



SUMQAYIT DÖVLƏT UNIVERSİTETİ  
СУМГАЙИТ ДӨДЛӘТ БӨЛӘТ БИРВЕРСІТЕТ  
SUMQAYIT STATE UNIVERSITY

# ELMI XƏBƏRLƏR НАУЧНЫЕ ИЗВЕСТИЯ SCIENTIFIC NEWS

ISSN 1680 - 1240

Web

ISSN 2306 - 7188

Online

TƏBİƏT VƏ TEXNİKİ ELMLƏR BÖLMƏSİ

СЕРИЯ: ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

SERIES FOR NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES



ONLINE JOURNAL  
LIBRARY.az



Ctd  
Tom  
Volume

24 №2

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*

*№ 2*

---

Sumqayıt – 2024

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

**REDAKSIYA HEYƏTİ**

|                               |                                                                    |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <b>Baş redaktor</b>           | <b>Rüfət Əzizov, dos., rektor</b>                                  |
| <b>Baş redaktorun müavini</b> | <b>Elşad Abdullayev, dos., Elm və innovasiyalar üzrə prorektor</b> |
| <b>Məsul katib</b>            | <b>Fikrət Feyziyev, prof., kafedra müdiri</b>                      |

**REDAKSIYA HEYƏTİNİN ÜZVLƏRİ**

|                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Fizika</b><br><b>Riyaziyyat</b> | <b>Albert Qilmutdinov, akad. (Rusiya), Seong-Cho Yu, prof. (Cənubi Koreya), Süleyman Özçelik, prof. (Türkiyə), Kazimir Yanuşkeviç, prof. (Belarusiya), Kamil Sabitov, prof. (Rusiya), Kamil Mənsimov, prof. (Azərbaycan), Məhəmmədali Zərbəliyev, 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), Xəlidə Həsənova, dos. (Azərbaycan), Samir Orucov, dos. (məsul redaktor, Azərbaycan)</b>                                                           |
| <b>Kimya elmləri</b>               | <b>Ramil Baxtizin, akad.(Rusiya), Vaqif Abbasov, akad.(Azərbaycan), Dilqəm Tağıyev, akad. (Azərbaycan), Məhəmməd Babanlı, AMEA-nın müxbir üzvü, prof. (Azərbaycan), İsmayıl İsmayilov, k.e.d. (Azərbaycan), Tatyana Prosoçkina, prof. (Rusiya), Eldar Əhmədov, prof. (Azərbaycan), Əkbər Ağayev, prof. (Azərbaycan), Qafar Ramazanov, prof. (məsul redaktor, Azərbaycan), Muxtar Səmədov, prof. (Azərbaycan).</b>                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Biologiya elmləri</b>           | <b>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).</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Coğrafiya elmləri</b>           | <b>Vladimir Kozodyorov, prof. (Rusiya), Anatoliy Yamaşkin, prof. (Rusiya), Tahir Ağayev, prof. (Azərbaycan), Niyaz Valiyev, prof. (Rusiya), Yaqub Qəribov, prof. (Azərbaycan), Məhəmməd Abduev, dos. (Azərbaycan), İlham Mərdanov, dos. (Azərbaycan).</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Texnika elmləri</b>             | <b>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), Məhəmməd Əhmədov, prof. (Azərbaycan), Cavanşir Məmmədov, prof. (məsul redaktor, Azərbaycan), İqor Korshunov, dos. (Rusiya), Georgios Dafoulas, dos.(İngiltərə), Qadir Mənsurov, dos.(Azərbaycan), Ulduz Ağayev, dos. (Azərbaycan).</b> |

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

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

|                                |                                                                |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>Главный редактор</b>        | <b>Руфат Азизов, доц., ректор</b>                              |
| <b>Зам. Главного редактора</b> | <b>Эльшад Абдуллаев, доц., Проректор по науке и инновациям</b> |
| <b>Ответственный секретарь</b> | <b>Фикрат Фейзиев, проф., заведующая кафедрой</b>              |

**ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ**

|                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Физика</b><br><b>Математика</b> | <b>Альберт Гильмутдинов, акад. (Россия), Сеонг-Чу Ю, проф. (Южная Корея), Сулейман Озчелик, проф. (Турция), Казимир Янушкевич, проф. (Белоруссия), Камил Сабитов, проф. (Россия), Камил Мансимов, проф. (Азербайджан), Магомедали Зарбалиев 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)</b> |
| <b>Химия.</b>                      | <b>Рамиль Бахтизин, акад. (Россия), Вагиф Аббасов, акад. (Азербайджан), Дильгам Тагиев, акад. (Азербайджан), Махаммад Бабанлы, член-корр.НАНА, проф. (Азербайджан), Исмаил Исмаилов, д.н.х. (Азербайджан), Татьяна Просочкина,</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          | <i>проф. (Россия), Эльдар Ахмедов, проф. (Азербайджан), Акбер Агаев, проф. (Азербайджан), Гафар Рамазанов, проф. (отв. ред., Азербайджан), Мухтар Самедов, проф. (Азербайджан).</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Биология</b>          | <i>Эльшад Гурбанов, член-корр. НАНА, проф. (Азербайджан), Панах Мурадов, член-корр. НАНА, проф. (Азербайджан), Владимир Прокофьев, проф. (Россия), Али Алиев, проф. (Азербайджан), Улдуз Гашимова, проф. (Азербайджан), Селиа Белл, доц., (Англия), Арзу Бахшалиев, доц. (отв. ред., Азербайджан).</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>География</b>         | <i>Владимир Козодёрров, проф. (Россия), Анатолий Ямашкин, проф. (Россия), Таир Агаев, проф. (Азербайджан), Нияз Валиев, проф. (Россия), Ягуб Гарибов, проф. (Азербайджан), Магомед Абдуев, доц. (Азербайджан), Ильхам Марданов, доц. (Азербайджан).</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Технические науки</b> | <i>Тельман Алиев, акад. (Азербайджан), Агаси Меликов, член-корр. НАНА, проф. (Азербайджан), Наиль Кашапов, проф. (Россия), Николай Коровкин, проф. (Россия), Евгений Мошев, проф. (Россия), Александр Голенищев-Кутузов, проф. (Россия), Михаил Верхотуров, проф. (Россия), Леонид Понаморенко, проф. (Украина), Владимир Гвоздев, проф. (Россия), Агиль Гусейнов, проф. (Азербайджан), Махаммад Ахмедов, проф. (Азербайджан), Джаваншир Мамедов, проф. (отв. ред., Азербайджан), Игорь Коршунов, доц. (Россия), Георгиус Дафоулас, доц. (Англия), Гадир Мансуров, доц. (Азербайджан), Улдуз Агаев, доц. (Азербайджан).</i> |

## Sumgayit State University Scientific News. Series for Natural and Technical Sciences

### EDITORIAL STAFF

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

### MEMBERS OF EDITORIAL STAFF

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

**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 qeydiyyatda alınmışdır.

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

Jurnal Rusiya Elmi İstinad İndeksinə (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://ssu.nat-tech.scientificnews.edu.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://ssu.nat-tech.scientificnews.edu.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://ssu.nat-tech.scientificnews.edu.az/>

## INTERVALLI ÇANTA MƏSƏLƏSİNDƏ MƏCHULLARI İKİ-İKİ SEÇMƏKLƏ SUBOPTİMİST VƏ SUBPESSİMİST HƏLLƏRİN TAPILMASI ÜSULU

<sup>1</sup>MƏMMƏDOV KNYAZ ŞİRASLAN oğlu

<sup>2</sup>HÜSEYNOV SAQİF YAQUB oğlu

<sup>3</sup>BAXŞƏLİYEVƏ İRADƏ İSLAM qızı

*Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan, 1- professor*

*İdarəetmə Sistemləri İnstitutu, Bakı, Azərbaycan, 2- dosent, r. f. d., 3- e.i.*

[mamedov\\_knyaz@yahoo.com](mailto:mamedov_knyaz@yahoo.com) [saqif.huseynov@gmail.com](mailto:saqif.huseynov@gmail.com)

[bakhshaliyeva.irada@gmail.com](mailto:bakhshaliyeva.irada@gmail.com)

**Açar sözlər:** *intervallı çanta məsələsi, məchulların iki – iki seçilməsi, suboptimist və subpessimist həllər*

**Giriş:** İşdə aşağıdakı kimi intervallı çanta məsələlərinə baxılmışdır.

$$\sum_{j=1}^n [\underline{c}_j, \bar{c}_j] x_j \rightarrow \max \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n [\underline{a}_j, \bar{a}_j] x_j \leq [\underline{b}, \bar{b}] \quad (2)$$

$$x_j = 1 \vee 0, j = \overline{1, n} \quad (3)$$

Burada ümumiliyi pozmadan qəbul edirik ki,  $\underline{c}_j > 0$ ,  $\bar{c}_j > 0$ ,  $\underline{a}_j > 0$ ,  $\bar{a}_j > 0$ , ( $j = \overline{1, n}$ ) və  $\underline{b} > 0$ ,  $\bar{b} > 0$  verilmiş tam ədədlərdir.

Bu məsələ məlum çanta məsələsinin ümumiləşmiş formasıdır. Çünki, xüsusi halda intervalların ucları üst-üstə düşərsə həmin klassik məsələ alınır.

(1)-(3) məsələsinin bir iqtisadi mahiyyətinə görə  $[\underline{c}_j, \bar{c}_j]$ , ( $j = \overline{1, n}$ )  $j$ -ci obyektədən istifadə edərkən əldə olunan gəlir intervallarını,  $[\underline{a}_j, \bar{a}_j]$ , ( $j = \overline{1, n}$ ) həmin  $j$ -ci obyektə çəkilən xərclərin ala biləcəyi qiymətlər intervallarını,  $[\underline{b}, \bar{b}]$  isə ayrılmış vəsaitin yerləşmə intervalını göstərir.

Qeyd edək ki, (1)-(3) məsələsi [1,2, və s.] işlərində baxılmış və müəyyən mənalara daşıyan həll üsulları işlənmişdir.

Biz isə (1)-(3) məsələsində əmsalların yerləşdiyi hər bir intervalı təmsil edən ədədləri seçmişik. Bunun üçün [2] işinə uyğun optimist və pessimist strategiyalar qəbul etməklə onu aşağıdakı iki məsələyə gətirmişik.

$$\sum_{j=1}^n \bar{c}_j x_j \rightarrow \max \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n \underline{a}_j x_j \leq \bar{b} \quad (5)$$

$$x_j = 1 \vee 0, j = \overline{1, n} \quad (6)$$

və

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n \bar{a}_j x_j \leq \bar{b} \quad (8)$$

$$x_j = 1 \vee 0, j = \overline{1, n} \quad (9)$$

Qeyd edək ki, (4)-(6) məsələsi optimist, (7) – (9) məsələsi isə pessimist məsələ adlanır.

Həm (4)-(6), həm də (7)-(9) məsələsi üçün uyğun olaraq suboptimist və subpessimist həll anlayışları [3] işində verilmişdir.

Bundan əlavə həmin işdə (1)-(3) məsələsinin suboptimist və subpessimist (məüyyən mənada təqribi) həllərinin tapılması alqoritmləri də işlənmişdir. Bu zaman məchulların bir-bir seçilib qiymətləndirilməsi həyata keçirilir. Bu məqsədlə (4)-(6) və (7)-(9) məsələləri üçün uyğun olaraq aşağıdakı kriteriyalardan istifadə olunur.

$$\max_j \frac{\bar{c}_j}{\underline{a}_j} = \frac{\bar{c}_{j_*}}{\underline{a}_{j_*}}, \quad \max_j \frac{c_j}{\bar{a}_j} = \frac{c_{j_*}}{\bar{a}_{j_*}}$$

Bu zaman uyğun həll qurma prosesində əgər

$$\underline{a}_{j_*} \leq \bar{b} \quad (\bar{a}_{j_*} \leq \underline{b}) \text{ olarsa } x_{j_*}^{op} := 1; (x_{j_*}^{pes} := 1) \quad \bar{b} := \bar{b} - \underline{a}_{j_*}$$

( $\underline{b} := \underline{b} - \bar{a}_{j_*}$ ) qəbul olunur. Əks halda  $x_{j_*}^{op} := 0$  ( $x_{j_*}^{pes} := 0$ ) yazmaqla növbəti yeni  $j_*$  nömrəsi tapılır. Bu proses bütün  $j$  ( $j = \overline{1, n}$ ) nömrələri üçü aparıldıqdan sonra həll prosesi başa çatır. Nəticədə

$x^{op} = (x_1^{op}, x_2^{op}, \dots, x_n^{op})$  suboptimist və

$x^{pes} = (x_1^{pes}, x_2^{pes}, \dots, x_n^{pes})$  subpessimist həlli qurulur.

Qeyd edək ki, aparılmış çoxsaylı hesablama eksperimentləri göstərir ki, bu qayda ilə tapılmış suboptimist və subpessimist həllər uyğun optimist və pessimist həlldən ciddi fərqlənə bilirlər. Ona görə də daha yaxşı suboptimist və subpessimist həllərin qurulması problemi meydana çıxır.

Bu işdə məchulları iki-iki seçib eyni zamanda qiymətləndirilməsi alqoritmı işlənmişdir.

Üsulun qısa mahiyyəti aşağıda izah olunmuşdur. Belə ki, (4)-(6) məsələsinin suboptimist həllinin tapılması üçün istifadə etdiyimiz kriteriya aşağıdakı kimidir.

$$\max_{(j_1, j_2) \in A} \frac{\bar{c}_{j_1} + \bar{c}_{j_2}}{\underline{a}_{j_1} + \underline{a}_{j_2}} = \frac{\bar{c}_{j_1^*} + \bar{c}_{j_2^*}}{\underline{a}_{j_1^*} + \underline{a}_{j_2^*}} \quad (10)$$

Burada  $j_1 = 1, 2, \dots, n-1$ ;  $j_2 = 2, 3, \dots, n$ ,  $j_1 < j_2$  olmalıdır və  $A := \{1, 2, \dots, n\}$  qəbul edirik.

(10) kriteriyasından tapılmış  $j_1^*$  və  $j_2^*$  nömrələri üçün, əgər  $\underline{a}_{j_1^*} + \underline{a}_{j_2^*} \leq \bar{b}$  şərti ödənilərsə, onda  $x_{j_1^*} = 1, x_{j_2^*} = 1$ ,  $A := A \setminus \{j_1^*, j_2^*\}$  qəbul edib və  $\bar{b} := \bar{b} - \underline{a}_{j_1^*} - \underline{a}_{j_2^*}$  hesablayırıq. Əks halda yerdə qalan nömrələr üçün məchulların bir-bir seçilib qiymətləndirilməsinə baxılır. Bu məqsədlə

$$\max_{j \in A} \frac{\bar{c}_j}{\underline{a}_j} = \frac{\bar{c}_{j_*}}{\underline{a}_{j_*}}$$

kriteriyasından  $j_*$  nömrəsi tapılır və  $x_{j_*} = 1$  qəbul etməyin mümkünlüyü yoxlanılır. Bu proses bütün nömrələrə baxdıqdan sonra başa çatır. Yəni  $A = \emptyset$  olduqda həllin qurulması prosesi dayanır.

Qeyd edək ki, (7)-(9) pessimist məsələsi üçün də analoji qaydada həll qurula bilər. Aydın ki, məchulların yuxarıda təklif olunmuş qaydada iki-iki seçilməsinə əsaslanan üsul məlum bir – bir seçmə üsulundan daha yaxşı nəticə verməlidir. Çünki, bu üsul daha ümumi

xarakter daşıyır. Daha doğrusu, məchulların bir-bir seçilib qiymətləndirilməsi, iki-iki seçib qiymətləndirmənin xüsusi halıdır.

Aparılmış hesablama eksperimentləri bu faktın doğruluğunu bir daha təsdiq etmişdir.

Qeyd edək ki, (4)-(6) və (7)-(9) məsələləri [3] işində uyğun olaraq optimist və pessimist məsələlər adlandırılmışdır.

Bu məsələlərin təqribi (suboptimist və subpessimist) həllərinin qurulması üçün məlum üsullardan fərqli olaraq məchulların iki-iki seçilməsi kriteriyasını vermişik. Aparılmış eksperimentlər göstərir ki, bu zaman tapılan həll məlum üsullarla tapılmış həlldən heç bir halda pis deyil.

### **ƏDƏBİYYAT**

1. Девятерикова М.В., Колоколов А.А., Колосов А.П. Решение задачи о рюкзаке с интервальными данными на основе перебора L- классов /Материалы III международной конференции “Танаевские чтения” , –Минск, –2007.–с. 51-55
2. Мамедов, К.Ш. Понятия субоптимистического и субпессимистического решений и построения их в интервальной задаче Булевого программирования / К.Ш.Мамедов, А.Г.Мамедова // Журнал «Радиоэлектроника, Информатика, Управление», –2016, N3, –с. 99-108
3. Мəmmədov, K.Ş. Əmsalları intervallar olan çanta məsələsində suboptimist və subpessimist həll anlayışları və onların qurulması üsulları / Məmmədov K.Ş., Hüseynov S.Y., Məmmədova A.H. // AMEA-nın “Xəbərləri” jurnalı, –2013, № 6, –s. 125-131

### **SUMMARY**

#### **A METHOD OF FINDING SUB-OPTIMISTIC AND SUB-PESSIMISTIC SOLUTIONS BY CHOOSING TWO-BY-TWO SOLUTIONS IN THE CASE OF AN INTERVAL KNAPSACK**

*Mammadov K.Sh., Huseynov S.Y., Bakhshaliyeva İ.İ.*

**Keywords:** *the problem of the interval knapsack, the choice of two-by-two solutions, sub-optimistic and sub-pessimistic solutions*

In this article has been considered knapsack problem with coefficients in the interval form. The well-known knapsack problem, called optimistic and pessimistic, was established based on the problem under consideration by choosing optimistic and pessimistic strategies. Received optimistic and pessimistic issue is called a suboptimistic and subpessimistic solution of the problem whose suboptimal solutions are considered.

### **РЕЗЮМЕ**

#### **МЕТОД НАХОЖДЕНИЯ СУБОПТИМИСТИЧЕСКИХ И СУБПЕССИМИСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПУТЕМ ВЫБОРА РЕШЕНИЙ ДВА НА ДВА В СЛУЧАЕ ИНТЕРВАЛЬНОГО РАНЦА**

*Мамедов К.Ш., Гусейнов С.Ю., Бахшалиева И.И.*

**Ключевые слова:** *проблема интервального ранца, выбор решений два на два, субоптимистические и субпессимистические решения*

В статье была рассмотрена задача о ранце с интервальными данными. Выбирая оптимистические и пессимистические стратегии на основе рассматриваемой задачи, была построена известная задача о ранце, называемая оптимистической и пессимистической. Приближенные решение получившаяся оптимистической и пессимистической задачи, была названа субоптимистическим и субпессимистическим решениями рассмотренной интервальной задачи.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 18.04.2024 |
|                   | Son variant   | 13.05.2024 |

УДК 517.977.5

DOI 10.54758/16801245\_2024\_24\_2\_7

## ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОТИВОБОРСТВОМ

МУСАЕВА МЕТАНЕТ АСАФ ГЫЗЫ [ORCID](#)

Азербайджанский государственный педагогический университет, Баку, Азербайджан, доцент  
[musayeva08@inbox.ru](mailto:musayeva08@inbox.ru) ,

**Ключевые слова:** оптимальное управление, вариационная модель, однозначная разрешимость, необходимое условие экстремума, задача быстрогодействия, противоборство

Рассматривается малоизученный вопрос об оптимальном управлении противоборством. Вариационным методом анализируются стратегии управления, что приводит к ранее неизученной задаче быстрогодействия, для решения которой излагаются итеративные алгоритмы и приводятся необходимые условия экстремума в виде принципа максимума и вариационного неравенства, для «возмущенной» формулировки исходной задачи с нелинейным оператором состояния объекта, доказана теорема однозначной разрешимости. Противоборства описывается как процесс «нападение и защита». Используется правила свертки многих критериев качества, вычисляются их градиенты и они применяются в итеративном алгоритме решения рассматриваемой задачи. В Заключении дается ряд обобщений исходной задачи оптимального управления.

### 1. Введение

В данной работе изучается противоборства вида нападение и защита, изложение ведется от простого к сложному, сперва для одной групп нападения, потом постановка и полученные результаты обобщаются на случай многих таких групп. Разработана новая методика изучения противоборств и полученные результаты являются новыми также для информационного нападения и защиты, безопасности информации, которые наиболее характерны для современных условий. В вопросах нападения и защиты физических объектов имеются много общего с другими типами противоборств, как военное дело, хакерские атаки, защита информации, результаты актуальны также в нелинейной оптике, в логистике многоскоростных дорог, в теории спорта и др. Ниже изучение стратегий нападения сводится к решению задачи быстрогодействия, для которой имеет место необходимые условия экстремума в видах принципа максимума и доказан вариационное неравенство. Доказана однозначная разрешимость «возмущенной» вариационной формулировки основной задачи с нелинейным оператором состояния. Во всех рассмотренных экстремальных задачах найдены выражения градиентов критерия качества, они предложены в итеративной процедуре решения. С целью адекватного моделирования процессов противоборства предлагаются ряд их обобщающих постановок и указаны методы их анализа.

Противоборство как конфликтная ситуация длительное время относился к гуманитарным наукам. Однако, со середины прошлой столетии к этой области начались применяться естественнонаучные методы. Растущее число организованных нападений, мощности их разрушительных сил делает изучение противоборств сторон вида нападение и защита, особенно, актуальным. Противоборство является сложным процессом, возможность ее управления, в том числе, оптимального управления всегда сопровождается трудностями. Ряд типов противоборства моделируется как нападение и защита. В работе [1] методы конечномерной теории игр применяются для изучения стратегий противоборства.

Исследованию стратегий различных типов противоборств посвящено множество работ (см. [1-6] и библиографию там), где рассматриваются характерные особенности этих процессов, применяемые сторонами стратегии и технические средства, классифицированы защищаемые объекты. В работах [1-5] и др. методами оптимального управления, статистики, теории игр и теории графов изучаются задачи противоборства в виде нападения и защиты, в том числе хакерские атаки.

## 2. Постановка задачи

Пусть  $D$  - ограниченная двумерная область с замкнутой границей  $\Gamma$ , которая подлежит охране. Предположим, что нарушители располагаются вне охраняемой области  $D$  и пересекают границу  $\Gamma$  в некоторой ее точке  $A$ , совершают нападение на территорию защиты. Они двигаются по линии  $L$  и стремятся достичь точку  $B$  в области  $D$ . Пусть траектория нападения  $L$  в декартовой системе координат  $(x, y)$  выражается однозначной функцией  $y=y(x)$ , точки  $A=(a, y(a))$  и  $B=(b, y(b))$  являются началом и концом, соответственно, этой траектории. Пусть защита с вероятностью  $p(y(x))$  обнаруживает нападение в точке  $(x, y(x))$  линии  $L$ . Численность живой силы, мощности вооружений, внезапность действий, сопротивление защиты продвижению нарушителей, в том числе природные факторы влияют на скорость движения нападения. Скорость движения нападения считается обобщающим и результирующим фактором его действий. Управление скоростью движения нападения сводится к действиям над ее скоростью. Для сторон противоборства важным является выбор их позиций и темпов продвижения нападения по выбранному маршруту. Механическим аналогом этого процесса можно считать движение материального тела в среде с сопротивлением.

Цели и стратегии нападения и защиты разные, они действуют против друг-друга, во взаимодействии образуют единую систему противоборства. Для нападения выигрышем считается преодоление всех средств защиты и овладение нужными объектами в ее территории. Выигрыш нападения есть проигрыш защиты и наоборот. Основная задача защиты в противоборстве является выявление нападения, сопротивление его действиям, по возможности остановка его действий, а также ликвидация последствий нанесенного им ущерба. Нападение и защита для реализации своих стратегий используют имеющиеся у них техническими и людскими ресурсами. Нападение пересекая границу защищаемой территории стремится за короткое время достичь наиболее важные объекты в защищаемой области [2,5]. Защита для организации своих стратегий изучает движение нападения, применяет технику обнаружения противника и борется с его продвижением.

Пусть  $v(x)$ - скорость движения нападения, она неравномерна и считается основным фактором управления процессом противоборства. Множество  $V=\{v: v=v(x) \in L_2(a,b), 0 < r \leq v(x) \leq R, x \in (a,b)\}$  назовем множеством допустимых управлений, где  $r$  и  $R$ -заданные положительные числа, они являются ограничениями на скорость движения нападения. Пусть состояние нападения описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{dy(x)}{dx} = f(x, y(x), v(x)), \quad x \in (a, b), \quad (1)$$

с краевыми условиями

$$y(a)=y_a, \quad y(b)=y_b, \quad (2)$$

где  $f(x, y, v)$  – заданная непрерывная функция своих аргументов в об.  $a, b, y_a, y_b$  - заданные числа. Для каждого выбранного элемента  $v \in V$  под решением задачи (1), (2) будем понимать непрерывную функцию  $y = y(x) = y(v; x)$  удовлетворяющую интегральному тождеству

$$y = y(x) = y(v; x) = y_a + \int_a^x f(z, y(z), v(z)) dz, \quad (3)$$

и условию  $y(b)=y_b$ . Нападение стремится за короткое время достичь нужные ему объекты в территории занятой защитой. Понятно, что время движения нападения от точки  $A$  до точки  $B$  по линии  $L$  выражается интегралом:

$$T_0(v) = \int_a^b p(y(x)) \frac{\sqrt{1+(y'(x))^2}}{v(x)} dx.$$

Если учтем здесь уравнение (1), то получим:

$$T_0(v) = \int_a^b p(y(x)) \frac{\sqrt{1+f^2(x,y(x),v(x))}}{v(x)} dx.$$

Следовательно, для движения нападения получается задача быстродействия, которая заключается в минимизации функционала

$$T_0(v) = \int_a^b p(y(x)) \frac{\sqrt{1+f^2(x,y(x),v(x))}}{v(x)} dx \rightarrow \inf, \quad (4)$$

на множестве  $V \subset L_2(a, b)$  при условиях (1), (2) в смысле выполнения (3). Эта задача является задачей оптимального управления [6-9] и вкратце ее назовем задачей (4).

### 3. Необходимые условия экстремума

Составим функцию Гамильтона-Понтрягина для задачи оптимального управления (4) [6-9]:

$$H(x, y(x), \psi(x), v(x)) = \psi(x) f(x, y(x), v(x)) - p(y(x)) \frac{\sqrt{1+f^2(x,y(x),v(x))}}{v(x)}, \quad (5)$$

где функция  $\psi = \psi(x)$  является решением сопряженной задачи, которая состоит в определении функции  $\psi = \psi(x)$  удовлетворяющая дифференциальному уравнению:

$$\frac{d\psi(x)}{dx} = \psi(x) \frac{\partial}{\partial y} f(x, y(x), v(x)) - \frac{\partial}{\partial y} [p(y(x)) \frac{\sqrt{1+f^2(x,y(x),v(x))}}{v(x)}], \quad (6)$$

с краевыми условиями

$$\psi(a) = \psi(b) = 0. \quad (7)$$

Аналогично (3) функция  $\psi = \psi(x)$  удовлетворяет тождество

$$\psi(x) = \int_a^x \left\{ \psi(z) \frac{\partial}{\partial y} f(z, y(z), v(z)) - \frac{\partial}{\partial y} [p(y(z)) \frac{\sqrt{1+f^2(z,y(z),v(z))}}{v(z)}] \right\} dz \quad (8)$$

и равенство  $\psi(b) = 0$ .

**Основное предположение:** Далее всюду предполагается, что заданные функции  $p(y)$  и  $f(x, y, v)$  непрерывны и непрерывно-дифференцируемы по совокупности переменных при  $x \in D$ ,  $y \in (-\infty, \infty)$ , и  $v \in [r, R]$ , их первые производные также по совокупности переменных равномерно по  $y$  и  $v$  удовлетворяют условию Липшица.

В работе [9] и др. указывается, что при принятом предположении, для каждого управления  $v$  из множества  $V \subset L_2(a, b)$  основная и сопряженная задачи в смысле выполнений тождеств (3) и (8), соответственно, однозначно разрешимы. В работах [7-9] и др. для общих задач оптимального управления, доказано необходимое условие в виде принципа максимума, из которой следует

**Теорема 1.** (Принцип максимума Понтрягина). Если  $v_*(x)$ - оптимальное управление для задачи (4) и  $y_*(x)$ -соответствующее этому управлению оптимальная траектория, тогда необходимо существование такой функции  $\psi_* = \psi_*(x)$  - решения сопряженной системы (6), (7), что  $|\psi_*(x)| \neq 0$  и функция  $H(x, y(x), \psi(x), v(x))$  - Гамильтона-Понтрягина в (5) непрерывна по переменной  $x \in (a, b)$  и удовлетворяется равенство:

$$H(x, y_*(x), \psi_*(x), v_*(x)) = \max_{v \in [r, R]} H(x, y_*(x), \psi_*(x), v).$$

**Теорема 2.** Функционал  $T_0(v)$  непрерывно-дифференцируем на множестве  $V \subset L_2(a, b)$  и для его градиента  $T'_0(v)$  верна формула:

$$T'_0(v) = \frac{\partial p(y(v;x))}{\partial v} \frac{\sqrt{1+(f(x,y(v;x),v))^2}}{v} - p(y(v;x)) \frac{1}{v^2 \sqrt{1+(f(x,y(v;x),v))^2}} + \frac{p(y(v;x))}{v \sqrt{1+(f(x,y(v;x),v))^2}} \frac{\partial f(x,y(v;x),v)}{\partial v}, \quad (9)$$

**Доказательство.** Функционал  $T_0(v)$  является положительным и поэтому снизу ограниченным на множестве  $V \subset L_2(a, b)$ . Из определения множества  $V$  следует его

замкнутость и выпуклость в пространстве  $L_2(a, b)$ . Проверим непрерывность функционала  $T_0(v)$  на множестве  $V \subset L_2(a, b)$ . Действительно, выберем произвольный элемент  $v \in V$  и последовательность  $\{v_k\} \in V \subset L_2(a, b)$  сильно сходящей к этому элементу при  $k \rightarrow \infty$ , тогда из вида функционала  $T_0(v)$  в (4) следует, что  $T_0(v_k) \rightarrow T_0(v)$  при  $k \rightarrow \infty$ . Поэтому, функционал  $T_0(v)$  непрерывен на множестве  $V \subset L_2(a, b)$ . Теперь проверим непрерывную дифференцируемость на множестве  $V \subset L_2(a, b)$  функционала  $T_0(v)$  и для его градиента докажем формулу (9). Пусть  $h = h(x) \in L_2(a, b)$ -приращение управления на элементе  $v \in V \subset L_2(a, b)$ , такое, что  $v + h \in V \subset L_2(a, b)$ . Легко проверить, что при этом приращение функционала  $T_0(v)$  на элементе  $v \in V \subset L_2(a, b)$ , представимо в виде:

$$\Delta T_0(v) = T_0(v+h) - T_0(v) = \int_a^b [p(y(v(x) + h(x); x) \frac{\sqrt{1+(f(x; y(v(x)+h(x); x), v(x)+h(x)))^2}}{v(x)+h(x)} - p(y(v(x); x) \frac{\sqrt{1+(f(x; y(v(x); x), v(x)))^2}}{v(x)}] dx.$$

Функции  $p(y)$  и  $f(x, y, v)$  удовлетворяют принятому выше предположению. В выражении  $\Delta T_0(v)$  разложим в ряд Тейлора функций  $p(y(v(x) + h(x); x))$  и  $f(x, y(v(x) + h(x); x), v(x) + h(x))$  по степеням функции  $h(x)$  и сохраним в этом разложении первых двух слагаемых, тогда имеем

$$\begin{aligned} \Delta T_0(v) = \int_a^b \{ [p(y(v; x)) + \frac{dp(y(v; x))}{dv} h(x) + o(h)] [ \frac{1}{v(x)} - \frac{1}{v^2(x)} h(x) + o(h) ] + \\ + o(h) \} \left[ \sqrt{1 + (f(x, y(v; x), v))^2} + \frac{1}{\sqrt{1 + (f(x, y(v; x), v))^2}} \frac{df(x, y(v; x), v)}{dv} h(x) + o(h) \right] - \\ - p(y(v; x)) \frac{\sqrt{1 + (f(x, y(v; x), v))^2}}{v(x)} \} dx, \end{aligned} \quad (10)$$

где  $o(h)$  - есть функция стремящаяся к нулю быстрее чем норма в  $L_2(a, b)$  функции  $h(x)$ , оператор  $\frac{d}{dv}$  означает полный дифференциал выражения под его действием. Определение градиента функционала  $T_0(v)$  запишем в виде:  $\Delta T_0(v) = T_0(v+h) - T_0(v) = \langle T'_0(v), h \rangle + o(h)$ , где  $\langle, \rangle$  - скалярное произведение в пространстве  $L_2(a, b)$  и  $T'_0(v)$  градиент функционала  $T_0(v)$  на элементе  $v \in V$ . Сравнивая формулу (10) с указанным только, что определением градиента функционала получим выражение (9). Теорема 2 доказана.

**Теорема 3.** Для того, чтобы элемент  $v^* = v^*(x)$  был минимумом функционала (4) на множестве  $V \subset L_2(a, b)$ , необходимо выполнение вариационного неравенства:

$$\langle T'_0(v^*), v - v^* \rangle \geq 0, \text{ для любого } v \in V \subset L_2(a, b). \quad (11)$$

Если же  $v^*$  внутренний элемент множества  $V$ , то выполняется соотношение  $T'_0(v^*) = 0$ .

**Доказательство.** Согласно утверждению предыдущей теоремы при принятых выше предположениях функционал  $T_0(v)$  непрерывно-дифференцируем на множестве  $V \subset L_2(a, b)$ . Тогда известно, (см. [6,9,11] и др.) что неравенство (11) является необходимым условием в виде вариационного неравенства минимума функционала  $T_0(v)$  на множестве  $V$ . Если же  $v^*$  внутренний элемент множества  $V \subset L_2(a, b)$ , то очевидно, что выполнится соотношение  $T'_0(v^*) = 0$ . Теорема 3 доказана.

#### 4. Однозначная разрешимость «возмущенной» постановки задачи

Наряду с задачей (4) рассмотрим следующую задачу о минимизации функционала:

$$T_\alpha(v) = T_0(v) + \alpha \|v - \omega\|_{L_2(a, b)}^2 \rightarrow \inf, \quad (12)$$

на множестве  $V \subset L_2(a, b)$ , где  $\alpha \geq 0$  заданное число, - заданный элемент  $L_2(a, b)$ . При «малых» значениях числа  $\alpha \geq 0$  функционал  $T_\alpha(v)$  «мало» отличается от функционала  $T_0(v)$ . Кроме того, при принятом выше предположении при любом заданном  $\alpha \geq 0$  наряду с функционалом  $T_0(v)$ , функционал  $T_\alpha(v)$  также является непрерывно-дифференцируемым и для его градиента верна

формула  $T'_\alpha(v) = T'_0(v) + 2\alpha(v - \omega)$ . Поэтому, для задачи (12) верны необходимые условия в виде аналога принципа максимума и следующего утверждения вариационного неравенства:

**Теорема 4.** Для того, чтобы элемент  $v^* = v^*(x)$  множества  $V \subset L_2(a, b)$  доставил минимум функционалу  $T_\alpha(v)$  необходимо выполнение вариационного неравенства:

$$\langle T'_\alpha(v^*), v - v^* \rangle \geq 0,$$

для любого  $v \in V \subset L_2(a, b)$  и  $\alpha \geq 0$ . Если же при этом  $v^* = v^*(x)$  является внутренним элементом множества  $V \subset L_2(a, b)$ , тогда выполняется соотношение  $T'_\alpha(v^*) = 0$ .

**Доказательство** аналогично теореме 3. Кроме того, для решения задачи (12) верно следующее утверждение:

**Теорема 5.** В пространстве  $L_2(a, b)$  существует всюду плотное множество  $K \subset L_2(a, b)$ , что для любого элемента  $\omega \in K \subset L_2(a, b)$  задача (12) при заданном числе  $\alpha > 0$  имеет единственно решение на множестве  $V \subset L_2(a, b)$  и оно сильно непрерывно зависит от элемента  $\omega \in K \subset L_2(a, b)$ .

**Доказательство.** Функционал  $T_0(v)$  положителен и поэтому снизу ограничен. В теореме 2 была доказана непрерывно-дифференцируемость этого функционала. В работе [10] установлено утверждение: если функционал  $\Phi_0(v)$  полунепрерывен снизу и снизу ограничен на непустом замкнутом и ограниченном множестве  $L \subset X$  -равномерно выпуклого банахово пространства  $X$ , тогда существует такое всюду плотное множество  $M \subset X$  пространства  $X$ , что для любого  $u \in M \subset X$ , задача минимизации функционала  $\Phi_\alpha(v) = \Phi_0(v) + \alpha \|v - u\|_X^2$  на множестве  $U \subset X$  при любом заданном значении числового параметра  $\alpha > 0$ , имеет единственное решение и это решение сильно непрерывно зависит от  $u \in L \subset X$ .

В этом утверждении в качестве пространства  $X$  возьмем гильбертово пространство  $L_2(a, b)$ , так как любое гильбертово пространство является равномерно выпуклым. В приведенном результате из [10] положим:  $\Phi_0(v) = T_0(v)$ ,  $\Phi_\alpha(v) = T_\alpha(v)$ ,  $v = v$ ,  $u = \omega$ ,  $M = K$ ,  $L = V$ . В доказываемой теореме предполагается, что параметр  $\alpha > 0$  - заданное положительное число. Согласно приведенному результату из [10], в пространстве  $L_2(a, b)$  существует такое всюду плотное множество  $K \subset L_2(a, b)$ , что для любого элемента  $\omega \in K \subset L_2(a, b)$ , задача (12) при  $\alpha > 0$  имеет единственное решение на множестве  $V \subset L_2(a, b)$  и это решение сильно непрерывно зависит от элемента  $\omega \in K \subset L_2(a, b)$ . Теорема 5 доказана.

## 5. Противоборство многими группами нападения

Противоборство многими группами нападения изложим по аналогии с одной группой. Пусть нападение состоит из  $n$ -групп и согласно указанному аналогии предположим, что  $i$ -я группа нападения пересекая границу  $\Gamma$  в точке  $A_i \in \Gamma \subset D$  области  $D$  двигается по траектории  $L_i$  стремится достичь точку  $B_i \in D$ , соответственно,  $i = 1, 2, \dots, n$ . Предположим, что в декартовой системе координат траектория  $i$ -я группы выражается однозначной функцией  $y_i(x)$  и  $p_i(y_i(x))$  есть вероятность обнаружение защитой  $i$ -ую группу нападения в точке  $(x, y_i(x))$  линии  $L_i$ , а также  $v_i(x)$  – скорость движения этой группы,  $i = 1, 2, \dots, n$ . Пусть состояние  $i$ -ой группы нападения описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{dy_i(x)}{dx} = f_i(x, y_i(x), v_i(x)), \quad x \in D, \quad (13)$$

с краевыми условиями

$$y_i(a_i) = y_{ia}, \quad y_i(b_i) = y_{ib}, \quad (14)$$

где  $f_i(x, y_i, v_i)$  – заданные непрерывные функции своих аргументов,  $a_i, b_i, y_{ia}, y_{ib}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  – заданные числа. Множество  $V_i = \{v_i: v_i = v_i(x) \in L_2(a_i, b_i), 0 < r_i \leq v_i(x) \leq R_i, x \in (a_i, b_i)\}$  пространства  $L_2(a_i, b_i)$  назовем множеством допустимых управлений  $i$ -ой группы нападения, где  $r_i, R_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , заданные положительные числа. Под решением задачи (13), (14) при каждом выбранном управлении  $v_i \in V_i$  будем понимать непрерывную на  $(a_i, b_i)$  функцию  $y_i(x)$  удовлетворяющую интегральному тождеству:

$$y_i = y_i(x) = y_i(v_i; x) = a_i + \int_{a_i}^x f_i(z, y_i(z), v_i(z)) dz,$$

и краевому условию  $y(b_i) = y_{bi}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ . Время движения  $i$ -ой группы нападения по линии  $L_i$ , от точки  $A_i$  до точки  $B_i$  выражается интегралом:

$$T_i(v_i) = \int_{a_i}^{b_i} p_i(y_i(x)) \frac{\sqrt{1 + (f_i(x, y_i(x), v_i(x)))^2}}{v_i(x)} dx, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (15)$$

Аналогично выше принятому, для каждой  $i$ -ой группы нападения функции  $p_i(y)$  и  $f_i(x, y, v)$  удовлетворяют условиям основного предположения. Для  $i$ -ой группы нападения имеем задачу быстрогодействия о минимизации функционала:

$$T_i(v_i) = \int_{a_i}^{b_i} p_i(y_i(x)) \frac{\sqrt{1 + (f_i(x, y_i(x), v_i(x)))^2}}{v_i(x)} dx \rightarrow \inf, \quad (16)$$

на множестве  $V_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , при условиях (13), (14). Для всех групп нападения совокупность таких задач образуют многокритериальную систему задач оптимального управления. Множество  $U = \prod_{i=1}^n V_i$  в  $L_2(A, B) = \prod_{i=1}^n L_2(A_i, B_i)$  назовем множеством допустимых управлений. Набор скоростей  $v = (v_1, v_2, \dots, v_n) = v(x) = (v_1(x), v_2(x), \dots, v_n(x)) \in U = \prod_{i=1}^n V_i$  является набором управления многими группами нападения. В многокритериальной оптимизации используется несколько типов свертки критериев качества: линейная свертка-  $J_0(v)$ , суммарная свертка-  $J_+(v)$ , средняя свертка-  $J_{cp}(v)$  и др. Свертыванием многокритериальная задача приближенно сводится к однокритериальной задаче. Линейная свертка критериев качества в (15) определяется в виде:

$$J_0(v) = \sum_{i=1}^n \beta_i T_i(v_i) = \beta_1 T_1(v_1) + \beta_2 T_2(v_2) + \dots + \beta_n T_n(v_n), \quad (17)$$

где  $v \in U$ , числа  $\beta_i \geq 0$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  – весовые коэффициенты. Суммарная  $T_+(v) = \sum_{i=1}^n T_i$  и средняя  $T_{cp}(v) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$  свертки критериев выборами чисел  $\beta_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  получаются как частными случаями линейной свертки. Поэтому ниже рассматривается только линейная свертка критериев. Многокритериальная задача быстрогодействия после линейной свертки приводит к минимизации функционала  $J_0(v)$  при условиях (13), (14) на множестве  $U \subset L_2(A, B)$ .

Рассмотрим задачу минимизации по линейной свертке критериев с «возмущённым» функционалом:

$$J_\alpha(v) = J_0(v) + \alpha \|v - \omega\|_{L_2(A, B)}^2 \rightarrow \inf, \quad (18)$$

на множестве  $U$ , где  $\alpha \geq 0$  – заданное число, – заданный элемент пространства  $L_2(A, B)$ . Для многих групп нападения с линейной сверткой критериев имеют место аналоги доказанных выше теорем для одной группы. Они доказываются аналогичным способом. Исходя из указанной аналогии для многих групп нападений проверяются утверждения:

1) Для задачи (18) имеет место аналог теоремы 1 (принципа максимума Понтрягина). Это утверждение следует из общей теории оптимального управления (см. [9] и др.).

2) Функционалы  $J_0(v)$  и  $J_\alpha(v)$  в (17) и (18) снизу ограничены, непрерывны и непрерывно-дифференцируемы на множестве допустимых управлений  $U \subset L_2(A, B)$ , для градиентов этих функционалов верны, соответственно, следующие формулы

$$J'_0(v) = \sum_{i=1}^n \beta_i T'_i(v_i), \quad J'_\alpha(v) = J'_0(v) + 2\alpha(v - \omega). \quad (19)$$

3) Для того, чтобы элемент  $v^* = v^*(x)$  множества  $U \subset L_2(A, B)$  был решением задачи (18) необходимо выполнение следующего вариационного неравенства

$$\langle J'_\alpha(v^*), v - v^* \rangle \geq 0, \quad \alpha \geq 0, \quad (20)$$

для любого  $v \in U \subset L_2(A, B)$ ,  $\alpha \geq 0$  – заданное число. Если же  $v^*$  внутренний элемент множества  $U \subset L_2(A, B)$ , то это неравенство эквивалентно равенству  $J'_\alpha(v^*) = 0$ ,  $\alpha \geq 0$ . При  $\alpha = 0$ , из этих соотношений получится утверждение для функционала  $J_0(v)$ .

4) В пространстве  $L_2(A, B)$  существует всюду плотное множество  $K \subset L_2(A, B)$ , что для любого элемента  $\omega \in K \subset L_2(A, B)$ , задача (18) при заданном  $\alpha > 0$  имеет единственное решение на множестве  $U \subset L_2(A, B)$  и оно сильно непрерывно зависит от  $\omega \in L_2(A, B)$ .

## 6. Итеративный алгоритм решения

Доказанные выше необходимые условия оптимальности и выражения для градиентов функционалов качества, позволяют применить к изучаемым задачам итеративные методы их решения (см. также [6, 8, 9, 11] и др.). Пакеты программ, как MATLAB, MAPLE, ANSYS и др., в сочетании с визуализацией результатов дают удобный аппарат решения рассмотренных выше задач. Ради конкретности, здесь изложим лишь итеративный алгоритм решения задачи (18) на основе модификации метода условного градиента, который в работе [9] анализирован более подробно. Другие итеративные алгоритмы применяются аналогично.

Рассмотрим следующую итерационную процедуру для решения задачи (18):

$$v^{(k+1)}(x) = v^{(k)}(x) + \lambda_k (w^{(k)}(x) - v^{(k)}(x)), k = 0, 1, 2, \dots, \quad (21)$$

где  $v^{(0)}(x)$  - начальная итерация, который может быть любым элементом множества  $U$ , числовой параметр  $\lambda_k \in (0, 1)$  - выбирается из условия убывания функционала  $J_\alpha(v^{(k)})$  по  $k$ :  $J_\alpha(v^{(k+1)}) < J_\alpha(v^{(k)})$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots$ ; элемент  $w^{(k)}(x)$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots$ , определяется из условия минимума следующего линейного функционала:

$$\langle J'_\alpha(v^{(k)}), w - v^{(k)} \rangle + \alpha \langle v^{(k)} - w, w - w \rangle \rightarrow \inf, w \in U, k = 0, 1, 2, \dots \quad (22)$$

на множестве  $U$ . В силу выпуклости множества  $U$  при всех  $k = 0, 1, 2, \dots$  элементы  $v^{(k)}(x) \in U$ . В результате из соотношений (21) и (22) найдется последовательность элементов  $\{v^{(k)}\}$ . В работах [6, 9] и др. при общих предположениях указаны достаточные условия сходимости итераций типа (21), (22). В работах [6, 7, 9] и др. изучены разные варианты итерационных процедур, в том числе итерационные алгоритмы по методу Ньютона, по проекции градиента, по сопряженным градиентам и др. Эти алгоритмы дают возможность анализировать стратегии управления противоборством с одним или многими группами нападения как задачи оптимального управления (4), (12), (18). Изложенная итеративная схема для задачи (18), аналогично образом применяются к другим задачам. В случае неустойчивости задачи аналогии итеративных процедуры типа (21), (22) применяются для регуляризации, где параметра  $\alpha \geq 0$  и числа итераций выбирается в зависимости от погрешности данных на основе специальных правил «останова» (см. [6, 8, 9] и др.).

