	-//-
KS –1200	100/50	12/24	1200	-//-

Elektrokimyəvi mühafizənin əsas hesabı polyarizasiya rejiminin qərarlaşması halında aparılır.

Avtomatik tənzimlənən katod stansiyaları müxtəlif sənaye sahələrində buraxılır ki, bunlarında tipi cədvəl 3-də göstərilir.

**Cədvəl 3.**

*Avtomatik tənzimlənən katod stansiyaların müxtəlif növləri*

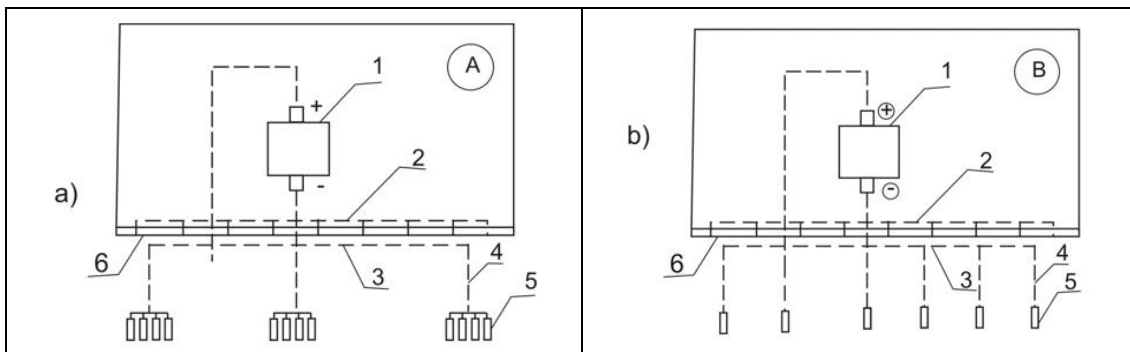
Katod stansiyalarının tipləri	İşçi cərəyanlar, A	Düzləndirilmiş gərginliklər, V	Çıxış gücü, Vt	Şəbəkə gərginliyi, V
PAKS –2	42/21	48/96	150	220
PAKS – 5	104/52	48/96	5000	-//-
PAKS–1200	100/50/25	48/96	1200	-//-
PAKS –3	100/50	48/96	3000	-//-

Dəniz metal konstruksiyaların hidrotexniki tikililərinin katod mühafizəsində tək və ya qrup anodlardan istifadə olunur (Şəkil 1. a,b). Anodlar təklikdə və ya qrup formasında suyun dərinliyində bir-birindən 10 və 100 m məsafədə mühafizə olunan dayaqlardan aralı yerləşdirilir. Bütün mühafizə olunan elementlər bir-biri ilə en kəsiyi 3 sm<sup>2</sup> olan polad şinlərlə birləşdirilir. Katod stansiyası mühafizə olunan tikililərlə bir neçə nöqtədə kabel xətti ilə əlaqələndirilir və birləşmə nöqtələri arasında məsafə 20 m qəbul edilir.

Hesablama aparmaq üçün aşağıdakı ilkin qiymətlər verilməlidir:

Su altında mühafizə olunan sahə 5 m<sup>2</sup>; anod tərəfində yerləşən tikilinin uzanması; poladın xüsusi polyarizasiya sahəsi Om×m<sup>2</sup>; suyun düzluluq faizi; xüsusi elektrik keçiriciliyi; r – anod materialının elektrokimyəvi ekvivalenti q(kq/A); anodun uzunluğu; anodun kütləsi; anodun radiusu; anodun tikilidən olan məsafəsi h; anodun işləmə müddəti il; cərəyan daşıyıcıların verilənləri.

Anodlar arası məsafə 10 m-dən az olmamalıdır. Burada effektiv təsir zonası 2h qəbul edilir [1,4].



**Şəkil 1.** Anodların dəniz metal konstruksiyalarına qoşulma sxemləri: a) qrup formasında; b) tək-tək.

KM-də aşağıdakı parametrlər təyin edilir:

- anodun və ya anod qruplarının yerləşmə nöqtələrinin sayı,
- mühafizə üçün minimal cərəyan sıxlığı,
- istismar müddətində ümumi mühafizə cərəyanı,
- anodun nominal cərəyanı,
- anodların sayı,
- anodların qrupda sayı,
- mühafizə cərəyanının sıxlığı,
- istismar müddətində katod stansiyasının çıxışında alınan gərginlik,
- katod stansiyasının cərəyanı,
- katod stansiyasının gücü.

Hesablanmış anodun diametri 114 mm, divarının qalınlığı isə 12 mm olmalıdır, uzunluğu  $2,9 \cdot 10^3$  m-ə kimi, kütlələri isə  $6,7 \div 19,31$  kq-a kimi olur [1].

Torpaqlanmış anod katod mühafizəsinin əsas elementi hesab olunur. Torpaqlanmış anodun mühafizə olunan obyektə nəzərən yerləşdirilməsi və düzgün seçilməsi katod mühafizəsinin etibarlı və effektiv olmasından asılıdır.

Katod mühafizəsindəki anodun uzun müddətli işləməsi üçün onu istismara davamlı materialdan seçmək lazım gəlir.

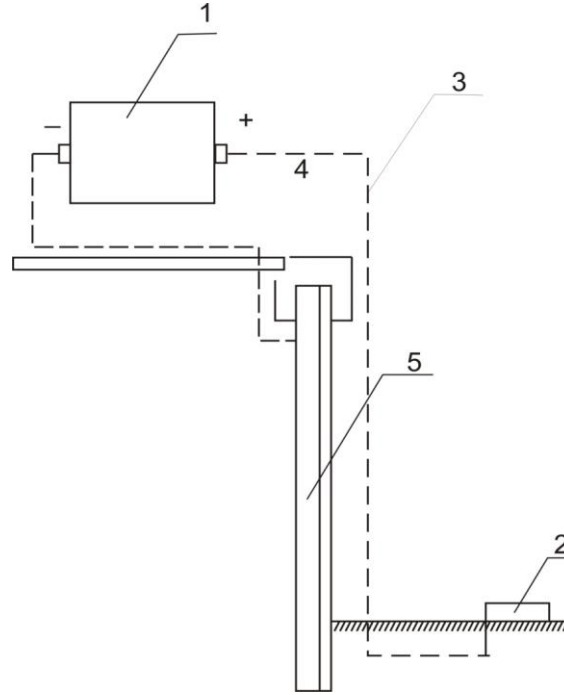
Təcrübə göstərir ki, poladdan olan anodlar tez dağılır və bu, onların çatışmayan cəhətidir. Onların istismar müddətini artırmaq üçün anodlardan axan cərəyanın sıxlığını azaltmaq lazım gəlir. Məlumdur ki, alüminium anod materialı kimi istifadə olunur. Bunun buraxıla bilən cərəyan sıxlığı başqa növ anodların cərəyan sıxlığından çox yüksəkdir. Alüminium anodun kimyəvi ekvivalenti kiçik olduğu üçün ondan hazırlanan anodun kütləsi də kiçik olur.

Qrafitə və qatrana hopdurulmuş şəkildə hazırlanan alüminium anodu ucuz başa gəlir, lakin onun mexaniki möhkəmliyi kiçik olur. Qurğuşun ərintilərindən hazırlanmış anoddan da praktikada istifadə olunur. Belə anodlar kifayət qədər elektrokimyəvi və texnoloji xassələrə malik olurlar. Bunların anod polyarizasiyası cərəyan sıxlığı  $200 \div 500$  A/m<sup>2</sup> qəbul edilir və istifadə olunmamışdan qabaq onların səthləri emal edilir. Anod materialı kimi platindən və ya titandan da istifadə edilir. Belə materiallar yüksək keyfiyyətə malikdir. Bu anodlar elektroliz prosesində praktiki olaraq həll olunmur. Özünün çoxillik istismarı zamanı müqavimətlərini və işçi cərəyanını sabit saxlayır. Belə anodlardan istənilən mühitdə istifadə etmək olar. Göstərilən materialdan hazırlanan anodlar istənilən formada olub kiçik qabaritə malik olur. Titan elektrokimyəvi baxımdan platindən daha ucuz başa gəlir.

İndiki zamanda dəmir kremli anodlardan çox istifadə olunur ki, bunlar da yüksək kremli çuqundan hazırlanır və istənilən mühitdə istismar oluna bilər. Belə anodların tərkibində kremin qarışığı çox olduqda onun elektrokimyəvi xassəsi yaxşı olur.

Anodun xassəsini xarakterizə edən əsas amillərindən biri, onun korroziyalaşma sürəti və buraxıla bilən cərəyan sıxlığıdır. Bütün hallarda əsas tələb ondan ibarətdir ki, mühafizə olunan səthdə cərəyanın və potensialın optimal paylanması təmin olunsun.