## 7. Заключение

Укажем некоторые типичные обобщения изложенных выше задач и для простоты их рассмотрим для случая нападения одной группой. Пусть защита сопротивляется движению нападения с фактором  $s(x)$ , который в пространстве  $L_2(a, b)$  принадлежит множеству  $S = \{s: s = s(x) \in L_2(a, b), 0 < q \leq s(x) \leq Q, x \in D\}$ , где числа  $q, Q$ -заданы и положительны. Предположим, что состояние защиты описывается уравнением

$$\frac{dy(x)}{dx} = f(x, y(x), s(x), v(x)), x \in (a, b), \quad (23)$$

с краевыми условиями (2), где  $f(x, y, s, v)$  – заданная непрерывно-дифференцируемая функция по совокупности переменных и эти производные по переменным  $y, s, v$  удовлетворяют условию Липшица. При принятых выше предположениях для выбранных элементов  $v$  и  $s$  из множеств  $V$  и  $S$ , соответственно, под решением задачи (23), (2) будем понимать непрерывную функцию  $y(x)$  удовлетворяющую интегральному тождеству

$$y = y(x) = y(x, s, v) = a + \int_a^x f(z, y(z), s(z), v(z)) dz$$

и условию  $y(b) = y_b$ . Пусть нападение стремится за наикротчайшее время достичь нужные ему объекты в территории защиты и защита сопротивляется его движению с фактором  $s(x)$ , стремясь сделать это время наибольшим. При принятых выше предположениях время движения нападения от точки А до точки В выражается интегралом:

$$T(s, v) = \int_a^b p(y(x)) \frac{\sqrt{1 + f^2(x, y(x), s(x), v(x))}}{v(x)} dx. \quad (24)$$

Таким образом, получим задачу минимизации по  $v$  на множестве  $V$  и максимизации по  $s$  на множестве  $S$  функционала качества  $T(s, v)$  в (24) при условиях (23), (2). Другими словами, для

функционала  $T(s, v)$  получается минимаксная задача противоборства типа нападение и защита. Такие задачи изучаются методами теории игр (см. [1,2,4,5,9,11] и др.). Изложенный выше метод исследования дает способ анализа стратегий нападения и защиты этой задачи.

Выше изложение проведено от простого к сложному: сперва рассматривался нападения одной группой, а потом многими группами, был взят одно уравнение состояния (1), (13) и (23), везде эти уравнения могут быть заменены на систем уравнений. Кроме того, рассмотрен случай двумерной области защиты, хотя везде для этой цели можно брать многомерный область. Каждая группа нападения может пересекать границу в нескольких точках и каждая группа может двигаться к нескольким целям. Изложенная методика дает возможность моделировать этих случаев и доказать аналогичные результаты. Увеличив число групп нападения нетрудно перефразировать эту ситуацию в виде изложенной выше задачи нападения многими группами. Если же нападение происходит по линиям являющиеся частями границы, тогда вариационная формулировка такой задачи противоборства может привести к задаче быстрогодействия с условиями трансверсальности. Если же в противоборстве имеются ограничения, то этот случай учитывается в постановке задачи методами теории оптимизации (см. [1-11] и др.).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Мусаева, М.А. Вычисление ресурсов и анализ эффективности стратегий в игровой модели противоборства // Ж. «Вычисл. Мет. и Программ.». –2020. Т. 21. № 3. –с. 251–258
2. Рыкунов, В.Д. Охранные системы и технические средства физической защиты объектов. / В.Д. Рыкунов. –М.: Security Focus, –2011. –288 с.
3. Макаренко, С.И. Информационное противоборство и радиоэлектронная борьба в сетевых войсках начала XXI века / С.И.Макаренко. –Санкт-Петербург: Научное издание, –2017. –549 с.
4. Novak A.J, Feichtinger G, Leitmann G.A. Differential game related to terrorism: Nash and Stackelberg strategies // Journal of Optimization. Theory and Applications. –2010. V.3. № 144. –pp.533–555.
5. Гермейер, Ю.Б. Задачи по исследованиям операций / Ю.Б.Гермейер, В.В.Морозов, А.Г.Сухарев [и др.] –М.: Изд. МГУ, –1979. –168 с.
6. Искендеров, А.Д. Идентификация квантовых потенциалов / А.Д.Искендеров, Г.Я.Ягубов, М. А.Мусаева. –Баку: Чашыоглу, –2012. –548 с.
7. Тихонов, А.Н. Нелинейные некорректные задачи / А.Н.Тихонов, А.С.Леонов, А.Г.Ягола. – М.: КУРС, –2017. –400 с.
8. Понтрягин, С.Л. Математическая теория оптимальных процессов / С.Л.Понтрягин, В.Г.Болтянский, Р.В.Гамкрелидзе [и др.] –М.: Наука, –1969. –393 с.
9. Васильев, Ф.П. Методы оптимизации: в 2-х частях / Ф.П.Васильев. – М.: МЦНМО, –2011.
10. Goebel, M. On existence of optimal control // Math. Nachr. –1979. V.93. № 4. –pp. 67-73
11. Лапин, А.В. Итерационные методы решения сеточных вариационных неравенств / А.В.Лапин, –Казань, КГУ, –2008.

### XÜLASƏ

#### QARŞIDURMANIN BİR OPTİMAL İDARƏETMƏ MƏSƏLƏSİ

*Musayeva M.A.*

**Açar sözlər:** *optimal idarəetmə, variasiya modeli, ekstremum üçün zəruri şərt, yeganə həl olunma, təztəsir məsələsi, qarşıdurma məsələsi*

Qarşıdurmanın optimal idarə olunması az öyrənilmiş məsələsi nəzərdən keçirilir. Variasiya üsulu ilə strategiyaların təhlili nəzərdən keçirilir ki, bu da əvvəllər öyrənilməmiş bir təztəsir məsələsinə gətirib çıxarır, həllər üçün iterativ alqoritmlər təqdim olunur və alınmış zəruri şərtlər maksimum prinsipi və variasiya bərabərsizlikləri şəklində verilir; “az həyəcanlaşmış” obyektin vəziyyətinin qeyri-xətti operatoru ilə

məsələnin həll teoremi isbat edilmişdir. Qarşıdurma “hücum və müdafiə” prosesi kimi təsvir edilir. Bir neçə keyfiyyət kriteriyalarının bükülmə qaydalarından istifadə edilir, onların qradienti hesablanır və nəzərdən keçirilən məsələnin həlli üçün iterativ alqoritmə tətbiq edilir. Nəticədə ilk optimal idarəetmə probleminin bir sıra ümumiləşdirmələri verir.

**SUMMARY**  
**ONE PROBLEM OF OPTIMAL CONTROL BY CONFRONTATION**  
*Musayeva M. A.*

**Key words:** *optimal control, variational model, unique solvability, necessary condition for extremum, fast action problem, confrontation*

The less-studied problem about the optimal control of confrontation process. The variational method is used to analyze control strategies, which leads to a previously unstudied confrontation performance problem, for the solution of which iterative algorithms are presented and the necessary extremum conditions are given in the form of the maximum principle and variational inequality, for the confrontation as “attack and defense”, formulated the problem with a nonlinear operator of the state of the object, a theorem of unique solvability is proved. Process of confrontation described as attack and defense. Confrontation is described as a process of “attack and defense.” The rules of convolution of many quality criteria are used, their gradients are calculated and they are applied in an iterative algorithm for solving the problem under consideration. The Conclusion gives a number of generalizations of the original optimal control problem.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 01.03.2024 |
|                   | Son variant   | 29.04.2024 |

УДК 620.193.8

DOI 10.54758/16801245\_2024\_24\_2\_16

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА БИОКОРРОЗИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ И БИОЦИДОВ

АЗИЗОВ РУФАТ ЭЙВАЗ оглу [ORCID](#)  
[Scopus Author ID: 8537906500](#)

*Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан, доцент*  
[Rufat.Azizov@sdu.edu.az](mailto:Rufat.Azizov@sdu.edu.az)

**Ключевые слова:** биокоррозия, аденозинтрифосфат, ингибиторы коррозии, биоциды, биолюминесцентная реакция, биотехнологические процессы.

Рассматриваются условия и эффективность применения ингибиторов коррозии и биоцидов для предотвращения процессов биокоррозии с использованием биолюминесцентной АТФ-метрии. Изучено влияние различных ингибиторов коррозии на кинетические параметры биолюминесцентной реакции, применяемой в АТФ-метрии. Проведенными исследованиями установлено, что ингибиторы коррозии могут как ингибировать люциферазную реакцию, так и увеличивать её скорость. Анализы кинетических параметров реакций ингибирования и активации люциферазной реакции в присутствии различных ингибиторов коррозии подтвердили возможность применения биолюминесцентного метода определения аденозинтрифосфата для последующего исследования биоцидной активности ингибиторов коррозии.

Известно, что биокоррозия металла представляет собой характерную коррозию, которая развивается под воздействием микроорганизмов и примерно до 30% выходящих из строя металлов в промышленности происходит за счет биокоррозии. На нефтеперерабатывающих промышленных предприятиях всё технологическое оборудование в наибольшей степени подвергается воздействию биокоррозии. Коррозионно-активные клетки микроорганизмов можно обнаружить в коммуникационных системах, в отстойниках, резервуарах, нефтехранилищах и других технологических оборудованьях. Поэтому, для предотвращения процессов биокоррозии и продления срока службы технологического оборудования в нефтяной промышленности необходимо более глубоко изучить процесс биокоррозии, особенно рост клеток, входящих в состав коррозионно активных биопленок.

Основным методом исследования биопленок является микробиологический, который заключается в механическом удалении биопленок с металлических поверхностей, с последующей их дезинтеграцией ультразвуком и высевом разведений полученных суспензий на селективные среды. Поскольку метод является непростым, трудоемким и требует длительное время культивирования клеток, до 19-22 суток, результаты которых являются не точными, то основные закономерности формирования биопленок остаются мало изученными. Большинство исследователей долгое время большое внимание уделяли вопросам ингибирования и элиминирования биокоррозии.

Известно, что биологическая и химическая коррозия представляют собой комплексно развивающееся явление, выявление активности веществ, действие которых одновременно направлено против химического корродирования металла и вызывает гибель микроорганизмов, способствующих протеканию коррозионных процессов, которые являются важной задачей научных исследований, проводимых в данной области. Возможность биолюминесцентного метода определения концентрации внутриклеточного

аденозинтрифосфата (АТФ) является более перспективным и современным методом с точки зрения его применения для фундаментальных исследований особенностей кинетики роста клеток, входящих в состав коррозионно активных биопленок. Поэтому разработка новых экономически приемлемых методов к элиминированию процессов биокоррозии является одной из основных задач промышленности нефтехимии и нефтепереработки. В качестве одного из эффективных средств, позволяющих предотвращать полностью или существенно снижать явления развития биокоррозионных процессов, привлекает к себе внимание применение ингибиторов коррозии (ИК) с биоцидной активностью по отношению к планктонным клеткам и биопленкам. Применение ингибиторов коррозии и биоцидов для предотвращения процессов биокоррозии с использованием биолюминесцентной аденозинтрифосфата-метрии представляет научно-практический интерес и эффективность их применения определено экспериментальными анализами.

Следует отметить, что биокоррозия и процессы химической коррозии действуют в комплексе, поэтому активность веществ, действие которых одновременно направлено против химического корродирования и может вызывать гибель микроорганизмов, способствующих развитию коррозионных процессов. Поэтому больший интерес вызывают ингибиторы коррозии (ИК), химически синтезируемые во многих лабораториях мира и обладающие «двойным» действием проявляют биоцидную активность в отношении различных бактериальных клеток [1,2].

Известно, что одни и те же вещества в разных концентрациях по-разному влияют на клетки различных микроорганизмов. В одном случае вещество может проявлять бактериостатические свойства, в другом – быть биоцидом. При использовании бактериостатических концентраций веществ рост микроорганизмов резко тормозится или останавливается совсем, но как только действие бактериостатика прекращается или просто снижается его концентрация, подавляющая рост, процессы жизнедеятельности микроорганизмов обычно возобновляются [3,4]. Сильное биоцидное действие в малых концентрациях, защита конструкционных материалов от химической коррозии, низкая токсичность, химическая стабильность при эксплуатации – таковы основные требования, предъявляемые сегодня к ингибиторам коррозии [5,6].

Во избежание экологического загрязнения окружающей среды, в лабораторных условиях устанавливаются минимальные ингибирующие концентрации (МИК) веществ, проявляющих свойства биоцидов в отношении различных микроорганизмов [6]. МИК – это минимальная концентрация веществ, вызывающая снижение концентрации бактерий в обрабатываемых данным веществом образцах до недетектируемого уровня. Существуют общие стандартные параметры проведения процедуры определения МИК: время инкубации биоцида с клетками – 7 суток, исходно введенная концентрация клеток –  $10^6$  кл/мл, температура экспонирования исследуемых проб – 28°C, среда анализа – питательная среда или физиологический раствор [6,7].

Определение микробиологическим методом числа выживших клеток является довольно длительным и трудоемким процессом. К тому же микробиологическим методом не удастся выявить клетки, которые находятся в некультивируемом состоянии, вызванном бактериостатическим воздействием биоцидов на микроорганизмы [7,8]. В большинстве случаев для оценки коррозионной ситуации используют весовой метод, основанный на измерении изменения веса металла через определенное время с момента применения ИК, имеющего свойства биоцида, и сравнении его с изменением веса аналогичного образца без применения ингибитора роста клеток. Для проведения подобных исследований применяют специальные металлические купоны, которые помещают в трубопровод. Весовой метод является достаточно длительным, так как сам процесс коррозии идет медленно, и точность метода определяется теми техническими средствами, которые применяются для взвешивания

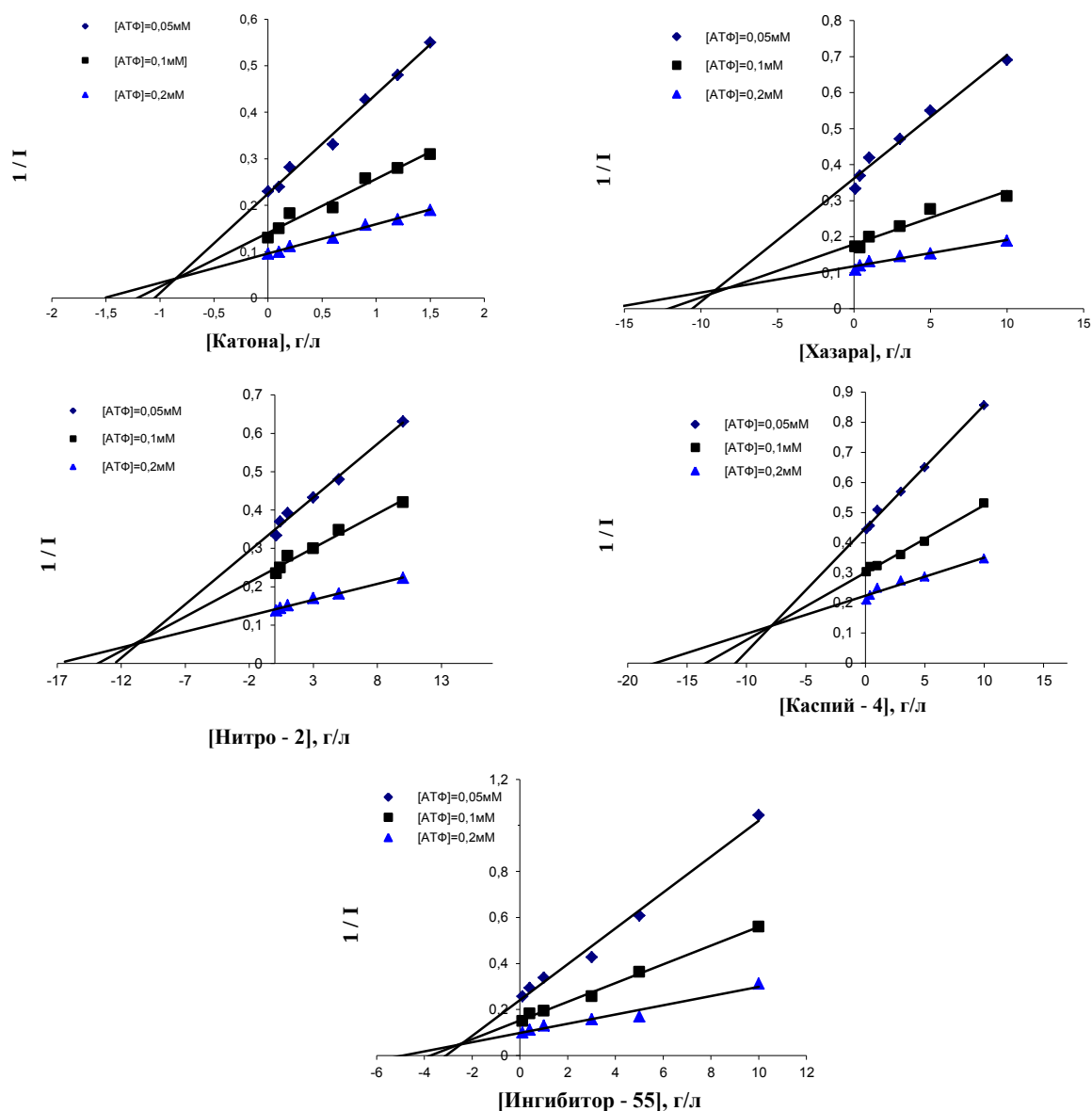
образцов. При этом, полученная информация отражает лишь факт наличия или отсутствия коррозии как таковой, а не биоцидные свойства ингибиторов коррозии [7,9].

В связи с вышеуказанными недостатками микробиологического и весового метода, очевидна необходимость в использовании более точных, удобных и достаточно оперативных методов оценки биоцидной активности разных, в том числе вновь разрабатываемых ИК. При этом следует отметить, что все значения МИК, известные в настоящее время для различных веществ, определены для плактонных культур, а не для коррозионно-опасных биопленок. А в работе как раз с биопленками возможно и эффективно применение биолюминесцентной АТФ-метрии. При использовании биолюминесцентного метода определения концентрации внутриклеточного АТФ в исследованиях по эффективности применения ИК в качестве биоцидов для подавления роста биопленок, также исследовано влияние этих веществ на саму люциферазную реакцию, лежащую в основе биолюминесцентного метода определения АТФ. Известно, что биоцидное действие отдельных ИК может быть результатом химической реакции исследуемого вещества с различными функциональными группами ключевых биологически активных соединений клетки, в том числе и ферментов [8]. Также известно, что вблизи люциферин-связывающего участка люциферазы присутствуют SH-группы, а ингибирующее воздействие многих соединений на ферменты обусловлено тем, что они вступают в реакцию с SH-группами ферментов микроорганизмов [10]. Таким образом, модификация SH-группы в результате взаимодействия с ИК в потенциале может приводить к полной или частичной инактивации люциферазы, что может существенным образом отразиться на скорости биолюминесцентной реакции.

К числу эффективно применяемых ИК входит большое число соединений, которые обладают эффектом поверхностно-активных веществ (ПАВ), что обеспечивает им улучшенное проникновение к необходимому месту воздействия [11]. Однако ПАВ уменьшают поверхностное натяжение межфазной поверхности и могут увеличивать энтропию поверхности фермента за счет уменьшения поверхностного натяжения на белковой глобуле. Увеличение энтропии поверхности белка, как правило, приводит к тому, что активные центры фермента становятся более доступными для субстрата. Таким образом, ПАВ могут уменьшать  $K_m$  (наблюдаемую) для данного фермента. С другой стороны, также известно, что действие ПАВ может вызывать денатурацию белков и, таким образом, непосредственно влиять на каталитическую активность ферментов. Изучено влияние следующих ИК на люциферазную реакцию: Катон, ВФИКС-82, Хазар, Нитро-1, Нитро-2, Каспий-2, Каспий-4, Ингибитор-55, а также различных производных растительных масел. Большинство из указанных соединений являются достаточно эффективными ИК и используются в нефтяной промышленности.

На первом этапе исследования для определения кинетических параметров взаимодействия биоцидов с люциферазой для каждого ИК на основе физиологического раствора готовили пробы с равной известной концентрацией АТФ и различными концентрациями ИК. Концентрации ИК были выбраны такие, какие обычно используются на практике (от 0,1 до 3 г/л). Эксперименты проводились с использованием различных концентраций стандарта АТФ ( $5,0 \times 10^{-5}$  М ÷  $2,0 \times 10^{-4}$  М). При внесении в реакционную смесь проб, содержащих Катон, Хазар, Нитро-2, Каспий-4, Ингибитор-55, наблюдалось ингибирование люциферазной реакции. Для этих веществ были построены зависимости обратной величины интенсивности биолюминесценции от концентрации ингибитора (Рис. 1). Полученные результаты свидетельствовали о том, что процесс ингибирования люциферазной реакции во всех случаях протекал по смешанному механизму. Из построенных и представленных на Рис.1 графиков были рассчитаны константы ингибирования люциферазной реакции этими веществами (Табл.1). Для расчета значений констант Михаэлиса ( $K_m$ ), характеризующих образование фермент-субстратного комплекса между люциферазой и АТФ в присутствии ИК (Табл.2), были построены в обратных

координатах графики зависимости интенсивности биолюминесценции от концентрации АТФ (Рис. 2) при разных концентрациях ИК.



**Рис.1.** Зависимости обратной величины интенсивности биолюминесценции ( $I$ ) от концентрации ИК, ингибирующих люциферазную реакцию. Тестируемые ИК указаны на графиках.

**Таблица 1.**

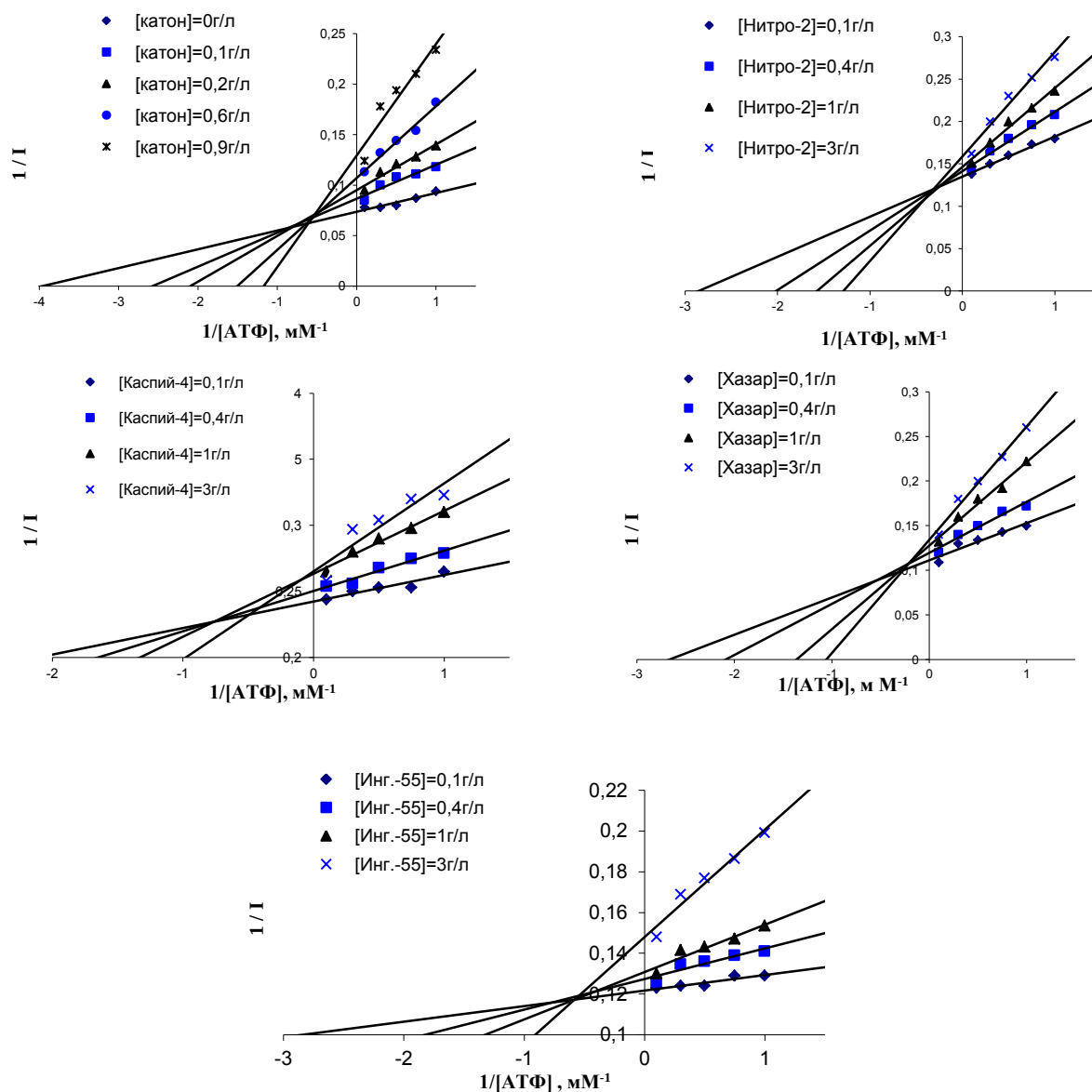
Константы ингибирования люциферазы различными ингибиторами коррозии

| Название биоцида | Константа ингибирования, $K_i$ , г/л |
|------------------|--------------------------------------|
| Катон            | $0,81 \pm 0,08$                      |
| Ингибитор-55     | $3,20 \pm 0,34$                      |
| Хазар            | $9,05 \pm 0,92$                      |
| Нитро-2          | $10,52 \pm 1,20$                     |
| Каспий-4         | $8,16 \pm 0,90$                      |

Таблица 2.

Наблюдаемые значения константы Михаэлиса ( $K_m$ , мМ) для ферментативной реакции АТФ с люциферазой в присутствии различных ИК

| Концентрация ИК, г/л | Ингибитор-55 | Хазар | Нитро-2 | Каспий-4 |
|----------------------|--------------|-------|---------|----------|
| 0,1                  | 0,35         | 0,38  | 0,36    | 0,37     |
| 0,4                  | 0,49         | 0,43  | 0,45    | 0,43     |
| 1,0                  | 0,54         | 0,55  | 0,49    | 0,53     |
| 3,0                  | 0,57         | 0,62  | 0,54    | 0,59     |



**Рис.2.** Зависимости интенсивности биolumинесценции от концентрации АТФ в обратных координатах, в присутствии различных концентраций ингибиторов коррозии. Использованные в работе вещества указаны на графиках.

Для определения кинетических параметров процесса активации люциферазной реакции были построены зависимости в обратных координатах интенсивности биolumинесценции от концентрации стандартных растворов АТФ при различных концентрациях ряда ИК (Рис. 3).

Константы активации (Табл. 3) определялись при построении вторичных графиков зависимости отношения концентрации использованных стандартных растворов АТФ к интенсивности регистрируемой биolumинесценции от обратной величины концентрации ИК, введенных в среду для проведения биolumинесцентной реакции (Рис. 4).

Таблица 3.

Константы активации люциферазы некоторыми ИК

| ИК       | Константа активации, $K_a$ , г/л |
|----------|----------------------------------|
| Нитро-1  | 0,32                             |
| Каспий-2 | 0,26                             |
| ВФИКС-82 | 0,16                             |

Величины наблюдаемых констант Михаэлиса представлены в Табл. 4. Результаты исследования влияния различных ИК на люциферазную реакцию показали, что эти вещества могут как ингибировать, так и увеличивать ее скорость. Вместе с этим анализ кинетических параметров реакций ингибирования и активации люциферазной реакции в присутствии различных ИК подтвердил возможность применения биolumинесцентного метода определения АТФ для последующего исследования биоцидной активности этих веществ, так как значения констант, отражающих влияние веществ на люциферазную реакцию, которые были определены в ходе проделанной работы, существенно (более чем в 100-300 раз) были больше тех концентраций, в которых указанные вещества предполагаются к применению или уже применяются на практике.

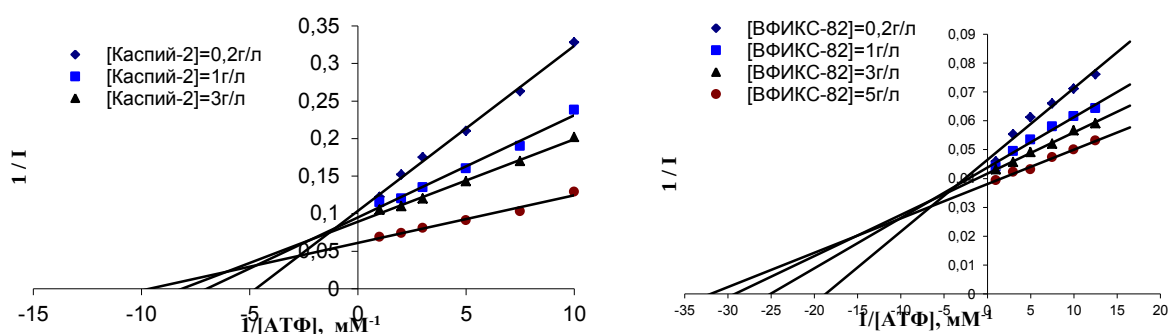


Рис.3. Зависимости интенсивности биolumинесценции от концентрации АТФ в обратных координатах при различных концентрациях активаторов.

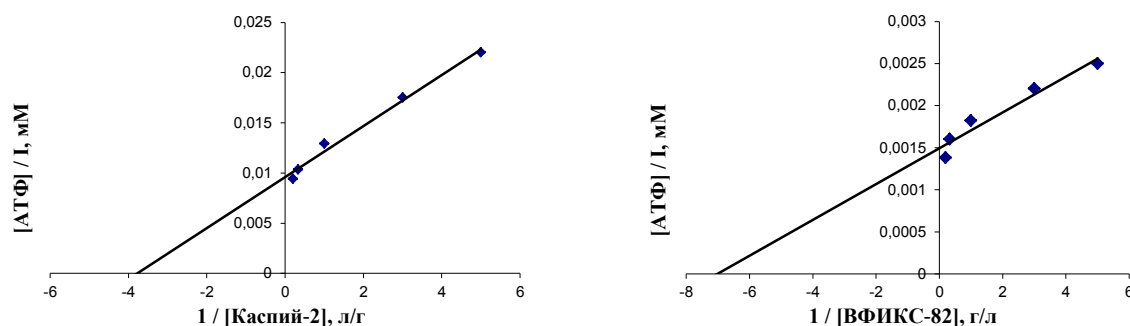


Рис.4. Зависимость отношения концентрации АТФ к интенсивности биolumинесценции от обратной величины концентрации ИК.

Таблица 4.

Значения наблюдаемых констант Михаэлиса для реакции люциферазы с АТФ в присутствии различных ИК, активирующих люциферазную реакцию.

| Концентрация ИК, г/л | K <sub>m</sub> , мМ |          |          |
|----------------------|---------------------|----------|----------|
|                      | Нитро-1             | Каспий-2 | ВФИКС-82 |
| 0,2                  | 0,24                | 0,14     | 0,24     |
| 1                    | 0,20                | 0,13     | 0,23     |
| 3                    | 0,19                | 0,11     | 0,22     |
| 5                    | 0,19                | 0,11     | 0,22     |

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ramesh S., Rajeswari S., Maruthamuthu S. (2003) Effects of inhibitors and biocide on corrosion control of mild steel in natural aqueous environment, Mater. Lett., **57**, 4547-4554.
2. Ramesh S., Rajeswari S. (2005) Evaluation of inhibitors and biocide on the corrosion control of copper in neutral aqueous environment, Corrosion Sci., **47**, 151-169.
3. Videla H.A. (2002) Prevention and control of biocorrosion, Int. Biodeterior. Biodegrad., **49**, 259-270.
4. Самедов А.М. Применение алифатических аминов в качестве ингибиторов бактериальной и кислотной коррозии в нефтяной промышленности // Проц. Нефтехим. Нефтеперераб., – 2000. №2, –с.35-39.
5. Кузнецов Ю.И. Физико-химические аспекты ингибирования коррозии металлов в водных растворах // Успехи химии, –2004. **73**(1), –с.79-93.
6. Жиглецова С.К., Родин, В.Б. Повышение экологической безопасности при использовании биоцидов для борьбы с коррозией, индуцируемого микроорганизмами.// Прикл. биохим. микробиол., –2000. **36**(6), –с.694-700.
7. NACE International. Standard Test Methods. Field monitoring of bacterial growth in oil and gas systems // NACE Standard TM0194. Houston. Texas. –2004, –20 p.
8. Paulus W. Biocides. // Biodeteriation: Proceedings of 4<sup>th</sup> IBS. –London, –1980. –pp.307-314
9. Семенова, И.В. Коррозия и защита от коррозии / И.В.Семенова, Г.М.Флорианович, А.В.Хорошилов. –М.: Изд. Физматлит, –2002, –333 с.
10. Trajkova, S. Bioluminescence determination of enzyme activity of firefly luciferase in the presence of pesticides // S.Trajkova, K.Tosheska, J.J.Aaron, [et al.] Luminescence, –2005, **29** (3), –pp.192-196.
11. Neria-Gonzalez, I. Characterization of bacterial community associated to biofilms of corroded oil pipeline from the southeast of Mexico / I.Neria-Gonzalez, Wang E.T., F.Ramirez, [et al.] Anaerobe, –2006. **12**, –pp.122-133.

## XÜLASƏ

### KORROZIYA İNHİBİTORLARININ VƏ BIOSİDLƏRİN İŞTİRAKI İLƏ BİOKORROZIYA PROSESİNİN TƏDQIQI

Əzizov R.E.

**Açar sözlər:** biokorroziya, adenozin trifosfat, korroziya inhibitorları, biosidlər, bioluminescent reaksiya, biotexnoloji proseslər.

Məqalədə adenozin trifosfatın miqdarını ölçməklə bioluminescent üsulundan istifadə edərək biokorroziya proseslərinin qarşısını almaq üçün korroziya inhibitorlarının və biosidlərin istifadəsinin şərtləri və effektivliyi nəzərdən keçirilir. Adenozin trifosfatlı ölçmədən istifadə etməklə müxtəlif korroziya inhibitorlarının bioluminescent reaksiyasının kinetik parametrlərinə təsiri öyrənilmişdir. Tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, korroziya inhibitorları liyusiferaz reaksiyasının sürətini zəiflətdiyi kimi, həm də onun sürətini artırır. Müxtəlif korroziya inhibitorlarının iştirakı ilə liyusiferaz reaksiyasının inhibirləşdirilməsi və aktivləşdirilməsinin kinetik parametrlərinin təhlili ilə təsdiq edilmişdir ki, tədqiqatın

növbəti mərhələsində istifadə ediləcək korroziya inhibitorlarının aktivliyinin müəyyənləşdirilməsində bioluminescent metodu ilə adenosin trifosfatın təyin edilməsi mümkündür.

**SUMMARY**  
**STUDY OF THE PROCESS OF BIOCORROSION WITH USING CORROSION**  
**INHIBITORS AND BIOCIDES**

*Azizov R.E.*

**Key words:** *biocorrosion, adenosine triphosphate, corrosion inhibitors, biocides, bioluminescent reaction, biotechnological processes.*

The conditions and effectiveness of using corrosion inhibitors and biocides to prevent biocorrosion processes using bioluminescent ATP-metry are considered. The effect of various corrosion inhibitors on the kinetic parameters of the bioluminescent reaction used in ATP measurement was studied in this article. According to the studies, corrosion inhibitors can both inhibit the luciferase reaction and increase its speed. Analyzes of the kinetic parameters of the reactions of inhibition and activation of the luciferase reaction in the presence of various corrosion inhibitors confirmed the possibility of using the bioluminescent method for determining adenosine triphosphate for the subsequent study of the biocidal activity of corrosion inhibitors

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 20.06.2024 |
|                   | Son variant   | 27.06.2024 |

## THE KINETIC PROPERTIES OF $\gamma$ – RADIOLYSIS OF HCB IN SELECTED ORGANIC SOLVENTS

<sup>1</sup>KARIMOV SAMIR ALADDIN [ORCID](#)  
<sup>2</sup>ABDULLAYEV ELSHAD TOFIQ [ORCID](#)  
<sup>3</sup>GURBANOV MUSLUM AHMAD [ORCID](#)  
<sup>4</sup>GASIMZADA LALA KHANOGLAN

1,4-French-Azerbaijani University, Baku, Azerbaijan

2-Sumgait State University, Sumgait, Azerbaijan, PhD

3- Institute of Radiation Problems, Baku, Azerbaijan, professor

[samir.karimov@ufaz.az](mailto:samir.karimov@ufaz.az); [elshad.abdullayev@sdu.edu.az](mailto:elshad.abdullayev@sdu.edu.az); [mgurbanov51@gmail.com](mailto:mgurbanov51@gmail.com)

**Keywords:** hexachlorobenzene, radiation chemistry, nuclear energy, POPs, environmental remediation

*In this paper, kinetic properties of complete dechlorination of hexachlorobenzene (HCB) in ethanol, acetone, hexane, and toluene organic solvents under  $\gamma$ -rays of  $^{60}\text{Co}$  has been reported. Gas Chromatograph – Mass Spectrometer has been used for quantitative analysis. 100% of degradation of HCB has been obtained in polar solvent, in ethanol. The kinetic properties of HCB consumption have been investigated, parameters as radiation chemical yield ( $G$  value), the degree of consumption, effective rate constants and the pathway of dechlorination of HCB has been determined.*

### Introduction

HCB is one of the Persistent Organic Pollutants (POPs) - listed organochlorine pollutants (OCP) that has been widely used as a pesticide, fungicide, and wood preservative [1, 2, 3]. Carbon tetrachloride, perchloroethylene, trichloroethylene, and pentachlorobenzene (PCB) are all industrial compounds that produce HCB as a byproduct, which is a chlorinated industrial hydrocarbon compound, that is water-insoluble but highly soluble in fats, oils, and organic solvents [4, 5, 6]. HCB is deadly for some animals, at large dosages and has a negative impact on their reproductive performance at lower concentrations [7, 8]. Due to its persistence and toxicity, HCB has been listed as a pollutant by the regulatory agencies of different countries including the Republic of Azerbaijan. Under the Stockholm Convention on POPs, the use of HCB in agriculture is prohibited worldwide [1].

Several oxidation methods have been used for the degradation of POPs in environmental treatment. The main removal methods have been listed in Table 1.

**Table 1.**

*AOP methods for POPs remediation and their description*

| Category                                | Process                                                                                                                | Description                                                                       |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Ozone-based Processes                   | $\text{O}_3$ , $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ , $\text{O}_3/\text{UV}$                                              | Utilizes ozone with or without UV or $\text{H}_2\text{O}_2$ to oxidize pollutants |
| $\text{H}_2\text{O}_2$ -based Processes | $\text{H}_2\text{O}_2$ , $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ , $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$                      | Uses hydrogen peroxide, sometimes with $\text{Fe}^{2+}$ or UV                     |
| UV-based Processes                      | UV Photolysis, UV/ $\text{TiO}_2$                                                                                      | Direct UV or UV with titanium dioxide activation                                  |
| Photocatalytic                          | $\text{TiO}_2$ Photocatalysis                                                                                          | Uses UV light to activate titanium dioxide                                        |
| Electrochemical                         | Electro-Fenton, Electrolysis                                                                                           | Uses electric current for oxidation                                               |
| Ultrasound-based                        | Ultrasound (Sonolysis)                                                                                                 | Uses ultrasound waves to produce hydroxyl radicals                                |
| Combined Processes                      | $\text{O}_3/\text{US}$ , $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3/\text{UV}$ , $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{US}$ | Combines multiple methods for enhanced oxidation                                  |

Although the removal is effective in above-mentioned methods, they have some limitations, demand for seeking new way of HCB removal. AOPs, especially Fenton's reagent use requires to be applied in acidic media and hence large amount of acid or base is needed in this method. Utilizing H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> may contain risks to human health [9]. Because  $\cdot\text{OH}$  radicals are the base of oxidation in this process, large dosage of reagents could be required. The primary drawback of AOPs is their relatively high cost, resulting from the use of expensive chemicals and increased energy consumption. Additionally, these processes can lead to the formation of unknown recalcitrant by-products, which, in certain instances, may be more toxic than the original compounds, posing unresolved challenges [10].

The use of  $\gamma$ -irradiation for degradation of HCB is effective. The  $\gamma$ -radiolysis involves the formation of reactive electrons, ions, free radicals, and neutral species [11]. It is one step process and no additives are used [12]. The aim of this study is to understand the kinetic properties of degradation of HCB in organic solvents under  $\gamma$  - irradiation.

### Materials and methods

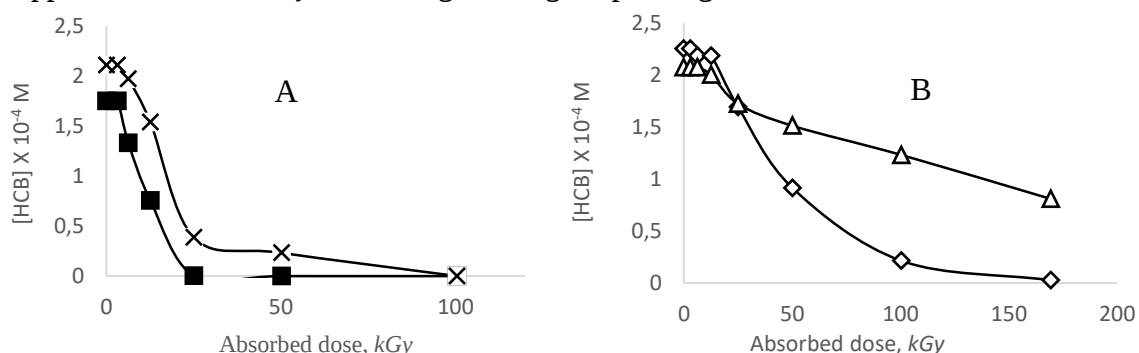
HCB standard (>99% purity) was supplied by Cluzeau Info Labo (France). Gradient grade ethanol, acetone, and n-hexane were from LiChrosolv. Toluene was purchased from Emplura.

HCB standard solutions (0.044-0.055 g/L) in the solvents mentioned were prepared. One milliliter of each sample was irradiated by  $\gamma$ -rays in 2 mL glass bottles using an MRX- $\gamma$ -25 apparatus with a <sup>60</sup>Co source at a dose rate of 1.74 Gy/s, with total doses ranging from 0 to 169.5 kGy.

Irradiated samples were analyzed using a GC-MS (Shimadzu QP2010 SE) equipped with an auto-injector (AOC-20i). Analysis parameters: Injector at 280°C; Column temperature started at 30°C (held for 2 minutes), increased at 10°C/minute to 320°C (held for 2 minutes); Ion source at 210°C; Electron impact ionization; Selected Ion Monitoring at 142 m/z and 214 m/z for HCB quantification.

### Results and discussion

The selected organic solvents are divided into polar (ethanol, acetone) and low polar solvents (hexane, toluene) in this study. In the Figure 1 the dependence of [HCB] in organic solvents on the  $\gamma$  radiation dose is shown. It is observed that the decrease in concentration of HCB in polar solvents show a similar start from their initial concentration to 6.3 kGy. The complete decomposition of HCB in ethanol, however, has been reached at 50.2 kGy which approximately 2 times less than the complete decomposition of HCB in acetone at 100.5 kGy. The decrease in [HCB] in hexane and toluene at applied 0 – 169.5 kGy shows slight change depending on radiation dose.

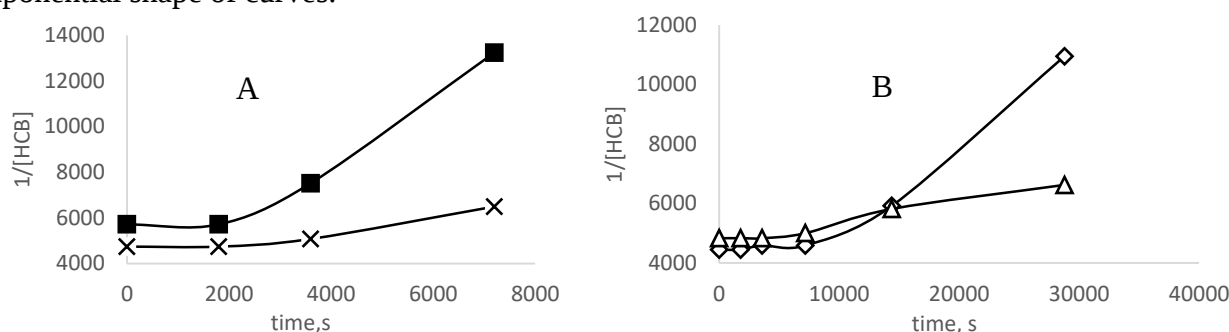


**Figure 1.** [HCB] dependence on absorbed dose in: A) polar solvents: square is in ethanol;  $\times$  is in acetone solutions; B) low polar solvents: rhombic frame is in hexane; triangle frame is in toluene

The change % in concentration of HCB is shown in the Table 2.

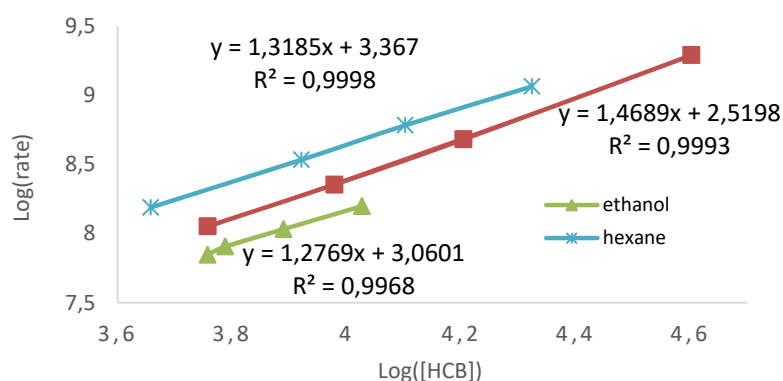
To study the kinetic properties of HCB degradation in all the solvents, different dependences have been plotted. In Figure the dependence of  $1/[\text{HCB}]$  on the irradiation time has been given respectively for HCB in polar and low polar solvents. In both figures the curves of HCB

degradation in all selected solvents can be said is the first order reactions according to the exponential shape of curves.