Torpağın elektrik keçiriciliyini artırmaq üçün, anod cərəyan keçirən xüsusi örtük içərisində yerləşdirilir. Anod torpaqlanması çox vaxt elektrodların paralel birləşməsi formasında yerinə yetirilir və  $5 \div 8$  m dərinlikdə şaquli və ya üfüqi formada yerləşdirilir (şəkil 2).



**Şəkil 2.** Anodun horizontal vəziyyətdə yerləşdirilməsi sxemi.

1 – katod stansiyası; 2 – anod; 3 – naqillərin birləşməsi,  
4 – KS-nin anodla əlaqələndirmə naqilləri, 5 – dayaqqlar.

KM -nin tətqiqində polad dayaqqlar üzərində duz qatının yığılması prosesi zamanı əvvəlcə dayaq üzərində ayrı-ayrı kristallar yığılır və zaman keçdikcə onların miqdarı artır, tədricən bütün səth duz qatı ilə örtülür. Duz qatının yığılması mühafizə cərəyanının sıxlığının dəyişməsindən asılıdır. Mühafizə cərəyanının böyük qiymətlərində duz qatının qalınlığı artır. Böyük cərəyan sıxlığında kristalların ölçüsü böyük, kiçik cərəyan sıxlığında isə kiçik olur.

Əgər poladın səthi korroziyaya qarşı mühafizə qatı ilə örtülürsə, onda kristal çöküntülər açıq sahədə buxar yaradır. Müəyyən edilmişdir ki, çöküntü yaxşı mühafizə xassəsinə malik olarsa, onda ikimərtəbəli polyarizasiya rejimi yaranır. Bu da əvvəlcə böyük, sonra isə mühafizə potensialını təmin edən cərəyan da olur. Bu halda kiçik kristallı sıxlaşdırılmış çöküntü yaranır.

Yaranmış anod cərəyanının bir hissəsi konstruksiyanın mühafizə olunmayan hissəsindən axır və onu tədricən tərk edərək, mühafizə olunan hissədən ayrılır. Bu hissələrdə tədricən korroziyadan dağılma daha çox müşahidə olunur. Po tensial müsbət istiqamətdə olduqda anodda ionlaşma prosesi gedir və bu da katod mühafizəsinin qonşu konstruksiyalara təsir dərəcəsinə artırır.

Mühafizə potensialının müsbət işarəli olması halında qonşu konstruksiyalara təsiri artır və bu da təhlükəli hal kimi nəzərdə tutulur. Belə təsirləri tam aradan qaldırmaq üçün qonşu konstruksiyalarda anod torpaqlanması əməliyyatını aparmaq, onlar arasındakı məsafəni artırmaq, qonşu konstruksiyanın mühafizə qurğusunu təkmilləşdirmək, verilmiş konstruksiyaları ümumi katod mühafizəsinə qoşmaq lazım gəlir [1].

Tutaq ki, stansiyanın verdiyi cərəyan çox yavaş dəyişir və bununla əlaqədar olaraq onu sisteməlik olaraq tənzimləmək lazım gəlir. Bu zaman katod stansiyasının cərəyanı təyin edilməlidir. Bunun üçün müxtəlif üsullar mövcuddur. Katod mühafizə qurğusunun cərəyanını əvvəlcədən verilmiş proqrama uyğun tənzim etmək tələb olunur. Belə tənzimləmədə fəsillərin tələbatına uyğun proqramdan istifadə edilir. Buna görə də proqramla elektrokimyəvi mühafizə qurğusunun (EKQ) cərəyanının avtomatik tənzimlənməsi məhdudlaşdırılır. Bir çox hallarda elektrokimyəvi katod mühafizə qurğusunun cərəyanı katod stansiyasının tikililərinə birləşdiyi yerlərdə elektrod potensialını sabit saxlamaqla aparılır.

Son illərdə EKKMQ-nin cərəyanını hesablayarkən katod polyarizasiya metodundan geniş

istifadə edilərək onun qiymətinin təyin edilməsi mühafizə potensialının artırılması və azaldılması hesabına aparılır.

Bu üsul impuls tezliyinə və ya stansiyanın çıxış dövrəsinin bağlanmasına uyğun gələn potensialın verilmiş maksimal və ya minimal qiymətdə saxlanılmasına əsaslanır. Yuxarıda adları çəkilən üsulların hər biri texniki cəhətdən müxtəlif formada həyata keçirilir.

**Nəticə.** Metallar konstruksiyaların korroziyadan mühafizənin yüksək səviyyədə təmin edilməsi üçün onların fiziki və kimyavi xassələri dərinədən tədqiq edilmiş, öyrənilmiş, təsnifatı verilmişdir. Korroziyanın qarşısının alınması üçün elektrokimyəvi katod mühafizə üsulu və qurğusunun tətbiqinin daha səmərəli olduğu əsaslandırılmışdır.

#### ƏDƏBİYYAT

1. Şirinova, A.Y. Katod mühafizəsinin potensialını avtomatik tənzimləmə qurğusunun işlənilməsi və tədqiqi: / Texnika üzrə fəlsəfə doktoru diss. / –Sumqayıt. 2016, –160 s.
2. Антропов, Л.И. Теоретическая электрохимия / Л.И.Антропов. – М.: Высшая школа, –1999.
3. Казымзаде Р.З. Нелинейные цепи / Р.З. Казымзаде, –Баку: Маариф, –1999, –166 с.
4. Кловский, Д.Д. Теория электрической связи / Д.Д.Кловский, Б.А.Шилкин. –М.: Радио и связь, –1990, –280с.

#### SUMMARY

#### ELECTROCHEMICAL CATHODE PROTECTION DEVICES FOR CORROSION PROTECTION OF METAL STRUCTURES

*Shirinova A. Y.*

**Key words:** *metal, construction, corrosion, cathodic protection, method, device*

In the article, the issue of corrosion protection of metal structures during their operation in the marine environment was considered, existing methods and tools were analyzed, shortcomings were revealed, and the need to develop a more efficient electrochemical cathodic protection method and device for their elimination was justified. The issues of design, basic principles, function, technical parameters, automated adjustment of parameters of the corrosion protection device are presented.

#### РЕЗЮМЕ

#### УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ КОРРОЗИИ

*Ширинова А.Я.*

**Ключевые слова:** *метал, конструкция, коррозия, катодная защита, метод, устройство*

В статье был рассмотрен вопрос защиты металлических конструкций от коррозии при их эксплуатации в морской среде, проанализированы существующие методы и средства, выявлены недостатки и обоснована необходимость разработки более эффективного метода электрохимической катодной защиты и устройств для их устранения. Рассмотрены вопросы конструкции, основные принципы, функции, технические параметры, автоматизированная настройка параметров устройства защиты от коррозии.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	01.08.2024
	Son variant	17.09.2024



УДК 629.7.054; 621.317.39; 681.326.3

DOI 10.54758/16801245\_2024\_24\_3\_95

## METROLOGICAL MODELING METHOD FOR CALIBRATION OF AIRCRAFT WEIGHING AND CENTERING SYSTEMS

ISGANDAROVA SEVIL AFLATIN [ORCID](#)

National Aviation Academy, Baku, Azerbaijan, doctoral student  
[isgandarova9191@gmail.com](mailto:isgandarova9191@gmail.com)

**Keywords:** metrological modeling, center of gravity calibration, weighing and centering system.

*The article discusses the concept of metrological modeling of the similarity of the model and the object under study established by metrological criteria. The application of the method of metrological modeling in the calibration of weighing and centering systems of aircraft is justified. A realistic experimental model of an aircraft for calibration of weighing and centering systems has been developed.*

**Introduction.** When operating aircraft, it is necessary to weigh them and determine the position of the center of gravity (CG) to ensure the necessary level of reliability and flight safety [1]. All converted and modified aircraft, as well as aircraft before and after repairs, are subject to mass determination and centering. Weighing and centering of the aircraft must be performed to confirm that the weight is within acceptable limits and the coordinates of the center of gravity are in the acceptable range.

To do this, the aircraft weighing and centering systems are used. During metrological tests of such systems, their accuracy is evaluated only in the mode of measuring the channel weight, and in the mode of determining the position of the CG of the aircraft, the accuracy is not evaluated. [2].