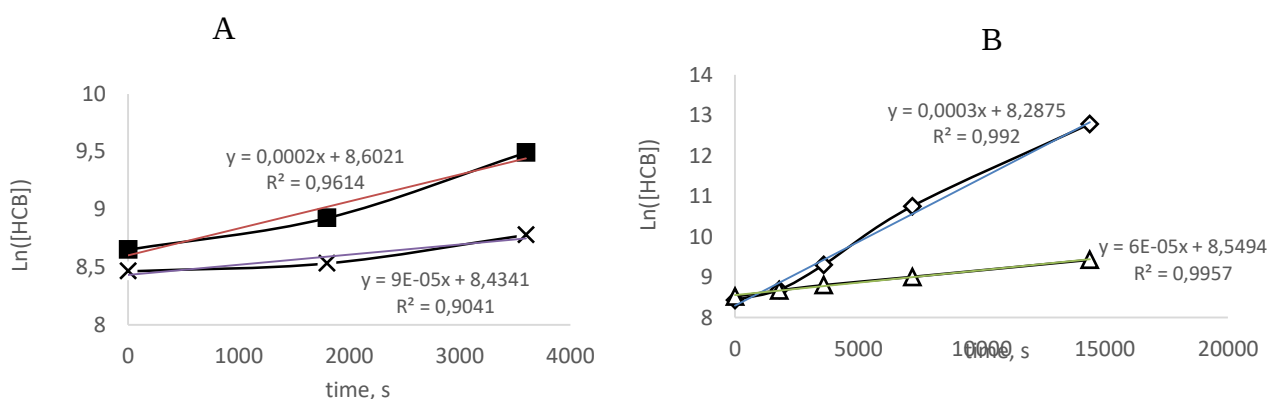
**Figure 2.**  $1/[HCB]$  dependence on irradiation time in: A) polar solvents: square is in ethanol;  $\times$  is in acetone solutions; B) low polar solvents: rhombic frame is in hexane; triangle frame is in toluene

Because during complete degradation of HCB different chlorinated products form, these reactions' orders are considered effective reaction orders. In the Figure 2, the  $-\log(\text{rate}) = f(-\log([HCB]))$  gives the trend of the first order reactions equal to 1, confirms the results in Figure 1.



**Figure 2.**  $-\log(\text{rate}) = f(-\log([HCB]))$  relation for finding reaction orders

In the Figure 3  $\ln[HCB] = f(t)$  gives the slope of rate constants for HCB in polar and low polar solvents.



**Figure 3.**  $\ln[HCB] = f(t)$ : A) in polar solvents: square is in ethanol;  $\times$  is in acetone solutions; B) in low polar solvents: rhombic frame is in hexane; triangle frame is in toluene

$$G = \frac{\Delta C \cdot N_A \cdot 100}{D \cdot 6.2 \cdot 10^{15}}, \text{molecule}/100\text{eV},$$

$\Delta C$  is the difference in  $[HCB]$  in the solution,  $mol/L$ ;  $N_A$  is the Avogadro number;  $D$  is applied dose =  $12.5\text{ kG}$ ;  $6.2 \times 10^{15}\text{ eV/g}$  is conversion factor from mass to energy. As shown in the Figure 4, the highest  $G$  value is observed in HCB consumption in ethanol ( $0.08/100\text{eV}$ ).

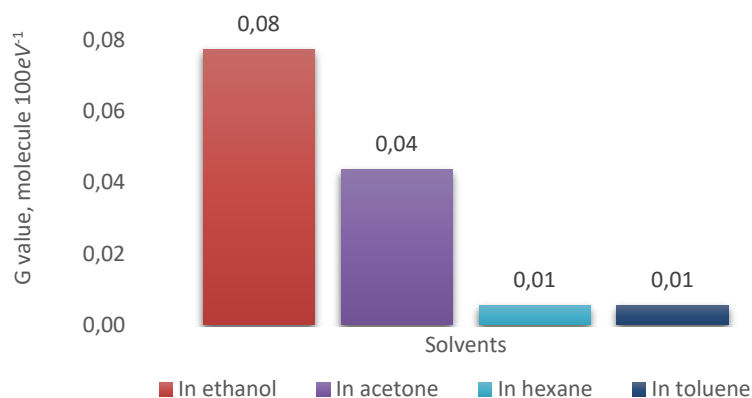


Figure 4.  $G$  values of HCB consumption in solutions at  $12.5\text{ kGy}$

In Table 2.

Calculated kinetic properties of HCB radiolysis in selected organic solvents, all the identified kinetic properties are given for the  $\gamma$  radiolysis of HCB in organic solvents.

Table 2.

Calculated kinetic properties of HCB radiolysis in selected organic solvents

| Irradiated solution of HCB in: | The order of $\gamma$ -radiolysis | The effective rate constant, $s^{-1}$ | G value, molecule/100eV <sup>-1</sup> | Applied dose to reach maximum consumption, kGy | Consumption degree of HCB, % |
|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------|
| Ethanol                        | 1 <sup>st</sup>                   | $2 \times 10^{-4}$                    | 0.08                                  | ~30                                            | 100                          |
| Acetone                        | 1 <sup>st</sup>                   | $9 \times 10^{-5}$                    | 0.04                                  | ~51                                            | 100                          |
| Hexane                         | 1 <sup>st</sup>                   | $3 \times 10^{-4}$                    | 0.01                                  | 169.5                                          | 98.8                         |
| Toluene                        | 1 <sup>st</sup>                   | $6 \times 10^{-5}$                    | 0.01                                  | 169.5                                          | 61                           |

During radiolysis, chlorinated aromatic molecules in various solvents exposure degradation in the reaction between  $e_{sol}^-$  [13]. As seen from the results of [13], due to the high value of  $G$  value of  $e_{sol}^-$  in ethanol, HCB decomposition rate is high.

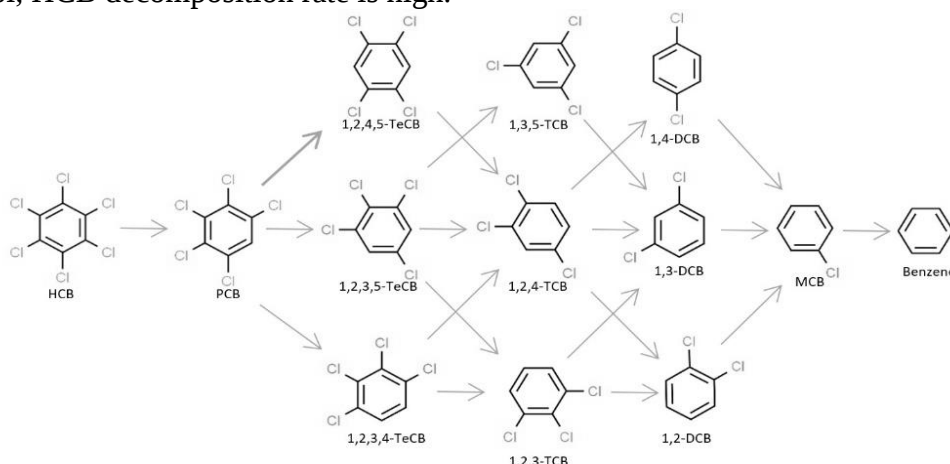


Figure 5. The dechlorination pathway of HCB during  $\gamma$  - radiolysis

The predicted pathway of HCB dechlorination with  $\gamma$  - radiolysis is given in Figure 5.

The degradation of HCB in organic solvents shows a similar pathway with reported papers of [14, 15, 16, 17]. HCB degrades to PCB in initial applied doses.

With the increasing of radiation dose PCB degrades to 3 isomers of tetrachlorobenzene (TeCB). TeCB then degrades into 3 isomers of trichlorobenzene (TCB). 1,4-dichlorobenzene has been identified only in HCB + ethanol in very trace amount. To follow the complete dechlorination pathway of HCB to benzene by  $\gamma$  - irradiation, 1.4 g/L 1,2,4-TCB in the same selected organic solvents have been irradiated and identified that, TCB firstly degrades to 1,4-, 1,3-, 1,2-dichlorobenzenes, then monochlorobenzene and lastly nonchlorinated product of benzene [17].

### Conclusion

The use of  $\gamma$  – rays for HCB removal could be considered effective since 100% consumption is obtained especially in polar organic media at low,  $\sim 30 - 101$  kGy dose range. Due to the  $\gamma$  - radiolysis dependence on HCB concentration, the process has been found to be 1<sup>st</sup> order, with the effective degradation rate constants of  $2 \times 10^{-4}$  and  $9 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  in ethanol and acetone,  $3 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  in low polar solvents. The  $G$  values of consumption of HCB confirm above-mentioned kinetic results. 0.08/100eV radiation chemical yield of HCB consumption ethanol is the fastest, since 0.003/100eV in toluene is the slowest processes, respectively. Identified low chlorinated aromatic products from PCB to non-chlorinated product of benzene give opportunity to predict the pathway of complete dechlorination of HCB to benzene.

### REFERENCES

1. Lallas, Peter L. (2001). The Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. *American Journal of International Law*, 95(3), 692-708. <https://doi.org/10.2307/2668517>
2. Xiaoxue Pan, Junyan Wei, Ruijuan Qu, Shiping Xu, Jing Chen, Ghada Al-Basher, Chenguang Li, Asam Shad, Afzal Ahmed Dar, Zunyao Wang. (2020). Alumina-mediated photocatalytic degradation of hexachlorobenzene in aqueous system: Kinetics and mechanism, *Chemosphere*, 257. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127256>
3. Xiyan Ji, Weidong Lin, Wudi Zhang, Fang Yin, Xingling Zhao, Changmei Wang, Jing Liu, Hong Yang & Shiqing Liu. (2015). A comprehensive review of the process on hexachlorobenzene degradation, *MATEC Web of Conferences*. 22. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20152204007>
4. Amel M. Garbou, Muqiong Liu, Shengli Zou, Cherie L. Yestrebky. (2019). Degradation kinetics of hexachlorobenzene over zero-valent magnesium/graphite in protic solvent system and modeling of degradation pathways using density functional theory. *Chemosphere*, 222. 195-204. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.134>
5. Mafumi Watanabe, Yukio Noma. (2010). Behavior of polychlorinated benzenes, PCDD/Fs and dioxin-like PCBs during incineration of solid waste contaminated with mg/kg levels of hexachlorobenzene, *Journal of Environmental Science and Health part A*, 45(7). 846-854. <https://doi.org/10.1080/10934521003709040/>
6. Pubchem. (2015). *Hexachlorobenzene (compound)*. Retrieved from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/8370#section=Solubility/>
7. James T. Zacharia.(2019). *Persistent Organic Pollutants*. Degradation Pathways of Persistent Organic Pollutants (POPs) in the Environment (Chapter 3).
8. Naohito Hayashi, Hiromi Choshi, Jun Liang, Eiki Kasai. (2009). Efficient sonochemical degradation of hexachlorobenzene in a model sediment, *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 31(6). 641-645. [file:///C:/Users/Lab%2010/Downloads/journal\\_31-6\\_0125-3395-31-6-641-645%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Lab%2010/Downloads/journal_31-6_0125-3395-31-6-641-645%20(2).pdf)
9. N. N. Mahamuni and Y. G. Adewuyi. (2010). Advanced Oxidation Processes (AOPs) Involving Ultrasound for Waste Water Treatment. A Review with Emphasis on Cost Estimation. *Ultrasonics Sonochemistry*. 17(6). 990-1003. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.09.005>
10. Vineet Kumar, Kshitij Singh, Maulin P. Shah. (2021). *Advanced oxidation processes for complex wastewater treatment*, Advanced Oxidation Processes for Effluent Treatment Plants (Chapter 1). 1-31. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821011-6.00001-3>

11. Burns, W.G., Sims H.E. (1981). Effect of radiation type in water radiolysis, *J. Chem. Soc., Faraday Trans. 1*, 77(11). 2803–2813. <https://doi.org/10.1039/F19817702803>
12. Guliyeva, U.A., Gurbanov, M.A., Abdullayev, E.T., Kerimov, S.E. (2017). Radiolysis of chlororganic pesticides in hexane solution. *Journal of Radiation Researches*, 4(2). 60-65. [https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:49075959](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:49075959)
13. Warren V. Sherman. (1968). Radical-Initiated Chain Dehalogenation of Alkyl Halides in Alkaline Alcoholic Solution. *The Journal of Physical Chemistry*, 72(6). 2287-2288. <https://doi.org/10.1021/j100852a093>
14. Anotai Jin, Voranisarakul J., Wantichapichat W., Chen I.M. (2007). Hexachlorobenzene Dechlorination Ability of Microbes from Canal and Estuary Sediments. *Journal of the Korean Wetlands Society*, 9(1), (107 - 114). <https://oa.mg/work/3175166718>
15. Shingo Yamada, Yuta Naito, Makoto Takada, Satoshi Nakai, Masaaki Hosomi. (2008). Photodegradation of hexachlorobenzene and theoretical prediction of its degradation pathways using quantum chemical calculation. *Chemosphere*, 70(4). 731–736. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.06.039>
16. Xiaoxue Pan, Junyan Wei, Ruijuan Qu, Shiping Xu, Jing Chen, Ghada Al-Basher, Chenguang Li, Asam Shad, Afzal Ahmed Dar, Zunyao Wang. (2020). Alumina-mediated photocatalytic degradation of hexachlorobenzene in aqueous system: Kinetics and mechanism, *Chemosphere*, 257. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127256>
17. Karimov, S., Abdullayev, E., Millet, M., & Gurbanov, M. (2024b). Radiolytic degradation of 1,2,4-trichlorobenzene (TCB) in some organic solvents by gamma rays: The kinetic properties of complete dechlorination of TCB and its pathway. *Heliyon*, 10(10), e31547. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31547>

**XÜLASƏ**  
**HEKSAXLORBENZOLUN SEÇİLMİŞ ÜZVİ HƏLLEDİCİLƏRDƏ**  
**Г-РАДИОЛИЗИНİN КІNETİK XÜSUSİYYƏTLƏRİ**  
*Karimov S. Ə., Abdullayev E. T., Qurbanov M. Ə., Qasımzadə L. X.*

**Açar sözlər:** *heksaxlorbenzol, radiasiya kimyası, nüvə enerjisi, davamlı üzvi çirkləndiricilər, ətraf mühitin təmizlənməsi*

Bu məqalədə heksaxlorbenzolun (HXB)  $^{60}\text{Co}$  izotopunun  $\gamma$ -şüaları altında etanol, aseton, heksan və toluolda tam dextlorlaşmasının kinetik xüsusiyyətləri təqdim edilmişdir. Kəmiyyət analizi üçün Qaz Xromatoqrafi – Kütlə Spektrometrindən istifadə edilmişdir. HXB-nin 100% deqradasiyasının əsasən polyar həlledici olan etanolda baş verdiyi müəyyən edilmişdir. HXB-nin radiolitik çevrilməsinin kinetik xüsusiyyətləri tədqiq edilmiş, radiasiya kimyəvi çıxışı, çevrilməsinin dərəcəsi, effektiv sürət sabitləri və HXB-nin dextlorlaşma mexanizmi kimi parametrlər müəyyən edilmişdir.

**РЕЗЮМЕ**  
**КИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА Г-РАДИОЛИЗА ГЕКСАХЛОРБЕНЗОЛА**  
**В ВЫБРАННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЯХ**  
*Керимов С. А., Абдуллаев Э. Т., Курбанов М. А., Касымзаде Л. Х.*

**Ключевые слова:** *гексахлорбензол, радиационная химия, ядерная энергия, устойчивые органические загрязнители, очистка окружающей среды*

В данной работе исследованы кинетические свойства полного деклорирования гексахлорбензола (ГХБ) в этаноле, ацетоне, гексане и толуоле под воздействием  $\gamma$ -лучей  $^{60}\text{Co}$ . Для количественного анализа использовался газовый хроматограф – масс спектрометр. 100% разложение ГХБ было достигнуто главным образом в полярном растворителе — этаноле. Были исследованы кинетические свойства деградации ГХБ. Определены такие параметры, как радиационный химический выход (G), степень деградации, эффективные константы скорости и механизм деклорирования ГХБ.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 20.06.2024 |
|                   | Son variant   | 27.06.2024 |

УДК 66.095.51; 547.284

DOI 10.54758/16801245\_2024\_24\_2\_30

## КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОЦЕССА ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ДЕГИДРОЦИКЛИЗАЦИИ ИЗОБУТИЛЕНА В ПАРА-КСИЛОЛ

<sup>1</sup>САЛАЕВА ЗАРИФА ЧЕРКЕС ГЫЗЫ<sup>2</sup>МАМЕДОВА ЭЛЬМИРА САРВАР ГЫЗЫ<sup>3</sup>СЕРЕБРЯКОВ БОРИС РОСТИСЛАВОВИЧ<sup>4</sup>ГУСЕЙНОВА АЙБЕНИЗ ЭЛЬБРУС ГЫЗЫ [ORCID](#)<sup>5</sup>МАМЕДАЛИЕВ ГЕЙДАР АЛИ ОГЛУ

Акционерное общество «Научно-исследовательский и производственный центр, Олефин»,  
Баку, Азербайджан, 1-к.х.н., ст.н.с., 2-к.х.н., ст.н.с., 3-к.х.н., 5-к.х.н., ст.н.с.

Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан, 4-ст. препод.

[olefin-merkez@mail.ru](mailto:olefin-merkez@mail.ru) ; [aybaniz.huseynova@sdu.edu.az](mailto:aybaniz.huseynova@sdu.edu.az)

**Ключевые слова:** пара-ксилол, каталитические системы, окислительная дегидроциклизация, изобутилен, конверсия, селективность.

В статье приведены результаты научно-исследовательской работы по изучению реакции – окислительной дегидроциклизации изобутилена в пара-ксилол. Изучена активность ряда синтезированных катализаторов, содержащих окислы олова, кадмия, хрома. Представлена методика синтеза каталитических систем. Исследовано влияние на показатели процесса температуры, времени контакта, состава исходной смеси и выбраны оптимальные условия процесса. Представлена предполагаемая схема протекания реакции дегидроциклизации изобутилена в пара-ксилол. Рекомендован катализатор состава  $\text{CdO} \cdot \text{SnO}_2 \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$  – который обеспечивает осуществление процесса с конверсией изобутилена 92 – 96% и выходом пара-ксилола 58-60%. Катализатор проработал 150 часов без регенерации.

### Введение

Пара-ксилол является важнейшим сырьем для производства терефталевой кислоты и диметилтерефталата, которые в свою очередь служат полупродуктами производства полиэфирных смол, волокон, пленок, конструкционных пластмасс и др.

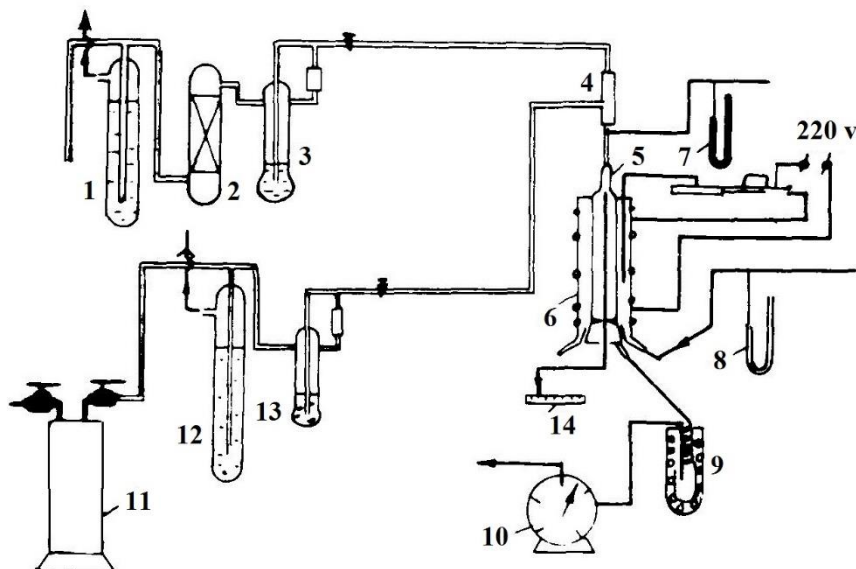
Пара-ксилол в мировой практике получают каталитическим риформингом, платформингом, а также диспропорционированием толуола с дальнейшим выделением методами кристаллизации, изомеризации дистилляции и адсорбции [1-3]. К перспективным процессам можно отнести процессы трансалкилирования фракций жидких продуктов пиролиза  $\text{C}_7$  и  $\text{C}_9\text{-C}_{10}$  на цеолитных катализаторах и др. [4-6]. Однако, возрастающая потребность промышленности нефтехимического синтеза в п-ксилоле ставит задачу по изысканию и разработке более эффективных и экономически выгодных методов получения [7-10].

### Экспериментальная часть

В статье приведены результаты исследования реакции окислительной дегидроциклизации изобутилена в пара-ксилол. Изучена активность ряда синтезированных смешанных катализаторов, содержащих окислы олова, кадмия, хрома.

При испытании каталитической активности образцов синтезированных окисных контактов и при исследовании закономерностей изучаемого процесса в качестве исходного углеводородного сырья использовался 99,2 – 99,6 % изобутилен, выделенный из контактного газа дегидрирования изобутана.

Изучение активности различных образцов катализаторов и влияния условий проведения реакции дегидроциклизации изобутилена проводилось на лабораторной установке проточного типа в кварцевом реакторе со стационарным слоем катализатора. Принципиальная схема установки представлена на рис.1.



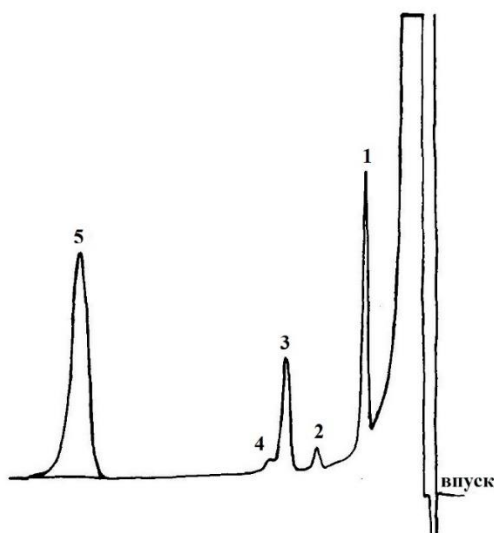
**Рис.1.** Принципиальная схема установки

1,12 – маностаты, 2 – осушители, 3,13 – реометры, 4 – смеситель, 5 – реактор, 6 – рубашка реактора, 7,8 – манометры, 9,9 а, 9б – ловушки, 10 – счетчик ГСБ-400, 11- баллон с изобутиленом, 14 – прибор КСП-4

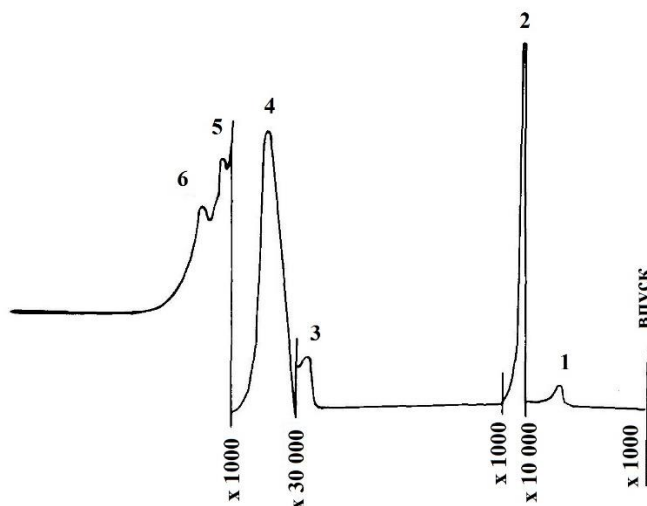
Анализ продуктов реакции осуществлялся хроматографическим методом. В продуктах реакции найдены и идентифицированы бензол и гексадиен – 1,5, а также не идентифицированы следовые количества  $X_1$  и  $X_2$  (рис.2 и 2а). Анализ показал на отсутствие даже незначительных количеств других примесей. В процессе проведения экспериментов определялась степень превращения изобутилена – конверсия, избирательность процесса – селективность, выход п-ксилола на поданный изобутилен. Основные условия процесса изучались на двойных и тройных каталитических системах постоянного состава:  $3\text{CdO} \cdot \text{SnO}_2$ ;  $\text{CdO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ ;  $\text{SnO}_2 \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CdO} \cdot \text{SnO}_2 \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ . Приготовление указанных образцов осуществлялось следующим образом: смеси растворов соответствующих солей активных компонентов и металлического олова, взятых в рассчитанных количествах, упаривались до пастообразного. Полученная масса сушилась при температуре  $100^\circ\text{C}$  в течение 3 часов и прокаливалась при  $500\text{--}600^\circ\text{C}$  в течение 6 часов. При синтезе указанных систем использовали металлическое олово, растворенное в концентрированной азотной кислоте, а также азотнокислые соли кадмия, хрома.

Опыты по подбору наиболее селективных катализаторов проводились при температуре  $550^\circ\text{C}$ , времени контакта 3 сек и молярном соотношении  $i\text{-C}_4\text{H}_8:\text{O}_2 = 1:2$ . Детально исследована каталитическая активность системы  $\text{CdO} - \text{SnO}_2$  в интервале атомных соотношений  $\text{Cd}:\text{Sn}$  от  $1:4$  до  $1:1$ , а также чистых окислов кадмия и олова (табл.1).

Как видно из результатов опытов, приведенных в таблице 1 как  $\text{CdO}$ , так и  $\text{SnO}_2$  обладают высокой активностью в реакции окислительной дегидродимеризации, но они проявляют пониженную селективность, причем селективность на  $\text{CdO}$  выше, чем на  $\text{SnO}_2$ .



**Рис.2.** Типичная хроматограмма контактного газа  
1-бензол, 2- $X_1$ ; 3- гексадиен 1,5,  
4- $X_2$ , 5-  $n$ -ксилол



**Рис. 2 а** Хроматограмма конденсата  
1- $X_1$ , 2-бензол, 3-этилбензол, 4- $n$ -ксилол,  
5-  $m$ -ксилол, 6-  $o$ -ксилол

Как видно из таблицы 1, селективность процесса и выход  $p$ -ксилола растут по мере увеличения атомного отношения кадмия к олову в системе  $CdO : SnO_2$  и проходят через максимум на контакте с атомным отношением  $Cd:Sn = 3:1$ , т.е. на катализаторе  $3CdO \cdot SnO_2$ . Отношение  $Cd : Sn = 3:1$  является как бы пороговым, ибо превышение приводит к резкому снижению выхода продукта. Активность же почти не меняется по мере увеличения атомного отношения  $Cd:Sn$ , так как конверсия изобутилена остается на уровне  $\sim 80-85\%$ .

**Таблица 1.**

| Атомное<br>соотношение<br>$Cd:Sn$ в<br>катализаторе | Состав<br>катализатора | Конверсия<br>$i-C_4H_8$ ,<br>% | Селективность, % мольн. |        |        |                    | Съем<br>г/лк час |
|-----------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------|--------|--------------------|------------------|
|                                                     |                        |                                | $p$ -ксилол             | $CO_2$ | бензол | Гексадиен<br>– 1,5 |                  |
| 1:1                                                 | $CdO \cdot SnO_2$      | 83,5                           | 15,0                    | 25,0   | 7,0    | 53,0               | 15,0             |
| 2:1                                                 | $2CdO \cdot SnO_2$     | 72,5                           | 27,4                    | 39,8   | 22,3   | 10,5               | 17,8             |
| 3:1                                                 | $3CdO \cdot SnO_2$     | 85,0                           | 42,0                    | 36,0   | 15,5   | 6,5                | 33,0             |
| 3:1                                                 | $3CdO \cdot SnO_2$     | 84,0                           | 43,0                    | 30,5   | 16,0   | 10,5               | 33,6             |
| 4:1                                                 | $4CdO \cdot SnO_2$     | 75,0                           | 30,0                    | 32,0   | 13,0   | 25,0               | 23,0             |
| 1:4                                                 | $CdO \cdot 4SnO_2$     | 82,0                           | 13,0                    | 28,0   | 34,0   | 20,0               | 14,0             |
| 1:0                                                 | $CdO$                  | 82,5                           | 18,6                    | 32,5   | 14,6   | 34,3               | 15,5             |
| 0:1                                                 | $SnO_2$                | 91,5                           | 11,7                    | 24,3   | 20,0   | 44,0               | 12,0             |

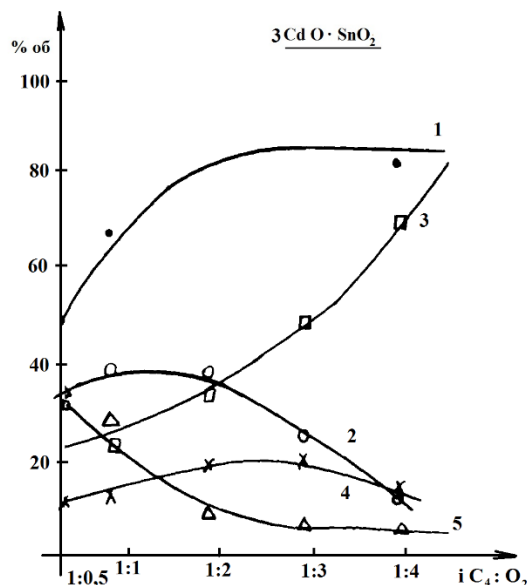
Более детальные исследования на показатели процесса проводились на выбранном катализаторе  $3CdO \cdot SnO_2$ .

Опыты проводились при атмосферном давлении, времени контакта 3 сек., температуре  $525^\circ C$ .

Молярное отношение  $O_2:i-C_4H_8$  варьировалось в пределах от 0,5 до 4,0 молей. Как видно из кривых, представленных на рис.3, селективность по  $p$ -ксилолу имеет явно выраженный экстремальный характер и максимум при соотношении  $O_2:i-C_4H_8 = 1,5:2:1$ . По-видимому, при соотношениях кислорода и изобутилена ниже стехиометрического в реакцию вступает кислород решетки катализатора, что приводит к снижению активности катализатора и необходимости его дальнейшей регенерации. Когда же поверхность насыщается кислородом, скорость реакции перестает зависеть от его концентрации в газовой

фазе. С дальнейшим увеличением молярного отношения кислорода к изобутилену возрастает скорость глубокого и деструктивного окисления как олефина, так и п-ксилола, и в связи с этим селективность реакции снижается с 55-58% до 15-20%. Поэтому, с уверенностью можно считать оптимальным молярным соотношением кислорода и изобутилена в исходной смеси для всех синтезированных каталитических систем 1,5÷2,0:1.

Время контакта в процессе варьировалось в пределах 0,1-5 сек. при постоянной загрузке катализатора путем изменения подачи реагентов. Оптимальным выбрано 3 сек.

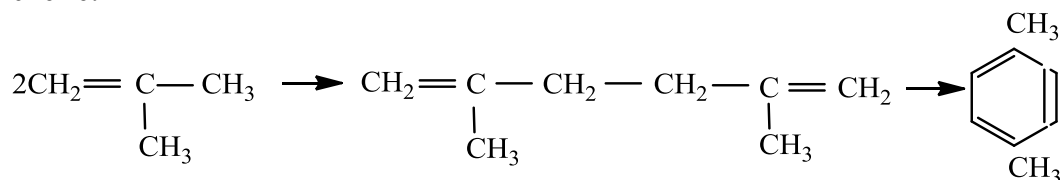


**Рис.3.** Зависимость показателей процесса от содержания кислорода в смеси  
1-Конверсия изобутилена, 2,3,4,5 – выходы на превращенный изобутилен соответственно:  
п-ксилола,  $CO_2$ , бензола и гексадиена-1,5

Изучение влияния температуры контактирования на показатели процесса проводилось в интервале 450-600<sup>0</sup>С при сохранении оптимального постоянного состава исходной смеси, т.е.  $O_2 : i-C_4H_8 = 2:1$  и времени контакта 3 сек.

Изучение характера зависимости основных показателей от температуры на испытанных образцах показало, что наивысшие показатели конверсии изобутилена и селективности по п-ксилолу были получены при температуре ~550<sup>0</sup>С. При увеличении температуры выше 550<sup>0</sup>С, селективность резко падает до 30% об, и заметно возрастает кривая глубокого окисления (рис.4).

Реакция дегидродимеризации изобутилена в пара-ксилол, очевидно протекает по следующей схеме:



Мета и орто- ксилолы в реакции не образуются, либо образуются в следовых количествах.

Время контакта варьировалось в пределах 0,1-5 сек. при постоянной загрузке катализатора путем изменения подачи реагентов. Оптимальным выбрано 3 сек.

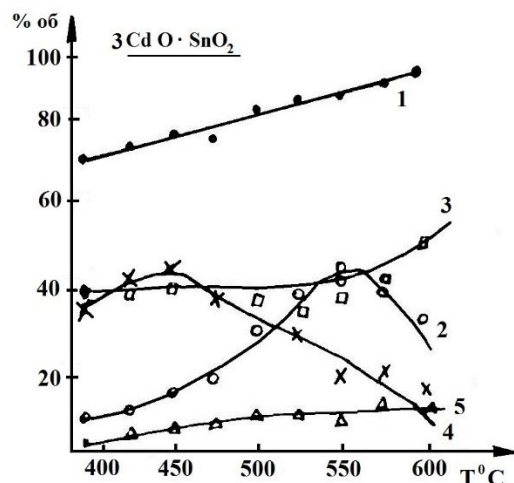


Рис.4. Зависимость показателей процесса от температуры.

1- Конверсия изобутилена, 2, 3, 4, 5 – выход на превращенный изобутилен соответственно п-ксилола,  $\text{CO}_2$ , бензола, гексадиена – 1,5

Сопоставление основных результатов (конверсия, селективность процесса окислительной дегидродимеризации), полученных на контактах состава  $3\text{CdO}\cdot\text{SnO}_2$ ,  $\text{CdO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CdO}\cdot\text{SnO}_2\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ , свидетельствует о том, что конверсия изобутилена в оптимальных условиях  $T=550-560^\circ\text{C}$ ,  $\tau=3$  сек,  $\text{O}_2:\text{i-C}_4\text{H}_8 = 2:1$  сохраняется на уровне 80% на двойных контактах  $3\text{CdO}\cdot\text{SnO}_2$  и  $\text{CdO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ , а на контакте  $\text{CdO}\cdot\text{SnO}_2\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$  - 90-92%, причем селективность реакции резко (с 45%-50% на всех двойных системах) возросла до 55-58% на контакте  $\text{CdO}\cdot\text{SnO}_2\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Следовательно, наиболее активным и селективным из всех испытанных систем является контакт состава:  $\text{CdO}\cdot\text{SnO}_2\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$

### Выводы

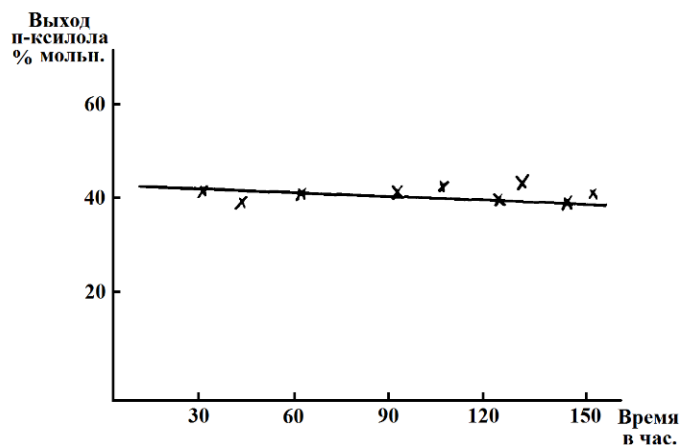


Рис.5. Зависимость выхода п-ксилола от продолжительности работы катализатора

В качестве оптимальных условий проведения процесса дегидродимеризации изобутилена можно рекомендовать следующие:

Температура –  $550 - 560^\circ\text{C}$

Время контакта – 3 сек.

Молярное соотношение  $\text{O}_2:\text{i-C}_4\text{H}_8 = 2:1$

В этих условиях выход продуктов на превращенный изобутилен составлял по п-ксилолу – 58-60%, по бензолу – 12-13%, гексадиену – 1,5-3-4%,  $\text{CO}_2$  – 17-18%

Конверсия изобутилена– 92-96%

Проверка процесса на укрупненной лабораторной установке в течение 150 час показала, что указанный контакт состава  $\text{CdO} \cdot \text{SnO}_2 \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$  работает стабильно без регенерации (рис.5).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Pat. US 6191331, (publ.2001). Zeolite catalyst precoking method for selective aromatics disproportionation process.
2. Агаева, С.Б. Повышение селективности диспропорционирования толуола и выхода ксилола оптимизацией микропористой структуры цеолитов / С.Б.Агаева, Б.А.Дадашев, Д.Б.Тагиев [и др.] // Журнал прикладной химии, –2005, Т.78, вып.11, –с.1886-1890
3. Алиев, Р.М. Исследование кинетических особенностей высокотемпературного каталитического гидродеалкилирования толуола / Р.М.Алиев, Ю.Г.Камбаров, Гришкан [и др.] // Нефтехимия, –1978, Т.18, № 2, –с.182-184
4. Салаева, З.Ч. Катализаторы и процессы превращения алкилароматических углеводородов жидких продуктов пиролиза / З.Ч.Салаева, Р.М.Мустафаева, Г.А.Мамедалиев [и др.] // Вопросы химии и химической технологии, –2013, №4, –с.20-26.
5. Пат. Азерб. Респ. i 2017 0023. (опубл. 2017). Способ получения бензола и ксилолов.
6. Пат. Азерб. Респ. i 2014 0088, (опубл. 2014). Способ получения ксилолов.
7. Пат. РФ 492115, (опубл. 2002). Катализатор для дегидрирования и дегидроциклизации парафиновых углеводородов.
8. Салаева, З.Ч., Оценка вклада модифицирующих элементов в активность цеолитных катализаторов в процессе алкилирования толуола метанолом / З.Ч.Салаева, Р.М.Мустафаева, Г.А.Мамедалиев // Журнал прикладной химии, –2019, Т.92, №1, –с.81-86. <https://doi.org/10.1134/S0044461819010110>
9. Salaeva, Z.C. Estimated contribution of modifying elements to the activity of zeolite catalysts in alkylation of toluene with methanol / Z.C.Salaeva, R.M.Mustafaeva, H.A.Mammadaliyev // RussJ.Appl Chem., –2019, V. 92, №1, –pp.99-104. <https://doi.org/10.1134/S10704272190100142>
10. Pat. US 0312482 A1, (publ. 2008) Process for para-xylene production from 2,4,4-trimethylpentene.
11. Pat. US 9,505,671 B2, (publ. 2016). Renewable Para-xylene from acetic acid.

### XÜLASƏ

#### İZOBÜTİLENİN PARA-KSİLENƏ OKSİDLƏŞDİRİCİ DEHİDROSİKLİZASIYA PROSESİ ÜÇÜN KATALİTİK SİSTEMLƏR

*Salayeva Z. Ç., Məmmədova E.S., Serebryakov B.R., Hüseynova A.E., Məmmədaliyev H.Ə.*

**Açar sözlər:** para-ksilen, katalitik sistemləri, oksidləşdirici dehidrosiklləşmə, izobutilen, çevrilmə, selektivlik.

Məqalədə izobutilenin para-ksilola oksidləşdirici dehidrosiklləşməsi reaksiyasının tədqiqi üzrə elmi-tədqiqat işlərinin nəticələri təqdim olunur. Tərkibində qalay, kadmium və xrom oksidləri olan bir sıra sintez edilmiş katalizatorların aktivliyi öyrənilmişdir. Katalitik sistemlərin sintezi üçün metodika təqdim olunur. Temperaturun, təmas müddətinin və ikin qarışığın tərkibinin prosesin parametrlərinə təsiri öyrənilmiş və prosesin optimal şəraiti seçilmişdir. İzobutilenin para-ksilola dehidrosiklləşməsinin reaksiyası üçün təklif olunan sxem təqdim olunur.  $\text{CdO} \cdot \text{SnO}_2 \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$  tərkibli katalizator tövsiyə olunur, bu zaman 92-96% izobutilenin çevrilməsi və 58-60% para-ksilolun çıxımı ilə prosesin həyata keçirilməsi təmin edilir. Katalizator regenerasiya olmadan 150 saat işlədi.

**SUMMARY**

**CATALYTIC SYSTEMS FOR THE PROCESS OF OXIDATIVE DEHYDROCYCLIZATION  
OF ISOBUTYLENE INTO PARA-XYLENE**

**Salayeva Z.Ç., Mammadova E.S., Serebryakov B.R., Zeynalov N.A., Mammadaliyev H.A.**

**Keywords:** *para-xylene, catalytic systems, oxidative hydrogenation, isobutylene, conversion, selectivity*

The paper presents the results of research work on the reaction - oxidative dehydrocyclization of isobutylene to para-xylene. The activity of a series of synthesized catalysts containing tin and cadmium, chromium oxides was studied. The synthesis technique of catalytic systems is presented. The influence of temperature, contact time, composition of the initial mixture on the process parameters was studied, and optimal process conditions were selected. The proposed scheme of the reaction of isobutylene dehydrocyclization to para-xylene is presented. A catalyst of the composition  $\text{CdO} \cdot \text{SnO}_2 \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$  was recommended - which ensures the implementation of the process with the conversion of isobutylene 92 - 96% and the yield of para-xylene 58-60%. The catalyst worked for 150 hours without regeneration.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 16.04.2024 |
|                   | Son variant   | 10.05.2024 |

## SYNTHESIS OF SOME DERIVATIVES OF TRIGLYCERIDE OF SACCHARIN-6-CARBOXYLIC ACID

<sup>1</sup>ASLANOVA ELNARA TELMAN  
<sup>2</sup>GARAYEVA AYBENİZ AKHMEDAGA  
<sup>3</sup>GEYDAROVA SEVINJ YAKUB  
<sup>4</sup>MAMEDOV BAKHTIYAR AJDAR  
<sup>5</sup>NURULLAYEVA DILBAR RUSHANA

*Institute of Polymer Materials, Sumqait, Azerbaijan,  
1-PhD, doc., 2- Research worker, 3- Engineer,  
4-corr.-member of ANAS, professor, General director of the Institute, 5- Head of department  
[ipoma@science.az](mailto:ipoma@science.az)*

**Key words:** triglyceride, saccharin-6-carboxylic acid, monomer.

*In order to synthesis new reactive monomers for obtained new heat-resistant polymers and epoxy resins the methods of synthesis triglyceride-1,2,3-tricarboxymethyl imide and triglyceride-1,2,3-trihydroxyethyl imide of saccharin-6-carboxylic acid have been studied. The interaction reactions of triglyceride of saccharin-6-carboxylic acid with monochloroacetic acid and ethylene chlorohydrin have been carried out. The yield of target products was 73,5 % and 80%, respectively. The obtained products have been characterized by elemental analysis and IR spectroscopy. It has been elucidated that the synthesized compounds are well dissolved in polar aprotic solvents.*

### Introduction

It was known that trimellite acid and its derivatives are widely used as monomers for preparation of thermostable polyimides [1-4]. However, the aromatic sulphur-containing o-sulfocarboxylic triacids and their derivatives has been studied little to present day and didn't find a wide application at synthesis of thermostable polymers. With this purpose, it was necessary to found the effective methods of the synthesis of the monomers containing sulphur and nitrogen-containing fragments in a molecule and to use them for preparation of highly thermostable polymer materials. In literature there have been published the data of synthesis of less known imides of the linear and branched structure on the basis of saccharin-5- and -6-carboxylic acid [5, 6].

In this work the methods of synthesis of new reactive monomers of the branched structure on the basis of triglyceride of saccharin-6-carboxylic acid have been developed.

The purpose of this work is the synthesis of new reactive monomers on the basis of triglyceride of saccharin-6-carboxylic acid for their further use in preparation of epoxyimide resins and thermostable polymers, and also as hardeners-plasticizers of the industrial epoxide resins.

### Experimental part

#### **Synthesis of triglyceride-1,2,3-tricarboxymethyl imide of saccharin-6-carboxylic acid.**

In three-necked round-bottomed flask, the mixture consisting of 35.95 g (0.05 mol) of triglyceride of saccharin-6-carboxylic acid, 14 g (~0.1 mol) of powdery potassium carbonate, 19 g (~0.2 mol) of monochloroacetic acid and 50 g of potassium iodide was dissolved in 260 ml of DMAA and boiled for 8 ч. On completion of the reaction, the obtained mass was cooled to room temperature, the precipitated crystals were twice washed with DMAA and filtered through Schott filter. The synthesized substance was dried at room temperature, and then in vacuum to constant mass.

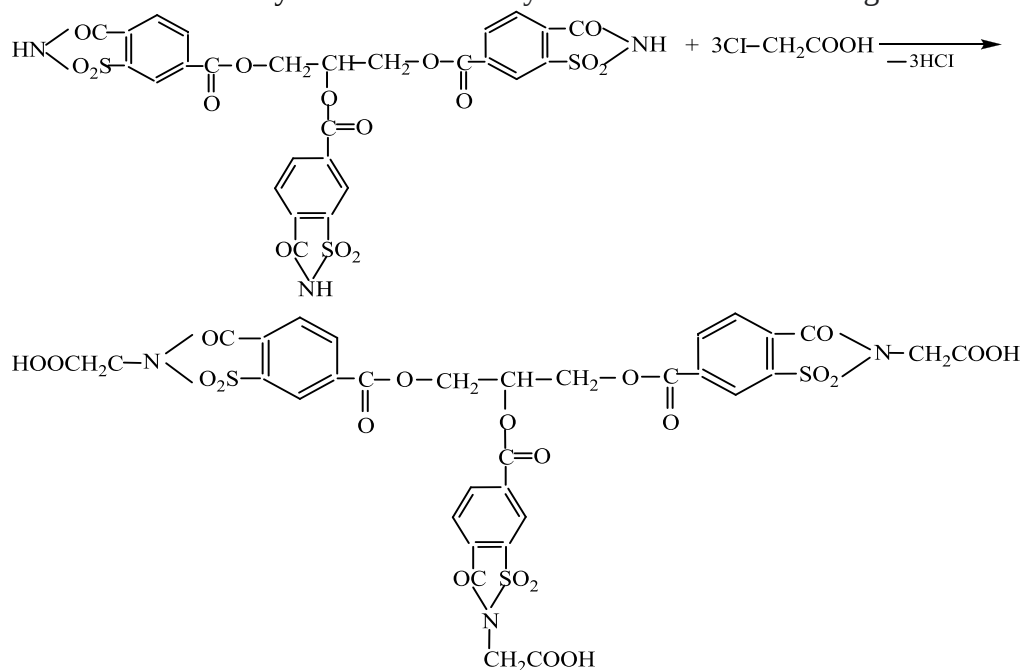
**Synthesis of triglyceride-1,2,3-trihydroxyethyl imide of saccharin-6-carboxylic acid.** In three-necked round-bottomed flask, the mixture consisting of 35.95 g (0.05 mol) of triglyceride of saccharin-6-carboxylic acid, 17 g (0,2 mol) of ethylene chlorohydrin and 10 g of potassium iodide was dissolved in 150 ml of DMAA. The mixture was heated in stirring to 125-130°C for 1 h. Then the reaction temperature was raised to 140°C and heated more 2 h. The obtained mass was acidified to neutral medium, filtered off, washed with cold distilled water, dried on air at room temperature, then in vacuum to constant mass.

The physical-chemical properties of the solvents corresponded to the literature data [7, 8].

The infrared spectra were taken on IR-Fourier spectrometers LUMOS and ALPHA (firm BRUKER Germany) in the range of wave frequencies 600-4000 cm<sup>-1</sup>, with the use of auxiliary NPVO with ZnSe crystal. Crystal diameter – 1 cm. A number of scans of test is 24, measurement duration – 30 sec. The elemental analysis has been carried out on methodology [9], based on pyrolytic combus

### Results and discussion

As a result of the interaction of triglyceride of saccharin-6-carboxylic acid [10] obtained by us previously with monochloroacetic acid, triglyceride-1,2,3-tricarboxymethyl imide (TQ-1,2,3-TCMI) of saccharin-6-carboxylic acid has been synthesized on the following scheme:



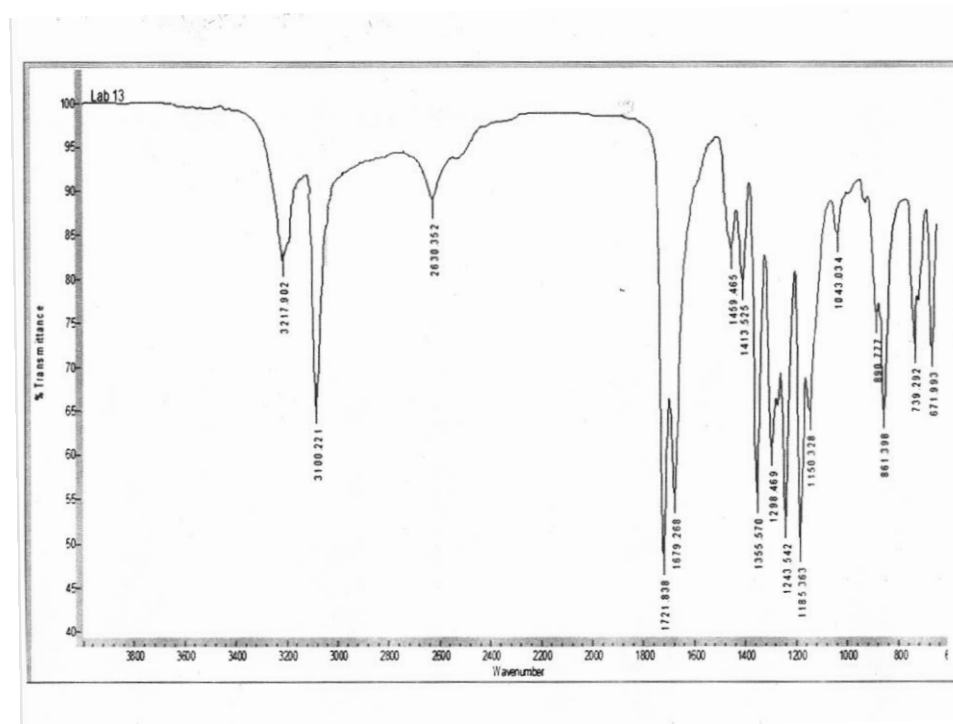
The obtained compound is a powdery product melting at 230°C and soluble only in aprotic solvents. The composition and structure of the obtained compounds have been confirmed by data of the elemental analysis (Table 1) and IR spectroscopy (Fig.1) [11-13].

**Table 1.**

*Physical constants of triglyceride-1,2,3-trihydroxymethyl imide of saccharin-6-carboxylic acid*

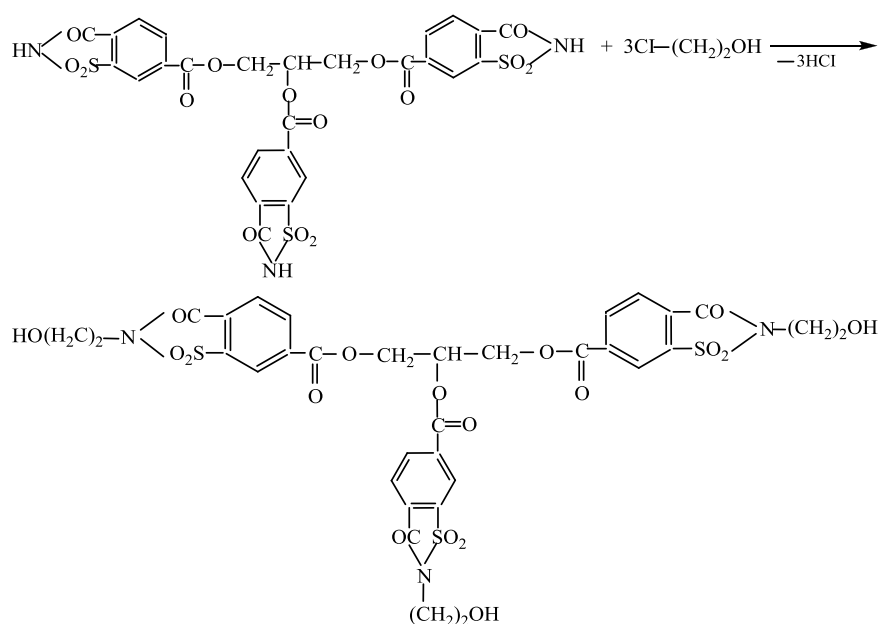
| Physical constants of compounds 1,2,3- and 1,2,3,4-derivatives of saccharin-6-carboxylic acid |                                                                               |                         |                     |                   |                       |     |             |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|-----|-------------|----------|
| Compound                                                                                      | Brutto formula                                                                | Found,%<br>Calculated,% |                     |                   |                       | M   | M.p.,<br>°C | Yield, % |
|                                                                                               |                                                                               | C                       | H                   | N                 | S                     |     |             |          |
| TQ-1,2,3-TCMI of<br>saccharin-6-<br>carboxylic acid                                           | C <sub>33</sub> H <sub>23</sub> O <sub>21</sub> N <sub>3</sub> S <sub>3</sub> | <u>43,79</u><br>44,35   | <u>2,14</u><br>2,58 | <u>4,1</u><br>4,7 | <u>10,14</u><br>10,75 | 893 | 230         | 73.5     |

In the IR spectra of the obtained compounds the following absorption bands were observed: (1355, 1413, 1459  $\text{cm}^{-1}$ ) the vibrations of C-H-bond of  $\text{CH}_2$ -groups; the valence (1150, 1185  $\text{cm}^{-1}$ ) vibrations of C-O-bond of ester; the vibrations in (1721  $\text{cm}^{-1}$ ) of  $>\text{C}=\text{O}$ -group of ester. In saccharin cycle the vibrations in the field (1679  $\text{cm}^{-1}$ ) of C=O-bond of amide, the valence (1243, 1298  $\text{cm}^{-1}$ ) vibrations of  $\text{SO}_2$ -group and valence (3217, 3100  $\text{cm}^{-1}$ ) vibrations of N-H-bond are observed; the deformation (671, 739, 861  $\text{cm}^{-1}$ ) vibrations of C-H-bond of substituted benzene ring, and the valence vibrations in the field (2630  $\text{cm}^{-1}$ ) characterize COOH-group.



**Figure 1.** IR spectrum of triglyceride-1,2,3-tricarboxymethyl imide of saccharin-6-carboxylic acid

The synthesis of triglyceride-1,2,3-trihydroxyethyl imide (TQ-1,2,3-THEI) of saccharin-6-carboxylic acid was carried out on the following scheme:



The yield of purposeful product is 80 %.

It has been elucidated that the obtained compound is a powdery product of dark-beige color, soluble only in aprotic solvents, such as DMFA, DMAA, DMSO, etc.

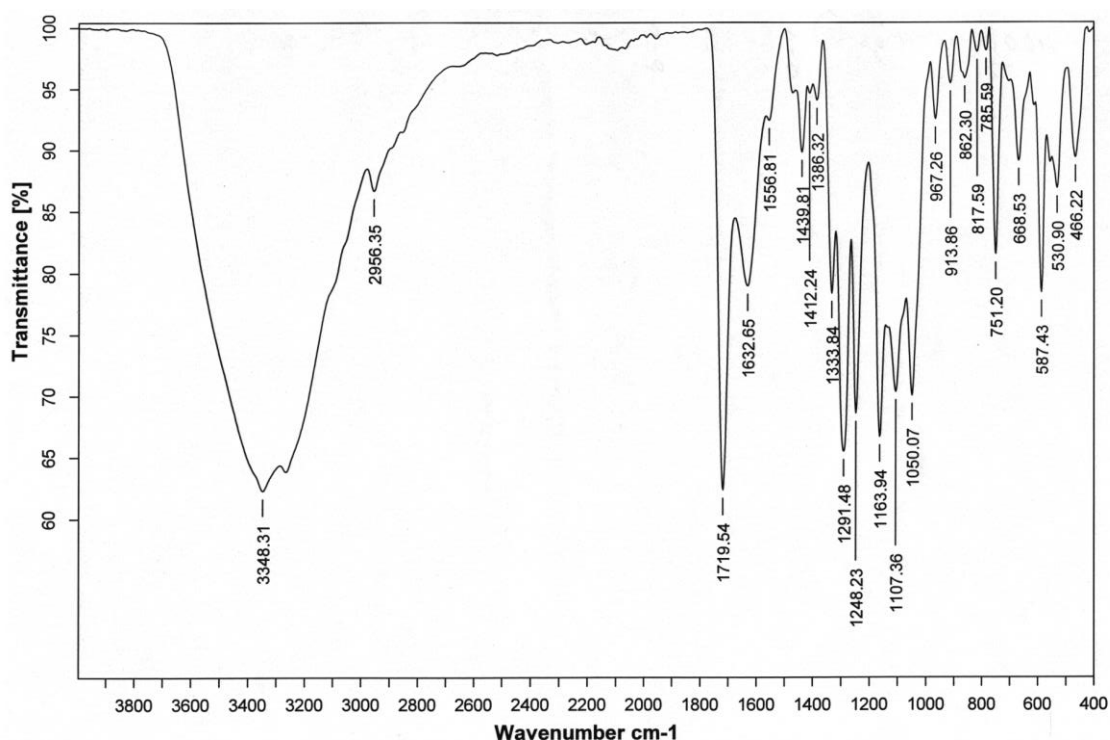
The composition and structure of the obtained compound have been confirmed by data of the elemental analysis (Table 2) and IR spectroscopy (Fig. 2).

**Table 2.**

*Physical constants of triglyceride-1,2,3-trihydroxyethyl imide of saccharin-6-carboxylic acid*

| Compound                                            | Brutto formula             | Found,%<br>Calculated,% |                     |                     |                       | M   | M.p,<br>°C | Yield,<br>% |
|-----------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----|------------|-------------|
|                                                     |                            | C                       | H                   | N                   | S                     |     |            |             |
| TQ-1,2,3-THEI of<br>saccharin-6-<br>carboxylic acid | $C_{33}H_{29}O_{18}N_3S_3$ | $\frac{46,05}{46,53}$   | $\frac{2,94}{3,41}$ | $\frac{4,18}{4,94}$ | $\frac{10,64}{11,28}$ | 851 | 215        | 80          |

In the IR spectra of the obtained compounds the following absorption bands were observed: (1333  $\text{cm}^{-1}$ ) the deformation vibrations of C-H-bond of  $\text{CH}_2$ -groups; the valence (1163  $\text{cm}^{-1}$ ) vibrations of C-O-bond of ester; the vibrations in (1719  $\text{cm}^{-1}$ ) of  $>\text{C}=\text{O}$ -group of ester, the valence (1632  $\text{cm}^{-1}$ ) vibrations of C=O-bond of amide, the valence (1291  $\text{cm}^{-1}$ ) vibrations of C-H-bond, the valence vibrations of C-O- and O-H-bonds of the alcohol in the field of 1050, 1107  $\text{cm}^{-1}$  and 3348  $\text{cm}^{-1}$ , the valence 1248  $\text{cm}^{-1}$  vibrations  $\text{SO}_2$ -group; the deformation (751  $\text{cm}^{-1}$ ) vibrations of C-H-bond and the valence (1556  $\text{cm}^{-1}$ ) vibrations of substituted benzene ring.



**Figure 2.** IR spectrum of triglyceride-1,2,3-trihydroxyethyl imide of saccharin-6-carboxylic acid.

The synthesized compounds are of interest for its use as a monomer in preparation of highly branched and network sulfoimide-containing polymers, epoxide resins and also as hardeners-plasticizers of the industrial epoxide resins.

## REFERENCES

1. Суворов, Б.В. Тримеллитовая кислота и полимеры на ее основе / Б.В.Суворов, Б.А.Жубанов, С.А.Машкевич. –Алма-ата: Наука, –1975. –288 с.
2. Новаков, И.А., Современные полиимидные материалы: синтез, свойства, применение / Новаков И.А., Орлинсон Б.С., Савельев Е.Н, [и др.] // Известия ВолГТУ. –2019. V. 235. No. 12. –с. 19–43
3. Ziyu Wu, Jianjun He, Haixia Yang, and Shiyong Yang. Progress in Aromatic Polyimide Films for Electronic Applications Preparation, Structure and Properties. Polymers. –2022. V. 14. –1269.
4. Wei-Feng Peng, Huan-Yu Lei, Xin-Xin Zhang, Lu-Hao Qiu. Fluorine Substitution Effect on the Material Properties in Transparent Aromatic Polyimides // Chin. J. Pol. Sc. (English Edition). V. 40. No. 7. –pp. 1–8
5. Aslanova, E.T. Synthesis of 2-hydroxypropyl-1,3-bis-esterosulphoimides of saccharin-5- and -6-carboxylic acid / E.T.Aslanova, T.A.Aslanov, A.A.Mammadova [et al.] //Azerb. Chem. J. –2018. No. 4. –pp. 45–47
6. Aslanova, E.T. Synthesis of some derivatives of 2-hydroxypropyl-1,3-bis-ester-sulphoimide of saccharin-6-carboxylic acid / E.T.Aslanova, M.N.Rashidova, A.A.Garayeva [et al.] // Azerb. Chem. J. –2022. No. 4. pp.78–82
7. Гордон, А. Спутник химика. Физико-химические свойства, методики, библиография (справочник) / А.Гордон, Р.Форд. –М.: Мир, –1976. –546 с.
8. Кипер, Р.А. Физико-химические свойства веществ: Справочник по химии / Р.А. Кипер. –Хабаровск. –2013. –1016 с.
9. Баландина, В.А. Анализ полимеризационных пластмасс / В.А.Баландина, Д.Б.Гурвич, М.С.Клещева [и др.] –М., –Ташкент: Химия, –1965. –512 с.
10. Aslanova E.T. Synthesis methods of saccharin-6-carboxylic acid triglyceride // Eng. Res. J. – 2020. V. 6. No. 10. –pp.1–7
11. Казицина, Л.А. Применение УФ-, ИК-, ЯМР- и масс-спектропии в органической химии / Л.А.Казицина, Н.Б. Куплетская. –М.: Изд-во МГУ, –1979. –236 с.
12. Тарасевич, Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений / Б.Н.Тарасевич, –М., –2012. –54 с.
13. Преч, Э. Определение строения органических соединений / Э.Преч, Ф.Бюльманн, К.Аффольтер. –М.: Мир, –2006. –438 с.

## XÜLASƏ

### SAXARİN-6-KARBON TURŞUSUNUN TRIQLİSERİDİNİN BƏZİ TÖRƏMƏLƏRİNİN SİNTEZİ

*Aslanova E.T., Qarayeva A.Ə., Heydərova S.Y., Məmmədov B.Ə., Nurullayeva D.R.*

**Açar sözlər:** triqliserid, saxarin-6-karbon turşusu, monomer

Yeni reaksiyaya qabil monomerlərin sintezi məqsədilə istiliyədavamlı polimerlər və epoksimid qatranları əldə etmək üçün saxarin-6-karbon turşunun triqliserid-1,2,3-trikarboksimetilimidi və triqliserid-1,2,3-trihidroksietilimidinin sintez üsulları tədqiq edilmişdir. Saxarin-6-karbon turşunun trigliseridinin monoxlorosirkə turşusu və etilenxlorohidrinlə reaksiyaları aparılmışdır. Məqsədli məhsulların məhsuldarlığı müvafiq olaraq 73,5% və 80% olmuşdur. Alınmış məhsullar elementar analizi və İQ -spektroskopiya ilə xarakterizə edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, sintez edilmiş birləşmələr polyar aproton həlledicilərdə asanlıqla həll olunur.

*Synthesis of some derivatives of triglyceride of saccharin-6-carboxylic acid*

## РЕЗЮМЕ

---

## СИНТЕЗ НЕКОТОРЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ТРИГЛИЦЕРИДА САХАРИН-6-КАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ

*Асланова Э.Т., Гараева А.А., Гейдарова С.Я., Мамедов Б.А., Нуруллаева Д.Р.*

**Ключевые слова:** триглицерид, сахарин-6-карбоновая кислота, мономер

С целью синтеза новых реакционноспособных мономеров для получения новых термостойких полимеров и эпоксиимидных смол изучены методы синтеза триглицерид-1,2,3-трикарбоксиметилимид и триглицерид-1,2,3-тригидроксиэтилимида сахарин-6-карбоновой кислоты. Проведены реакции взаимодействия триглицерида сахарин-6-карбоновой кислоты с монохлоруксусной кислотой и этиленхлоргидрином. Выходы целевых продуктов составили соответственно 73,5% и 80%. Полученные продукты охарактеризованы элементным анализом и ИК-спектроскопией. Выяснено, что синтезированные соединения хорошо растворяются в полярных апротонных растворителях.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 30.04.2024 |
|                   | Son variant   | 20.05.2024 |

UOT 541.128.3

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

## 2-METİLANİLİNİN 2-PROPANOLLA KATALİTİK ALKİLLƏŞMƏSİNİN TƏDQİQİ

<sup>1</sup> TURABXANLI SƏMAYƏ ELDƏNİZ qızı<sup>2</sup> MURADOV MAHAL MAİL oğlu [ORCID](#)<sup>3</sup> NƏSİROVA İRADƏ MƏMMƏD qızı [ORCID](#)<sup>4</sup> ABUŞOVA ZİYAFƏT BƏHRAM qızı

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Azərbaycan,  
1- doktorant, 2 – dosent, 3- baş müəllim, 4- assistent  
[irada.nasirova@sdu.edu.az](mailto:irada.nasirova@sdu.edu.az)*

**Açar sözlər:** 2-metilanilin, 2-propanol, alkilləşmə, katalizator, 2-izopropil-6-metilanilin.

Anilin və onun metil törəmələrinin alkilləşmə reaksiyası ilə müxtəlif alkilaromatik aminlərin alınması alimlərin diqqət mərkəzindədir. Bu prosesləri aparmaqda əsas məqsəd anilinin alkil törəmələrinin, o cümlədən toluidinlər, ksilidinlər, N- alkilanilinlər, etil, propilanilinlərin sintezi olmuşdur. Alkillaşdırıcı agent kimi, spirtlər, olefinlər, sadə efirlər, dimetilkarbonat, dimetilsulfat, dietilsulfat, alkilhalogenidlər və s. istifadə olunur. Alkilanilinlərin alınmasında digər üsullardan istifadə olunsada bu üsul daha səmərəli sayılır. Aşağı molekül kütləli ( $C_2$ - $C_3$ ) anilinlərdən rezinin emalında, antioksidantların sintezində, stabilizator, pestisid, boya və vitaminlər istehsalında istifadə olunur [1, 2].

Məqalədə 2-metilanilinin 2-propanolla qarşılıqlı təsirinin axar növlü reaktoru olan laboratoriya qurğusunda tədqiqinin nəticələri verilir.

Maye və qaz halında olan reaksiya məhsullarının analizi xromatoqrafik yolla Xrom-5 və Xromatek-Kristal -5000 cihazlarında həyata keçirilib. Analizdə nisbi xəta 30% olmuşdur.

2-metilanilinin 2-propanolla alkilləşmə prosesinin tədqiqində öncə katalitik sistemlərin aktivliyi öyrənilmiş və daha yüksək texnoloji göstəricilər göstərən katalizator seçilmişdir.

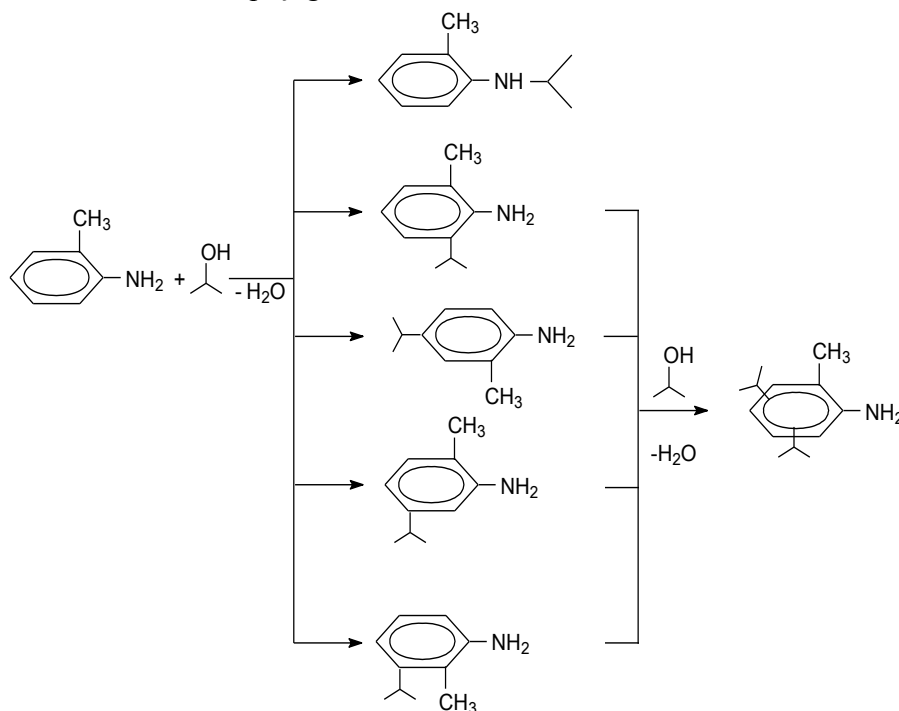
Katalitik sistemlər kimi misferrit ( $CuFe_2O_4 \cdot \gamma-Al_2O_3$ ), vanadium xrom-alüminium oksidlili sistem, H-mordenit, Pd,H-mordenit, H-pentasil və Pd-HSVM götürülmüşdür. Misferrit katalizatorunda spinel quruluşlu  $CuFe_2O_4$  –ün kütlə payı 25.0%, üçlü oksid sistemində  $V_2O_5$ ,  $Cr_2O_3$  və  $\gamma-Al_2O_3$ –ün kütlə payları müvafiq olaraq 3.0%, 7.0% və 90% olmuşdur. H-mordenitdə silisium oksidinin alüminium oksidinə olan mol nisbəti 22, H-pentasilə isə 40 təşkil etmişdir. Modifikasiya olunmuş seolitlərdə palladiumun kütlə payı 1.0%-dir.

Təcrübələr aşağıdakı reaksiya şəraitində aparılmışdır :  $T=350^{\circ}C$ ,  $v$ -xammalın həcmi, verilmə sürəti ( $v$ -)  $1.0\text{ st}^{-1}$ , 2-metilanilinin 2-propanola olan mol nisbəti ( $v$ ) = 1:3. Alınan məhsulların analizi qaz xromatoqrafi Xromatek-Kristal-5001 cihazında aparılmış və uzunluğu 100m olan kapilyar kalona doldurulmuş dimetilpolisiloksandan istifadə edilmişdir. Nisbi xəta 3.0% olmuşdur.

Cədvəldə verilmiş nəticələrin təhlilindən görünür ki, alkilləşmə prosesi mürəkkəb kimyəvi çevrilmələrlə müşayiət olunur. Alınan alkilatların çıxımı 89.0-92% olur. 2-metilanilinin birdəfəlik konversiyası 88-100% çərçivəsində dəyişir.

Alınan məhsullar içərisində N-izopropil-2metilanilinə, 2-izopropil-6-metilanilinə, 2-metil-4-izopropilanilinə 3- və 5-izopropil-6-metilanilinlərə diizopropil-6-metilanilinlərə rast gəlinir. Alkilatlarda olan digər məhsullar içərisində 2-metilanilinin bəzi etil törəmələri və qismən dimetilanilinlər də olur. Qaz halında əmələ gələn məhsullar içərisində üstünlüyü propilen təşkil edir.  $C_1$ - $C_2$  karbohidrogenlərin də cuzi alınması müşahidə olunur.

Ümumiyyətlə 2-metilanilinin izopropil spirti ilə qarşılıqlı təsiri prosesində aromatik amindəki azota görə alkilləşmənin payı çox deyil. Misferrit katalizatorundan başqa N-izopropil-2-metilanilinə görə prosesin selektivliyi 1.0-4.0% təşkil edir. Bu maddənin ferrit katalizatoru iştirakındakı selektivliyi 12.5%-dir. Göründüyü kimi 2-metilanilinin 2-propanolla qarşılıqlı təsiri prosesində əsasən nüvədəki karbon atomlarına görə əvəzetmə üstünlük təşkil edir. Prosesdə baş verən çevrilmələri sxematik olaraq aşağıdakı kimi ifadə edə bilərik.

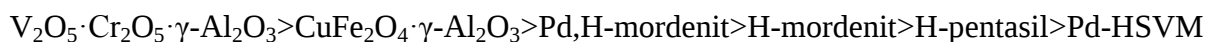


Bərk katalizatorlar iştirakı ilə 2-metilanilinin 2-propanolla alkilləşmə reaksiyasının tədqiqatının nəticələri: Reaksiya şəraiti:  $T=350^{\circ}\text{C}$ ,  $v=1.0 \text{ st}^{-1}$ ,  $v=1:3 \text{ mol/mol}$

**Cədvəl**

| Adı                                                                                    | Katalizatorun tərkibi                                        |                                                                                       |            |               |            |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------|------------|---------|
|                                                                                        | $\text{CuFe}_2\text{O}_4 \cdot \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ | $\text{V}_2\text{O}_5 \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ | H-mordenit | Pd,H-mordenit | H-pentasil | Pd-HSVM |
| Alkilatın çıxımı, %                                                                    | 91.5                                                         | 92.0                                                                                  | 90.5       | 91.0          | 89.5       | 90.5    |
| 2-metilanilinin konversiyası, %                                                        | 91.5                                                         | 100                                                                                   | 99.0       | 100           | 88.0       | 100     |
| Çevrilmiş 2-metilanilinə görə hesablanmış reaksiya məhsullarının çıxımı, %, o cümlədən |                                                              |                                                                                       |            |               |            |         |
| N-izopropil-2-metilanilin                                                              | 12.5                                                         | 4.5                                                                                   | 1.0        | -             | -          | 1.0     |
| 2-izopropil-6-metilanilin                                                              | 79.0                                                         | 82.0                                                                                  | 73.0       | 74.0          | 54.0       | 50.5    |
| 4-izopropil-2-metilanilin                                                              | 3.0                                                          | 6.0                                                                                   | 12.5       | 26.0          | 20.0       | 34.0    |
| 3-,5-izopropil-2-metilanilin                                                           | -                                                            | -                                                                                     | 5.0        | 4.0           | 15.0       | 7.0     |
| Diizopropil-6-metilanilinlər                                                           | 3.0                                                          | 4.0                                                                                   | 5.5        | 3.5           | 8.0        | 6.5     |
| Digər məhsullar                                                                        | -                                                            | 2.0                                                                                   | 2.5        | 2.0           | 2.0        | 1.5     |

Təhlildən aydın olur ki, alkilləşmə prosesində karbona görə əvəzetmənin yeri katalitik sistemin tərkibindən asılı olaraq dəyişir. Belə ki, bütün hallarda orto- vəziyyətində olan karbon atomuna görə alkilləşmə üstünlük təşkil edir. Başqa sözlə desək, çevrilmiş 2-metilanilinə görə hesablanmış 2-izopropil-6-metilanilinə görə çıxım 50,5-82.0% təşkil edir. Bu göstəriciyə görə katalizatorların azalma sırası aşağıdakı kimidir.



İkinci əsas məhsula 2-metil-4-izopropilanilin aiddir. Bu məhsula görə yüksək selektivlik (34.0%) Pd pentasilə aşağı göstərici (3.0%) isə misferrit katalizatoruna xasdır. Oksid katalizatorlarından fərqli olaraq seolitlər iştirakında 2-metilanilinin nüvədəki 3- və 5- vəziyyətlərdə olan karbon atomlarında da elektrophil əvəzetmə mövcud olur və alınan 3- və 5-izopropil-2-metilanilinlərə görə ümumi selektivlik 4-15% civarında dəyişir. Belə alkilləşmə daha çox H-pentasil (15.0%) iştirakında baş verir. Aşağı göstərici isə Pd, H-mordenitə xasdır.

2-metilanilinin diizopropil törəmələri bütün katalitik sistemlər iştirakında alınır və onların çevrilmiş 2-metilanilinə görə hesablanmış çıxımı 3.0-8.0% həddində dəyişir. Ardıcıl alkilləşmə nəticəsində o-toluidinin diizopropil törəmələrinin çıxımı H-mordenit iştirakında 8.0%, misferrit katalizatoru götürüldükdə isə 3.0% təşkil edir.

2-metilanilinin izopropil spirti ilə alkilləşmə prosesində qaz halında alınan məhsullarda propilenin olması 2-propanolun molekul daxili dehidratasiyaya məruz qaldığını göstərir. Digər tərəfdən etilenin də az miqdarda alınması spirtin demetilləşmə və dehidratasiya kimi çevrilmələrin də baş verdiyini göstərir. Bəzi katalizatorlar iştirakında ( $\text{CuFe}_2\text{O}_4 \cdot \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) izopropil spirtinin qismən molekullararası dehidratasiya reaksiyası ilə diizopropilefirinə çevrilməsi də müşahidə olunur.

Beləliklə aparılmış tədqiqatlar nəticəsində 2-metilanilin və 2-propanol əsasında 2-izopropil-6-metilanilini yüksək selektivlik və çıxımla,  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-Cr}_2\text{O}_3 \cdot \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  katalizatoru iştirakında 2-izopropil-6-metil və 4-izopropil -2-metilanilinlər qarışığını, Pd, H-mordenit və Pd-HSVM seolitləri götürüldükdə, 6-izopropil-, 4-izopropil-, 3-izopropil- və 5-izopropil-2-anilinlər qarışığını isə almaq mümkündür. 2-metilanilinlərin izopropil törəmələri geniş istifadə sahəsinə malik olduqlarına görə alınan nəticələr praktiki əhəmiyyət kəsb edir.

## ƏDƏBİYYAT

1. Haas Carl. Aniline the builder // Eur/Chem. News, –2011, 87, №3750, –pp. 17-20
2. Ворошцов Н.Н.(мл). Основы синтеза промежуточных продуктов и красителей / Н.Н.Ворошцов (мл). –М.: Химия, –2015. –840 с.

## SUMMARU

### THE STUDY OF THE CATALYTIC ALKYLATION REACTION OF 2-METHYLANILINE AND 2-PROPANOL

*Turabkhanli S.E., Muradov M.M., Nasirova I.M., Abushova Z.B.*

**Key words:** 2-methylaniline, 2-propanol, alkylation, catalyst, 2-isopropyl-6 methylaniline, selectivity

The results of the alkylation reaction of 2-methylaniline with isopropyl alcohol are carried out in the presence of various solid catalysts. The influence of catalyst composition has been established ( $\text{CuFe}_2\text{O}_4 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ; H-mordenite, Pd H- mordenite) on the yield and selectivity of the main reaction products. It was shown that alkylation occurs at the nitrogen and carbon atoms of toluidine.

**РЕЗЮМЕ**

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

***Турабханлы С.Е., Мурадов М.М., Насирова И.М., Абушова З.Б.***

***Ключевые слова:*** 2-метиланилин, 2-пропанол, алкилирование, катализатор, 2-изопропил-6-метиланилин, селективность

Приводятся результаты реакции алкилирования 2-метиланилина изопропиновым спиртом в присутствии различных твердых катализаторов. Установлено влияние состава катализаторов ( $\text{CuFe}_2\text{O}_4 \cdot \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-Cr}_2\text{O}_3 \cdot \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ; Н- морденит, Pd Н- морденит, Н-рентацил, Pd-НЦВМ), на выход и селективность основных продуктов реакции. Показано, что алкилирование происходит по азотным и углеродным атомам о-толуидина.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 20.05.2024 |
|                   | Son variant   | 03.06.2024 |

**Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>-Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> SİSTEMİNİN TƏDQIQI**<sup>1</sup>MƏMMƏDOV ŞƏRAFƏT HACIĞA oğlu [ORCID](#)<sup>2</sup>KƏRİMLİ ORUC ŞAMXAL oğlu*akad. M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-Üzvi Kimya İnstitutu,**Bakı, Azərbaycan, 1,2 - dosent*[azxim@mail.ru](mailto:azxim@mail.ru)

**Açar sözlər:** *faza diaqramı, inkonqurent, bərk məhlul, Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>, birləşmə, Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-SnSe-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, peritektika*

**Giriş**

A<sup>IV</sup>B<sup>VI</sup> qrup elementlərinin əmələ gətirdiyi A<sub>2</sub>B<sub>3</sub> tərkibli ikili və üç komponentli birləşmələri yarımkeçiricilər sənayesində geniş tətbiq olunan birləşmələrdir. Belə ki, laylı quruluşa malik A<sup>IV</sup>B<sup>VI</sup>-A<sup>V</sup>B<sup>VI</sup> (A<sup>IV</sup>-Pb, Sn; A<sup>V</sup>- Sb, Bi ; B<sup>VI</sup>- Se,Te ) kvazibinari sistemlərinin öyrənilməsi tədqiqatçıların böyük marağına səbəb olmuşdur. Yeni fotohəssas və termoelektrik, xassələrə malik materialların axtarışı mürəkkəb kristal quruluşlu sistemlərin tədqiqini həmişə aktual etmişdir [1-6].

SnSe-Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> sistemi [7,8] tədqiqatçılar tərəfindən geniş qatılıq intervalında tədqiq olunmuşdur. [7] işin müəlliflərinə görə SnSe-Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> sistemində Sn<sub>2</sub>Sb<sub>6</sub>Se<sub>11</sub> tərkibli bir yeni faza əmələ gəlir. Sn<sub>2</sub>Sb<sub>6</sub>Se<sub>11</sub> tərkibli üçlü birləşmə konqurent olub, 563°C temperaturda parçalanmadan əriyir. Sn<sub>2</sub>Sb<sub>6</sub>Se<sub>11</sub> birləşməsi SnSe-Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> sistemində ilkin komponentlərlə ikili evtektik tarazlıqdadır. Evtektika nöqtəsinin tərkibləri 54,5 və 61,5 mol % Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> olub, uyğun olaraq 553°C və 550°C temperaturda kristallaşırlar. [8] işin müəllifləri də SnSe-Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> sistemi təkrar tədqiq edərək, tərkibi Sn<sub>2</sub>Sb<sub>6</sub>Se<sub>11</sub> və Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> olan iki üçlü birləşmənin əmələ gəldiyini təsdiq etmişlər. [8] işdə tədqiqatçılar Sn<sub>2</sub>Sb<sub>6</sub>Se<sub>11</sub> birləşməsinin konqurent olub 561°C temperaturda, Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> birləşməsinin isə inkonqurent olub 563°C temperaturda əmələ gəldiyi göstərilmişdir. [9] işdə SnSe-Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> sistemində tərkibi SnSb<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> olan bir üçlü birləşmənin əmələ gəldiyi qeyd olunmuşdur. SnSb<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> birləşməsi ortorombik sinqoniyada kristallaşır və qəfəs sabiti : a=26,610 Å, b=21,066 Å və c= 4,0423 Å, fəza qrupu isə Pnnm-dir[10]. Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> birləşməsidə ortorombik sinqoniyada kristallaşır və qəfəs parametrləri : a=35,16 Å, b=25,96 Å və c= 4,14 Å olub, fəza qrupu isə Pnnm-dir. [11] işdə tədqiqatçılar yenidən SnSe-Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> sistemini tədqiq edərək bir sıra dəqiqləşmələr apararaq sistemin faza diaqramını tərtib etmişlər. Müəlliflər sistemdə Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> tərkibli üçlü birləşmənin əmələ gəldiyini qeyd etmişlər. Sn<sub>2</sub>Sb<sub>6</sub>Se<sub>11</sub> tərkibli birləşmənin isə SnSb<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> birləşməsinə izostruktur olub, hər iki birləşmənin eyni homogenlik sahəsinə düşdüyünü göstərmişlər.

SnSe-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> sisteminin tədqiqinə aid ədəbiyyat mənbələrində coxsaylı tədqiqat işləri aparılmayıb. Aparılan tədqiqat işlərində SnSe-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> sistemi haqqında tam ətraflı məlumat verilməyib[12,13]. Ən etibarlı elmi tədqiqat [13] işin müəllifləri tərəfindən verilib. Müəlliflər SnSe-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> sistemini təkrar tədqiq edərək bir sıra dəqiqləşmələr aparmışlar. SnSe-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> sistemini rentgenfaza, termiki analiz və Messabauer spektroskopiyaya metodu ilə tədqiq edərək sistemin faza diaqramını qurmuşlar. Sistemdə baş verən kimyəvi qarşılıqlı təsir nümunələrin homogenləşmə temperaturunun seçilməsindən cox aslıdır. Belə ki, nümunələrin 400°C-də homogenləşməsindən alınan nəticələrə əsasən sistemdə Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> və SnBi<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> tərkibli üçlü aralıq fazalar və 575°C-də homogenləşməsindən Sn<sub>4</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>7</sub> tərkibli aralıq fazanın əmələ gəldiyi qeyd olunmuşdur. SnSe-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> nümunələrinin 640°C temperaturda homogenləşməsindən isə alınan nəticələrə görə sistemdə

Sn<sub>4</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>7</sub>, Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> və SnBi<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> tərkibli üç aralıq fazalar əmələ gəlir [13]. Sn<sub>4</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>7</sub> birləşməsinin kristal quruluşu [14] işin müəllifləri tərəfindən öyrənilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, Sn<sub>4</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>7</sub> birləşməsi kubuk sinqoniyada kristallaşır və qəfəs parametrləri  $a = 5,9478 \text{ Å}$  bərabərdir. Fəza qrupu Fm3m dir. SnBi<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> birləşməsinin kristal quruluşu isə Ritveld analizinin köməyi ilə təyin olunmuşdur. Bu üçlü faza heksoqonal sinqoniyada kristallaşır, qəfəs sabitləri  $a = 4,1602(5)$  и  $c = 38,934(3) \text{ Å}$ -ə bərabərdir. Fəza qrupu R3m-dir [15]. Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> birləşməsinin isə kristal quruluşu tam öyrənilməmişdir.

Beləliklə, elmi tədqiqat işində mürəkkəb tərkibli funksional xassəli materialların axtarışı məqsədi ilə Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>-Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> sistemində qarşılıqlı kimyəvi təsirin öyrənilməsi və faza diaqramının qurulmasından ibarətdir.

#### **Təcrübi hissə**

Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>-Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> sistemini tədqiq etmək üçün ilk öncə binar birləşmələr (SnSe, Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>) xüsusi təmiz elementlərdən havasızlaşdırılmış kvarts ampulada 655-900 C<sup>0</sup> temperaturda birzonalı elektrik sobasında sintez olunmuşdur. Sintezi olunmuş binar birləşmələrdən üçlü selenid birləşmələri (liqaturlar) alınmışdır. Daha sonra Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>-Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> sistemi üzrə müxtəlif tərkibli 13 nümunə sintez edilmişdir (cədvəl). Nümunələrin sintezi 570-750 C<sup>0</sup> temperaturda ağzı bağlı havasızlaşdırılmış kvarts ampulada 3,5 saat ərzində aparılmışdır.

**Cədvəl.**

*Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>-Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> sistemi ərintilərinin tərkibi və DTA analizinin nəticələri*

| Tərkib, mol%-lə                                 |                                                 | Termiki effektlər, C <sup>0</sup> |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Sn <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> Se <sub>5</sub> | Sn <sub>2</sub> Bi <sub>2</sub> Se <sub>5</sub> |                                   |
| 100                                             | 0                                               | 565                               |
| 90                                              | 10                                              | 500,550,785                       |
| 80                                              | 20                                              | 500,545,700                       |
| 70                                              | 30                                              | 500,535,630                       |
| 60                                              | 40                                              | 500,530,555                       |
| 50                                              | 50                                              | 500,520                           |
| 45                                              | 55                                              | 500                               |
| 40                                              | 60                                              | 500,525                           |
| 30                                              | 70                                              | 500,565                           |
| 20                                              | 80                                              | 535,600                           |
| 10                                              | 90                                              | 610,645                           |
| 0                                               | 100                                             | 720                               |

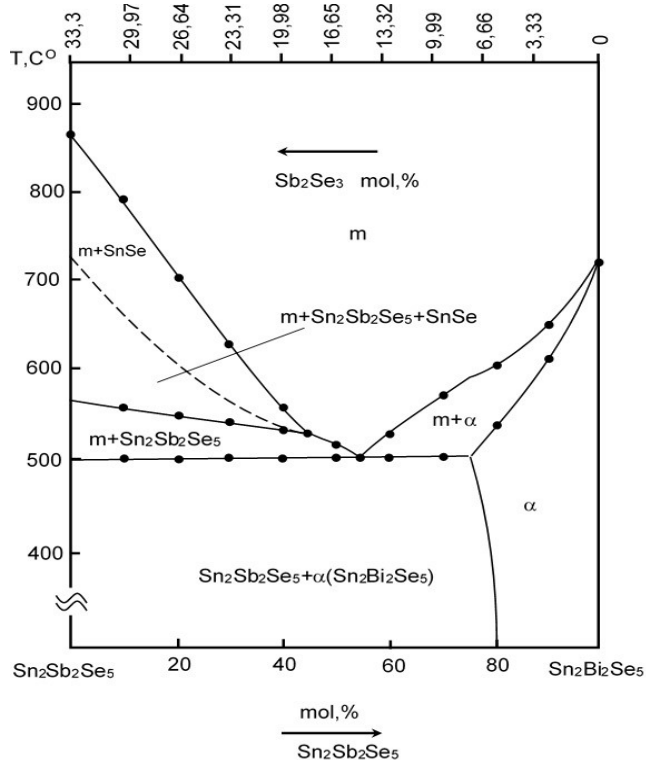
Alınmış nümunələri homogenləşdirmək məqsədilə əvvəlcə 350 C<sup>0</sup>-də daha sonra isə 460 C<sup>0</sup>-də termiki emal olunmuşdur. Homogenləşmiş nümunələr kompleks fiziki-kimyəvi analizin metodları ilə DTA RFA, MQA, mikrobərklik və sıxlığın təyini ilə geniş qatılıq intervalında tədqiq olunmuşdur. Nümunələrin DTA analizi tərkibindən asılı olaraq otaq temperaturundan ~1000 K-ə qədər, 10 K/dəq qızdırma sürətində NETZSCH 404 F1 Pegasus cihazından istifadə edərək yerinə yetirilmişdir. Temperatur dəqiqliyi  $\pm 2 \text{ K}$  idi. Toz rentgen difraksiyası (PXRD) Bruker D2 Phaser difraktometrində CuK $\alpha$ 1 – şüalanmasından ( $\lambda = 1.54056 \text{ Å}$ ) istifadə edərək tədqiq edilmişdir

#### **Nəticələrin müzakirəsi**

Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>-Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> sisteminin faza diaqramını tərtib etmək üçün 13 ərinti sintez edilmişdir. Kompleks fiziki-kimyəvi analizin metodlarından alınan nəticələrə əsasən sistemin T-x faza diaqramı qurulmuşdur. (Şəkil.1.).

Faza diaqramından aydın olur ki, sistemdə baş verən kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakterindən aslı olaraq, faza diaqramını şərti olaraq iki hissəyə bölmək olar. Sistemin birinci hissəsini 100-55 mol% və ikinci hissəsi isə 55-0 mol % Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> təşkil edir.

Sistemin 0-55 mol%  $\text{Sn}_2\text{Bi}_2\text{Se}_5$  hissəsində  $\text{Sn}_2\text{Sb}_2\text{Se}_5$  birləşməsinin inkonqruent əriməsi ilə kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri mürəkkəbdir. Belə ki, sistemin sublikvidusunda yüksək temperaturda iki fazalı ( $m+\text{SnSe}$ ), temperatur endikdə isə üç fazalı ( $m+\text{Sn}_2\text{Sb}_2\text{Se}_5+\text{SnSe}$ ) və ikifazalı ( $m+\text{Sn}_2\text{Sb}_2\text{Se}_5$ ) sahə birlikdə kristallaşır.



Şəkil.1.  $\text{Sn}_2\text{Sb}_2\text{Se}_5$ - $\text{Sn}_2\text{Bi}_2\text{Se}_5$  sisteminin faza diaqramı

$\text{Sn}_2\text{Sb}_2\text{Se}_5$ - $\text{Sn}_2\text{Bi}_2\text{Se}_5$  kəsiyinin ikinci hissəsində ( 55-100 mol.%  $\text{Sn}_2\text{Bi}_2\text{Se}_5$  ) kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakteri sadə olub,  $\text{Sn}_2\text{Bi}_2\text{Se}_5$  əsasında həllolma sahəsinin alınması ilə xarakterizə olunur. Sistemin subsolidasında isə ikifazlı sahə ( $\text{Sn}_2\text{Sb}_2\text{Se}_5+\text{Sn}_2\text{Bi}_2\text{Se}_5$ ) birlikdə kristallaşır.

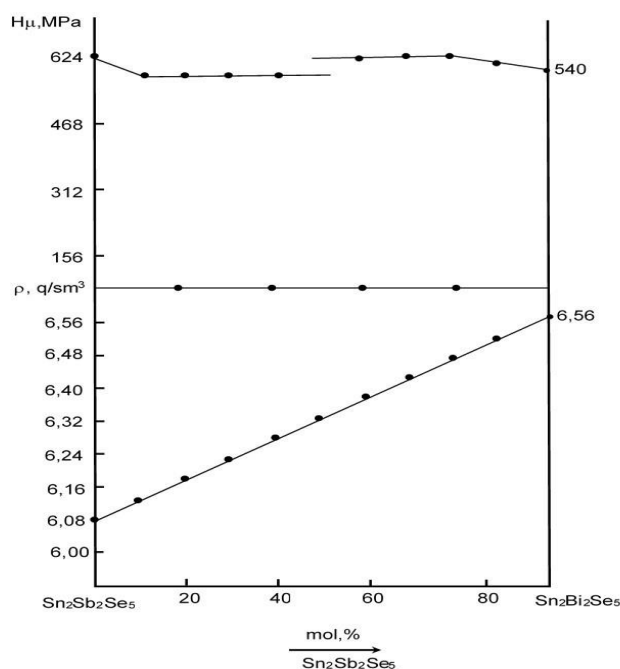
$\text{Sn}_2\text{Sb}_2\text{Se}_5$ - $\text{Sn}_2\text{Bi}_2\text{Se}_5$  sisteminin ərintilərinin rentgenfaza analizi göstərir ki, 80-100mol%  $\text{Sn}_2\text{Bi}_2\text{Se}_5$  tərkibli nümunələrin difraktoqramı  $\text{Sn}_2\text{Bi}_2\text{Se}_5$  birləşməsinin difraktoqramı ilə uyğunluq təşkil edir. Bu da  $\text{Sn}_2\text{Bi}_2\text{Se}_5$  birləşməsi əsasında bərk məhlul sahəsinin əmələ gəlməsini təsdiqləyir.