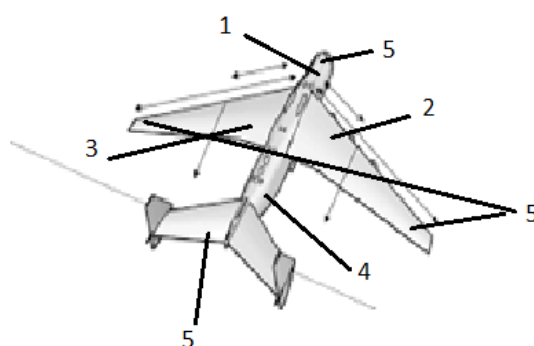
**Problem statement.** In existing systems, it is necessary to have a reference object (aircraft) with an accurately known position of the center of gravity, but it is almost impossible to reproduce such an object on a real scale. Based on this, it is advisable to apply the method of metrological modeling with the replacement of the object under study with a simplified reduced model. The purpose of the article is to substantiate the application of the method of metrological modeling in metrological tests of aircraft weighing and centering systems and to assess the accuracy of measuring the position of the center of gravity of aircraft and helicopters.

**Research results of the metrological modeling method for metrological testing of aircraft weighing and centering systems**

Aircraft weighing and centering systems are calibrated with the determination of metrological characteristics only for weight measurement channels, while the accuracy of determining the position of the center of gravity of aircraft and helicopters has not yet been evaluated [3]. For a complete study of such systems, it is necessary to have a reference object (aircraft) with an accurately known position of the center of gravity, but reproducing such an object on a real scale is almost impossible. Based on this, it is proposed to apply the method of metrological modeling with the replacement of the studied object with a simplified reduced model. Metrological modeling is a method of experimental or analytical study of various phenomena, processes and products based on their similarity [4]. Similarity criteria can be divided into essential and non-essential, depending on the impact they have on the parameters of the object and model. Based on this, the metrological similarity is obtained complete and partial. Full metrological similarity is achieved if all similarity criteria, both essential and non-essential, are taken into account. However, it will be partial if only essential similarity criteria are met at this stage of the

study. In practice, it is extremely difficult to ensure complete equality of similarity criteria in an object and its model, unless you make the model identical to the modeling object. Therefore, approximate modeling is used, in which the secondary processes occurring in the object are either not modeled at all, or are modeled approximately. Hence, when applying the method of metrological modeling, it is more often advisable to use partial similarity. The method comes down to the construction and study of metrological models of the object of study. Metrological models for their intended purpose can be divided into conceptual and realistic [5]. Realistic models, in turn, are divided into analytical and experimental.

The method of metrological modeling, based on the construction of a realistic experimental model, is advisable to use when calibrating aircraft weighing and centering systems, since it is practically impossible to reproduce the object under study on a real scale. At the same time, it is necessary and sufficient to comply with the conformity of the metrological similarity criteria of the defining parameters of the object and the realistic experimental model. A physical model of the aircraft was developed, which is shown in Fig. 1.



*Fig. Physical model of the aircraft*

Description physical model of the aircraft:

1. longitudinal beam
2. transverse beam
3. transverse beam
4. ruler-scale
5. ends of the beams

The physical model consists of a longitudinal beam 1 with a ruler-scale 4 applied to it and a transverse beam 2, which moves freely along beam 1 and can be precisely fixed on it in a given position. There are 5 places at the ends of the beams for loading the model with exemplary loads. Thus, it is possible to adjust the position of the center of gravity of the physical model of the measuring object by moving the transverse beam simulating the wings of the aircraft along the longitudinal beam simulating the fuselage of the aircraft and loading the beams at fixed points with exemplary loads. The ends of the transverse beam (at the points of application of additional load) and the beginning of the longitudinal beam are mounted on strain gage force sensors.

The strain-resistant sensors of the model have the same accuracy characteristics as the sensors of the weighing and centering system, which is calibrated, but the measuring range is smaller by a certain number of times compared with them and replace them [6]. Thus, the model has three supports, like most aircraft, corresponding to the nose landing gear and the left and right rear landing gear. If it is necessary to calibrate systems with a large number of supports, another transverse beam 3 can be added to the structure with the same design and accuracy parameters as the first beam. The accuracy of the characteristics of the proposed model is determined by geometric and weight parameters and depends on the accuracy of setting the weight and geometric

dimensions of its design. During the calibration of the weighing and centering system of the aircraft, its normalizing converters are disconnected from the sensor outputs of its weighing platforms or racks and connected to the strain gauge sensors of the model. The tests are carried out at several positions of the crossbeam, controlled by a ruler scale, and several weight values set by sample loads. The CG positions obtained from the readings of the system are compared with the sample values found by calculation. The calculation is carried out according to fairly simple and accurate mathematical relations corresponding to the design scheme of the model [7]. The comparison of the measured values of the CG position with the model values allows us to evaluate the static characteristics of the transformation and the accuracy of the system under study. The resulting error is calculated taking into account the error of the physical model and the error of replacing the real object with the model. Due to the simplicity of the model and the ability to accurately determine its parameters, high accuracy of calibration of weighing and centering systems of aircraft is ensured [8].