0-55 mol%  $\text{Sn}_2\text{Bi}_2\text{Se}_5$  tərkibli nümunələrin difraktoqramında iki və üç fazalı sahələrin ( $m+\text{Sn}_2\text{Sb}_2\text{Se}_5$ ,  $m+\text{Sn}_2\text{Sb}_2\text{Se}_5-\text{SnSe}$  və  $m+\text{SnSe}$ ) xətlərinə rast gəlinir.

Mikroquruluş (MQA) analizinin nəticələri rentgenfaza analizinin nəticələrinin bir daha təsdiq edir.

$\text{Sn}_2\text{Sb}_2\text{Se}_5$ - $\text{Sn}_2\text{Bi}_2\text{Se}_5$  kəsiyinin ərintilərinin mikrobərkliyi tərkibindən aslı olaraq iki sıra qiymət alır. (Şəkil.2.)

Belə ki, 0-10 mol%  $\text{Sn}_2\text{Bi}_2\text{Se}_5$  qatılıq intervalında mikrobərklik 624÷528 MPA, 80-100 mol%  $\text{Sn}_2\text{Bi}_2\text{Se}_5$  qatılıq intervalında isə 540÷635 MPA qiymət alır. Nümunələrin sıxlığı isə tərkibdən asılı olaraq ilkin komponentlərin sıxlığı arasında dəyişir. (Şəkil.2)



**Şəkil.2.** *Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>-Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> sistemi ərintilərinin mikrobərkliyinin və sıxlığının tərkibdən asılılığı*

### Nəticə

İlk dəfə olaraq Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-SnSe-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> kvaziüçlü sisteminin Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>-Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> kəsiyi fiziki-kimyəvi analizlərin kompleks metodları ilə tədqiq edilməklə kəsiyin faza diaqramı qurulmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, sistem qismən kvazibinardır. İlkin komponentlərdən Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> əsasında həll olma sahəsinə praktiki olaraq rast gəlinmir. Yalnız sistemdə Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> birləşməsi əsasında bərk məhlul sahəsi müşahidə olunmuşdur.

### ƏDƏBİYYAT

1. Kanafzidis, M.G. Low lattice thermal conductivity in Pb<sub>5</sub>Bi<sub>6</sub>Se<sub>14</sub>, Pb<sub>3</sub>Bi<sub>2</sub>S<sub>6</sub> and PbBi<sub>2</sub>S<sub>4</sub>: Promising thermoelectric materials in the cannizzarite, lillianite and galenobismuthite homologous series/ M.G.Kanafzidis, M.Ohta, D.Y.Chung [et al.] // J.of Mater.Chem.A., –2014, N. 47, –pp. 20048-20058
2. Shevelkov A.V. Chemical aspects of the design of thermoelectric materials // J.Russ.Chem.Rev. – 2008, Vol. 77, –pp. 1-19.
3. Jac, N.K. Optimized ZT of Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-GeTe compounds from first principles guided by homogeneity later/ N.K.Jac, K.Massoud, Ji-Hoons. // Physical Review. –2016, Vol. 23, N.7, 075119
4. Manish, K. Enhancement in thermoelectric properties of cubic Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> thin films by introducing structural disorder/ K.Manish, V.Athorn, S.Tosawat [et al.] // Energy Technol –2016, Vol. 4, –pp. 375-379.
5. Zemeskov, V.S. Physical-chemical and thermoelectric properties of complex bismuth and lead chalcogenides and their solid solutions / V.S.Zemeskov, L.E.Shelimova, P.P.Konstantinov [et al.] // Inorg.Mater.Appl.Res. –2012, Vol.3, –pp. 61-69.
6. Hyung-Wook, Jeon. Electrical and thermoelectric properties of undoped Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> and Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> single crystals/ Hyung-Wook Jeon, Heon-Phil Ha, Dow-Bin Hyun, [et al.] // Journal of Physics and Chemistry of Solids. –1991.Vol.52, N 4, –pp. 579-585.
7. Wobst M. Der quasibinare schnitt SnSe-Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>// Less-Common Metals. –1967, vol.14, –pp. 77-81.

8. Gospodinov, G.G. Investigation of the interaction of SnSe with Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> / G.G.Gospodinov, I.N.Odin, A.V.Novoselova // Inorganic Materials. –1975, Vol. 11, N.7, –pp. 1211-1214. (In Russian).
9. Jui-Shen, Chang. Liquidus projection and isothermal section of the Sb-Sn-Se System/ Jui-Shen Chang, Sinn-Wen Chen// Metals and Materials Society. –2017, Vol.4, –pp.89-100.
10. Smith, P.K. Structure determination of SnSb<sub>2</sub>S<sub>4</sub> and SnSb<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> by high-resolution electron microscopy / P.K.Smith, J.B.Parise // Acta Crystallogr. Sec.–1985. B, Vol. 41, –p.84.
11. Ismailova, E.N. Refinement of the phase diagram of the SnSe – Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> system / E.N.Ismailova, I.B.Bakhtiyarly, M.B.Babanly // Chemical problems. –2020. N. 2 (18). –pp.250-255.
12. Odin I.N. Investigation of interaction in SnTe-Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> and SnSe-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> systems /I.N.Odin, G.G.Gospodinov, A.V.Novoselova [et al.] // Bulletin of Moscow University. 2: Chemistry. –1974.Vol. 15, N. 3, –pp. 285-288.
13. Adouby, K. X-ray diffraction, <sup>119</sup>Sn Mössbauer and thermal study of SnSe–Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> system/ K.Adouby, M.L.Elidrissi Moubtassim, C.P.Vicente [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. –2008. Vol. 453, N. 1–2, –pp. 161-166
14. Адуби, К. Structure and temperature transformation of SnSe. Stabilization of a new cubic phase Sn<sub>4</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>7</sub>. / К.Адуби, К.Перес-Висенте, Ж.К.Жума [et al.] // Z. Кристаллогр. –1998, 213. – pp.343-349 .
15. Pérez-Vicente, C. X-ray diffraction and <sup>119</sup>Sn Mössbauer spectroscopy study of a new phase in the Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-SnSe system: SnBi<sub>4</sub>Se<sub>7</sub>. / C.Pérez-Vicente, K.Adouby, J.C.Jumas [et al.] // Inorg. Chem. –1999, Vol. 38, N.9. –pp.2131-2135.

**SUMMARY**  
**STUDY OF THE SYSTEM Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>-Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>**  
**Mammadov Sh.H., Kerimli O.Sh.**

**Key words:** phase diagram, incongruent, solid solution, Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>, compound, Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-SnSe-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, peritectics.

Using physical and chemical analysis methods (DTA, XRF, MSA, microhardness and density measurements), the Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>-Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> system was studied in a wide concentration range and a cross-sectional phase diagram was constructed. It has been established that Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>-Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> are partial quasi-binary sections of the quasi-ternary system Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-SnSe-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>. At room temperature (300K) solubility on the basis of Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> is practically not observed, and on the basis of Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>, regions of solid solutions of 20 mol.% Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> have been identified

**РЕЗЮМЕ**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>-Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>**  
**Мамедов Ш.Г., Керимли О.Ш.**

**Ключевые слова:** фазовая диаграмма, инконгруэнт, твердый раствор, Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>, соединение, Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-SnSe-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, перитектика.

С помощью методов физико-химического анализа (ДТА, РФА, МСА, измерение микротвердости и плотности) исследована система Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>-Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> в широком интервале концентрации и построена фазовая диаграмма сечения. Установлено, что Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>-Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> являются частичный квазибинарный сечения квазитройной системы Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-SnSe-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>. При комнатной температуре(300К) растворимость на основе Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> практически не наблюдается а на основе Sn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>5</sub> выявлены области твердых растворов 20 мол.%. Sn<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Se<sub>5</sub>

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 20.05.2024 |
|                   | Son variant   | 17.06.2024 |

УДК 504.5

DOI 10.54758/16801245\_2024\_24\_2\_52

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ С ЭКОТОКСИЧНЫМИ СВОЙСТВАМИ, ВЫБРАСЫВАЕМЫХ В ВОЗДУШНУЮ СРЕДУ ИЗ УЧАСТКА ЭЛЕКТРОДУГОВОГО СТАЛЕПЛАВЛЕНИЯ (УЭДСП) БАКИНСКОГО СТАЛЕЛИТЕЙНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

<sup>1</sup>ДЖАФАРОВА НАИЛЯ МАММАД ГЫЗЫ [ORCID](#)<sup>2</sup>ГАДЖИЕВА СЕВИНДЖ РАФИК ГЫЗЫ [ORCID](#)<sup>3</sup>БАЙРАМОВ ГИЯС ИЛЪЯС ОГЛУ [ORCID](#)*Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан**1 - д.ф.х., 2 - д.х.н., профессор, 3 - д.х.н.*[ceferova-nailem@mail.ru](mailto:ceferova-nailem@mail.ru)

**Ключевые слова:** печь электродугового сталеплавления, рабочая зона, аэрозольные отходы, анализатор газа

Как известно, одним из основных направлений металлургической промышленности является переплавка вышедшего из строя металлургического оборудования. Очевидно, что все области производства металлургической промышленности считаются основными источниками выбросов в окружающую среду многих экотоксикантов и вредных веществ. На основании экологических исследований нами было проведена исследовательская работа на Бакинском Сталелитейном Предприятии (БСП). Концентрации органических соединений с экотоксичными свойствами в воздухе вокруг печи УЭДСП предприятия определялись при помощи портативного детектора газа Drager Tubes LLG. Таким образом, в ходе исследований впервые установлено, что концентрации органических веществ с экотоксичными свойствами вблизи указанного источника превышают предельно допустимую концентрацию в рабочей зоне в 10 раз.

### Введение

Как известно, все области производства металлургической промышленности считаются основными источниками выброса в окружающую среду многих экотоксичных и вредных веществ. Из технической литературы известно, что при производстве 1 т черных металлов образуется около 3 т твердых отходов, 60 000 м<sup>3</sup> газообразных, в том числе аэрозольных отходов и 300 м<sup>3</sup> сточных вод. Именно поэтому размещение производственных участков черной металлургии на значительных расстояниях от густонаселенных регионов и земель сельскохозяйственного назначения в настоящее время является одним из современных требований экологической безопасности. По этой причине непрерывный экологический мониторинг с целью определения соответствия отходов ПДК на производственных участках считается одной из наиболее актуальных экологических проблем. По статистическим отчетам, на основе данных технической литературы, за год в мире используется 1 миллиард тонн условного топлива. По этой причине, в течение года этими производствами в атмосферу выбрасывается 10 миллионов тонн азотных и сернистых отходов. В результате этого возникают кислотные дожди, которые в свою очередь оказывают негативное экологическое воздействие на флору и фауну окружающей среды, а также на здоровье человека. Наряду с этим, в течение года в окружающую среду нашей планеты от металлургической промышленности выбрасывается более 400 млн тонн аэрозольных

отходов, в основном оксидов металлов, SO<sub>3</sub>, S, пыли, сажи (копоти). В последнее время во всех производственных областях металлургической промышленности, также как и в промышленных областях по всему миру для получения экологических показателей используется Международный Стандарт ISO 14001. [4,6,11]

Таким образом, на основе пояснений, приведенных в научно-технической литературе [2-11], можно отметить, что оценку проведения экологических научно-исследовательских работ по различным направлениям на предприятиях каждой металлургической отрасли, как одной из современных экологических потребностей можно считать научно обоснованной. С учетом вышеизложенного даны разъяснения о ходе, обсуждении и результатах экспериментальной части проводимых нами экологических научных исследований.

#### **Методика проведения экспериментов**

На основании кратких пояснений, приведенных во введении, и результатов проведенных экологических исследований, нами целенаправленно была осуществлена экологическая исследовательская работа. При проведении экологических исследований в указанной отрасли нами впервые было установлено, что в ходе технологических процессов на УЭДСП, наряду с неорганическими веществами в атмосферу выделяются органические вещества, обладающие экотоксичными свойствами. Концентрации в воздухе экотоксичных органических веществ, выбрасываемых в воздушную среду вокруг печи УЭДСП, которая считается основным производственным участком предприятия, определялись с помощью портативного детектора газа Drager Tubes LLG. В ходе исследований вокруг печи УЭДСП при измерениях на расстояниях начиная с 10 м были обнаружены летучие органические экотоксиканты, такие как формальдегид, фенол, толуол, нефтяные углеводороды, метанол, трихлорэтилен, ацетон, бензопирен. Экологические исследования по выявлению и распространению этих вредных веществ на указанной территории впервые были проведены нами. Была определена концентрация распространения этих вредных веществ на различных расстояниях (10-50-100-200 м) в течении 25 минут.

#### **Результаты и их обсуждение**

Таким образом, в ходе исследований установлено, что концентрации органических веществ с экотоксичными свойствами вблизи указанного источника более чем в 10 раз превышают ПДК в рабочей зоне. Однако на этом участке производится поглощение всех вредных и токсичных газообразных веществ через существующую систему вентиляции. Поэтому, в зависимости от расстояния от источника, за короткий промежуток времени концентрация этих вредных веществ в воздухе естественным образом снижается до ПДК. Определение вредных веществ в воздухе при помощи газоанализатора проводилось с учетом метеорологических условий. Таким образом, можно отметить, что на Промышленном Предприятии по Переплавке Стали, и в основном на промышленном предприятии, где мы проводили исследования, до сих пор не было сообщений о наличии во вредных веществах, выбрасываемых в окружающую среду из печи, органических веществ, обладающих экотоксичными свойствами. Поэтому по результатам нашей исследовательской работы можно считать обоснованным оценку результатов анализов как экологическую научную новизну. Как видно из приведенных выше пояснений, в соответствии с темой диссертации доказано, что проведенные нами исследования на УЭДСП на основном производстве БСЛП действительно являются одной из экологически проблемных тем. Результаты научно-исследовательской работы и показатели распространения экотоксичных органических веществ в атмосфере в зависимости от расстояния, уменьшение их концентраций, концентрации приведены в таблице 1.

**Таблица 1.**

*Результаты анализа экотоксичных органических веществ,  
выбрасываемых в атмосферу из УЭДСП*

| Название органического вещества с экотоксичными свойствами | ПДК этих веществ, мг/м <sup>3</sup> | Концентрации, установленные в УЭДСП |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| формальдегид                                               | 0.003                               | 1 ppm                               |
| фенол                                                      | 0.003                               | 6 ppm                               |
| толуол                                                     | 0.6                                 | 1 ppm                               |
| бензол                                                     | 0.1                                 | 1 ppm                               |
| стирол                                                     | 0.002                               | 1 ppm                               |
| нефтяные углеводороды                                      | 1.5                                 | 2 ppm                               |
| метанол                                                    | 0.5                                 | 5 ppm                               |
| пропанол                                                   | 0.5                                 | 5 ppm                               |
| трихлорэтилен                                              | 0.03                                | 2 ppm                               |
| ацетон                                                     | 0.35                                | 5 ppm                               |
| бенз(а)пирен                                               | 0.01                                | 2 ppm                               |

Наряду с вышеизложенным следует отметить, что определены концентрации в воздухе органических газообразных соединений с экотоксичными свойствами, формирующихся в рабочей зоне УЭДСП производства, на котором мы проводили исследования на расстояниях 50-100-150-200 м, а также в санитарно-защитных зонах. Полученные результаты приведены в таблице 2.

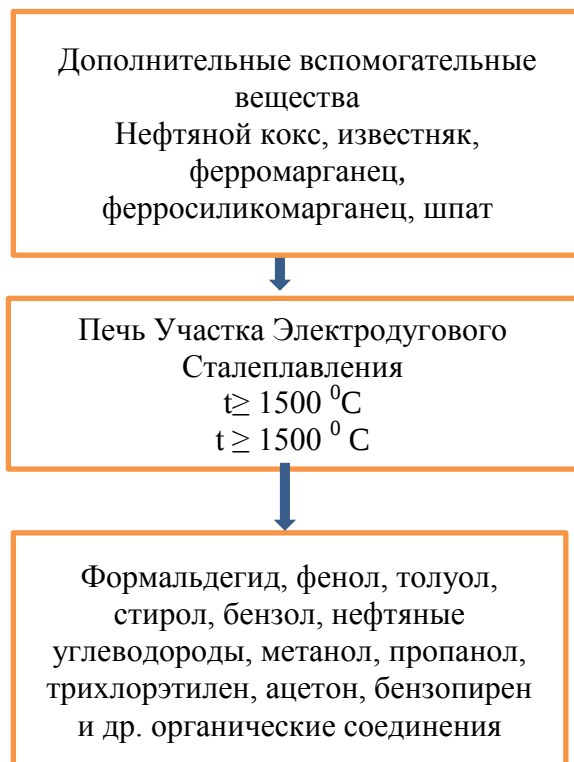
**Таблица 2.**

*Результаты анализа органических экотоксичных веществ  
в атмосферно-воздушной среде за пределами УЭДСП*

| Название органического вещества с экотоксичными свойствами | Концентрации, определенные за пределами УЭДСП |          |          |          |                           |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|
|                                                            | 50 м                                          | 100 м    | 150 м    | 200 м    | В санитарно-защитной зоне |
| формальдегид                                               | 0.5 ppm                                       | 0.21 ppm | 0.10 ppm | 0.05 ppm | 1 ppm                     |
| фенол                                                      | 3 ppm                                         | 1.5 ppm  | 0.75 ppm | 0.37 ppm | 6 ppm                     |
| толуол                                                     | 0.5 ppm                                       | 0.21 ppm | 0.1 ppm  | 0.05 ppm | 1 ppm                     |
| бензол                                                     | 0.5 ppm                                       | 0.21 ppm | 0.1 ppm  | 0.05 ppm | 1 ppm                     |
| стирол                                                     | 0.5 ppm                                       | 0.2 ppm  | 0.11 ppm | 0.05 ppm | 1 ppm                     |
| нефтяные углеводороды                                      | 1 ppm                                         | 0.51 ppm | 0.25 ppm | 0.12 ppm | 2 ppm                     |
| метанол                                                    | 2.5 ppm                                       | 1.25 ppm | 0.62 ppm | 0.31 ppm | 5 ppm                     |
| пропанол                                                   | 2.5 ppm                                       | 1.25 ppm | 0.62 ppm | 0.31 ppm | 5 ppm                     |
| трихлорэтилен                                              | 1 ppm                                         | 0.5 ppm  | 0.25 ppm | 0.12 ppm | 2 ppm                     |
| ацетон                                                     | 2.5 ppm                                       | 1.25 ppm | 0.62 ppm | 0.31 ppm | 5 ppm                     |
| бенз(а)пирен                                               | 1 ppm                                         | 0.5 ppm  | 0.25 ppm | 0.12 ppm | 2 ppm                     |

Причины образования установленных в ходе исследований органических веществ с экотоксичными свойствами, можно объяснить следующим образом. Согласно пояснениям, приведенным в технологической технической документации предприятия, для процесса переработки вышедшего из строя стального технологического оборудования, в основном в больших количествах используется нефтяной кокс, полученный из тяжелых нефтепродуктов нефтеперерабатывающей промышленности. Наряду с этим, в процессе переработки отходов в печи УЭДСП используются дополнительные вспомогательные вещества (известняк, кокс,

ферромарганец, ферросиликомарганец) и шпат (каустическая сода). Таким образом, образование экотоксичных органических веществ, указанных в таблице 1, в процессе переплавки стальных отходов при высокой температуре можно объяснить результатом химических превращений металлоорганических и органических соединений, содержащихся в коксе, а также самого кокса, по схеме, представленной ниже. Как известно из технической литературы, нефтяной кокс содержит некоторые органические, т.е. углеводородные соединения. Именно поэтому при сжигании всех органических топлив, состоящих из органических соединений, вместе с образованием основных неорганических экотоксичных веществ образуются также десятки органических соединений, обладающих экотоксичными свойствами.



**Рис.** Схема причин образования вредных веществ, образующихся в печи УЭДСП и распространяющихся в окружающей среде

Как было указано в экспериментальной части, научно-исследовательская работа по определению концентраций в воздухе органических веществ с экотоксичными свойствами, выбрасываемых в атмосферу из участка электродугового сталеплавления, который считается основным технологическим цехом БСЛП, впервые были проведены нами. До сих пор в технической литературе не содержалось информации об образовании экотоксичных органических веществ в промышленной переплавке металлов. В проведенных нами исследованиях по теме диссертации впервые были определены состав и концентрации в воздухе органических веществ с экотоксичными свойствами, выбрасываемых в атмосферу из вышеназванных производственных участков. Основываясь на результатах проведенных исследований, если принять во внимание следующие предложения, в целях предотвращения выброса в воздушную среду рабочей зоны вышеперечисленных газовых отходов в печи Участка Электродугового Сталеплавления, который считается основным производственным участком Бакинского Сталелитейного Предприятия, будет предотвращен выброс 100 тонн вредных веществ из этой производственной зоны в атмосферу. Для достижения этой цели после улавливания оксидов металлов, содержащихся в газовых отходах, мы считаем

целесообразным использовать смесь очищенных газов в качестве топлива на этом участке. В некоторых странах считается необходимым выполнение следующих условий для предотвращения загрязнения окружающей среды:

- дисциплины технологии;
- употребления современных технологий;
- внедрения технического перевооружения.

В ряде стран количество вредных отходов, выбрасываемых в атмосферу на Сталелитейных Промышленных Предприятиях с применением прогрессивных технологических процессов, за 1 год сократилось на 5,3 тонны.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Eyvazov, B.Y. Metallurji proseslərin ekologiyası / B.Y. Eyvazov. –Bakı: Təhsil, –2014. –260 s.
2. Mirbabayev M.F. Hava məkanının ekologiyası / M.F. Mirbabayev. –Bakı: AzTU, –2015. –140 s.
3. Şükürov, R.İ. Metallurgiya / R.İ.Şükürov, M.M.Rəhimov. –Bakı: Maarif, –2005. –334 s.
4. Харахулах В.С. Состояние и перспективы развития с внедрением современных технологий до 2010 года // Метал и литье Украины. 2006, № 1, с. 4–7
5. Смирнов, А.Н. Металлургические мини-заводы / А.Н.Смирнов [и др.] –Донецк: НОРД-ПРЕСС, –2005. –49 с.
6. Ефимов Г.В. и др. // Сб. тезисов докл. междунар. научн.-техн. конгр. «Процессы плавки, обработки и разлива металлов: отливки, слитки и заготовки». –Киев, –2006, –с. 14–16
7. Иванов, Б.С. Охрана труда в литейном производстве / Б.С.Иванов. –М: Машиностроение, –2010. –224 с.
8. Тимошпольский, В.И. Развитие металлургического комплекса на базе промышленного освоения железных руд // Литье и металлургия, №2 (47). –Минск, –2007.
9. Гришин, А.А. Исследование режима плавления металлизированных окатышей с целью интенсификации процесса электроплавки стали: / автореф. Дис. Канд.техн.наук / –М., –2006, –22 с.
10. Кривицкий, В.С. Экологические проблемы литейного производства и пути их развития / В.С. Кривицкий. –М.: ЗАО ЦННИМ ИНВЕСТ, –2009. –123 с.
11. Орехова А.Н. Экологические проблемы литейного производства // Экология производства, –2015, №4, –с. 23-27

### XÜLASƏ.

#### **BAKİ POLADƏRİTMƏ MÜƏSSİSƏSİNİN ELEKTRİK QÖVSLÜ POLADƏRİTMƏ SAHƏSİNDƏN (EQPƏS-DƏN) HAVA MÜHİTİNƏ ATILAN EKOTOKSİKANT XÜSUSİYYƏTLİ ÜZVİ BİRLƏŞMƏLƏRİN EKOLÖJİ TƏHLİLİ** *Cəfərova N.M., Hacıyeva S.R., Bayramov Q.İ.*

*Açar sözlər: elektrik qövslü poladəritmə sobası, işçi zona, aerosol tullantılar, qaz analizator*

Məlum olduğu kimi metallurgiya sənayesinin əsas sahələrindən biri olan sıradan çıxmış polad avadanlıqların təkrar əridilməsi sahəsidir. Aydındır ki, metallurgiya sənayesinin bütün istehsalat sahələri ətraf mühitin bir çox ekotoksikant və zərərli maddələrin ətraf mühitə atılmasının əsas mənbələri hesab edilir. Ekoloji araşdırmalara əsaslanaraq Bakı Polad Əritmə Müəssisəsində (BPƏM-də) tərəfimizdən məqsədli olaraq ekoloji tədqiqat işi aparılmışdır. Müəssisənin EQPƏS-in sobasının ətrafında ekotoksikant xüsusiyyətli üzvi birləşmələrin havada qatılıqları səyyar cihaz olan Dräger Tubes LLG qaz detektoru vasitəsi ilə müəyyən edilmişdir. Beləliklə, tədqiqat zamanı ilk dəfə olaraq müəyyən edilmişdir ki, qeyd edilən mənbənin yaxınlığında ekotoksikant xüsusiyyətli üzvi maddələr işçi zonada icazə verilən qatılıq həddi 10 dəfədən çoxdur.

**SUMMARY**

**ECOLOGICAL ANALYSIS OF ORGANIC COMPOUNDS WITH ECOTOXIC PROPERTIES  
RELEASED INTO THE ATMOSPHERE FROM THE ELECTRIC ARC STEEL MELTING AREA  
OF (EASMA) THE BAKU STEEL SMELTING ENTERPRISE**

*Jafarova N.M., Hajiyeva S.R., Bayramov G.I.*

**Keywords:** *electric arc steel melting furnace, working zone, aerosol emissions, gas analyzer*

As it is known, one of the main areas of the metallurgical industry is the area of remelting of obsolete steel equipment. It is clear that all production areas of the metallurgical industry are considered the main sources of environmental discharge of many ecotoxic and harmful substances. On the basis of ecological studies, an ecological study was carried out by us at the Baku Steel Smelting Enterprise (BSSE). Concentrations of organic compounds with ecotoxic properties in the atmosphere around the furnace of the EASMA of the enterprise were determined by means of a mobile device Drager Tubes LLG gas detector. Thus, it was determined for the first time during the research that organic substances with ecotoxic properties near the mentioned source exceed 10 times the concentration limit allowed in the working zone.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 01.03.2024 |
|                   | Son variant   | 30.04.2024 |

## ŞƏRQİ ZƏNGƏZURUN DÜZƏNLİK HİSSƏSİNİN GEOLOJİ- GEOMORFOLOJİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

<sup>1</sup>MƏRDANOV İLHAM İLDIRIM oğlu [ORCID](#)

<sup>2</sup>AĞAYEV TAHİR DÖVLƏT oğlu [ORCID](#)

<sup>3</sup>ƏHMƏDOVA NƏRMIN MİRZALI qızı [ORCID](#)

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*

*1-c.e.d, professor, 2-y.e.e.d., professor, 3-müəllim*

[ilham.mardanov@sdu.edu.az](mailto:ilham.mardanov@sdu.edu.az)

*Açar sözlər: depressiya, çöküntülər, çınqıl, mina, akkumulyasiya, eroziya, sinklinal*

**Problemin qoyuluşu.** Şərqi Zəngəzurun böyük bir hissəsini əhatə edən Arazboyu düzənlik ərazisinin relyef şəraitinin detal tədqiqi və təsərrüfat baxımından qiymətləndirilməsi işğaldan azad olunmuş ərazilərdə müxtəlif iqtisadiyyat sahələrinin inkişaf etdirilməsi imkanlarının müəyyən edilməsi üçün böyük əhəmiyyətə malikdir.

**Obyekt və metodlar.** Tədqiqat ərazisi olaraq, əsasən, Arazboyu maili düzənliklərin Cəbrayıl inzibati rayonunun hüdudları daxilində yerləşən hissəsi müəyyən edilmiş, mövcud ədəbiyyat materialları, o cümlədən, tanınmış Azərbaycan geomorfoloqlarının həyata keçirdiyi çoxillik araşdırmaların nəticələri təhlil edilmiş [1, 2], ərazidə baş verən əsas ekzogen relyefmələgətirən proseslər, onların inkişaf intensivliyi və yaratdıqları morfoskulpturlar müəyyən edilmişdir.

**Tədqiqatın nəticəsi və müzakirəsi.** Şərqi Zəngəzurun əhəmiyyətli hissəsi dağətəyi əraziləri əhatə edərək Araz çayı ilə Qarabağ silsiləsinin cənub-şərq qurtaracağı arasında yerləşir. Qərbdə ərazi Həkəri çayının dərəsinədək uzanır, şərqdə isə Mil düzünün hündür hissəsi ilə qovuşur. Arazboyu düzənlik ilə Mil düzü arasında sərhəd şərtidir və əsasən, erozion relyef formalarının istiqamətlənməsinə görə həyata keçirilir. Məsələn orasındadır ki, Mil düzünün erozion relyef formaları şimal-şərq istiqamətlənməsinə malik olduğu halda, Arazboyu düzənlikdə bu formalar cənub-şərq istiqamətlənməsinə malikdir.

Struktur baxımından Arazboyu düzənlik Aşağı Araz sinklinal əyilməsinə və onunla qovuşmuş Xocavənd sinklinorisinin cənub-şərq hissəsinə uyğun gəlir.

Düzənliyin şimal-qərb hissəsində Qarabağ silsiləsinin şaxələrinin düzənliyin səthini örtən prolüvial-delüvial törəmələrin altına kəskin surətdə batması baş verir. Düzənliyin Qarabağ silsiləsinin ətəkləri ilə sərhəddi boyunca paleogen vulkan püskürmələrinin mərkəzləri nəzərə cəpdir. Bu mərkəzlər relyefdə ayrı-ayrı gümbəzvari yüksəkliklər (Daşkəsən, Şabandağ, Qarğabazar, Qərvənd və s.), süxurların intensiv metamorfizləşməsi, onların hidrotermal dəyişikliklərinin izləri, köndələn qırıxıqlıq elementləri şəklində təzahür edir. Bu hallar Aşağı Araz əyilməsinin şimal-qərb sərhəddi olan tektonik sınmanın mövcudluğundan xəbər verir.

Bu əyilmə sahəsi bütün paleogen dövründə və miosenə məruz qalmışdır. Miosenin sonundan başlayaraq, ərazi Kiçik Qafqazın ümumi qalxma prosesinə cəlb olunmuşdur. Bu ümumi eroziya bazisinin səviyyəsinin enməsinə gətirib-çıxarmışdır. Plosenin sonunda Kiçik Qafqazın kənar zonalarının nisbi enməsi baş verir. Bu dövrdə Kiçik Qafqaz 2300-3000 m hündürlüklərə çatmışdır. Akçaqıl əsridə dənizin transqressiyası eroziya bazisinin qalxmasına gətirib-çıxarmışdır. Bu şəraitdə Aşağı Araz əyilməsi qalınlığı 500 metrə çatan qaba tərkibli qırıntılarla dolmuş və nəticədə Arazboyu düzənliyin səthi formalaşmışdır.

Abşeron əsrinin sonunda düzənlik Kiçik Qafqazın ümumi qalxma prosesinə cəlb olunur. Araz çayı cənub-şərqə istiqamətlənir və özünün müasir dərəsini formalaşdırır.

Düzənliyin səthi əsasən xırda çınqıl materialının qarışdığı gillicələrdən təşkil olunmuşdur və bu qatın qalınlığı 20 metr və daha çox təşkil edir. Çay dərələrinə doğru yaxınlaşdıqca bu çöküntülər çınqıllı allüvial-prolüvial törəmələrə keçir. İri çay dərələri boyunca onların altından səthə konqlomeratlar və Araz dəstinin çınqılları üzə çıxır. Bu dəstin çınqılları hamarlanmış olması ilə seçilir. Linzalar şəklində rast gəlinən gillicəli törəmələrdə yuxarı pliosendə şirin sularda yaşamış molyuskların qalıqlarına rast gəlinmişdir.

Həkəri çayının gətirmə konusunun çöküntülərində yuxarı pliosen üçün səciyyəvi olan canlıların qalıqları aşkar edilmişdir.

Ərazinin böyük hissəsi Kür-Araz depressiyasının hüdudları daxilində yeləşir. Araz çayının dərəsi bu depressiyaya Həkəri çayı ilə qovuşandan sonra daxil olur. Həkəri çayının mənsəbi yaxınlığında Araz çayı geniş qutuvəri dərəyə malikdir. Bu dərə en kəsiyində assimetrik quruluşa malikdir. Dərənin sağ sahili yüksək və terraslaşmışdır. Terraslar yan qolların gətirmə konuları və prolüvial zolaqları ilə mürəkkəbləşmişdir. Sol yamac alçaq və meyillidir. Bu yamac Həkəri çayının qədim gətirmə konusu üzərində formalaşır. Həmin gətirmə konusu konqlomeratlardan və çınqıllardan təşkil olunmuşdur. Çöküntülərin ətəyini çay yuyaraq açmamışdır. Həkəri ilə qovuşandan sonra çay geniş çınqıllı dərə ilə axır və bir neçə axara ayrılır və əsasən, sol sahilə sıxılır. Bu sağ sahildəki tektonik fəaliyyətlə izah olunur. Bu hissədə çay Həkəri çayının, daha aşağı hissədə isə Xudafərin qalxmasının gətirmələrini də qəbul edərək böyük akkumulyativ fəaliyyət həyata keçirir. Alçaq subasarlar xeyli dərəcədə bataqlıqlaşmışdır və bataqlıq bitkiləri ilə örtülmüşdür.

Belə məlumatlar vardır ki, Xudafərin təngisinin yaranışına qədər Araz çayı düz şimal-şərq istiqamətində Darıdağ zirvəsindən şimalda yerləşən terraslaşmış düzənlik ilə axırdı. Bu zaman o Həkəri çayının intensiv surətdə inkişaf edən gətirmə konusunun təsiri altında sağ sahilə sıxılmışdır və Xudafərin qalxmasının şimal qanadını yuyurdu. Sonradan başqa bir qol repressiv eroziya nəticəsində Xudafərin qalxmasının ox hissəsinə çatmışdır. Nəticədə, Araz çayının bu qolun yatağına daxil olması baş vermişdir. Çayın yatağının dəyişməsi özünü daha yaxşı surətdə Xələfli sinklinalı daxilində terrasların deformasiyası formasında göstərir. Ən az hündürlüklü terraslar sinklinalın mərkəzi hissəsində müşahidə edilir. Terrasların deformasiyası Xudafərin qalxmasının intensiv qalxması və ondan cənubda yerləşən Xələfli sinklinalının intensiv əyilməsi ilə bağlıdır.

Xələfli sinklinalından çıxan Araz çayı Xudafərin qalxmasının şərq periklinal qurtaracağını kəsib keçərək, Aşağı Araz sinklinal əyilməsi hüdudlarına daxil olur. Burada çayın dərəsinin eni 7-8 km-ə çatır. Aşağı Araz depressiyası daxilində çay bir sıra axarlara ayrılır və bu axarlar çınqıllı subasarda tez-tez yataqlarını dəyişərək böyük akkumulyasiya fəaliyyəti həyata keçirir.

Ərazidə yayılmış ekzogen relyefəmələgtirən proseslərdən yarıqan-qobu eroziyasını qeyd etmək olar. Kiçik Qafqazın dağətəyi ərazisində, Həkəri və Qarqarçay hövzələri arasındakı ərazidə bu proses daha intensiv xarakterə malikdir. Yarıqanlar əsasən 20 metr qalınlığı malik örtük əmələ gətirən gillicələrdə və allüvial-prolüvial çöküntülərdə inkişaf edir. Arazboyu maili düzənlikdə Araz çayına yaxın ərazidə relyefdə özünü aydın biruzə verən və çaya düşən 80-100 metr hündürlüyündə pillə sahəsində yarıqan eroziyası daha geniş yayılmışdır.

Araz, Həkəri çayı və onların bir sıra qollarının yataqlarında allüvial akkumulyasiya müşahidə edilir. Araz çayının böyük axım sürəti səbəbindən onun çınqıl materialını daha uzaq məsafəyə aparması bu çayın daha böyük axım sürəti səbəbindən baş verir.

Çınqıl allüvisinin kifayət qədər intensiv akkumulyasiyası Həkəri və Bərgüşad çaylarının aşağı axarlarında müşahidə edilir. Burada dağlardan çıxaraq düzənliyə keçən çayların yataqları az meyilliyyə malikdirlər və bu ərazinin geoloji quruluşu ilə bağlıdır. Bu hissədə çaylar Həkəri sinklinalı boyunca axır və həmin sinklinal şərqə doğru Aşağı Araz sinklinalına keçir. Bu ərazidə çayların yataqları və subasarlari orta və kiçik ölçülü çınqıl allüvisindən təşkil olunmuşdur. İri ölçülü çınqıl

materialı müasir akkumulyasiya proseslərinin nəticədir və yüksək terraslardan, Həkəri çayının qədim gətirmə konusundan yuyulub-gətirilmişdir.

Allüvial-prolüvial akkumulyasiya Qarabağ silsiləsinin cənub-şərq qurtaracağından axan və daimi axına malik olmayan Köndələnçay, Quruçay, Cəbrayılçay və s. çay dərələri üçün səciyyəvidir.

Prolüvial çöküntü toplanma məhdud xarakterə malikdir və dağətəyi ərazidə çay dərələrinin aşağı axınları üçün səciyyəvidir. Bu çöküntülər müxtəlif ölçülü olması və məsələliliyi ilə səciyyələnir. Bu çöküntülərdə dağətəyi ərazilərdə kəhrizlər formalaşır.

**Yekun.** İşğaldan azad olunmuş Şərqi Zəngəzur ərazilərinin bir hissəsi olan Arazboyu düzənliklərin relyef şəraitinin ətraflı tədqiqi üçün çöl tədqiqatlarının həyata keçirilməsinin böyük əhəmiyyəti vardır [3, 4]. Bu tədqiqatlar ərazidə baş verən ekocoğrafi proseslərin yayılma xüsusiyyətlərini, gələcəkdə aerokosmik materiallar üzərində tədqiqi üçün bu proseslərin deşifrə əlamətlərini müəyyən etməyə, təbiəti mühafizə tədbirlərinin həyata keçirilməsi üçün prioritet sahələri təyin etməyə şərait yarada bilər. Eyni zamanda, həyata keçirilən tikinti-bərpa işlərinin yerinə yetirilməsi dövründə geoloji-geomorfoloji şəraitin nəzərə alınması maliyyə itkilərinin azaldılmasına imkan verə bilər [5, 6].

Ərazinin mənimsənilməsi üçün mina və partlamamış sürsatlarla çirklənmə böyük çətinliklər törədir [7]. Minatəmizləmə fəaliyyəti bir çox hallarda düzənlik ərazidə quru çöl və dağ çöl bitkiliyinin tamlığının pozulmasına səbəb olur və gələcəkdə xüsusilə maili düzənliklərdə eroziya proseslərinin intensivləşməsinə səbəb ola bilər. Buna görə də bütün fəaliyyət növləri ilə yanaşı fitomeliorasiya tədbirlərinin də fəal surətdə aparılmasına ehtiyac vardır.

#### ƏDƏBİYYAT

1. Ширинов, Н.Ш. Геоморфологическое строение Кура-Араксинской депрессии / Н.Ш.Ширинов. –Баку: ЭЛМ, –1973. –215 с.
2. Ширинов Н.Ш. Новейшая тектоника и развитие рельефа Кура-Араксинской депрессии / Н.Ш.Ширинов. –Баку: ЭЛМ, –1975. –189 с.
3. Qurbanov E.A. Kür-Araz ovalığında antropogen səhrələşmə və torpaqların degradasiyası // – Bakı: Azərbaycan Coğrafiya Cəmiyyətinin Əsərləri, XII cild, Azərbaycan təbiətinin ekocoğrafi problemləri, –2007. –s.599-603.
4. Qəribov, Y.Ə. Kür-Araz ovalığının təbii-antropogen landşaftlarının müasir struktur-funksional xüsusiyyətlərinin təhlili / Y.Ə.Qəribov, N.S.İsmayılova, T.T.Sadıqov // Azərb. Coğrafiya Cəmiyy. Əsərləri, XVIII cild, Ümummilli lider H.Ə. Əliyevin 90 illik yubileyinə həsr edilmiş “Qlobal dəyişkənliklər şəraitində geosistemlərin təbii ehtiyat potensialının qiymətləndirilməsi və səmərəli istifadəsi” mövzusunda Beynəlxalq elmi-praktik konfransın materialları, –Bakı, –2013. –s.75-79.
5. Mərdanov, İ. İ. Cəbrayıl rayonunun landşaft planlaşdırılmasının geoloji-geomorfoloji amilləri / İ.İ.Mərdanov, T.D.Ağayev, N.M.Əhmədova // Elmi xəbərlər. Təbiət və Texniki Elmlər Bölməsi. – 2023. – Vol. 23, No. 3. – P. 53-56. – DOI 10.54758/16801245\_2023\_23\_3\_53. – EDN WWPFGH. <https://elibrary.ru/item.asp?id=54915285>
6. Mərdanov, İ. İ. Cəbrayıl rayonunun ərazisinin torpaq-bitki örtüyünün əsas xüsusiyyətləri / İ.İ.Mərdanov, T.D.Ağayev, D.Q.Süleymanlı // Elmi xəbərlər. Təbiət və Texniki Elmlər Bölməsi. – 2022. – Vol. 22, No. 3. – P. 49-53. – DOI 10.54758/16801245\_2022\_22\_3\_49. – EDN UVNVOK. <https://elibrary.ru/item.asp?id=50023137>
7. Allahverdiyev, F.N. Qarabağ bölgəsində eroziya prosesi, erməni təcavüzü nəticəsində əmələ gələn hərbi eroziya və onun fəsadları: / kənd təsər. elmlər namizədi dissertasiyası / –Bakı, 2008. –188 s.

**SUMMARY**  
**GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL FEATURES OF THE PLAIN PART**  
**OF EASTERN ZANGEZUR**

*Mardanov I.I., Agayev T.D., Ahmadova N.M.*

**Keywords:** *depression, sediments, pebbles, mine, accumulation, erosion, synclinal*

This article provides a brief geological history of the development of the Araz plains, which are an important orographic unit of Eastern Zangezur, the lithological composition of the rocks composing the surface of the plains, the most widespread morphosculptural forms are noted, exogenous relief-forming processes and their territorial differentiation are analyzed. Based on the collected material, the possibilities of using the relief for economic purposes, geomorphological features that must be taken into account during the period of construction and restoration work are shown.

**РЕЗЮМЕ**  
**ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАВНИННОЙ ЧАСТИ**  
**ВОСТОЧНОГО ЗАНГЕЗУРА**

*Марданов И.И., Агаев Т.Д., Ахмедова Н.М.*

**Ключевые слова:** *депрессия, отложения, галька, мина, аккумуляция, эрозия, синклинальный*

В этой статье даны краткая геологическая история развития Приаразских равнин, являющихся важной орографической единицей Восточного Зангезура, литологический состав пород, слагающих поверхность равнин, отмечены наиболее широко распространенные морфоскульптурные формы, проанализированы экзогенные рельефообразующие процессы, их территориальная дифференциация. На основе собранного материала показаны возможности использования рельефа в целях хозяйствования, геоморфологические особенности, которые надо учесть в период строительно-восстановительных работ.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 09.02.2024 |
|                   | Son variant   | 01.04.2024 |

## **TURİSTİK MEŞƏ LANDŞAFTLARININ ANTROPOGEN ÇİRKİLMƏSİNİN NƏTİCƏLƏRİNİN ARADAN QALDIRILMASINDA MİKOBİOTADAN İSTİFADƏ PERSPEKTİVLƏRİ**

<sup>1</sup>NAMAZOV NİZAMİ RZA oğlu [ORCID](#)  
<sup>2</sup>YUSİFOVA SƏBİNƏ NİZAMİ qızı [ORCID](#)

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan,  
1- professor, b.e.d., 2-baş müəllim, c.f.d.  
[nizami.namazov@sdu.edu.az](mailto:nizami.namazov@sdu.edu.az)*

*Açar sözlər:* landşaft, rekreasiya, antropogen, diqressiya, degradasiya, mikobiota, mikromiset, ekzoferment, mutualizm, mikoriza, simbioz

Məlumdur ki, müxtəlif təbiət landşaftlarından, o cümlədən meşə ərazilərindən müxtəlif məqsədlərlə, həmçinin turizm-rekreasiya məqsədi ilə plansız istifadə edilməsi çox vaxt onun təbii komponentlərinin strukturunun tamlığının pozulmasına, torpaq eroziyasına, fauna və florasına neqativ təsir edir. Turistlər tərəfindən ərazinin torpaqlarının hədsiz tapdanması, müxtəlif kimyəvi tərkibə malik qida qalıqlarının, neft məhsulları əsasında hazırlanmış birdəfəlik istifadə olunan plastik qabların, sellofan torbaların və digər paketləşdirici vasitələrin nizamsız şəkildə ətrafa atılması, eləcə də ərazidə park edilən texniki cəhətdən nasaz avtomobillərdən axan neft məhsulları ilə torpağın çirkləndirilməsi tezliklə burada əsil ekoloji gərginlik yaradır. Digər bir mühüm məqam isə ondan ibarətdir ki, həm intensiv tapdanma, həm də kimyəvi təsirlər nəticəsində bu cür ərazilərin torpaqlarında mövcud olan bakteriaya, göbələk və ibtidailər kimi torpaq mikrocanlıları da kütləvi şəkildə məhv olurlar. Hansı ki, onlar canlı qalıqlarının biodegradasiyasında, humusəmələgəlmədə, torpaqda fitosanitar vəziyyətin yaxşılaşmasında, bioloji aktiv maddələrin assimilyasiyasında, atmosfer azotunun fiksasiyasında və s. proseslərdə vacib rol oynayırlar. Müxtəlif ekoloji funksiyalar daşıyan torpaq mikrocanlıları torpağın potensial və effektiv münbitliyinin formalaşmasına da bilavasitə və ya dolayı yolla təsir göstərilir. Ona görə də turizm-rekreasiya zonalarından istifadə nəticəsində meydana gəlmiş ekoloji problemlərin həlli yollarını elmi şəkildə araşdırmaq və landşaftların ekosisteminin qorunub saxlanılması üçün tətbiq etmək zəruridir [1, 3, 6].