**Conclusions.** The use of the metrological modeling method in calibrating aircraft weighing and alignment systems is justified.

When operating aircraft, it is necessary to weigh them and determine the position of the center of gravity to ensure the required level of reliability and flight safety.

Weighing and centering of the aircraft must be done to confirm that the weight is within acceptable limits and the coordinates of the center of gravity are within the acceptable range. A realistic experimental aircraft model has been developed to calibrate weighing and alignment systems.

#### REFERENCES

1. Gausner, S. I. Airplane scales and aircraft weighing.: Oborongiz, 1989. — 50 p.
2. Romanov, A. N. Determination of the displacement of the center of gravity of cargo in a railway carriage / A. N. Romanov, F. I. Girevka, D. G. Zavorotny; 2007 — No. 3 — 34-38 p.
3. Tirskey, G. A. Similarity and physical modeling /G. A. Tirskey // Soros Educational journal. -2001. —No. 5, Volume 7. — pp. 122-127.
4. Borzenkova, A.V. Estimation of uncertainty in measuring the position of the center of gravity of aircraft /A.V. Borzenkova, G. A. Cherepashchuk // — 55-58 p.
5. Sokolovsky, S. S. Metrological modeling as a basis for designing and implementing measurement techniques / S. S. Sokolovsky, D. V. Solomakho, B. V. Tsitovich // Instruments and methods of measurements. — 2010. — No. 1. — pp. 147-152.
6. Galygo A.V., Gusinsky A.V., Kostrikin A.M. and others // Metrology and measuring technology. Scientific proceedings of the conference. Kharkov, 2006. T. 1. P. 247–255.
7. Research of comparison standards in the field of radio engineering measurements. Scientific works M.,VNIIFTRI. 1982.
8. Weighing equipment for static weighing of Axis aircraft [Electronic resource].—Access mode: \www/URL: [http://axis-ua.com/catalog\\_ru/c\\_165/p\\_471.html](http://axis-ua.com/catalog_ru/c_165/p_471.html)

#### XÜLASƏ

#### TƏYYARƏLƏRİN ÇƏKİ VƏ MƏRKƏZLƏŞDİRMƏ SİSTEMLƏRİNİN KALİBRLƏNMƏSİ ÜÇÜN METROLOJİ MODELƏŞDİRMƏ ÜSULU *İsgandarova S.Ə.*

*Açar sözlər:* metroloji modelləşdirmə, ağırlıq mərkəzinin kalibrənməsi, çəki və mərkəzləşdirmə sistemi.

Məqalədə metroloji meyarlarla müəyyən edilmiş modelin və tədqiq olunan obyektin oxşarlığının metroloji modelləşdirilməsi konsepsiyası müzakirə olunur. Təyyarələrin çəki və mərkəzləşdirmə sistemlərinin kalibrənməsi zamanı metroloji modelləşdirmə metodunun tətbiqi əsaslandırılmışdır. Çəki və mərkəzləşdirmə sistemlərinin kalibrənməsi üçün təyyarənin real eksperimental modeli hazırlanmışdır.

**РЕЗЮМЕ**

**МЕТОД МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ КАЛИБРОВКЕ СИСТЕМ ВЗВЕШИВАНИЯ И ЦЕНТРОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

*Искендерова С.А.*

**Ключевые слова:** *метрологическое моделирование, центр тяжести калибровка, система взвешивания и центровки.*

В статье рассматривается понятие метрологического моделирования установленных метрологическими критериями подобия модели и исследуемого объекта. Обосновано применение метода метрологического моделирования при калибровке систем взвешивания и центровки летательных аппаратов. Разработана реалистическая экспериментальная модель летательного аппарата для калибровки систем взвешивания и центровки.