Tədqiqatımızı əsasən Altıağac Milli Parkının turizm-rekreasiya ərazisi kimi geniş istifadə olunan meşə landşaftlarında həyata keçirmişik. Buna səbəb, Milli Parkın və onun daha çox hissəsinin inzibati ərazisində yerləşdiyi Xızı rayonunun turizm üçün çox cəlbediciliyi və buralara turist axınının yüksək intensivliyi olmuşdur. Azərbaycan Respublikasının böyük şəhərlərindən olan Bakı (104 km) və Sumqayıt (74 km) ən yaxın və səfalı dağ rayonu olan Xızıya hər il həm turizm-rekreasiya, həm də təbii müalicə məqsədi ilə minlərlə ölkə vətəndaşları və xarici turistlər gəlir. Rayonun ərazisinin landşaftlarının estetik baxımından rəngarəngliliyi onu turizm baxımından çox cəlbedici edir. Odur ki, burada ekoloji turizmin hərtərəfli inkişaf etdirilməsi üçün olduqca əlverişli şərait vardır. Turistlər rayonun Giləzi qəsəbəsi ilə Tıxlı kəndləri arasında avtomobil şosesinin üzərində yerləşən və təbii süxurların yaratdığı əsrarəngiz gözəlliyə malik vulkanik dağları seyr etməklə yanaşı, əsasən Xızı, qismən isə Siyəzən rayonlarının inzibati ərazilərində yerləşən, zəngin dendroloji-floristik biomüxtəlifliyə malik Altıağac Milli Parkının meşə landşaftlarına da üz tuturlar. 11035 hektar əraziyə malik Milli Parkın 9981 hektarını, yəni 90,45 %-ini sıx və seyrək meşəliklər, acıqlıqlar və boşluqlar tutur. Bu meşələrdə Qafqaz palıdı, Qafqaz vələsi, adi göyrüş, itiyarpaqlı ağcaqayın, Şərq fıstığı kimi ağac növləri, böyürtkən, yemişan, əzgil, qaratikan, itburnu kimi kol

bitkiləri bitir. Qalan 1054 hektarını, yəni 9,26 %-ini isə meşəsiz sahələr, otlaq sahələri, qayalıqlar, yarpaqlar, çay yataqları və s. tutur.

Ümumiyyətlə, Altıağac Milli Parkının ərazisində alçaq dağlığın quru çöl və kolluqları, alçaq dağlığın meşələri, orta dağlığın meşələri, orta və qismən yüksək dağlığın fıstıq-palıd meşələri kimi 4 landşaft kompleksi mövcuddur [58]. Milli Parkın ərazisində torpaq tipləri də yüksəklik qurşaqlara görə dəyişir və şabalıdı, dağ-şabalıdı, açıq şabalıdı, dağ-çəmən, sarı-çəmən, dağ-qara, açıq-qonur, qəhvəyi, çimli, sarı, qonur-sarı və s. torpaq tipləri geniş yayılmışdır.

Buradakı “Qızılgazma”, “Mərcan”, “Cil”, “Səda”, “Şəfa” və s. kimi istirahət mərkəzləri, meşə landşaftlarında yerləşən bir sıra ictimai iaşə obyektləri, xüsusən də rayonun inzibati mərkəzindən 20 km aralıda yerləşən “Cənnət Bağı” istirahət mərkəzi və onun nəzdində 2015-ci ildən sanatoriya kimi fəaliyyət göstərən “Altay Maralı” sağlamlıq mərkəzi xüsusən turistlərin diqqətini özünə cəlb edir. Lakin ərazidə tikilməkdə olan yeni turizm obyektləri buradakı landşaftların deqradasiyasının artmasına və sıradan çıxmasına səbəb olmaqdadır. Digər tərəfdən də Altıağac Milli Parkının dövlət səviyyəsində ciddi qorunmasına baxmayaraq, həm yerli əhalinin buradakı meşə landşaftlarında mal-qara otarması, çoxlu yabanı meyvələr toplaması və s. səbəbindən, həm də bir çox turistlərin ətraf mühitin qorunmasına məsuliyyətsiz münasibətindən dolayı onun landşaftlarına antropogen təzyiqlər xeyli artmışdır. Nəticədə aramsız davam edən bu cür proseslər buradakı meşə ekosistemlərinə və digər landşaftlara öz neqativ təsirini göstərməkdədir. Bu da bir daha həm yerli əhalinin, həm də bura gələn turistlərin ekoloji maarifləndirilməsinin zəruriliyini göstərir [1, 2].

Altıağac Milli Parkının turizm-rekreasiya ərazisi kimi istifadə olunan meşə landşaftlarının fauna və flora elementləri kimi mikrobiotası da ciddi antropogen təzyiqlərə məruz qalmaqdadır. Bu isə həmin landşaftların torpaqlarında fəaliyyət göstərən bir sıra saprotrof mikromisetlər, həmçinin burada bitən bitkilərin kökləri ilə mutualistik mikoriza simbiozuna daxil olan makromisetlərin növlərinin areallarının daralmasına, növ, populyasiya və fərd saylarının kəskin azalmasına, beləliklə də bioloji reqressiyasına səbəb olur. Lakin bitki və heyvan növlərindən fərqli olaraq buradakı pozulmuş mikrobiotanın, xüsusən də mikromiset fərdlərinin özlərinin təbii-fizioloji xüsusiyyəti kimi həm özünübərpə prosesi aktiv baş verir, həm də onlar ərazinin deqradasiyaya məruz qalmış təbii komponentlərinin sürətli bərpası və sanitari vəziyyətinin düzəlməsində mühüm rol oynayırlar.

Beləliklə də *tədqiqatımızın məqsədi* Altıağac Milli Parkının təmsalında turizm-rekreasiya ərazilərinin antropogen mənşəli müxtəlif maddələrlə çirkləndirilmiş torpaqlarının analitik təhlilini aparmaqla antropogen təsirlərə məruzqalma dərəcəsini müəyyən etmək, bu tip landşaftların başlıca funksiyalarının və təbii komponentlərinin qorunub saxlanması və bərpası məqsədi ilə ərazidəki təbii mikromiset növlərini ayırmaq və onların buradakı çirkləndiriciləri neytrallaşdırmaq üçün fermentativ aktivliklərini öyrənmək, nəticədə daha aktiv produsentlərin seçilməsi və süni qidalı mühitdə kultivasiya edərək əraziyə tətbiq edilməsindən ibarət olmuşdur.

**Metodlar və eksperimental hissə.** Tədqiqatlarımız 2021- 2023- cü illərdə, əsasən yaz və yay aylarında Altıağac Milli Parkının turizm-rekreasiya üçün nəzərdə tutulmuş landşaftlarında həyata keçirilmişdir. Bu zaman çöl tədqiqatları üçün nəzərdə tutulmuş bir sıra ekoloji metod və yanaşmalardan, eləcə də mikromiset nümunələrinin toplanması, herbariləşdirilməsi və emalı prosesində məlum olan metodlardan istifadə edilmişdir. Götürülən nümunələrin mikrobioloji işlənməsi Azərbaycan Respublikası ETN-nin Mikrobiologiya İnstitutunun mikrobioloji biotexnologiya laboratoriyasında həyata keçirilmişdir. Əldə olunmuş mikromiset fərdlərinin və onların sporlarının fizioloji və morfokultural əlamətlərini müəyyən etmək, həmçinin cins və növə qədər identifikasiya etmək üçün müvafiq metodlardan, mikoloji təyinedicilərdən, Beynəlxalq Mikologiya Assosiasiyasının rəsmi saytında verilənlərdən istifadə olunmuşdur [4].

Belə ki, nümunələrin götürülməsi üçün stasionar təcrübə sahələrinin hər birindən 100 x100m ölçüyə malik ərazilər seçilmiş və hər bir ərazinin adətən 10 yerindən nümunə götürülmüşdür. Nümunələrin götürülməsi əsasən Rossi-Xolodun şüşəörtülmə metodu ilə həyata keçirilmişdir [5, 7]. Nümunələrdəki göbələklərin təmiz kulturaya çıxarılması üçün qidalı mühit kimi aqarlaşdırılmış

səməni şirəsi, nişastalı, düyülü və kartoflu aqarlar, Capek mühiti kimi standart qidalı mühitlərdən istifadə edilmişdir. Petr qablarında qeyd olunan standart qidalı mühitlərdə əkilmiş göbələklərin təmiş kulturaya çıxarılması üçün 7-10 gün müddətində, 26-28°C-də termostatda inkişaf etdirilmişdir. Yaranan koloniyaların təmiz kultura alınana qədər vizual görüntü əsasında seleksiyası həyata keçirilmiş, sonda koloniyaların morfo-kultural əlamətlərinin məcmusuna görə identifikasiyası aparılmışdır.

İdentifikasiya nəticəsində *proteolitik*, *sellülitik*, *liqnolitik*, *lipolitik* və *lesitinaza* ekzofermentlərinin aktiv produsentləri olmaqla, tədqiq olunan ərazilərin torpaqlarının kimyəvi bərpasında vacib rol oynayan 12 cinsə aid 58 mikromiset növü aşkarlanmışdır. Bunlardan *Arthrotrichum* cinsinin *A. oligospora*, *A. longa*, *A. compacta*, *Alternaria* cinsinin *Alternaria alternata*, *Aspergillus* cinsinin *A. flavus*, *A. candidus*, *A. niger*, *A. ochraceus*, *A. versicolor*, *Fusarium* cinsinin *F. moniliforme*, *F. sporotrichioides*, *F. oxysporum*, *F. solani*, *Penicillium* cinsinin *P. chrysogenum*, *P. brevicompactum*, *P. decumbens*, *P. expansum*, *P. janthinellum*, *P. lanosum*, *P. oxalicum*, *P. purpurogenum*, *P. rubrum*, *P. citrinum*, *P. cyclopium*, *P. oxalicum*, *Mucor* cinsinin *M. circinelloides*, *M. hiemalis*, *M. mucedo*, *Mucor* sp. 10 və *Mucor* sp. 30, *Acremonium* cinsinin *Acremonium charticola*, *Acremonium* sp., eləcə də *Aureobasidium pullulans*, *Botryotrichum piluliferum*, *Botrytis cinerea*, *Candida albicans*, *Trichoderma atroviride*, *Circinella circinans*, *Thysanophora penicillioides*, *Cladosporium herbarum*, *Mortierella alpina*, *Scopulariopsis brevicaulis*, *Myrothecium roridum*, *Humicola grisea*, *Paecilomyces variotii*, *Paecilomyces variotii*, *Trichothecium roseum*, *Chaetomium globosum*, *Torula herbarum*, *Rhizobus stolonifera*, *Verticillium albo-atrum* kimi növlərə daha çox rast gəlinmişdir. Onların neft mənşəli və digər kimyəvi maddələrin biodegradasiyasında, nəticədə torpaqların bu cür kimyəvi maddələrdən təmizlənməsində daha çox rola malik olmaları bizim analizlərimizin nəticəsindən məlum olmuşdur ki, bu da bir sıra mikoloji ədəbiyyat məlumatları ilə də öz təsdiqini tapmışdır. Qeyd olunan cinslərin əksər növlərinin müxtəlif tipli landşaftlarda geniş yayıldığını nəzərə alsaq onları kosmopolit növlər kimi də xarakterizə etmək olar.

**Tədqiqatın nəzəri və praktik əhəmiyyəti.** İlk dəfə olaraq Altağac Milli Parkının antropogen mənşəli müxtəlif kimyəvi maddələrlə davamlı çirkləndirilmiş, degradasiyaya və diqressiyaya uğramış turizm-rekreasiya ərazilərinin torpaqlarının mikrobioloji və kimyəvi analitik təhlili aparılmış, nəticədə bu cür torpaqların mikobiotasının formalaşmasında iştirak edən mikromisetləri say və növ tərkibinə, ekotrofik əlaqələrinə, eləcə də onların antropogen təsirə cavab reaksiyasına görə kompleks analizi həyata keçirilmişdir. Nəticədə müəyyən olunmuşdur ki, davamlı kimyəvi çirklənməyə məruz qalmış bu cür torpaqlarda rast gəlinən mikromisetlərin sayı nisbi təmiz torpaqlardakından dəfələrlə azdır. Bu da torpağın təbii kimyəvi tərkibinin pozulmasının buradakı mikromiset növlərinin say və cins tərkibinə ciddi neqativ təsirinə təzahürüdür. Tədqiq olunan ərazilərin torpaqlarında 12 cinsə aid 58 mikromiset növü aşkarlanmışdır. Onlardan *Arthrotrichum*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Acremonium*, *Fusarium*, *Rhizopus*, *Trichoderma* və *Mucor* cinslərinin növlərinə daha çox (40%-dən artıq) rast gəlinir ki, onlar da torpaqların kimyəvi cəhətdən bərpasında vacib rol oynayan proteolitik, sellülitik, liqnolitik, lipolitik və lesitinaza ekzofermentlərinin aktiv produsentləridirlər. Bu cür xüsusiyyətlərə malik mikromiset növlərinin aşkarlanması onların biotexnologiya yolla artırılmış biokütləsini çirklənmiş torpaqlara daxil etməklə təbii yolla torpaqbərpaedici vasitə kimi gələcəkdə istifadəsinə imkanlar yarada bilər.

Tədqiqat işinin nəticələri turizm-rekreasiya üçün nəzərdə tutulmuş ərazilərinin torpaqlarının landşaft xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla daha səmərəli istifadə yollarını müəyyən etməklə bərabər, təbii torpaqbərpaedici mikromisetlər haqqında olan məlumatların keyfiyyətə daha da zənginləşməsinə xidmət edəcəkdir. Həmçinin degradasiya dərəcəsi müxtəlif olan meşə torpaqlarının mikobiotası haqqında əldə edilən məlumatlar belə xarakteristikaya uyğun gələn digər torpaqların da bərpası, onların fitosanitar vəziyyətinin yaxşılaşdırılması məqsədi ilə profilaktik tədbirlərin hazırlanmasında baza məlumatları kimi də faydalı ola bilər.

## ƏDƏBİYYAT

1. Əsgərov, Ə.T. Ekoloji turizm / Ə.T.Əsgərov, B.Ə.Bilalov, Ç.G.Güləliyev. –Bakı: Adiloğlu, – 2011. –276 s.
2. Əsədov, K.S. Altiagac Milli Parkının Bitki örtüyü / K.S.Əsədov, E.P.Səfərova // AMEA Mərkəzi Nəbatat Bağının əsərləri, X cild. –Bakı: Elm, –2012, –s. 24-36.
3. Səfəraliyeva E.M., Həsənova L.S., Hüseynova L.Ə. Müxtəlif xarakterli antropogen təsirə məruz qalmış torpaqların mikoloji qiymətləndirilməsi // Biologiyanın müasir problemləri respublika elmi konfransı. –Sumqayıt, –2018. –s. 269-271.
4. Методы экспериментальной микологии / Под. ред. Билай В.И. –Киев: Наукова думка, – 1982, –500 с.
5. Мурадов, П.З. Влияние состава питательных сред на биосинтез некоторых гидролаз микромицетов, выделенных из нефтезагрязненных почв Азербайджана / П.З.Мурадов, С.Ю.Касумова, Ф.Дж.Ашрефи [др.] // Вестник Московского Государственного Областного Университета, серия «Естественные науки», –2009, –№3, –с.45-48.
6. Соколов М.С., Дородных Ю.Л., Марченко А.И. Здоровая почва как необходимое условие жизни человека // Почвоведение, 2010, № 7, с. 858-866.
7. Сорокин, Н.Д. Микробная индикация почв, загрязненных промышленными эмиссиями / Н.Д.Сорокин, Е.Н.Афанасова // Сибирский экологический журнал, –2011, № 5, –с. 689-695

## SUMMARY

### PROSPECTS FOR THE USE OF MYCOBIOTA IN ELIMINATING THE CONSEQUENCES OF ANTHROPOGENIC POLLUTION OF TOURIST FOREST LANDSCAPES

Namazov N.R., Yusifova S.N.

**Key words:** *landscape, recreation, anthropogenic, digression, degradation, mycobiota, micromycete, exoenzyme, mutualism, mycorrhiza, symbiosis.*

For the first time, a microbiological and chemical analytical analysis of the soils of the tourist and recreational zones of the Altiagach National Park, constantly contaminated with various chemicals of anthropogenic origin, was carried out. As a result, 58 species of micromycetes belonging to 12 genera were found in the soil of the studied areas. Among them, species of the genera *Arthrotrichum*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Acremonium*, *Fusarium*, *Rhizopus*, *Trichoderma* and *Mucor* are more common (more than 40%). They are active producers of proteolytic, cellulolytic, lignolytic, lipolytic and lecithinase exoenzymes, which play an important role in the chemical restoration of soils. Incorporation of micromycete species with such characteristics into contaminated soils can be used as a natural means of soil remediation.

The research results can improve the quality of information obtained about the mycobiota of forest soils of varying degrees of degradation. In order to improve the phytosanitary condition of the soil, it can be useful as basic information when drawing up preventive measures.

## РЕЗЮМЕ

### ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКОБИОТЫ В УСТРАНЕНИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТУРИСТИЧЕСКИХ ЛЕСНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Намазов Н.Р., Юсифова С.Н.

**Ключевые слова:** *ландшафт, рекреация, антропогенный, дигрессия, деградация, микобиота, микромицет, экзофермент, мутуализм, микориза, симбиоз.*

Впервые проведен микробиологический и химико-аналитический анализ почв туристско-рекреационных зон Национального парка Алтиагач, постоянно загрязненных различными химическими веществами антропогенного происхождения. В результате исследований в почве изученных территорий обнаружено 58 видов микромицетов, принадлежащих к 12 родам. Среди них чаще встречаются виды родов *Arthrotrichum*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Acremonium*, *Fusarium*, *Rhizopus*, *Trichoderma* и *Mucor* (более 40%). Они являются активными продуцентами протеолитических, целлюлозолитических, лигнолитических, липолитических и лецитиназных экзоферментов, играющих важную роль в химическом восстановлении почв. Включение видов микромицетов с такими

характеристиками в загрязненные почвы может быть использовано в качестве естественного средства реабилитации почв.

Результаты исследований могут повысить качество получаемой информации о микобиоте лесных почв различной степени деградации. В целях улучшения фитосанитарного состояния почвы может быть полезна как основная информация при составлении профилактических мероприятий.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 14.05.2024 |
|                   | Son variant   | 24.06.2024 |

## KİMYƏVİ MADDƏLƏRİN QONADOTROP VƏ KONSEROGEN TƏSİRİ

XƏLİLOV TAHİR ABUZƏR oğlu [ORCID](#)  
QƏDİMOV VALEH ƏLİ oğlu [ORCID](#)  
ƏLƏKBƏRLİ GÜLNARƏ YAŞAR qızı [ORCID](#)

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan 1,3 – baş müəllim, 2 - dosent  
[x.tahir@mail.ru](mailto:x.tahir@mail.ru)*

**Açar sözlər:** “uzaq effekt”, qonadotrop təsir, konserogen təsir, PAK-lar, hidrazin törəmələri, hepatotrop zəhər.

Məqalədə sənayedə olan zəhərli kimyəvi maddələrin orqanizmə təsirinin uzaq təzahür formaları kimi onların qonadotrop – cinsi fəaliyyətə və konserogen-bədxassəli şişlərin yaranmasına təsirindən bəhs edilir. Qeyd edilir ki, bəzi kimyəvi maddələrin təsirindən kişi və qadın sonsuzluğu yaranır ki, bu da həmin maddələrin cinsi orqanlara mənfi təsiri ilə əlaqədardır. Məqalədə eyni zamanda bəzi kimyəvi maddələrin təsirindən orqanizmdə bəd xassəli şişlərin yaranması qeyd olunur. Belə ki, konserogen effektdə malik olan kimyəvi maddələr birbaşa belə təsirə malik olmurlar. Onlar orqanizmdə mütləq müəyyən ferment elementləri ilə əlaqəyə girərək quruluş dəyişikliklərinə məruz qaldıqdan sonra konserogen effektdə malik olurlar. Bir sıra sənaye zəhərlərinin orqanizmə təsiri ümumi zəhərliklik əlamətlərinin zəif və spesifik təsir əlamətlərinin güclü təzahürü ilə xarakterizə olunur. Belə spesifik təsir əlamətləri zəhərin təsir etdiyi müddətdə yox, onun təsiri qurtardıqdan sonra, hətta təsir anından illər keçdikdən sonra təzahür olunur. Cəmiyyət üçün belə zəhərin təsirinin uzaq əlamətlərinin sonrakı nəsillərdə təzahür etməsi daha çox təhlükəlidir. Məlumdur ki, ictimai-sosial həyatı xarakterizə edən kəmiyyət göstəricilərindən biri insan ömrünün orta davamiyyətidir. Ömrün orta davamiyyəti əsas etibarilə uşaq ölümündən, müxtəlif qəzalar nəticəsində olan ölüm hallarından və qoca yaşlarda olan ölüm hallarının sayından asılı olur. Qoca yaşlarda ölüm səbəblərinin 50%-ni ürək-damar xəstəlikləri və 20%-ni bəd xassəli şişlər təşkil edir. Son zamanlar yaşlı və qoca insanlarda bu xəstəliklərin xüsusi çəkisi ölüm səbəblərinin tərkibində artmağa başlamışdır. Bir sıra digər səbəblərlə yanaşı havada olan kimyəvi zəhərlərin mikroqarışıqlarının rolunu bu artımın səbəbləri arasında qeyd etməmək olmaz. Çoxsaylı eksperimental və natur tədqiqatlar göstərmişdir ki, karbon sulfid zəhərli təsirini göstərənə kimi ürək-damar sistemində çox dərin spesifik patoloji dəyişikliklər əmələ gətirir. Qurğusunun cinsi vəzilərə olan təsirini törədən doza və konsentrasiyalar ümumi toksiki təsir edən konsentrasiyalardan yüz dəfələrlə kiçik olur. Trixlorfenilsirkə turşusunun inkişaf edən dölə olan təsiri onun ümumi toksiki təsiri müşahidə olunmayan doza və konsentrasiyalarda təzahür edir. Bu da uşaqların xəstələnmə hallarının və uşaq ölümünün artmasının səbəblərindən ola bilər. Bundan əlavə uşaq ölümünün əsasında kimyəvi maddələrin mutagen, embriotrop və teratogen təsiri də durur [4].

Ətraf mühiti çirkləndirən kimyəvi maddələrlə təmasda olan insanların fərdi həyatlarında və ya onların nəsillərində təsir qurtardıqdan sonra xəstəliklərin və digər patoloji proseslərin əmələ gəlməsinə kimyəvi maddələrin təsirinin uzaq təzahürü və ya “uzaq effekti” deyilir. Uzaq effektlərin öyrənilməsi sanitariya-gigiyenik normativlərin elmi əsaslandırılması üçün ümumi və mütləq olan tələblərdəndir.

“Uzaq effektlər” deyəndə ilk növbədə qonadotrop, embriotrop, mutagen, kanserogen, teratogen effektləri və bəzi hallarda ürək-damar sisteminin patologiyasını nəzərdə tutmaq lazımdır. Qeyd etmək lazımdır ki, “uzaq effektlər” deyiləndə daha geniş diapazonlu patoloji proseslər (effektlər) təsəvvür olunmalıdır. Məsələn, bir çox toxumaların atrofiyasını əmələ gətirən müxtəlif

degenerativ proseslər. Belə proseslər qıcıqlandırıcı zəhərlərin təsiri ilə tənəffüs üzvlərinin və mədə-bağırsaq sisteminin selikli qişalarında əmələ gələn bir çox iltihabi proseslərin son nəticəsi ola bilər. Birləşdirici toxumanın proliferasiyası ilə gedən prosesləri bir çox orqanlarda ağır sklerotik dəyişikliklər əmələ gətirir. Ölümlə nəticələnən və ən geniş yayılmış silikozu, qıcıqlandırıcı zəhərlərin təsirindən tədricən gizli yaranan pnevmosklerozu, ağır metalların (uran, qurğuşun) təsiri ilə böyrəklərdə əmələ gələn sklerotik prosesləri uzaq effektlərə misal göstərmək olar. Hepatotrop zəhərlərin təsirinin nəticəsi kimi yaranan qara ciyər sirrozu bir çox hallarda qara ciyər xərçənginin əmələ gəlməsini sürətləndirir və zəhərlərin təsirinin uzaq effektinin təzahürü kimi qəbul olunur [2].

Kimyəvi maddələrin təsirindən müəyyən vaxt keçəndən sonra sinir sistemində gedən degenerativ proseslər parkinsonizm xəstəliyinin, polinevritlərin, parez və ifliclərin, bir sıra ruhi pozğunluqların əsasında durur və həmin patoloji hallar zəhərlərin təsirinin uzaq təzahür formaları kimi qiymətləndirilməlidir.

Hazırda ətraf mühitin kimyəvi çirkləndiricilərinin orqanizmə təsirinin uzaq təzahür formalarının öyrənilməsi və onların profilaktikası tibbi-gigiyenik problem kimi həm nəzəri, həm də praktiki cəhətdən böyük əhəmiyyəti olan bir məsələyə çevrilmişdir.

Elmi-texniki tərəqqinin yüksək sürətli inkişafı ilə səciyyələnən XX əsrin ortalarından sonra bütün inkişaf etmiş ölkələrdə kişi və qadın sonsuzluğu, uşaqsız nikahların sayı get-gedə artmağa başlamışdır. Belə vəziyyət xüsusilə böyük sənaye müəssisələri yerləşən iri şəhərlərdə, intensiv kənd təsərrüfatı işləri aparılan rayonlarda yaşayan əhali arasında daha çox müşahidə olunur. Statistik məlumatlara görə XX əsrin 50-ci illərindən sonra bütün nigahların 10-15%-i dölsüz, 45% boşanma hallarının səbəbi isə uşaqların olmaması və seksoloji pozğunluqlar olmuşdur. Aparılmış tədqiqatlar göstərmişdir ki, nikahın pozulmasının səbəbi 27,1% halda sonsuzluq olmuşdur. Keçmiş zamanlarda sonsuzluğun səbəbini həmişə qadınlarda görürdülər. Ancaq indi məlumdur ki, kişi sonsuzluğu adlı termin yaranıb. Kişi cinsi orqanlarının, xüsusən cinsi vəzlərinin ətraf mühitin mənfi təsir göstərən bir sıra amillərinə həddindən artıq həssas olması elmi cəhətdən təsdiq edilmişdir. Hazırda sənayedə və kənd təsərrüfatında tətbiq olunan çoxsaylı kimyəvi maddələrin cinsi orqanlara təsirinə dair çoxlu tədqiqatlar aparılmışdır. Onların nəticələri göstərmişdir ki, kimyəvi maddələrin təsiri çox hallarda cinsi orqanlarda, xüsusən cinsiyyət vəzisində bir sıra patoloji dəyişikliklər əmələ gətirir. Belə kimyəvi maddələrə benzolu və onun homoloqlarını, xlor üzvi maddələri, bir sıra ağır metalları və s. misal göstərmək olar [1].

İzopren kauçuku istehsalında çalışan, stirol, manqan və kapralaktam ilə təmasda olan qadınların menstrual tsiklinin və yumurtalıqlarının funksiyasının pozğunluqları, qeyd olunan zəhərlərin çox cüzi doza və konsentrasiyalarının təsiri zamanı müşahidə olunmuşdur. Uzun müddət kimya sənayesində brom, manqan, xlorpren və etilləşdirilmiş benzinlə təmasda olan kişilərin cinsi fəaliyyətinin və spermatogenezinin pozulması müşahidə edilmişdir.

Qonadotrop təsirin öyrənilməsində ən vacib məsələlərdən biri bu təsirin birincili və ya ikincili olmasının təyin edilməsidir. Birincili spesifik təsirin təsdiq olunması üçün ən aşağı səviyyədə doza və konsentrasiyaların təsiri zamanı təsir mexanizmi öyrənilməlidir və alınmış nəticələrin, yəni ümumi zəhərlilik və spesifik göstəricilərin müqayisəli qiymətləndirilməsi aparılmalıdır. İnteqral göstəricilərə görə tapılmış kəskin və ya xroniki təsir həddinin spesifik göstəricilərə görə tapılmış analoji həddə olan nisbətinin vahiddən çox olduğu halda spesifik qonadotrop təsirin olması təsdiq olunur. Spesifik təsir zonasının vahiddən böyük olması təkcə qonadotrop təsir üçün yox, digər uzaq spesifik təsirlərin təyin olunması üçün də tələb olunan şərtidir:

$$Z_{sp} = \frac{\lim_{integr}}{\lim_{sp}} \geq 1$$

Spesifik qonadotrop effekt xüsusilə kəskin təsir zamanı daha açıq və aydın şəkildə təzahür edir. Xroniki təsir zamanı isə spesifik və qeyri-spesifik təsirlər bir-biri ilə üst-üstə düşür və spesifik təsir əlamətləri ümumi təsir əlamətləri ilə qarışır. Son zamanlar aparılan eksperimental tədqiqatların nəticələri bir sıra maddələrin spesifik qonadotrop təsir göstərdiyini təsdiq edir. Aşağıdakı cədvəldən göründüyü kimi ən yüksək spesifik qonadotrop təsirə malik olan etilenimin, xlorpren, tetrabutylasetat, manqan, amidopirin, fenol və qurğuşundur.

| №  | Maddə              | İntegral təsir həddi<br>$\text{Lim}_{\text{integr}}$<br>$\text{mq/m}_3$ | Spesifik təsir<br>həddi $\text{Lim}_{\text{sp}}$<br>$\text{mq/m}_3$ | Spesifik təsir<br>zonası<br>$Z_{\text{sp}}$ |
|----|--------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1  | Etilenimin         | 10                                                                      | 0,8                                                                 | 12                                          |
| 2  | Tretbutilasetat    | 150                                                                     | 20                                                                  | 7                                           |
| 3  | Amidopirin         | 61,9                                                                    | 22,4                                                                | 3                                           |
| 4  | Xlorpren           | 1,69                                                                    | 0,15                                                                | 11                                          |
| 5  | Fenol              | 5,0                                                                     | 0,5                                                                 | 10                                          |
| 6  | Manqan             | 40                                                                      | 10                                                                  | 4                                           |
| 7  | 1,3 Xlorbrompropan | 410                                                                     | 410                                                                 | 1                                           |
| 8  | Pirrolodin         | 0,6                                                                     | 0,6                                                                 | 1                                           |
| 9  | Vinilxlorid        | 0,3                                                                     | 0,3                                                                 | 1                                           |
| 10 | Qurğuşun           | 40                                                                      | 4,0                                                                 | 10                                          |

Hazırda 30-dan çox kimyəvi maddə məlumdur ki, onların bilavasitə təsiri ilə insan orqanizmində bəd xassəli şişlər əmələ gəlir. Eksperimental heyvanlarda şiş əmələ gətirən kimyəvi birləşmələrin sayı isə yüzlərlədir [1].

İlkin olaraq kanserogenlərə o maddələr aid edilir ki, onların təsiri ilə eksperimental heyvanlarda şişlər əmələ gəlir, ya da təbii rast gəlməyən şişlərin əmələ gəlməsinə səbəb olur, spontan olaraq əmələ gələn şişlərin sayını artırır, onların latent dövrünü qısaldır. Kanserogenlər qeyri-üzvi və üzvi birləşmələr olub müxtəlif siniflərə aiddirlər, müxtəlif quruluşa, alınma üsuluna və təsir mexanizminə malik olaraq fərqli müxtəlif metabolizm proseslərinə uğraya bilərlər.

Bəd xassəli şişlər əmələ gətirən kimyəvi maddələrin insan orqanizminə təsiri bir sıra növbəli proseslərdən ibarətdir. Bunlara kanserogenlərin metabolizmi, orqanizmin mikromolekulları ilə metabolizmə uğramış kanserogen molekulalarının qarşılıqlı təsiri və dezoksibonuklein turşularının reparasiyasının pozulması aiddir. Kanserogen effekte malik olan kimyəvi maddələr birbaşa belə təsirə malik olmurlar. Onlar orqanizmdə mütləq müəyyən ferment sistemləri ilə əlaqəyə girərək quruluş dəyişikliklərinə məruz qaldıqdan sonra kanserogen effekte malik olurlar. Xüsusən endoplazmanın retikulyar formasiasında yerləşən ferment sistemləri ilə əlaqəyə girə bilən kimyəvi maddələr qeyri-spesifik mikrosom oksidləşdiricilərin funksiyasını pozaraq ribonuklein və dezoksiribonuklein turşularının replikasiya prosesinə müdaxilə edə bilirlər. Potensial konserogenlərin (prokanserogenlərin) kanserogenə çevrilməsi mikrosomal oksidləşmə sistemi vasitəsilə metobolizmə uğrayaraq aktiv kanserogen metabolitlər əmələ gətirmək yolu ilə, yaxud da aktiv olmayan metabolitlər əmələ gətirməklə gedə bilər. Qaraciyərdə metabolizmə uğrayan prekanserogenlər üçün qlukuron turşusu ilə kompleks birləşmələr əmələ gətirməsi və sonradan həmin birləşmələrin b qlukuronidaza fermentinin təsiri ilə birbaşa kanserogenə çevrilməsi xarakterikdir.

Kanserogenlərin əmələ gəlmə mexanizminin başqa bir yolu ferment sistemləri ilə qarşılıqlı təsir zamanı gedən digər çevrilmələrlə əlaqədardır ki, nəticədə alınan metabolitə qarşı ferment sisteminin aktivliyi azalır və bəd xassəli şişlərin əmələ gəlməsinə səbəb olur. Məsələn, 3,4-benz (a)-piren (ən güclü kanserogen effekte malikdir) orqanizmdə BP-hidroksilaza sisteminin təsiri ilə aktiv kanserogenə çevrilir. BP-hidroksilaza sistemi öz növbəsində müxtəlif ferment sistemlərinin aktiv təsirinə məruz qala bilər və bundan asılı olaraq müxtəlif orqanizmlərdə müxtəlif cür aktivlik göstərir, onun kanserogen aktivliyi orqanizmin növündən, cinsindən və yaşından asılı olmaqla müxtəlif ola bilər.

Kimyəvi cəhətdən müxtəlifliyə baxmayaraq kanserogen effekte malik olan birləşmələrin ümumi xüsusiyyətləri də vardır. Bunlar aşağıdakılardır:

- elektrofil təsiri;
- mutagen təsiri;
- DNT-nin reparasiyasını əmələ gətirmək qabiliyyəti;
- bədəne yeridilən yerdə bəd xassəli şiş-sarkoma əmələ gətirməsi;

- yarımdağılma dövrünün çox qısa olması.

Kanserogenezin mexanizmini sxematik olaraq belə göstərmək olar:



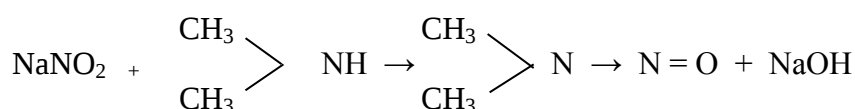
Politsiklik aromatik karbohidrogenlər təbiətdə və sənayedə ən çox yayılmış kanserogenlərə aiddir. Ta qədimdən məlum idi ki, baca təmizləyənlərin arasında ən çox yayılmış peşə xərçəng xəstəliyini əmələ gətirən hisin tərkibində çoxlu politsiklik aromatik karbohidrogenlər vardır. Politsiklik aromatik karbohidrogenlər (PAK) metallurgiya, koks kimyası sənayesi müəssisələrinin, avtomobil, hava və su nəqliyyatı əsasını təşkil edir. Bu qrupun əsas nümayəndəsi 3,4-benz (a) pirendir (klassik kanserogen) [2].

PAK-lar ümumiyyətlə yerli təsirə malik kanserogenlərə aiddir. Orqanizmə təsir etmə yolundan asılı olaraq xərçəng əmələ gətirir: dəridə, tənəffüs üzvlərində, mədə-bağırsaq sistemində və s.

Potensial kanserogenlərə N-nitrozaminlər, hidrazin törəmələri, haloidli karbohidrogenlər və bir sıra metallar da aiddir.

İlk dəfə 1956-cı ildə N-nitrozaminləri (N-nitrozodimetilaminin) təsiri ilə siçovullarda xərçəngin əmələ gəlməsi müşahidə olunmuşdur. Sonrakı illərdə N-nitrozobirləşmələrin təsiri ilə 50-yə qədər növ canlı orqanizmlərdə şişlərin induksiyası eksperimental yolla təsdiq olunmuşdur.

N-nitrozaminlər təsir etdiyi zonada əmələ gətirdiyi xərçəngdən əlavə, həm də sistem xarakterli xərçəng əmələ gətirmək qabiliyyətinə malikdirlər. Metabolizmə uğrayan N-nitrozaminlər sistem xarakterli, uğramayanlar isə yerli təsirə malik kanserogenlərə aiddir. N-nitrozaminlər insan orqanizmində də sintez oluna bilər. Bədəndə nitritlər və ikincili amillər daxil olduqda bu proses aşağıdakı kimi gedir:



Orqanizmə nitritlər qida (ərzaq) məhsulları ilə daxil ola bilər. İkinci aminlər isə orqanizmdə maddələr mübadiləsi prosesində mədə-bağırsaq sistemində əmələ gəlirlər. Mədədə nitrozaminlərin sintezi çoxsaylı tədqiqatlarla təsdiq olunmuşdur. İnsanlar üçün N-nitrozaminlərin birbaşa kanserogen təsiri hələ dəqiq təyin olunmamışdır.

Hazırda məlum olan 20-dən artıq hidrazin törəmələri içində 9 maddənin kanserogen təsiri çoxsaylı eksperiment və natur tədqiqatlarla təsdiq olunmuşdur. Bunlardan 5-i dərman preparatlarıdır – izonikotik turşusunun hidrazidi; feniletildiazid; 5-nitro 2-furaldehid və karbozon; ikisi isə herbisidlərə aiddirlər: malein turşusunun hidrozi və suksin turşusunun dimetildiazidi.

Hidrazidlər qrupunun ən dərin öyrənilmiş nümayəndəsi 1,2-dimetildiazindir (DMH). DMH eksperimental şəraitdə kanserogenezin öyrənilməsi üçün model kimi istifadə olunur. DMH orqanizmdə metabolizmə uğrayaraq metilkarbonil ionlarını əmələ gətirir. Metilkarbonil ionları öz növbəsində DNT-ni və bəzi zülalları metilləşdirir və uzun müddət orqanizmdə qalaraq promutagen funksiyasını daşıyır və ən nəhayət qanını metiquaninə çevirməklə kanserogen effekt əmələ gətirir.

Haloidli karbohidrogenlər ən çox yayılmış sənaye zəhərləridir. Bu qrup zəhərlərin arasında kanserogen təsir göstərən CCL<sub>4</sub>, xloroform, dixlor-difenil 3-xlor metilmetan (DDT) və vinilxloridi göstərmək olar. Vinilxlorid fəhlələrdə qara ciyərin anqiosarkomasını və ağ ciyərin xərçəngini əmələ gətirir.

Yuxarıda göstərilmiş qruplara aid olan maddələrdən başqa bir sıra metallar da kanserogen effektə malikdirlər. Bunlara xromu, arseni, nikeli, kadmiumu, berilliumu və qurğuşunu misal göstərmək olar. Absertin və bir sıra mineral liflərin kanserogen təsiri də tədqiqatlarla təsdiq olunmuşdur.

### ƏDƏBİYYAT

1. Səmədov, İ. Peşə zəhərlənmələri / İ.Səmədov, H.Əliyev –Bakı: Azərnəşr, –1977. –208 s.
2. Кустов, В.В. Комбинированное действие промышленных ядов / В.В.Кустов, Л.А.Туинов, Г.А.Васильев –М.: Медицина, –1975. –256 с.
3. Кирюшенков, А.П. Влияние вредных факторов на плод / А.П.Кирюшенков, –М.: Медицина, –1978, –215с.
4. Левина, Э.Н. Общая токсикология металлов / Э.Н.Левина, –М.: Медицина, –1972, –184с.
5. Саноцкий, И.В. Отдаленные последствия влияния химических соединений на организм / И.В.Саноцкий, В.Н.Фоменко –М.: Медицина, –1979, –232с.

### SUMMARY

#### GONADOTROPIC AND CARCINOGENIC EFFECTS OF CHEMICALS

*Khalilov T.A., Gadimov V.A., Alekberli G.Y.*

**Keywords:** "remote effect", gonadotropic effect, carcinogenic effect, PAKs, hydrazine derivatives, hepatotropic poison.

The article talks about their influence on gonadotropic – sexual activity and the formation of carcinogenic-malignant tumors as distant forms of manifestation of the effect of toxic chemicals in industry on the body. It is noted that due to the effects of certain chemicals, male and female infertility occurs, which is due to the negative effects of these substances on the genitals. The article also notes the appearance of malignant tumors in the body due to the action of some chemicals. So, chemicals that have a carcinogenic effect do not have such an effect directly. They have a carcinogenic effect after undergoing structural changes, necessarily entering into a relationship with certain enzyme elements in the body.

### РЕЗЮМЕ

#### ГОНАДОТРОПНОЕ И КОНЦЕРОГЕННОЕ ДЕЙСТВИЕ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

*Халилов Т.А., Гадимов В.А., Алекберли Г.Я.*

**Ключевые слова:** "дальний эффект", гонадотропный эффект, канцерогенный эффект, ПАК, производные гидразина, гепатотропный яд

В статье рассматривается влияние токсических химических веществ промышленного назначения на организм как отдаленные формы проявления их гонадотропного – на половую активность и канцерогенного – на возникновение злокачественных опухолей. Отмечается, что мужское и женское бесплодие возникает из-за воздействия некоторых химических веществ, что связано с негативным воздействием этих веществ на половые органы. В статье также отмечается появление злокачественных опухолей в организме от воздействия некоторых химических веществ. Таким образом, химические вещества, обладающие канцерогенным эффектом, не обладают таким прямым действием. Они обладают канцерогенным эффектом после того, как претерпевают структурные изменения, обязательно вступая в контакт с определенными ферментными элементами в организме.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 30.05.2024 |
|                   | Son variant   | 24.06.2024 |

UOT 321.762

DOI 10.54758/16801245\_2024\_24\_2\_72

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СТАЛИ И СПЛАВОВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

ГАХРАМАНОВ ВУРГУН ФАХРАДИН оглу

*Бакинский инженерный университет, Хырдалан,  
Абшеронский р-н, Азербайджан, доцент  
[vqahremanov@beu.edu.az](mailto:vqahremanov@beu.edu.az)*

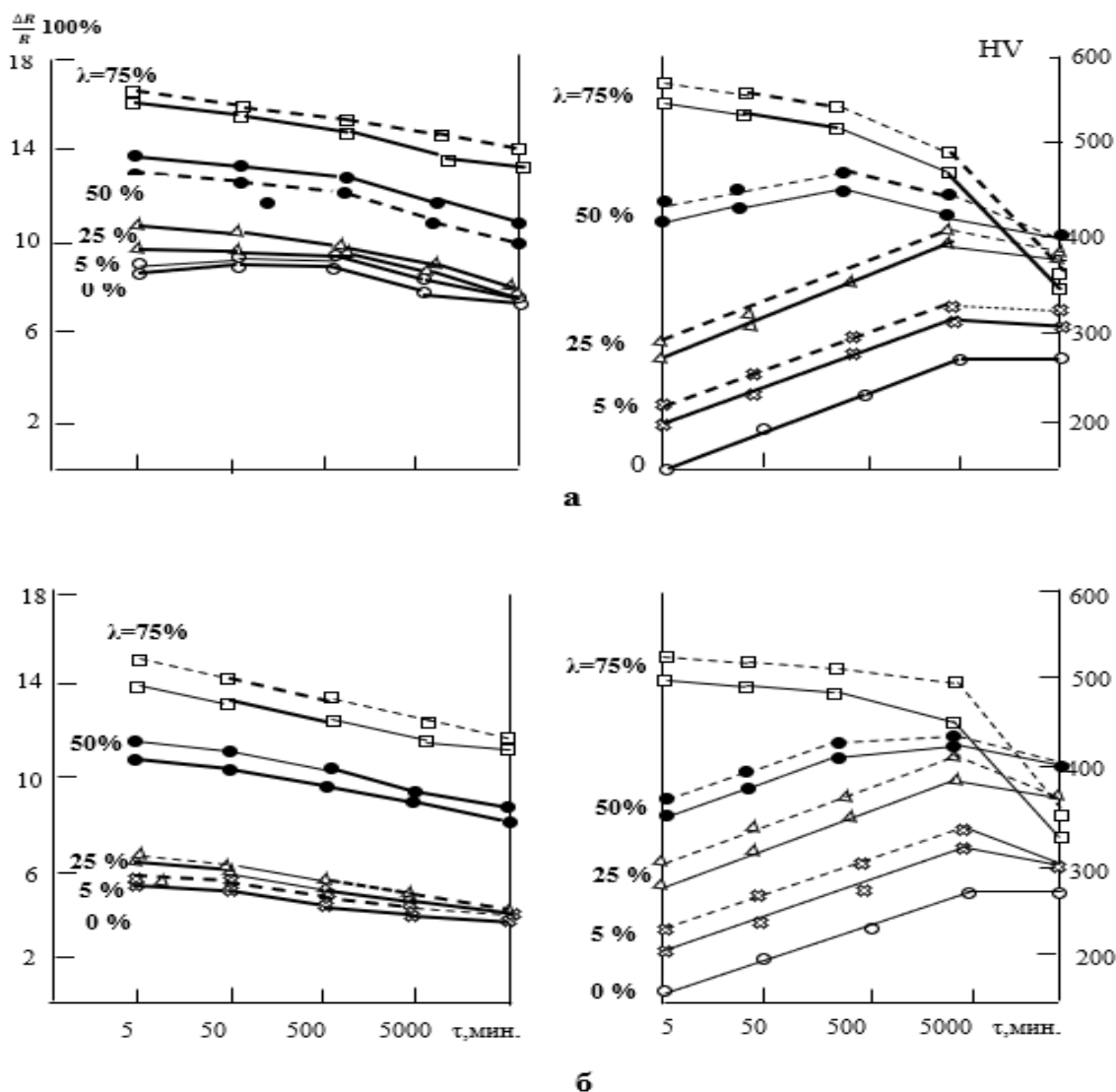
**Ключевые слова:** термообработка, нормализация, сопротивление,, хром, лист, сварка, сталь

Электросопротивления недеформированных образцов закаленных в воде, плавно возрастает до 300-400 °С в связи с положительным температурным коэффициентом сопротивления. Ход кривой с 400 до 600 °С свидетельствует о развитии К-состояния. В интервале температур 700-925 °С происходит распад твердого раствора с образованием частиц упрочняющей фазы, что приводит к снижению электросопротивления. Подъем кривой выше 950 °С связан растворением ранее выделившихся частиц второй фазы. Кривая нагрева и указывает на протекание упомянутых процессов в обратной последовательности.

В деформированных образцах образование К -состояния при нагреве происходит в более широком интервале температур (с 100 до 700 °С) и значительно интенсивнее, чем в недеформированных образцах. Чем выше степень обжатия, тем больше прирост электросопротивления при нагреве. Максимальное и минимальное электросопротивления в процессе нагрева и охлаждения у недеформированных а также у деформированных образцов (закаленных в воде) по величине почти совпадают, но при охлаждения они смещены в сторону более низких температур. Электросопротивления образцов после нагрева и охлаждения выше, чем до нагрева

Почти по всех случаях изменение электросопротивления у волооченных образцов выше, чем у прокатанных. Возможно, это связано с тем, что в результате волочения возникают более высокие неоднородные микроискажения по сравнению с прокатной. Рост электросопротивления деформированных образцов наблюдается после выдержки до 5000 мин. дальнейшая выдержка приводит к стабилизации электросопротивления, что свидетельствует об одновременном протекании двух процессов, когда падение электросопротивления за счет распада твердого раствора компенсируется его повышением при возникновении К – состояния [1]. Если сравнить относительное изменение электросопротивления, измеренного при комнатной температуре, до и после отпуска в течение 50000 мин при 500 С и измеренного в процессе нагрева при выдержках 5 и 50 000 мин, то можно отметить, что у недеформированных образцов оно почти одинаковой соответственно равно 8 и 7,6% (охлаждение с температуры отпуска в воде, табл.1). В деформированных образцах этого не наблюдается, причем с увеличением степени обжатия эта разница растет. Для образцов с обжатием 50% разница между начальным и конечным значениями электросопротивления при комнатной температуре составляет 12,9%, а в результате нагрева с выдержками 5 50000 мин всего 6 %; при наклепке с обжатием 75 % это разница составляет 14,5 и 2,5% соответственно (сравнение проведено для образцов, закаленных в воде, а затем прокатанных). Такое различие может быть обусловлено лишь интенсивным образованием упорядоченных атомных сегрегации в твердом растворе (К -

состояние) уже в первые 5 мин выдержки при 500 °С, что сразу [2,3]. Такое различие может быть обусловлено лишь интенсивным образованием упорядоченных атомных сегрегации в твердом растворе (К -состояние) уже в первые 5 мин выдержки при 500 °С, что сразу же исключает составление указанных величин.



**Рис. 1.** Изменение электросопротивления и твердости сплава ХН77ТЮР после закалки с 1080 °С в воде (а) и на воздухе (б) и старения

**Таблица 1.**

Влияние повторного нагрева при 500 °С на изменение электросопротивления закаленных с 1080 °С и наклепанных образцов сплава ХН77ТЮР (сопоставление значений после различных измерений)

| $\lambda, \%$ | $\rho_{исх. мком} \square см$ |       | $\rho_{500000 мком} \square см$<br>( $t=20^\circ C$ ) |       | $\frac{\rho_{исх} - \rho_{500000}}{\rho_{исх.}} 100\%$ |      | $\frac{\rho_{исх} - \rho_{500000}}{\rho_{исх.}} 100\%$<br>( $t=500^\circ C$ ) |     |
|---------------|-------------------------------|-------|-------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
|               | П                             | В     | П                                                     | В     | П                                                      | В    | П                                                                             | В   |
| 0             | 119,3                         | -     | 128,9                                                 | -     | 8,0                                                    | -    | 7,6                                                                           | -   |
| 5             | 119,9                         | 120,8 | 132,9                                                 | 133,2 | 11,0                                                   | 10,1 | 6,3                                                                           | 5,8 |
| 25            | 120,6                         | 121,6 | 132,3                                                 | 132,8 | 9,8                                                    | 9,1  | 6,0                                                                           | 6,6 |
| 50            | 116,9                         | 117,4 | 132,0                                                 | 132,8 | 12,9                                                   | 12,5 | 2,5                                                                           | 2,8 |
| 75            | 113,0                         | 113,9 | 130,7                                                 | 132,9 | 15,7                                                   | 15,1 | 3,4                                                                           | 3,8 |

| Охлаждение на воздухе |       |       |       |        |      |      |      |     |
|-----------------------|-------|-------|-------|--------|------|------|------|-----|
| 0                     | 121,0 | -     | 129,9 | -131,3 | 5,2  | -    | 4,4  | -   |
| 5                     | 123,0 | 122,5 | 132,9 | 132,1  | 7,0  | 7,1  | 4,4  | 3,6 |
| 25                    | 124,6 | 124,8 | 131,9 | 131,6  | 5,9  | 5,8  | 3,0  | 3,3 |
| 50                    | 119,8 | 118,5 | 132,1 | 131,7  | 10,2 | 11,0 | 3,5  | 4,2 |
| 75                    | 113,8 | 113,9 | 130,6 |        | 14,0 | 14,8 | 3,8  | 4,0 |
| Охлаждение с печью    |       |       |       |        |      |      |      |     |
| 0                     | 122,0 | -     | 124,8 | -      | +2,2 | -    | +2,4 | -   |
| 5                     | 125,3 | 124,4 | 123,8 | 124,1  | -1,0 | 0    | -0,2 | 0   |
| 25                    | 124,8 | -     | 124,7 | -      | 0    | -    | 0    | -   |
| 50                    | 121,1 | 121   | 125,7 | 125,4  | +3,7 | +3,6 | -0,4 | 0   |
| 75                    | -     | -     | -     | -      | -    | -    | -    | -   |

При нагреве до 700 С изменение твердости и электросопротивления является характерным для развития процесса дисперсионного твердения. С увеличением времени нагрева до 50 мин отмечается стабилизация значений электросопротивления недеформированных образцов, закаленных в воде или на воздухе (рис. 1), что можно объяснить наложением процессов образования К - состояния и распада твердого раствора.

На волооченых образцах степень обжатия 50-75% при нагреве на 500 и 600 °С с выдержкой до 5000 мин выявляется сетка линий скольжения с четко выраженными узлами [4]. Эти узлы имеют округлую форму, которая хорошо разрешается под световым микроскопом при увеличении в 1000-1500 раз. Полученная картина при выявлении скоплений дислокации и, по-видимому, имеет с ними общий характер.

На прокатанных образцах линий скольжения в плоскости прокатки удалось наблюдать только на образцах со степенью обжатия 75 % после отпуска при 500 °С в течение 1000 мин. По высоте прокатанных заготовок с обжатием 75 % выявляются две системы плоскостей скольжения, а у образцов с обжатием 50 % - только одна система.

#### Полученные результаты:

1. Установлено, что высокое электрическое сопротивление зависит в первую очередь от состава сплава.
2. Повышение электросопротивления сталей и сплавов достигалось правильным выбором процессов термической обработки.
3. Было обнаружено, что условия нагрева, время хранения и условия охлаждения являются важными факторами для улучшения этого свойства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гахраманов, В.Ф. Диффузионное хромирование и карбохромирование штамповых сталей / Нефтегазовое дело. Научно-технический журнал. Учредитель: ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» 3, №19, –2021
2. Гахраманов, В.Ф. Влияние предварительного окисления на процесс азотирования сплавов железа / В.Ф.Гахраманов, Э.А.Асланов // Научно-технический журнал. ISSN 1995-0470. Механика машин, механизмов и материалов. –2021. № 2(55).
3. Солодухин, А.Г. Технология организация и проектирование термических цехов / А.Г.Солодухин. –М.: Высшая школа, –1987. –с.367.
4. Егоров, М.Е. Основы проектирования машиностроительных заводов / М.Е.Егоров. –М.: Высшая школа, –1968. –с.476.

**XÜLASƏ**  
**POLAD VƏ ƏRİNTİLƏRDƏ KİMYƏVİ TƏRKİBİN ELEKTRİK MÜQAVİMƏTİNƏ TƏSİRİ**  
**Qəhrəmanov V.F .**

**Açar sözlər:** *termiki emal, normallaşdırma, müqavimət, xrom, vərəq, qaynaq, polad*

Suda təbləndirilmiş və deformasiya olunmamış nümunələrin elektrik müqaviməti müqavimətin müsbət temperatur əmsalı hesabına tədricən 300-400 °C-ə qədər yüksəlir. Əyrinin 400-dən 700 °C-ə qədər böyüməsi inkişafını göstərir. 700-925 °C temperatur intervalında bərk məhlul güclənmə fazasının hissəciklərinin əmələ gəlməsi ilə parçalanır ki, bu da elektrik müqavimətinin azalmasına səbəb olur. Əyrinin 950 °C-dən yuxarı qalxması ikinci fazanın əvvəllər buraxılmış hissəciklərinin əriməsi ilə bağlıdır. İstilik əyrisi qeyd olunan proseslərin tərs qaydada baş verdiyini göstərir.

Deformasiyaya uğramış nümunələrdə qızdırma zamanı K vəziyyətinin əmələ gəlməsi daha geniş temperatur diapazonunda (100-dən 700 °C-ə qədər) baş verir və deformasiya olunmamış nümunələrə nisbətən daha intensiv olur. Sıxılma dərəcəsi nə qədər yüksəkdirsə, qızdırılan zaman elektrik müqavimətinin artması da bir o qədər yüksəkdir. Deformasiya edilməmiş və həmçinin deformasiyaya uğramış (suda təbləndirilmiş) nümunələr üçün qızdırma və soyutma zamanı maksimum və minimum elektrik müqavimətləri dəyər baxımından demək olar ki, eynidir, lakin soyutma zamanı daha aşağı temperaturlara doğru sürüşürlər. Nümunələrin qızdırılması və soyudulmasından sonra elektrik müqaviməti qızdırılmadan əvvəl olduğundan daha yüksəkdir.

**SUMMARY**  
**EFFECT OF CHEMICAL COMPOSITION OF STEEL AND ALLOYS**  
**ON ELECTRICAL RESISTANCE**  
**Gahramanov V.F.**

**Keywords:** *heat treatment, normalization, resistance, chromium, sheet, welding, steel*

The electrical resistance of undeformed samples hardened in water gradually increases to 300-400 °C due to the positive temperature coefficient of resistance. The progression of the curve from 400 to 700 °C indicates the development of the K - state. In the temperature range 700-925 °C, the solid solution decomposes with the formation of particles of a strengthening phase, which leads to a decrease in electrical resistance. The rise of the curve above 950 °C is associated with the dissolution of previously released particles of the second phase. The heating curve indicates the occurrence of the mentioned processes in reverse order.

In deformed samples, the formation of the K-state during heating occurs in a wider temperature range (from 100 to 700 °C) and is much more intense than in undeformed samples. The higher the degree of compression, the greater the increase in electrical resistance when heated. The maximum and minimum electrical resistances during heating and cooling for undeformed and also deformed samples (quenched in water) are almost the same in value, but during cooling they are shifted towards lower temperatures. The electrical resistance of samples after heating and cooling is higher than before heating.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 18.03.2024 |
|                   | Son variant   | 30.04.2024 |

UOT 656.

DOI 10.54758/16801245\_2024\_24\_2\_76

## ENHANCING TRANSPORTATION PLANNING AND EXECUTION WITH ERP SYSTEMS: A CASE STUDY ANALYSIS

RASULZADA SHAFIGA FUAT

*Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan, Ph.D*

[shafiga.rasulzada.f@student.aztu.edu.az](mailto:shafiga.rasulzada.f@student.aztu.edu.az)

**Keywords:** ERP, system, management, resource

This paper explores how Enterprise Resource Planning (ERP) systems contribute to enhancing transportation planning and execution in supply chain management. Its goals include assessing how ERP systems enhance efficiency, visibility, and decision-making in transportation logistics, as well as analyzing their impact on a specific organization through a case study. The methodology entails a thorough case study analysis involving interviews, data collection, and both qualitative and quantitative analysis. Key discoveries highlight significant enhancements in transportation planning accuracy, resource utilization, and on-time delivery performance after ERP system adoption. The conclusions emphasize the pivotal role of ERP systems in streamlining transportation operations, optimizing supply chain processes, and improving overall organizational performance. These findings offer valuable insights for companies contemplating ERP implementation to enhance transportation logistics within their supply chains.

Enterprise Resource Planning (ERP) systems have become indispensable tools for businesses aiming to optimize their supply chain operations, including transportation management. These systems integrate various business functions and processes, offering a centralized platform for data management, analysis, and decision support. In the realm of transportation management, ERP systems enable real-time visibility into inventory levels, transportation capacities, and demand forecasts. They facilitate streamlining of transportation planning processes, enhancement of route optimization, and improvement of coordination among stakeholders.[1, p.18]

This paper has two main objectives: firstly, to explore how ERP systems contribute to enhancing transportation planning and execution within supply chain management, and secondly, to conduct a detailed case study analysis to evaluate the impact of ERP implementation on transportation management practices within a selected organisation. By addressing these objectives, the paper aims to highlight the importance of ERP systems in modern transportation logistics and offer practical insights for businesses seeking to leverage ERP technology to enhance their transportation operations. The paper includes a review of relevant literature on transportation planning, execution, and ERP systems, followed by an in-depth case study analysis of a multinational manufacturing company. The case study will examine the specific challenges, solutions, and outcomes associated with ERP system implementation for transportation management within the chosen organization. Through this comprehensive examination, the paper aims to contribute to a deeper understanding of the role of ERP systems in improving transportation logistics and driving supply chain efficiency.

The methodology employed for conducting the case study analysis adopts a systematic approach to collect, analyze, and interpret data concerning the influence of Enterprise Resource Planning (ERP) systems on transportation planning and execution within the chosen organization.

Selection Criteria:

The selection of the case study organization is based on specific criteria aimed at ensuring data relevance and depth. These criteria include:

1. Industry: Preference is given to a multinational manufacturing company with intricate transportation logistics operations.
2. ERP Implementation: The organization should have implemented ERP systems targeting transportation management in recent years.
3. Size and Scope: The organization should possess a substantial transportation network involving various modes of transport, regions, and stakeholders.
4. Availability of Data: Access to pertinent data, documents, and key personnel for interviews and observations is essential.

#### Data Collection Methods:

The case study analysis employs various data collection methods, including:

1. Interviews: In-depth interviews are conducted with key stakeholders involved in transportation planning, execution, and ERP implementation to gather insights and experiences regarding the impact of ERP systems on transportation management.
2. Document Review: Relevant documents, reports, and internal communications related to ERP implementation, transportation planning processes, and performance metrics are reviewed to complement interview data.
3. Observations: Site visits are conducted to observe transportation operations, personnel interactions, and ERP system utilization in real-time scenarios.
4. Surveys: Surveys may be utilized to gather additional quantitative data such as transportation Key Performance Indicators (KPIs), satisfaction levels, and perceptions of ERP effectiveness among transportation stakeholders. [2, p.684]

#### Limitations and Constraints:

Several limitations and constraints are encountered during the study, including:

1. Access to Data: Comprehensive and up-to-date data availability, especially regarding transportation performance metrics, may be restricted due to confidentiality or incomplete records.
2. Time Constraints: Conducting a thorough case study analysis demands considerable time and resources, which may be limited by project timelines and organizational priorities.
3. Bias: Inherent biases may exist in collected data, particularly in interviews where respondents may provide subjective or selective information.
4. Generalizability: The findings of the case study may not be universally applicable due to variations in industry, scale, ERP implementation strategies, and contextual factors.

Despite these limitations, efforts are made to mitigate biases, ensure data validity and reliability, and provide a comprehensive analysis of the case study organization's experience with ERP-enabled transportation management.

#### Selected Case Study Organization:

XYZ Corporation, a multinational manufacturing company specializing in automotive components, serves as the subject of this case study. With operations spanning multiple continents, XYZ Corporation manages a complex transportation network to facilitate the movement of raw materials, components, and finished products between its manufacturing facilities, distribution centers, and global customers.

#### Transportation Planning and Execution Processes Before ERP Implementation:

Before ERP implementation, XYZ Corporation's transportation planning and execution processes were predominantly manual and decentralized. Planning relied on spreadsheets, emails, and phone calls among various stakeholders, leading to inefficiencies and errors. Coordination between departments and external partners was fragmented, resulting in delays, missed deliveries, and increased costs.

#### Impact of ERP Systems on Transportation Management:

XYZ Corporation implemented ERP systems to streamline its supply chain operations, including transportation management. The ERP system integrated planning, execution, and monitoring functions, with modules such as Transportation Management System (TMS) and Warehouse Management System (WMS) enhancing visibility, automation, and decision-making.

**Key Transformative Impacts:**

1. Enhanced Visibility: Real-time tracking of shipments and inventory improved monitoring throughout the supply chain.
2. Improved Efficiency: Automation of route optimization and scheduling reduced lead times and costs.
3. Better Coordination: Seamless communication among departments and partners facilitated smoother execution.
4. Data-Driven Decision Making: Access to timely data enabled informed decision-making and strategy optimization. [3, p.80]

**Data Collection Methods:**

Quantitative data included transportation costs, delivery performance, and inventory turnover. Qualitative insights were gathered through interviews with stakeholders, revealing experiences and challenges with ERP-enabled transportation management.

**Key Challenges, Successes, and Lessons Learned:**

**Challenges:**

- Resistance to Change: Initial resistance from employees due to job security concerns and technological unfamiliarity.
- Data Integration: Technical challenges in integrating legacy systems with the new ERP system.
- Training and Adoption: Ensuring adequate training and support for end-users to maximize benefits.

**Successes:**

- Cost Reduction: Significant savings through improved efficiency and reduced expenses.
- Enhanced Customer Service: Real-time tracking improved customer satisfaction.
- Strategic Decision Making: Actionable insights enabled proactive decision-making.

**Lessons Learned:**

- Executive Sponsorship: Leadership support crucial for successful implementation.
- Continuous Improvement: Ongoing monitoring and refinement essential for adaptation.
- Stakeholder Engagement: Early involvement and addressing concerns foster ownership and adoption.

ERP implementation significantly improved transportation management at XYZ Corporation, enhancing efficiency, visibility, and decision-making. Despite challenges, the successes and lessons learned provide valuable insights for organizations considering ERP adoption in their supply chains.

**Interpretation in the Context of Existing Literature:**

The outcomes of our case study analysis resonate with existing literature that emphasizes the transformative influence of ERP systems on transportation management within supply chains. Studies by Kumar et al. (2010) and Gunasekaran et al. (2017) have underscored the pivotal role of ERP systems in augmenting efficiency, visibility, and decision-making in transportation logistics. Our findings align with these perspectives, illustrating how ERP-enabled transportation management results in enhanced route optimization, real-time tracking, and cost efficiencies.

**Implications for Theory and Practice:**

Our study carries significant implications for both theoretical frameworks and practical applications in supply chain management. The empirical evidence provided contributes to the literature on ERP systems by substantiating their impact on transportation management within real-world contexts. It emphasizes the necessity of incorporating transportation logistics into ERP

implementation strategies and advocates for further research to delineate the precise mechanisms through which ERP systems influence transportation efficiency and performance.

From a practical standpoint, our findings advocate for the adoption of ERP systems in transportation management to unlock substantial benefits. By automating processes, enhancing visibility, and enabling data-driven decision-making, ERP systems empower organizations to optimize transportation operations, reduce costs, and elevate customer service standards. These implications extend beyond transportation logistics, underscoring the pivotal role of technology adoption in bolstering operational excellence and competitive advantage across supply chain management practices. [4, p. 30]

**Broader Significance of ERP-enabled Transportation Management:**

The broader significance of ERP-enabled transportation management lies in its potential to fortify supply chain efficiency and competitiveness. By seamlessly integrating transportation planning and execution with other business functions, ERP systems enable organizations to achieve heightened coordination, agility, and responsiveness in supply chain operations. This heightened efficiency not only yields cost savings but also bolsters customer satisfaction, nurtures supplier relationships, and fosters innovation.

Furthermore, ERP-enabled transportation management contributes to supply chain resilience by furnishing organizations with the visibility and adaptability required to navigate dynamic market conditions and unforeseen disruptions effectively. In an increasingly intricate and globalized business landscape, adept management of transportation logistics is imperative for sustaining a competitive edge and long-term prosperity.

**Limitations and Suggestions for Future Research:**

Despite the valuable insights garnered from our study, several limitations warrant acknowledgement. Primarily, the case study's focus on a singular organization constrains the generalizability of our findings. Future research endeavors could encompass multiple case studies spanning diverse industries to offer a more comprehensive understanding of ERP-enabled transportation management's impact.

Secondarily, our study predominantly relied on qualitative data derived from interviews, potentially subjecting it to biases and constraints. Future research initiatives could integrate more robust quantitative analyses, including longitudinal studies and statistical modelling, to validate findings and elucidate causal relationships between ERP implementation and transportation performance. [5, p. 22]

Additionally, our study did not explore the enduring ramifications of ERP-enabled transportation management or the potential contributions of emerging technologies like artificial intelligence and blockchain in enhancing transportation efficiency. Subsequent research could delve into these realms to unearth novel insights and avenues for innovation within supply chain management.

**Conclusion:**

The case study analysis of Alpha Logistics Inc. presents compelling evidence of the profound impact of Enterprise Resource Planning (ERP) systems on transportation planning and execution within supply chain management. The study's key findings highlight the transformative advantages of ERP-enabled transportation management, including enhanced efficiency, visibility, and cost savings.

ERP systems streamline transportation processes by automating workflows, improving visibility, and facilitating data-driven decision-making. Real-time tracking and monitoring capabilities foster better coordination among stakeholders, resulting in reduced lead times, heightened customer satisfaction, and significant cost reductions. The case study underscores the pivotal role of ERP systems in fostering supply chain efficiency and competitiveness in today's dynamic business landscape.

Recommendations for organisations aiming to implement or enhance ERP-enabled transportation management include:

1. Conducting a comprehensive assessment of current transportation processes to identify areas for improvement.
2. Engaging key stakeholders across departments to secure buy-in and support for ERP implementation.
3. Invest in robust training and change management initiatives to ensure successful adoption and utilization of ERP systems.
4. Collaborating closely with ERP vendors and implementation partners to tailor solutions to the organization's specific needs and objectives.
5. Continuously monitoring and evaluating transportation performance metrics to pinpoint opportunities for optimization and refinement.

By adhering to these recommendations, organizations can harness the power of ERP systems to streamline transportation operations, elevate supply chain efficiency, and gain a competitive advantage in the marketplace.

## REFERENCES

1. Kumar, S., & Malegeant, P. (2010). Supply chain management and ERP systems: Strategic and operational issues / IGI Global –p. 120.
2. Gunasekaran, A., Ngai, E. W., & McGaughey, R. E. (2017). ERP systems in small and medium-sized enterprises: A review of the literature / International Journal of Production Research, 55(3), 684-705.
3. Ballou, R. H. (2004). Business logistics/supply chain management: Planning, organizing, and controlling the supply chain / Prentice Hall p. 95.
4. Christopher, M. (2016). Logistics & supply chain management. Pearson UK p. 86.
5. Coyle, J.J. Supply chain management: A logistics perspective / J. J.Coyle, C.J.Langley, B.J.Gibson [et al.] Cengage Learning. –2020. –p. 30.

## XÜLASƏ

### ERP SİSTEMLƏRİ İLƏ NƏQLİYYATIN PLANLAŞDIRILMASI VƏ İCRASININ TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİNİN ANALİZİ

*Rəsulzadə Ş.F.*

**Açar sözlər:** ERP, sistem, idarəetmə, resurs

Məqalə Müəssisə Resurslarının Planlaşdırılması (ERP) sistemlərinin təchizat zəncirinin idarə edilməsində nəqliyyatın planlaşdırılması və icrasının artırılmasına necə töhfə verdiyini araşdırır. Məqsədlərinə ERP sistemlərinin nəqliyyat logistikasında səmərəliliyi, görmə qabiliyyətini və qərar qəbulunu necə artırdığını qiymətləndirmək, habelə onların konkret təşkilata təsirini bir nümunə araşdırması vasitəsilə təhlil etmək daxildir. Metodologiya müsahibələr, məlumatların toplanması və həm keyfiyyət, həm də kəmiyyət təhlilini əhatə edən hərtərəfli case study təhlilini nəzərdə tutur. Əsas kəşflər ERP sisteminin qəbulundan sonra nəqliyyatın planlaşdırılmasının dəqiqliyi, resurslardan istifadə və vaxtında çatdırılma performansında əhəmiyyətli təkmilləşdirmələri vurğulayır. Nəticələr ERP sistemlərinin daşıma əməliyyatlarının sadələşdirilməsində, təchizat zənciri proseslərinin optimallaşdırılmasında və ümumi təşkilat fəaliyyətinin təkmilləşdirilməsində əsas rolunu vurğulayır. Bu tapıntılar təchizat zəncirlərində nəqliyyat logistikasını artırmaq üçün ERP tətbiqini düşünən şirkətlər üçün dəyərli fikirlər təklif edir.

**РЕЗЮМЕ**  
**УЛУЧШЕНИЕ ПЛАНИРОВАНИЯ И ИСПОЛНЕНИЯ ПЕРЕВОЗОК С ПОМОЩЬЮ**  
**ERP-СИСТЕМ: АНАЛИЗ ТЕМАТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

*Расулзаде Ш.Ф.*

**Ключевые слова:** *ERP, система, управление, ресурс*

В этой статье исследуется, как системы планирования ресурсов предприятия (ERP) способствуют улучшению планирования и выполнения перевозок в управлении цепочками поставок. В его цели входит оценка того, как ERP-системы повышают эффективность, прозрачность и принятие решений в транспортной логистике, а также анализ их влияния на конкретную организацию посредством тематического исследования. Методология предполагает тщательный анализ конкретных случаев, включающий интервью, сбор данных, а также качественный и количественный анализ. Ключевые открытия подчеркивают значительные улучшения в точности планирования перевозок, использовании ресурсов и своевременной доставке после внедрения системы ERP. В выводах подчеркивается ключевая роль ERP-систем в оптимизации транспортных операций, оптимизации процессов цепочки поставок и повышении общей эффективности организации. Эти результаты дают ценную информацию для компаний, рассматривающих возможность внедрения ERP для улучшения транспортной логистики в своих цепочках поставок.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 13.03.2024 |
|                   | Son variant   | 30.04.2024 |

UOT 531.

DOI 10.54758/16801245\_2024\_24\_2\_82

## KANAL VƏ KÜVETLƏRİ TƏMİZLƏYƏN İŞÇİ ORQANIN TƏNZİMLƏYƏN VASİTƏNİN FUNKSIYALARININ MODELLEŞDİRİLMƏSİ VƏ KOMPÜTER EKSPERİMENTLƏRİ İLƏ TƏDQIQI

ƏMİRBƏYOVA NƏSİBƏ SİRAC qızı [ORCID](#)

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, baş müəllim*  
[nasiba.amirbekova@sdu.edu.az](mailto:nasiba.amirbekova@sdu.edu.az)

*Açar sözlər:* kanal, frezin diski, metal şotka, frez tullayıcı, polad çubuqlar

Kanalın təmizləmə qurğusunun layihələndirilməsi prosesində, xüsusi ilə də eskiz layihələrin işlənməsi mərhələsində qurğunun işçi hissələrinin iş qabiliyyətinin yüksəldilməsi, keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması məqsədi ilə alqoritmik tədqiqatın aparılması və kompüter eksperimentləri ilə təhlil edilməsi mühüm məsələlərdən biri hesab olunur. Bununla əlaqədar olaraq, təmizləyici qurğunun işçi orqanlarının texnoloji təhlili aparılaraq, müəyyən edilmişdir ki, frezin diski ilə beton örtüyün arasında qalan qunt qatını (təqribən 15...25 mm) təmizləmək üçün kəsici kürəklərə uc hissələrdən elastiki element (metal şotka) bərkidilir. Kürəyin metal şotka ilə birlikdə ümumi görünüşü şəkildə verilmişdir.

Təcrübə işləri zamanı metal şotkanın polad çubuqlarının uzunluğunun dəyişməsinin işçi orqanın tələb etdiyi gücə, məhsuldarlığa və kanalın təmizlənmə keyfiyyətinə ( $K_t$ ) təsiri ətraflı öyrənilmişdir. Həm də təcrübə-tədqiqat işləri zamanı müəyyən olunmuşdur ki, metal şotkanın polad çubuqlarının uzunluğunun dəyişməsi məhsuldarlığa və kanalın təmizlənmə keyfiyyətinə təsiri böyükdür. Çubuqların uzunluğu artdıqca işçi orqanın tələb etdiyi güc də artır.

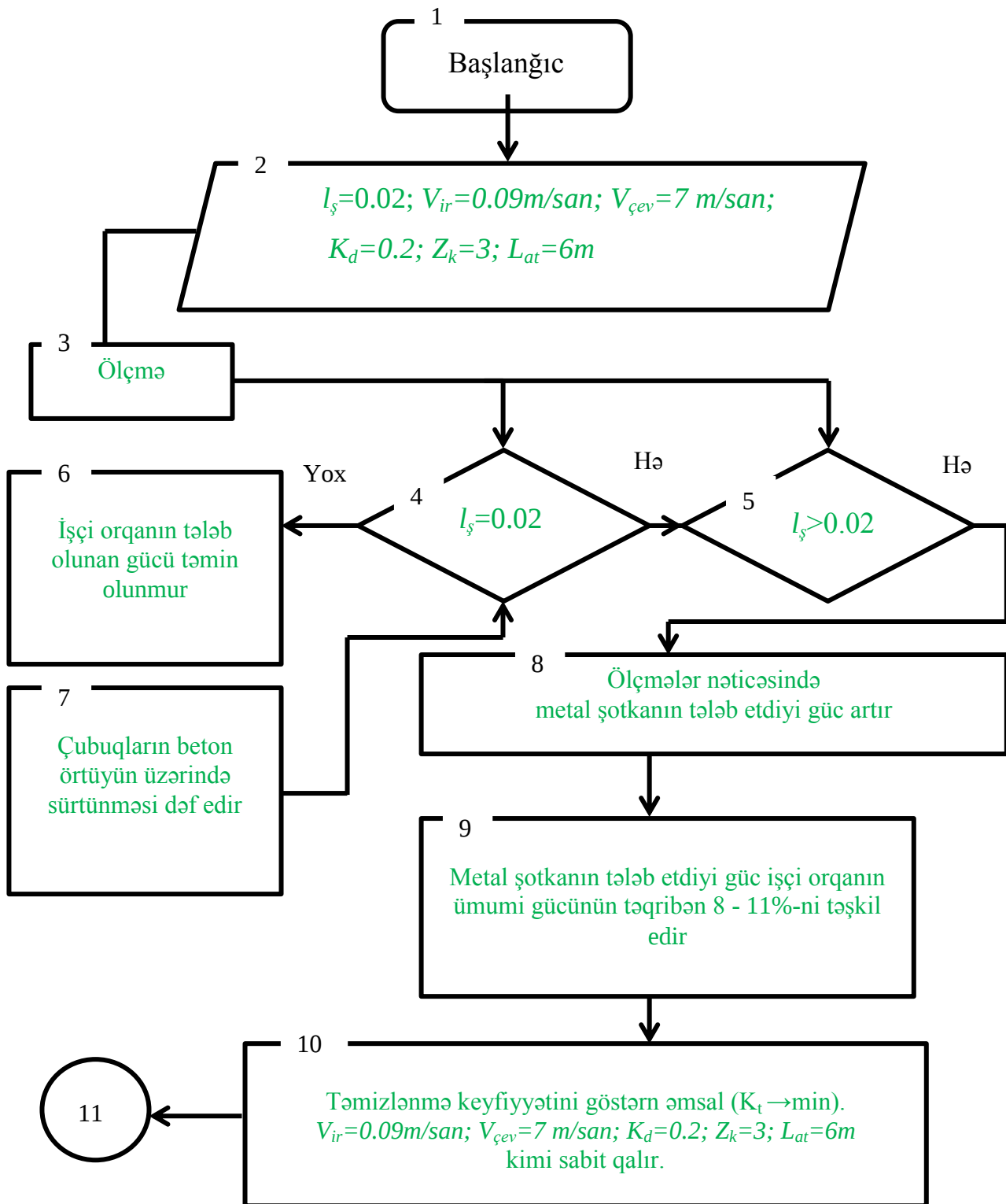
Eksperimental tədqiqi dəqiq aparmaq üçün aşağıdakı alqoritm quraq (Şəkil). çubuqların uzunluğunu  $l_s=0.02$  m-ə qədər artıqca güc yalnız çubuqların deformasiya olunması hesabına artdığı halda,  $l_s>0.02$  m olduqda isə gücün artması həm də çubuqların beton örtüyün üzərində sürünməsinə dəf etmək üçün tələb olunan gücün hesabına artır. Ölçmələr nəticəsində məlum olmuşdur ki, metal şotkanın tələb etdiyi güc işçi orqanın ümumi gücünün təqribən 8-11%-ni təşkil edir. Bu zaman digər parametrlər sabit qalır.

Tədqiqat nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki polad çubuqların uzunluğunun dəyişməsi kanalın təmizlənmə keyfiyyətinə əsaslı dərəcədə təsir göstərir. Çubuqların uzunluğu  $l_s=0.02$  m-ə qədər qəbul edilir. Metal şotkanın çubuqlarının uzunluğundan asılılıq göstəriciləri aşağıdakı qiymətlərlə müəyyən edilir:

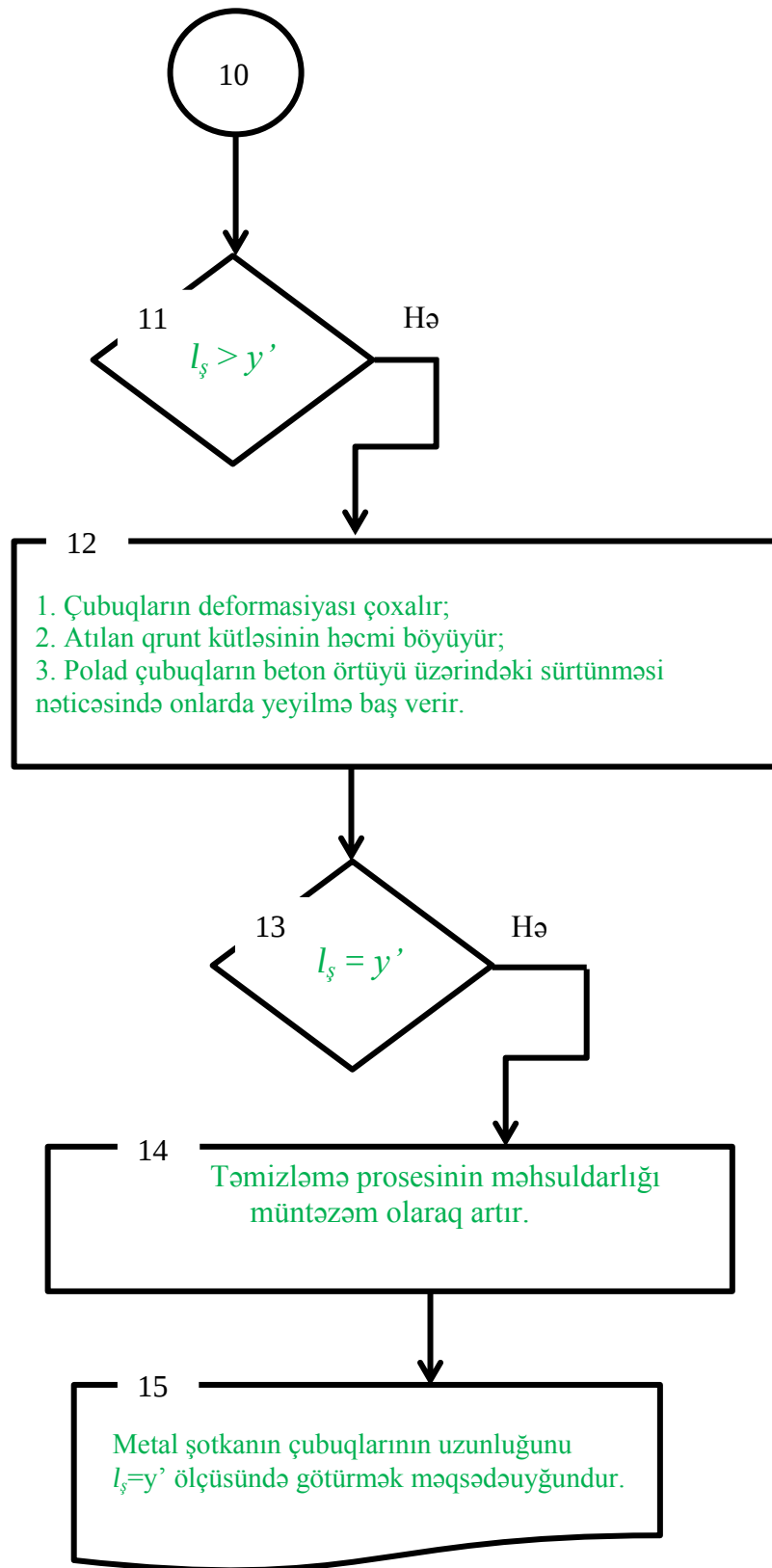
$$V_{ir}=0.09\text{m/san}; V_{\text{çev}}=7\text{ m/san};$$

$$K_d=0.2; Z_k=3; L_{at}=6\text{m}$$

artıqca təmizlənmə keyfiyyətini göstərən əmsal ( $K_t$ ) minimum qiymətə yaxınlaşır. Təmizlənmə keyfiyyəti əmsalı göstərən əmsal ( $K_t$ ) kanalda təmizləmədən sonra qalan lili en kəsik sahəsinin ( $St.c$ ), təmizləmədən əvvəlki en kəsik sahəsinə ( $S_{l,k}$ ) olan nisbəti ilə təyin olunur. Lakin  $l_s>0.02$  m olduqda çubuqların deformasiyası çox olduğu üçün, onlar lili tam təmizləyə bilmir və nəticədə təmizlənmə keyfiyyəti əmsalının qiyməti də dəyişir.



**Şəkil.** Məhsuldarlığa və kanalın təmizlənmə keyfiyyətinə təsir edən metal şotkanın polad çubuqlarının uzunluğunun seçilməsi alqoritmi



*Şəklin davamı*

Təcrübə-tədqiqat zamanı metal şotkanın çubuqlarının uzunluğunun dəyişməsinin məhsuldarlığa təsiri də ətraflı analiz olunmuşdur. Polad çubuqların uzunluğunu  $l_s = 0.02$  m-ə qədər götürüldükdə məhsuldarlıq müntəzəm olaraq artır. Bu artım atılan qrunut kütləsinin həcmnin böyüməsi hesabına baş verir. Lakin, şotkanın uzunluğu  $l_s > 0.02$  m götürüldükdə, yəni çubuqların uzunluğunun artmasına baxmayaraq məhsuldarlıq tədricən azalır. Çubuqların uzunluğu artdıqca deformasiyası da böyüyür və metal şotka öz iş qabiliyyətini itirir. Ona görə də məhsuldarlıq getdikcə azalır.

Yuxarıda deyilənləri tamamlayaraq belə bir nəticəyə gələ bilərik ki, əgər frezin diski ilə beton örtüyü arasındakı məsafə -  $y' = 0.02$  m-ə bərabərdisə və ya ona yaxındırsa, metal şotkanın çubuqlarının uzunluğunu artırıq götürmək məqsədə uyğun deyildir. Çünki  $l_s > y'$  olduqda həm şotkanın deformasiyası böyüyür (nəticədə məhsuldarlıq azalır) tələb olunan güc artır və kanalın təmizlənmə keyfiyyəti pisləşir, eyni zamanda polad çubuqların beton örtüyü üzərindəki sürtünməsi nəticəsində onlarda yeyilmə baş verir. Bütün bunlara əsaslanaraq deyə bilərik ki, metal şotkanın çubuqlarının uzunluğunu  $l_s = y'$  ölçüsündə götürmək məqsədəuyğundur.

Təcrübə-tədqiqat işləri zamanı alınmış göstəricilərin kompüter eksperimentləri ilə tədqiqi nəticəsində işçi orqanın tələb etdiyi gücün daha dəqiq şəkildə təyin olunması üçün bir neçə asılılıq tənlilikləri alınmışdır.

İşçi orqan üçün tələb olunan gücün maşının irəliləmə sürətindən asılılığı aşağıdakı göstəricilərlə müəyyən edilir:

$V_{cev} = 7$  m/san;  $Z_k = 3$ ;  $b_d = 0.4$  m;

$H_k = 0.6$  m;  $a = 45$ ;  $b = 18.76\%$  ;

$z = 1515$  kq/m<sup>3</sup>;  $k = 180000$  H/m<sup>2</sup>;

$K_d = 0.2$  ;  $N = 0.3725$ .

Qrunut nəmliyinin işçi orqanın tələb etdiyi gücə təsirinin frez tullayıcı ilə beton örtüklü suvarma kanalının təmizlənməsi prosesinin eksperimentlərlə tədqiq etmək üçün aşağıdakı ilkin verilənlərin təhlili tələb olunur:

*a* - təmizləmə prosesinin ümumi vəziyyəti;

*b* – kanalın təmizləmədən sonrakı vəziyyəti.

Tədqiqat zamanı müxtəlif irəliləmə sürətlərində qrunutun nəmliyinin işçi orqanın və baza maşının tələb etdiyi gücə təsiri öyrənilmişdir. Müxtəlif irəliləmə sürətlərində ilkin verilənlər aşağıdakı implikasiya şəklində daxil edilir:

### **Produksiya 1**

*ƏGƏR  $V_{ir1} = 0.05$  m/san &  $V_{ir2} = 0.09$  m/san qrunutun nəmliyinin dəyişməsi baş verir,*

*ONDA küvetin işçi orqanın tələb etdiyi güc dəyişilir.*

*ƏLAVƏ OLARAQ ƏGƏR qrunutun nəmliyi 14%-dən az olduqda,*

*ONDA onun möhkəmliyi olduğu üçün kəsməyə müqaviməti artır*

*Və işçi orqanın tələb etdiyi güc çoxalır.*

*ƏGƏR nəmlik 19% dən çox olduqda*

*ONDA qrunutun frezin kürəklərinə yapışması halları baş verir.*

Bu da ilk növbədə qrunutun kəsilməsini və eyni zamanda onun freztullayıcı kürəklərinin üzərinə sərbəst yığılmasını pisləşdirir. Buna görə tələb olunan güc də artır. İşçi orqanın tələb etdiyi az güc sərfi o vaxt olur ki, qrunutun nəmliyi 14...19% aralığında olsun. Müvafiq olaraq

*ƏGƏR qrunutun nəmliyi 14...19% intervalındadırsa*

*ONDA frez tullayıcının iş prosesində frezin kürəklərinə yapışması halları baş vermir*

*Və işçi orqan əlavə yüklənməyə məruz qalmır.*

Qrunutun nəmliyi yuxarıda göstərilmiş aralıqdan aşağı olduqda işçi orqanın tələb etdiyi güc də artır. Buna da səbəb nəmliyin azalması nəticəsində qrunutun bərkliyinin artması olur.

Qrunutun nəmliyini artırıdığımızda onun yapışqanlılığı və sürtünmə əmsali maksimum həddə qədər artır. Nəmliyin artması ilə göstərilən faktorlar qrunutun səthi üzərində sərbəst su təbəqəsinin əmələ gəlməsi nəticəsində getdikcə azalır. Bu su təbəqəsi görüşə səthlər arasında yağlama rolunu

oynayır. Buna görə də küvetin təmizləmə zamanı qrunzun nəmliyinin ( $J_n$ ) göstəriciləri aşağıdakı kimi göstərilir:

$$14 \leq J_n \leq 19 \%$$

$$\Delta G\Delta R (J_{n_{max}}=19\%) \leq \{20, 21, \dots\},$$

ONDA frez tullayıcının işi zamanı nəmli qrunzun sıçrayışla kənarlara səpələnməsi küvetin işçi orqanının və ətrafın çirklənməsinə səbəb olur.

Beləliklə, belə bir nəticəyə gələ bilərik ki, beton örtüklü suvarma kanallarında əmələ gələn yüksək nəmliyə (19%-dən çox) malik qruntların təmizlənməsi asan olsa da belə nəmlik məqsədəuyğun deyildir. Ona görə də təmizləmə işləri başlamazdan öncə kanalın elə qurutmaq lazım gəlir ki, iş zamanı nə qrunzun kürəklərə yapışması halları baş verir nə də küvetin işçi orqanı çirklənir.

Eksperiment işləri aparıldıqda müəyyən olunmuşdur ki, xüsusilə yaşayış məntəqələrinə yaxın yerlərdə kanallara əlavə tullantılar (dəmir əşyalar, iri ağac və daş parçaları) atılır. Bu işə təmizləmə zamanı işçi orqanın iş prosesini və maşının hərəkətini çətinləşdirir və hətta frezin kürəklərinin sınaq sıradan çıxmasına səbəb olur. Bu da frez-tullayıcının iş rejiminə pis təsir göstərir. Ona görə də təmizləmə işlərini başlamazdan əvvəl və təmizləmə aparıldığı müddətdə kanalın təmizlənməyən hissəsi vizual yoxlanılmalıdır və iri ölçülü tullantılar kanaldan kənarlaşdırılmalıdır.

Frez-tullayıcının dövrlər sayının ( $n_f$ ) dəyişməsi prosesinin enerji tutumuna, qrunzun atılma məsafəsinə və bərabər səpələnməsinə böyük təsir göstərir. Təcrübə-tədqiqat işləri zamanı frezin dövrlər sayının dəyişməsi frez-tullayıcının məhsuldarlığına təsir edir. Frez tullayıcının dövrlər sayı artdıqca qrunzun atılma məsafəsi də artır. Onda alqoritm aşağıdakı kimi yazılır:

### **Produksiya 2**

$\Delta G\Delta R$  dövrlər sayı  $n_{f1} = 130$  dövr/dəq olduqda

ONDA qrunzun atılma məsafəsi  $L_{at}=4.2$  m.

$\Delta G\Delta R$  dövrlər sayı  $n_{f2}=260$  dövr/dəq olduqda

ONDA qrunzun atılma məsafəsi  $L_{at}= 8.7$  m.

Buradan belə bir nəticə çıxara bilərik ki, frez tullayıcının dövrlər sayı müntəzəm olaraq iki dəfə artdıqda qrunzun atılma məsafəsi daha sürətlə artır.

Atılma istiqamətində qrunzun paylanması pərakəndə şəkildə baş verir. Atılan qrunzun xırda hissəcikləri kanala daha yaxın yerdə, böyük hissəcikləri isə nisbət uzaqda yerləşir.

Frez tullayıcının iş prosesini müşahidə etməklə müəyyən olunmuşdur ki, frezin kiçik dövrlər sayında atılan qrunzun bir hissəsi kanalın kənarına düşür. Onda qərar qəbul etmə alqoritmı aşağıdakı kimi yazılır:

$\Delta G\Delta R$  dövrlər sayı  $n_{f3} = 155$  dövr/dəq olduqda

ONDA qrunzun atılma məsafəsi  $4.7 \leq L_{at} \leq 6.5$  m.

$\Delta G\Delta R$  dövrlər sayı  $n_{f4}=260$  dövr/dəq olduqda

ONDA qrunzun atılma məsafəsi  $L_{at}= 8.7$  m.