Daxilolma tarixi:	Ilkin variant	12.06.2024
	Son variant	06.08.2024

## MÜNDƏRİCAT \* СОДЕРЖАНИЕ \* CONTENTS

**Riyaziyyat. Fizika**

1. *Abdullayev S.K., Ağarzayev B.K., Abdullayeva A.R.* Morri tipli fəzalarda Laplas-Bessel diferensial operatoru ilə assosirə olunmuş sinqulyar inteqral operatorların məhdudluğu 4
2. *Rzayeva G.F.* Sark operatorunun həyəcanlanması üçün məxsusi funksiyalar üzrə ayrılış düsturu 11
3. *Bayratov C.C., İsmayilov R.M., Orucov S.K., İsmayilova X.İ., Sadiq X.*  $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$  bərk məhlulları termoelektrik enerji çeviricilərində perspektivli material kimi 16

**Kimya**

4. *Salakhova E.A., Taghiyev D.B., Alizadeh Y.E., Hajiyeva K.İ., Khankishieva N.N., Heybatova A.F., Kalantarova P.E., Jabbarova İ.İ., Ibrahimova K.F.* Cathode polarization during rhenium and molybdenum electrodeposition from sulfate electrolyte 21
5. *Jafarov V.J., Alimirzayeva N.A., Musaeva G.H., Manafov M.A., Khalilova S.M., Rajabova M.J.* Production of new generation composite materials based on high-density polyethylene and “artesian clay” and the effect of appret 31
6. *Ağayev Ə.Ə., Əliyeva N.A., Şahtaxtinskaya P.T., Turabxanlı S.E.* 2-metilnilinin 1-propanolla katalitik alkülləşməsinin tədqiqi 37
7. *Садиева Н.Ф., Насибова Г.Г., Эфендиева Л.М., Искендерова С.А., Алиева С.Г., Черепнова Ю.П., Мустафаева И.А.* Исследование циклогексиловых эфиров на основе смеси жирных и синтетических нефтяных кислот 43
8. *Humbatova S.F., Zeynalov N.A., Suleymanova R.H., Guliyeva A.R., Gulubayova L.N.* Study of biological activity of  $Fe_3O_4$  nanocomposite complexes with trypsin obtained in the medium of synthetic and natural polymers 49

**Ekologiya**

9. *Nabiyeva M.A., Hacıyeva S.R., Shamilov N.T., Aliyeva T.İ.* Study of radionuclides in water and sediment samples taken from Sabirabad area of Araz river 57

**Biologiya**

10. *Əliyeva G.R.* Paxlalılar ailəsi (*Fabaceae* Lindl.) bitkilərinin mikromiset komplekslərinin ekoloji xüsusiyyətləri 64

**Texnika**

11. *Алекперли Ф.Ф., Гулиева Н.А.* Исследование системы управления РРБ в реальном масштабе времени 68
12. *Cabbarova K.İ., Hüseyinov O.H.* U-ədədlər nəzəriyyəsinin biznes qərar qəbuletmə məsələsinə tətbiqi 75
13. *Abdulova N.A.* Avtomatik idarəetmə sisteminin struktur sxeminin hazırlanması və simulyasiyası 79
14. *Амирасланов Б.К.* Новый подход к разработке датчика измерения плотности однотрубным трубчатым резонатором с электромагнитной компенсацией 84
15. *Şirinova A.Y.* Metal konstruksiyaların korroziyadan mühafizəsində elektrokimyəvi katod mühafizə qurğuları 89
16. *İsgandarova S.A.* Metrological modeling method for calibration of aircraft weighing and centering systems 95

---

Kompüter yığıcı  
Texniki redaktor

*S.Şahverdiyeva*  
*E.Həsəratova*

Çapa imzalanmışdır: 27.09.2024-cü il  
Mətbəə kağızı, kağızın formatı: 70\*108 ¼  
Yüksək çap üsulu. Həcmi: 23,18 ş.ç.v.  
Sifariş 82 Tiraj 250 nüsxə.  
Qiyməti müqavilə yolu ilə.

-----  
Sumqayıt Dövlət Universiteti  
Redaksiya və nəşr işləri şöbəsi

**Müxbir ünvan**

Azərbaycan, 5008, Sumqayıt, 43-cü məhəllə  
Tel: (0-12) 448-12-74  
(0-18) 644-70-41

**Web:** <https://www.ssu-scientificnews.edu.az>

**E-mail:** [sevda.shaxverdiyeva@sdu.edu.az](mailto:sevda.shaxverdiyeva@sdu.edu.az)