$\Delta G\Delta R$  dövrlər sayı  $n_{fi} \geq \{n_{f1}, n_{f2}, n_{f3}, n_{f4}\}$ ,

ONDA qrunzun atılmasına sərf edilən  $N_{t.or}$  gücü artır.

Frez tullayıcının çevrəvi sürəti ( $V_{cev}$ ) təmizləmə prosesində az enerji tutumuna malik olmaq şərti ilə qrunzun tələb edilən atılma uzaqlığına görə təyin olunur:

### **Produksiya 3**

$\Delta G\Delta R$  dövrlər sayı  $n_{f5} = 100$  dövr/dəq,

ONDA işçi orqanın  $N_{t.or1} = 3.38$  Kvt gücü tələb olunur.

$\Delta G\Delta R$  dövrlər sayı  $n_{f5} = 200$  dövr/dəq,

ONDA işçi orqanın  $N_{t.or1} = 4.61$  Kvt gücü tələb olunur.

$\Delta G\Delta R$  dövrlər sayı – 2  $n_f$  olarsa

ONDA işçi orqanın  $N_{t.or1} \rightarrow \min$  artır.

AS dövrlər sayının 2 n<sub>f</sub> dəfə dəyişməsinə baxmayaraq,

VƏ  $V_{ir}=0.09$  m/san

VƏ  $K_d=0.2$

VƏ frez tullayıcının kürəklərinin sayının  $Z_k=3$

olduğu üçün məhsuldarlıq  $\rightarrow 0$  yaxın olur.

ONDA belə olan halda prosesin enerji tutumu daha sürətlə artır.

Frez tullayıcının işinin keyfiyyət və enerji göstəricilərini nəzərə alaraq, təsdiq etmək olar ki, diametri 850 mm olan frezin dövrlər sayı 150...200 dövr/dəq arasında dəyişilməlidir. Bu dövrlər sayında frez tullayıcının iş rejimi daha sabit və dayanıqlı olur.

Qruntun atılma məsafəsi və bərabər paylanması, prosesin enerji tutumu 150...200 dövr/dəq aralığında dəyişən dövrlər sayı ilə təmin olduğu üçün maşının məhsuldarlığını irəliləmə sürətini artırmaq hesabına yüksəltmək lazım gəlir. Frez tullayıcının kürəklərinin sayının ( $Z_k$ ) və formalarının təmizləmə prosesinə təsirinin öyrənilməsi ona görə əhəmiyyətlidir ki, kürəklərin sayının və formalarının dəyişməsi bilavasitə, onların üzərinə yığılan qrunut kütləsinin həcmində, onun atılmasına və eyni zamanda prosesin keyfiyyət göstəricilərinə təsir göstərir. Eksperimentlər prosesində müxtəlif formalı kürəklərdən istifadə edilmişdir. Tədqiqat zamanı müxtəlif formalı və saylı kəsici kürəklərin frezin diskində quraşdırılır.

Frezin kürəklərinin sayının dəyişməsi, üzərinə yığılan qrunutun həcmində artması sabit qiymətdə freztullayıcının məhsuldarlığına təsir göstərir. Kəsici kürəklər qrunutun həm kəsilməsi, həm atılması kimi müxtəli texnoloji əməliyyatları yerinə yetirdikləri üçün onların formalarının da təmizləmə prosesinə müəyyən təsiri vardır. Belə ki, atılan qrunutun xırdalanması və kəsmə şəraitini yaxşılaşdırmaq məqsədi ilə kürəklərdən istifadə etmək daha məqsədəuyğundur. Bütün deyilənləri yekunlaşdıraraq belə bir nəticəyə gələ bilərik ki, kürəklərin sayını təqribən 3....5 götürmək məsləhət görülür.

Məqalədə təklif olunan produksiya növlü modelə əsasən kanalın və küvetin təmizlənməsi üçün istifadə olunan işçi orqanın tənzimləyici vasitəsinin əməliyyatlarının daha səmərəli icrasının müasir idarəetmə sistemi ilə təchiz edilməsi tələb olunur. Bununla əlaqədar olaraq, küvetin təmizlənməsi üçün istifadə olunan işçi orqanın tənzimləyici vasitəsinin avtomatik idarəetmə sisteminin texnoloji ölçmə, icraetmə və kontroller vasitələrin seçilməsi məsələləri qoyulur.

Beləliklə,

ƏGƏR **produksiya 1** - ə əsasən məntiqi ifadənin göstəriciləri küvetin işçi orqanının icra mexanizminin sürəti ( $V_{ir1}$  (m/san)  $\rightarrow 0.05 \div 0.09$  (m/san)) və qrunutun nəmlik dərəcəsi ( $14 \div 19$  (%)) intervallarında verilsə.

ONDA avtomatik idarəetmə sistemi üçün ( $14 \div 19$  (%)) intervallarında dəyişən qrunutun nəmlik dərəcəsinə ölçə bilən vericinin tipi seçilsin [ ]. Vericilərin tiplərini və onların xarakteristikalarını təsvir etmək üçün predikat hesablama üsulundan istifadə olunur. Bu halda vericilərin xarakteristikalarının başlıqları  $V_i$  kimi, onların verilənləri isə  $X_{ij}$  kimi təsvir olunur:

| Vericinin tipi                          | Çıxış növü | Elektrik gərginlik | Ölçü diapazonu           | Dəqiqlik | Ölçmə diapazonu         |
|-----------------------------------------|------------|--------------------|--------------------------|----------|-------------------------|
| $V_{1j}$                                | $V_{2j}$   | $V_{3j}$           | $V_{4j}$                 | $V_{4i}$ | $V_{5i}$                |
| Modbus,<br>ModBUS RTU                   | Analoq     | 24 V               | Max – 100 %<br>Min – 0 % | 2÷3 %    | 80 ÷ -40 <sup>0</sup> C |
| $X_{11}$                                | $X_{12}$   | $X_{13}$           | $X_{14}$                 | $X_{15}$ | $X_{16}$                |
| Tutum vericisi<br>Water Scout,<br>SM100 | Analoq     | 6÷12 V             | Max – 50 %<br>Min – 0 %  | 1÷2 %    | 40 ÷ -10 <sup>0</sup> C |
| $X_{21}$                                | $X_{22}$   | $X_{23}$           | $X_{24}$                 | $X_{25}$ | $X_{26}$                |

*Kanal və küvetləri təmizləyən işçi orqanın tənzimləyən vasitənin funksiyalarının  
modelləşdirilməsi və kompüter eksperimentləri ilə tədqiqi*

|                 |                 |                 |                         |                 |                         |
|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| SoilClik        | Analoq          | 6÷8 V           | Max – 30 %<br>Min – 0 % | 3÷4 %           | 40 ÷ -10 <sup>0</sup> C |
| X <sub>31</sub> | X <sub>32</sub> | X <sub>33</sub> | X <sub>34</sub>         | X <sub>35</sub> | X <sub>36</sub>         |
| FC28            | Analoq          | 3÷5 V           | Max – 36 %<br>Min – 5 % | 1÷2 %           | 35 ÷ -5 <sup>0</sup> C  |
| X <sub>41</sub> | X <sub>42</sub> | X <sub>43</sub> | X <sub>44</sub>         | X <sub>45</sub> | X <sub>46</sub>         |

Küvetin işçi orqanının icra mexanizminin sürəti ( $V_{ir1}$  (m/san)  $\rightarrow$  0.05 ÷ 0.09 (m/san)) intervallarında dəyişən mühərrikin tipi seçilsin.

| Mühərrikin tipi<br>$M_{1j}$ | Dövrələr sayı<br>(dövr/dəq)<br>$M_{2j}$ | Elektrik<br>gərginlik (V)<br>$M_{3j}$ | Flanes<br>Diametri $d_f$ (mm)<br>$M_{4j}$ | Güc (Kvt)<br>$M_{5j}$ |
|-----------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|
| Siemens 1LE1502-<br>2AC43-4 | 1000                                    | 400                                   | 350                                       | 90                    |
| Y <sub>11</sub>             | Y <sub>12</sub>                         | Y <sub>13</sub>                       | Y <sub>14</sub>                           | Y <sub>15</sub>       |
| AİP 250 S2                  | 2100                                    | 350                                   | 270                                       | 75                    |
| Y <sub>21</sub>             | Y <sub>22</sub>                         | Y <sub>23</sub>                       | Y <sub>24</sub>                           | Y <sub>25</sub>       |
| AİP80                       | 270                                     | 300                                   | 40                                        | 3,5                   |
| Y <sub>31</sub>             | Y <sub>32</sub>                         | Y <sub>33</sub>                       | Y <sub>34</sub>                           | Y <sub>35</sub>       |

**Produksiya 1** və **Produksiya 2**-nin şərtlərinə əsasən texnoloji ölçmə və icraetmə elementlərinin seçilməsi alqoritmi aşağıdakı şəkildə qurulur:

*ƏGƏR* qrunzun nəmlik dərəcəsi (14 ÷ 19 (%)) kimi qəbul olunursa

*ONDA* vericilərin  $V_{1j}$  &  $V_{4j}$  parametrləri müqaisə olunmalıdır,

*VƏ*  $X_{14} \rightarrow$  **FC28** tipli verici seçilir

*VƏ* (14 ÷ 19 (%)) göstəriciyə yaxın olan  $X_{44} \rightarrow$  Min – 5 % Max – 36 %.

*ƏGƏR* küvetin işçi orqanının icra mexanizminin sürəti ( $V_{ir1}$  (m/san)  $\rightarrow$

0.05 ÷ 0.09 (m/san)) intervallarında dəyişirsə

*ONDA* icra mexanizmlərinin  $M_{1j}$  &  $V_{2j}$  parametrləri müqaisə olunmalıdır,

*VƏ* ( $V_{ir1}$  (m/san)  $\rightarrow$  0.05 ÷ 0.09 (m/san)) göstəriciyə  $Y_{32}$ -nin parametri

yaxın olan  $Y_{31} \rightarrow$  **AİP80** tipli icra meanizmi seçilir.

**Produksiya 3** - ə əsasən icraetmə elementinin seçilməsi alqoritmi aşağıdakı şəkildə qurulur:

*ƏGƏR* dövrələr sayı  $n_{f5} = 100$  dövr/dəq

*VƏ* işçi orqanın mühərrikinin gücü  $N_{tor1} = 3.38$  Kvt tələb olunur,

*ONDA*  $n_{f5}$  - ə yaxın olan mühərrik tipi **AİP80** olur

*VƏ* onun gücü  $Y_{35} \rightarrow 3.5$  kVt

Bu üsulla yaradılan predikat tipli model imkan verir ki, küvetin işçi orqanının frezlə tənzimlənməsi prosesinin idarəetmə sistemi üçün texnoloji ölçmənin vericiləri və icraetmənin mühərriki düzgün seçilsin və bütün texnoloji xüsusiyyətlər nəzərə alınmaqla, suyun təmizlənməsi təmin olunsun.

#### **Nəticə**

1. Kanal və küvetləri təmizləyən vasitələrin işlənməsi mərhələlərinin quruluşu təklif edilmiş və avtomatlaşdırılmış layihələndirmə prosesi modelləşdirilmişdir.

2. Kanal və küvetləri təmizləyən işçi orqanının tənzimləmə elementlərinin seçilməsi və layihələndirilməsi üçün mövcud təmizləyici qurğuların texnoloji xarakteristikaları əsasında yaradılan verilənlər bazasından informasiya təminatı işlənmişdir.

3. Kanal və küvetləri təmizləyən işçi orqanın tənzimləyən vasitənin funksiyaları modelləşdirilmiş və kompüter eksperimentləri ilə tədqiq edilmişdir.

4. Produksiya üsulu ilə kanalın təmizləyici qurğunun işçi orqanının frez kəsici alətinin icra mexanizminin sürətinin tənzimlənməsi üçün alqoritm işlənmişdir və tətbiq olunan informasiya-ölçmə verçisinin tipləri, texniki xarakteristikaları müəyyən edilmişdir.

#### ƏDƏBİYYAT

1. Новосельский В.Б. Метод автоматизации проектирования распределенной реляционной базы данных // Программные продукты и системы, №3, 2008, с. 23-29.
2. Meguid, S. A. Integrated computer-aided design of mechanical systems // –London: Elsevier Applied Science, ISBN 978-1-851-66021-6, 2007, p. 34-42.
3. Rao M. , Cha J.Z. , Zhou J. Integrated software system for intelligent manufacturing Artificial Intelligence Applications in Manufacturing (1989), p. 385-400.
4. Raed El-Khalil, Zainab Darwish/ Flexible manufacturing systems performance in U.S. automotive manufacturing plants: a case study, Production Planning & Control, 30: 2019, p. 48-59.
5. Мамедов, Дж.Ф. Информационно-измерительное обеспечение АСУ участка отжига и механической обработки металлических заготовок / Дж.Ф.Мамедов, Т.А.Сафарова, И.Л.Коршунов [и др.] // Изв. ВУЗ-ов. Приборостроение, Т. 64, № 10, –2021. –с. 859-868.
6. Мамедов Дж.Ф. Разработка структуры интерфейса программного обеспечения комплексного автоматизированного проектирования технических систем // –М., Вестник компьютерных и информационных технологий, № 5(107), –2013. –с. 18-21.
7. Мамедов, Дж.Ф. Выбор электромагнитных датчиков для автоматизации технологических процессов / Дж.Ф.Мамедов, З.М.Мурадлы, Г.С.Абдуллаев // Нефтегазовое дело, Том 18, № 4, –2020, –с. 134-142.
8. Harmanny, K.S. Adaptations in irrigated agriculture in the mediterranean region: an overview and spatial analysis of implemented strategies / Harmanny K. S. and Malek, Ž. // Regional environmental change, vol. 19, № 5, –2019. –pp.1401–1416.
9. Mammadov J.F., Aliyev I.R., Huseynova G.H., Orujova G.E. Algorithmic support for the management of the computer-aided design of flexible manufacturing system and its equipment // Cybernetic and System analysis. –2021. Scopus. Vol. 57, No. 6. –pp. 118–127.

#### SUMMARY

#### MODELING AND COMPUTER EXPERIMENTS OF THE FUNCTIONS OF THE REGULATING TOOL OF THE WORKING BODY CLEANING CHANNELS AND BATHTUBS

*Amirbayova N.S.*

**Keywords:** *channel, milling disc, metal brush, milling cutter, steel rods*

This article models the development stages of means for cleaning channels and ditches, as well as the processes of automated design. The stages of creating means for cleaning channels and ditches have been developed and the processes of automated design have been modeled. Additionally, based on the technological characteristics of existing cleaning devices, a database and information support for the selection and design of regulating elements of the working body for cleaning channels and ditches have been created. The functions of the regulating device of the cleaning working body were modeled and investigated using computer experiments. An algorithm was developed using the production method to regulate the speed of the execution mechanism of the milling cutting tool of the channel cleaning device's working body. The types and technical characteristics of information-measuring sensors were determined.

These studies cover important steps and technological innovations aimed at increasing the efficiency of the means used for cleaning channels and ditches.

**РЕЗЮМЕ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ОРГАНА, ОЧИЩАЮЩЕГО КАНАЛЫ И КЮЕТЫ, С  
ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ФУНКЦИЙ  
РЕГУЛИРУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

*Амирбекова Н.С.*

**Ключевые слова:** канал, фрезерный диск, металлический шток, фрезерный джемпер, стальные стержни

В данной статье были смоделированы этапы разработки средств для очистки каналов и кюетов, а также процессы автоматизированного проектирования. Были разработаны этапы создания средств для очистки каналов и кюетов и смоделированы процессы автоматизированного проектирования. Также, на основе технологических характеристик существующих очистительных устройств, была создана база данных и информационное обеспечение для выбора и проектирования регулирующих элементов рабочего органа для очистки каналов и кюетов. Функции регулирующего устройства рабочего органа для очистки были смоделированы и исследованы с помощью компьютерных экспериментов. Для регулирования скорости исполнительного механизма фрезерного режущего инструмента рабочего органа очистительного устройства канала был разработан алгоритм методом продукций. Определены типы и технические характеристики информационно-измерительных датчиков.

Эти исследования охватывают важные шаги и технологические новшества с целью повышения эффективности использования средств для очистки каналов и кюетов.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 03.06.2024 |
|                   | Son variant   | 25.06.2024 |

## İSTİLİK MÜBADİLƏ PROSESİNİN İNTENSİVLƏŞDİRİLMƏSİ

MƏMMƏDOV ŞİKAR HACI oğlu [ORCID](#)

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, dosent*  
[shikara.mammadov@sdu.edu.az](mailto:shikara.mammadov@sdu.edu.az)

**Açar sözlər:** *istilik mübadiləsi, intensivləşmə, psevdokritik temperatur, istilik tutumu, turbulent rejim, istilik seli*

Müxtəlif növ istilikdaşıyıcıları təzyiqin kritik parametrindən yüksək qiymətlərdə konvektiv istilik mübadiləsi prosesinin mexanizmi bir sıra tədqiqatçılar tərəfindən öyrənilmişdir. Baxılan problemin müasir vəziyyəti göstərir ki, müxtəlif müəlliflər tərəfindən alınan nəticə xüsusi xarakter daşıyır və onlar tərəfindən təklif olunmuş ümumiləşdirilmiş asılılıq rejim parametrlərinin müəyyən olunmuş intervalllarında əlahiddə maddələr üçün keçərlidir.

Neft emalı və neft-kimya sənayesində, energetika və xalq təsərrüfatının müxtəlif sahələrində daha da kompakt və effektiv qurğulara keçid, eyni zamanda bu avadanlıqların layihələndirilməsi, və rekonstruksiya edilməsi elmi əsaslara söykənmiş hesabat metodları və onların geniş rejim parametrlərinin bu qurğularda həyata keçirilməsi ilə müəyyən olunur.

Yeni sənaye proseslərinin müvəffəqiyyətlə mənimsənilməsi, yüksək məhsuldarlıqlı müasir avadanlıqların hazırlanması həm də istehsalat şəraitində baş verən fiziki hadisələrin hərtərəfli öyrənilməsinə tələb edir.

Məlumdur ki, istiliyin ötürülməsi hadisəsi müasir texnikanın müxtəlif sahələrində texnoloji proseslərin həyata keçirilməsində əhəmiyyətli, əksər hallarda isə müəyyən edici xüsusiyyətə malikdir.

Müasir zamanda istilik texnikası avadanlıqları ilə yanaşı kritikdən yüksək parametrlərdə müxtəlif maddələrlə işləyən kritikdən yüksək parametrlə qazan aqreqatları, müxtəlif kimyəvi texnologiyaya malik kriogen və krioenergetik qurğular mövcuddur. Bununla əlaqədar olaraq, istilik daşıyıcılarının kritikdən yüksək parametrlərdə konvektiv istilik mübadiləsi prosesinin tədqiqi şübhəsiz müəyyən elmi və praktiki əhəmiyyət kəsb edir. Beləliklə, istilik daşıyıcılarının kritikdən yüksək təzyiqlərində işləyən istilik mübadilə qurğularına keçid, göstərilən istiqamətdə elmi tədqiqatlara geniş yol açır.

Son illərdə mayelərin dəyişən fiziki xassələrində konvektiv istilik mübadiləsi sahəsində həm yerli, həm də xarici tədqiqatçılar tərəfindən xeyli sayda eksperimental və nəzəri hesabat işləri görülmüşdür. Eksperimental tədqiqatlar və nəzəri hesabat işlərinin nəticələri baxılan problemin müasir anlamına əsaslanır. Bununla belə, mühitin dəyişən fiziki xassələrində konvektiv istilik mübadiləsi prosesinin çətinliyi ilə əlaqədar olaraq onun mexanizmi kifayət qədər öyrənilməyib. Hətta mayenin turbulent axınlı rejimində, hansı ki, onun öyrənilməsinə kifayət qədər eksperimental tədqiqatlar həsr edilib, göstərilən sahəyə xarakterik olan istilikvermənin ayrı-ayrı rejimlərinin əmələ gəlməsində vahid fikir, eyni zamanda istilik daşıyıcılarının istilik-vermə əmsallarının hesablanması üçün yararlı olan tənliklər mövcud deyil. Belə bir vəziyyət prosesin rejim parametrlərinin geniş diapazonunda müxtəlif istilikdaşıyıcıların kritikdən yüksək vəziyyətlərdə dəyişməsi geniş tədqiqatların aparılmasını tələb edir.

Aromatik karbohidrogenlərin (toluol və benzol) şaquli boruda (yuxarı və aşağı) məcburi turbulent rejim və kritikdən yüksək təzyiqlərdə aparılan tədqiqatların nəticəsi aşağıdakı şərtlərə uyğun gələn istilikvermənin iki növünün mövcudluğunun mümkünlüyünü göstərir

$$t^+ \approx 1 (t^+ = t_s / t_m) \text{ və } t_s \gg t_m$$

burada:  $t_s$ –səthin temperaturu,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_m$ –pseudokritik temperatur, yəni kritikdən yüksək təzyiqlərdə istilik tutumunun maksimum qiymətinə uyğun gələn temperatur,  $^{\circ}\text{C}$  [1].

Pseudokritik temperatur ətrafında istilikvermə prosesinin intensivləşməsi ( $t^+ \approx 1$ ) mayenin fiziki xassələrinin axın hissəsi boyunca çox yüksək dəyişməsi ilə əlaqədar ola bilər. Bu fikri digər tədqiqatçılar da fərqli maddələrlə apardıqları tədqiqatların nəticələri ilə təsdiqləyirlər.

İstilikvermə prosesinin təkrar intensivləşməsi, başqa sözlə, təkrar yaxşılaşmış istilik-vermə, hansı ki, başverməsi divarın temperaturunun maksimum qiymətinə ( $t_s \gg t_m$ ) və xüsusi istilik selinin yüksək qiymətinə (adətən  $q \approx 3 \cdot 10^6 \text{ Vt} / \text{m}^2$ ) uyğun gəlir.

Bu məsələnin fiziki izaha ehtiyacı olduğundan müxtəlif şəraitdə müxtəlif istilikdaşıyıcılarla əlavə istilikvermənin tədqiqini aparmaq lazımdır.

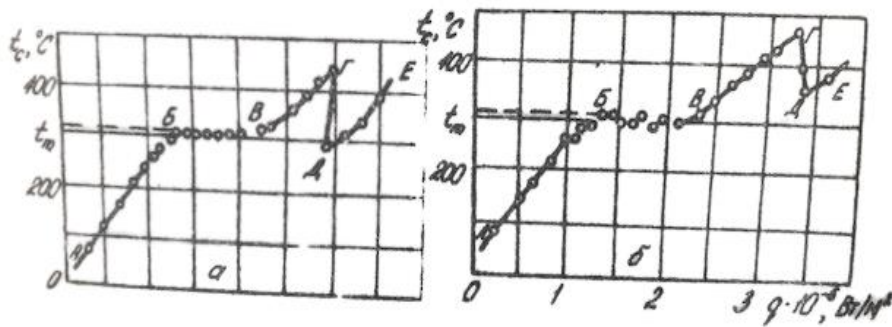
Təqdim olunan iş, istilik mübadiləsinin təkrar intensivləşməsinin əmələ gəlməsi və onun fiziki mahiyyətinin öyrənilməsi ilə əlaqədar olaraq eksperimental tədqiqatların aparılmasına həsr edilmişdir. İstilikvermə prosesi ədəbiyyat [2]-də göstərilmiş qurğuda yazıldığı ardıcılıqla tədqiq olunmuşdur. Qurğuda eksperimental sahə kimi daxili diametri 2,09 mm, divarın qalınlığı 0,46 mm və qızdırılan uzunluğu 220 mm olan 12X18H10T paslanmayan poladdan hazırlanmış borudan istifadə olunmuşdur. İşçi cisim kimi doymuş karbohidrogenlər sinfindən olan n-heptan ( $\text{C}_7\text{H}_{16}$ ), n-hekzan ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ ) və aromatik karbohidrogen toluoldan ( $\text{C}_7\text{H}_8$ ) istifadə olunmuşdur. Eksperimental nəticələr təcrübə borusunun həm şaquli (yuxarı və aşağı hərəkəti), həm də horizontal vəziyyətində, eyni zamanda, arqumentin  $R_e = 10 \cdot 10^3 \div 80 \cdot 10^3$  dəyişmə diapazonunda alınmışdır. Borunun maili vəziyyətində toluolun və heptanın istilikverməsi tədqiq olunmuşdur. Bu zaman borunun mailik bucağı  $\varphi = 30$  və  $60^\circ$  təşkil etmişdir. Bütün təcrübələrdə borunun xarici səthinin temperaturu 6 ədəd diametri 0,2 mm olan xromel-alümel termocütlər vasitəsilə ölçülmüşdür. Eyni zamanda bu termocütlər borunun girişindən müxtəlif məsafələrdə yerləşdirilmişdir ki, bu da öz növbəsində istilikvermə əmsalının yerli qiymətinin təyin edilməsinə imkan verirdi.

Eksperimental borunun girişində və çıxışında istilikdaşıyıcıların temperaturu eyni termocütlərlə ölçülmüşdür.

Borunun müxtəlif kəsiklərində mayenin orta temperaturu maye selinin entalpiyasının qiyməti ilə təyin edilmişdir.

Borunun  $x/d=64$  hissəsində alınan nəticələr tərəfimizdən analiz olunmuşdur.

Şək.1-də divar səthinin temperaturunun xüsusi istilik selindən asılılıq qrafiki göstərilmişdir.



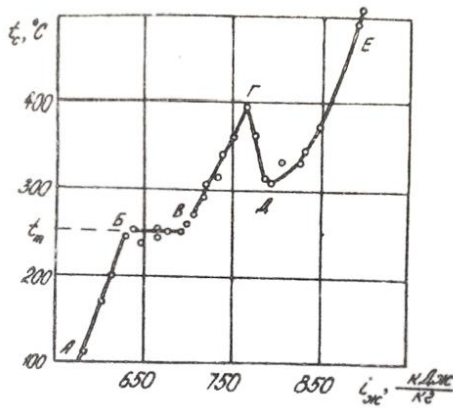
**Şəkil 1.** Divar səthinin temperaturunun xüsusi istilik selindən asılılıq qrafiki

Bu qrafik uyğun olaraq n-heptanın yuxarı və aşağı hərəkəti, həmçinin  $P=4,5\text{MPa}$  üçün göstərilmişdir.

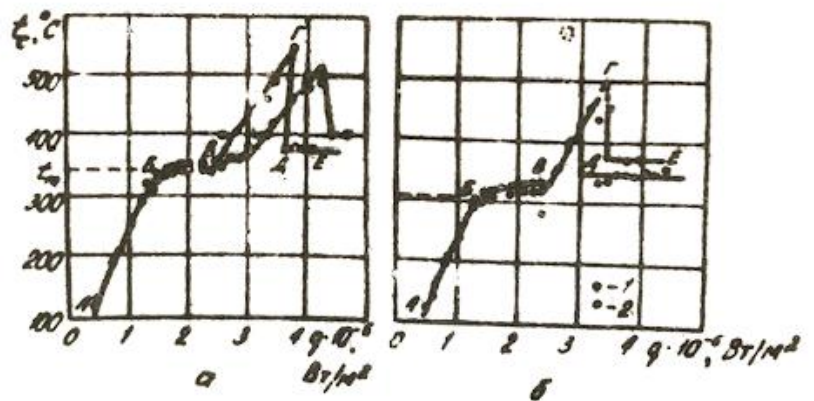
Şəkildən görünür ki, n-heptanın yuxarı və aşağı hərəkəti üçün  $t_s=f(q)$  qrafiki asılılığında dəyişmə xarakteri eyni, həm də mürəkkəbdir. Qrafikin AB hissəsində  $t_s < t_m$  şərti daxilində qrafiklərin dəyişmə xarakteri təcrübə xətası çərçivəsində düz xətt qanununa tabe olur. B nöqtəsində səthin temperaturu pseudokritik temperatura bərabər olur, bu zaman xüsusi istilik selinin qiyməti

artdıqca səthin temperaturu təxminən dəyişməz qalır, yəni,  $t_s \approx \text{const}(t^+ \approx 1)$ . VQ sahəsində xüsusi istilik selinin qiyməti artdıqca səthin temperaturu artır və yenə də düz xətt qanununa tabe olur. Xüsusi istilik selinin və temperaturun yüksək qiymətlərində səthin temperaturunun  $150^\circ\text{C}$  civarında hətta daha çox (məs.QD sahəsində) düşməsi müşahidə olunur. D nöqtəsindən sonra xüsusi istilik selinin qiymətinin artması ilə səthin temperaturu müqayisə ediləcək qədər yavaş artır.

Şək.2-də  $P=4,0$  MPa təzyiqdə n-qeksanla aparılan təcrübənin nəticəsi olaraq, səthin temperaturunun maye selinin entalpiyasından ( $i_m$ , kc/kq) asılılığı göstərilmişdir. Göründüyü kimi, selin entalpiyasının qiymətinin 630 kc/kq dəyişməsi ilə istilikvermənin normal,  $i_m$ - in qiymətinin 630-dan 700 kc/kq artması ilə istilikvermənin ilk intensivləşməsi, daha sonra  $i_m=700 \div 765$  kc/kq qiymətində istilikvermənin nisbi zəifləməsi müşahidə olunur. Qeyd etmək lazımdır ki, ədəbiyyatlarda istilikvermənin zəifləmiş və ya pisləşmiş rejimi istilikvermənin normal rejimindəki qiyməti ilə müqayisədə aşağı alınır. Verilmiş halda VQ hissəsində istilikvermə əmsalı normal rejiminkindən çox, intensivləşmiş rejiminkindən isə az alınmışdır. Bu səbəbdən göstərilən rejim tərəfimizdən istilikvermənin nisbi zəifləmiş (pisləşmiş) rejimi adlandırılıb. Bu aparılan təcrübələrdə istilikvermənin təkrar intensivləşməsi selin entalpiyasının  $t_m \geq 765$  kc/kq qiymətində baş verir. Xüsusi istilik selinin artmasına baxmayaraq, səthin temperaturu təxminən  $90^\circ\text{C}$ -yə qədər azalır. Sonralar toluol və n-heptanla maili borularda ( $\varphi=30$  və  $60^\circ$ ) uyğun olaraq  $P=5,0$  və  $4,5$  MPa təzyiqlərdə aparılan təcrübələrin nəticələri istilikvermənin təkrar intensivləşməsinin mövcudluğunu sübut etmişdir.



Şəkil 2.



Şəkil 3.

Toluolla aparılan təcrübələrdə istilik mübadiləsinin təkrar intensivləşməsi anında səthin temperaturunun düşməsi  $\sim 170^\circ\text{C}$ , n-heptanla aparılan təcrübələrdə isə bu rəqəm  $\sim 130^\circ\text{C}$  təşkil etmişdir (şək.3a və b).

Təcrübə borusunun horizontal vəziyyəti üçün göstərilmiş  $\alpha = f(t_s)$  qrafiki asılılıq göstərir ki, kiçik diametrlı borularda karbohidrogenlərlə aparılan təcrübələrdə borunun vəziyyətinin dəyişməsi istilik mübadiləsinin xarakterinə təsir etmir (şək.4). Borunun horizontal vəziyyətində istilik mübadiləsinin təkrar intensivləşməsi anında səthin temperaturu təxminən  $90^\circ\text{C}$  aşağı düşmüşdür (şək. 4a). Bu zaman istilikvermə əmsalı 1,38 dəfə, yəni  $\alpha_A/\alpha_Q=1,38$  yüksəlmişdir.

Beləliklə, mövcud tədqiqatların nəticələri göstərir ki, istilikvermə prosesinin iki dəfə intensivləşməsi karbohidrogenlər üçün xarakterikdir, eyni zamanda mayenin hərəkət istiqaməti və təcrübə borusunun vəziyyətinin istilikvermə prosesinin iki dəfə intensivləşməsinə təsiri yoxdur.

Maddələrin kritikdən yüksək təzyiqlərdə konvektiv istilik mübadiləsi prosesi üzrə ədəbiyyat təhlili göstərir ki, bir sıra eksperimental tədqiqatlarda istilikdaşıyıcı qismində n-heptandan istifadə olunmuşdur. Göstərilən işlərdə n-heptanın boruda yuxarı və aşağı hərəkəti zamanı istilikvermə prosesi öyrənilmişdir. Aparılan tədqiqatların nəticələri səthin temperaturunun  $150^\circ\text{C}$  və bəzən daha

çox sıçrayışla düşməsinə təsdiqləyir. Uyğun hadisə turbulent rejimli kritikdən yüksək təzyiqlərdə digər maddələrlə məsələn, diizopropilsikloheksanla aparılan təcrübələrdə də alınmışdır [5]. Bu qeyd olunan işlərin nəticələrinin mövcud tədqiqatların nəticələrindən fərqi ondadır ki, ədəbiyyat [3,4]-ki müəlliflər xüsusi istilik selinin geniş interval dəyişməsində onlar istilikvermə prosesinin yalnız bir dəfə intensivləşməsinə müəyyən ediblər. Onlar baş verən hadisəni maye təzyiqinin dəyişmə tezliyi ilə əlaqələndirirlər. Bizim fikrimizcə, istilikvermənin təkrar intensivləşməsi divar təbəqəsində karbohidrogenlərin parçalanması ilə əlaqədar olur. Karbohidrogenlərin yüksək temperaturda parçalanmasının mümkünüyü doymuş və aromatik karbohidrogenlərlə PVT asılılığı aparılmış tədqiqatların nəticələri də [6,7] təsdiq edir. Bundan başqa K.Ellisin «Karbohidrogenlərin və onların törəmələrinin kimyası» monoqrafiyasında da göstərilir ki, karbohidrogenlər yüksək temperaturda parçalanırlar [8]. Buna görə də güman etmək olar ki, tədqiq olunan maddə səth təbəqəsinin yaxınlığında temperaturun və xüsusi istilik selinin böyük qiymətlərində qaz ayrılması ilə parçalanırlar. Qızmış qaz divardan ayrılır və laminar sərhəd təbəqəsini dağıdaraq istilikvermə prosesini intensivləşdirir. Görünür maye təzyiqinin dəyişmə tezliyi də bununla əlaqədardır.

### ƏDƏBİYYAT

1. Исаев, Г.И. Экспериментальное исследование теплоотдачи при течении жидкости (толуола и бензола) в трубе при сверхкритическом давлении: / дисс. для получения кандидата технических наук / –Баку, 1975.
2. Исаев, Г.И. Исследование теплоотдачи при вынужденном движении п-гептана и сверхкритическом давлении // Промышленная теплотехника, –1981, № 4.
3. Каплан, Ш.Г. Об одной возможной модели процесса переносе в околоскритической области состояния жидкости // ИФЖ, –1974, № 3.
4. Mamedov Sh.G.and etc. Recovery of High-potential heat in the steel industry for the production of hydrogen and carbon on hydrocarbon cracking plants of the petrochemical industry // Environmental aspects of energy, International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology © Scientific Technical Centre «TATA», –2000-2023.
5. Mamedov Sh.G. and etc. Production of hydrogen and carbon in the petrochemical industry by cracking of hydrocarbons in the process of heat utilization in steel production // International Journal of Hydrogen Energy, Volume 48, Issue 40, 8 May, –2023, –pp.14954-14963.
6. Mamedov Sh.G. and etc. Study of the heat transfer of hydrogen and marginal hydrocarbons at supercritical pressures // ISJAEI-IJHE#083-184-001 Q1-Scopus (Q1/Q2)-Web of Science, – 2023.
7. Мамедов Ш.Г. и др. Изменение температуры стенки горизонтальных и наклонных труб в зависимости от плотности теплового потока при турбулентном течении п-гептана и сверхкритических давлениях // Научный журнал изд. «Проблемы науки» №5 (28) –2018, – с.23-27.
8. Абдуллаева Г.К. и др. Теплоотдача турбулентного потока ароматических углеводородов (на примере бензола) при сверхкритическом давлении // Ученые записки том 2. №2. Азербайджанский Технический Университет, –2019. –с.77-79.

### SUMMARY

#### INTENSIFICATION OF THE HEAT EXCHANGE PROCESS

*Mammadov Sh.G.*

**Key words:** heat transfer, intensification, pseudocritical temperature, heat capacity, turbulent regime, heat flow.

An analysis of the experimental data showed that a secondarily improved heat transfer regime occurs due to the decomposition of hydrocarbons in the near-wall layer. It can be assumed that the substance under study at high temperatures and high values of the heat flux density in the near-wall layer decomposes

with the release of gas. The heated gas, separating from the wall, destroys the laminar boundary layer and intensifies the heat transfer process.

**РЕЗЮМЕ**  
**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА**

*Мамедов Ш.Г.*

**Ключевые слова:** *теплообмен, интенсификация, псевдокритическая температура, теплоемкость, турбулентный режим, тепловой поток.*

Анализ опытных данных показал, что вторично улучшенный режим теплоотдачи возникает вследствие разложения углеводородов в пристенном слое. Можно предположить, что исследуемое вещество при высоких температурах и больших значениях плотности теплового потока в пристеночном слое разлагается с выделением газа. Нагретый газ, отделяясь от стенки, разрушает ламинарный пограничный слой и интенсифицирует процесс теплоотдачи.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 04.04.2024 |
|                   | Son variant   | 03.05.2024 |

UOT 621.31

DOI 10.54758/16801245\_2024\_24\_2\_96

## ELEKTRİK TƏCHİZATI SİSTEMLƏRİNDƏ QEYRİ-SİMMETRİK YÜKLƏRİN İŞ REJİMLƏRİNƏ TƏSİRLƏRİNİN TƏDQIQI

<sup>1</sup>HACIBALAYEV NADİR MİRZƏBALA oğlu [ORCID](#)<sup>2</sup>QULİYEV ZAHİD AĞAQULU oğlu [ORCID](#)<sup>3</sup>CABBAROVA SAMİRƏ MÖHÜBBƏT qızı [ORCID](#)

Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, 1,2- dosent, 3-baş müəllim  
[nadir.hacibalayev@sdu.edu.az](mailto:nadir.hacibalayev@sdu.edu.az)

*Açar sözlər:* elektrik təchizəti, qeyri-simmetriklik, üçfazlı sistem, birfazlı sistem, düz və əks ardıcılıqlı cərəyan

Son illər həm birfazlı elektrik yüklərinin (xüsusilə elektrik sobalarının) güclərinin artmasıyla, həm də elektrik enerjisinin keyfiyyətinə, o cümlədən gərginliklərin simmetrikliliyinə tələbatın yüksəlməsiylə əlaqədar birfazlı yüklərin simmetrikləşdirilməsinin yüksək effektiv üsulları və vasitələrinin işlənməsi və tətbiqi böyük xalq təsərrüfatı əhəmiyyətli məsələyə çevrilmişdir. Gərginliklərin qeyri-simmetrikliliyi düzləndiricilərin gücünü azaldır, tənzimləyici və kompensasiyaedici qurğuların istifadə effektivliyini aşağı salır. Qeyri-simmetriklik xüsusilə asinxron mühərriklərin işinə, uzunömürlülyünə və davamlılığına mənfi təsir göstərir, belə ki, gərginliklərin qeyri-simmetrikliliyi 5% olduqda asinxron mühərriklərin gücləri 5-20% azalır. Eləcə də 4% qeyri-simmetriklik mühərriklərin xidmət müddətlərini iki dəfə azaldır.

Beləliklə, gərginliklərin və cərəyanların simmetrikliliyinin təmini gərginliyin tənzimi kimi təkcə avadanlıqların texniki iş rejiminə görə yox, həm də çoxfazlı sistemin bütün bəndlərinin etibarlı və iqtisadi əlverişli işinin təmini üçün lazımdır.

Qeyri-simmetrik rejim həm mənbələrin, həm də elektrik enerjisi tələbatçıların qeyri-simmetrikliliyi ilə yaranı bilər. Birinci halda simmetrikləşdirmə qeyri-simmetrik gərginliklər sistemindən qidalanan üçfazlı tələbatçıların sıxaclarında gərginliklərin simmetrikliliyinin təminindən ibarət olur. İkinci halda məsələnin həlli qeyri-simmetrik yükün fazalar üzrə bərabər paylanması üçün xüsusi simmetrikləşdirici tədbirlərin, eləcə də simmetrikləşdirici qurğuların işlənməsi ilə yerinə yetirilir.

Qeyri-simmetrik yük olduqda gərginliklərin və cərəyanların simmetrikləşdirilməsi məsələləri gərginliyin tənzimi üsulları və vasitəsilə həll oluna bilməz. Yəni qeyri-simmetrikliliyin buraxıla bilən həddə qədər endirilməsi və ya tamamilə aradan qaldırılması güclü lokal sənaye yüklərinin və xüsusi yüklərin simmetrikləşdirilməsi üçün də istifadə olunan xüsusi simmetrikləşdirici qurğuların köməyiylə ola bilər.

Bilirik ki, üçfazlı enerji təchizəti sistemlərində fazalar üzrə elektrik yükləribərabər paylanmayıbsa onda, qeyri-simmetrik iş rejimləri yaranır. Çoxfazlı enerji təchizəti sistemlərində qısamüddətli və uzunmüddətli qeyri-simmetrik iş rejimləri yaranır.

Qısamüddətli qeyri-simmetrik iş rejimlərində adətən qısamüddətli qapanma, yəni yerlə qısaqapanma, qırılma, tək fazlı avtomatik təkrar qoşulma zamanı bir xəttin açılması və s. bu kimi qəza halları ilə əlaqədar olur. Elektrik təchizəti sisteminin bu və ya digər elementlərində qeyri – simmetriklik olarsa və ya enerjisistemə qeyri – simmetrik yüklər, məsələn, hər hası bir fazaya yük qoşularsa bu zaman uzunmüddətli qeyri-simmetrik rejimlər yaranır.

Uzunmüddətli qeyri-simmetrik rejimlər iki yerə bölünür: uzununa və eninə. Uzununa qeyri-simmetriklik elektrik veriliş xətlərində yaranan qeyri-simmetriklikdir. Yəni, elektrik

avadanlıqlarının və ya elektrik veriliş xətlərinin təmiri zamanı ayrı – ayrı fazalar üzrə yaranan natamam iş rejimləri və ya xətlərin hər hansı birində qəza zamanı zədələnmiş xəttin açılmasından sonra yaranır. Bundan başqa uzununa qeyri-simmetriklik elektrik veriliş xətlərinin ötürmə sistemlərində bir sıra xüsusi halları da aid oluna bilər. Məsələn iki naqıl – boru (İNB), iki naqıl – yer (İNY), iki naqıl – rels (İNR) və s.

Eninə qeyri-simmetrik iş rejimlərində isə qeyri-simmetrik yüklərdə, birfazlı elektrotermiki qurğularda, elektrik qaynaq aparatlarında, dərzi yüklərində və s. yaranır.

Üçfazlı elektrik təchizatı sistemlərində qeyri-simmetrik rejimlər zamanı sıfır və əks ardıcılıqlı cərəyan və gərginliklərin simmetrik toplanmaları yaranır. Bu da öz növbəsində elektrik tələbatçıların işinə mənfi təsir göstərir. Sinxron maqnit sahəsinin əksinə maqnit sahəsi yaradan cərəyanlar əks ardıcılıqlı cərəyanlardır. Bunun nəticəsində isə elektrik avadanlıqlarının qızması və elektrik maşınlarının fırladıcı momentlərinin azalması baş verir. Əks ardıcılıqlı cərəyanlar elektrik avadanlıqlarında və generatorların şinlərində gərginlik üçbucağını təhrif edir. Elektrik şəbəkəsinin faza gərginliyinin qeyri-simmetrikliliyinə səbəb sıfır ardıcılıqlı cərəyanlardır. Bunlar isə yaxınlıqdakı xətlərə məsələn, rabitə xətlərinə mənfi təsir göstərir.

Çoxfazlı sistemin qeyri-simmetrikliliyini cərəyan və gərginliklərin qeyri-simmetriklik əmsalları ilə xarakterizə etmək qəbul edilmişdir:

$$\begin{aligned}\dot{\mathcal{E}}_I &= \frac{\dot{I}^{II}}{I^I} = \mathcal{E}_I e^{j\varphi_I} \\ \mathcal{E}_{II} &= \frac{\dot{U}^{II}}{U^I} = \mathcal{E}_{II} e^{j\varphi_{II}}\end{aligned}\quad (1)$$

Burada  $U^I$ ,  $I^I$  və  $U^{II}$ ,  $I^{II}$  -düz və əks ardıcılıqlı gərginlik və cərəyanların simmetrik mürəkkəbləridir.

Bəzi hallarda qeyri-simmetrikliliyi cərəyan və gərginliklərin

$$\begin{aligned}\dot{\mathcal{E}}_{0I} &= \frac{\dot{I}^0}{I^I} = \mathcal{E}_{0I} e^{j\varphi_{0I}} \\ \mathcal{E}_{0II} &= \frac{\dot{U}^0}{U^I} = \mathcal{E}_{0II} e^{j\varphi_{0II}}\end{aligned}\quad (2)$$

və ya

$$\dot{\mathcal{E}}_I = \frac{\dot{I}^{II}}{I^I}; \quad \mathcal{E}_U = \frac{\dot{U}^{II}}{U^I}\quad (3)$$

əmsalları ilə xarakterizə edirlər. Bu əmsallarda  $\dot{U}^0$ ,  $\dot{I}^0$  -sıfır ardıcılıqlı gərginlik və cərəyanların simmetrik mürəkkəbləri;  $\dot{U}_H$ ,  $\dot{I}_H$  -gərginlik və cərəyanın nominal qiymətləridir.

(1) və (3) ifadələrini nəzərə alaraq əsas faza kimi qəbul edilmiş bir faza üçün yazmaq olar.

$$\dot{I} = \dot{I}^I + \dot{I}^{II} + \dot{I}^0 = \dot{I}^I (1 + \dot{\mathcal{E}}_I + \dot{\mathcal{E}}_{0I})\quad (4)$$

Beləliklə, qeyri-simmetrikliliyin ümumi halında  $\dot{I}^I$  cərəyan vektoruna simmetriyanı pozan vektorlar əlavə olunurlar:

$$\dot{I}^I \dot{\mathcal{E}}_I + \dot{I}^I \dot{\mathcal{E}}_{0I} = \dot{I}^I (\dot{\mathcal{E}}_I + \dot{\mathcal{E}}_{0I}) = \dot{I}^I \dot{\mathcal{E}}\quad (5)$$

Burada ümumi təhrif əmsalı

$$\dot{\mathcal{E}} = \dot{\mathcal{E}}_I + \dot{\mathcal{E}}_{0I}\quad (6)$$

Qeyd edək ki,  $\dot{\mathcal{E}}$  -əmsalı şərti kəmiyyət olduğu üçün digər fazalarda cərəyan (gərginlik) təyin edildikdə  $\dot{\mathcal{E}}_I$  ( $\dot{\mathcal{E}}_{0I}$ ) və  $\dot{E}_{0I}$  ( $\dot{E}_{0U}$ ) kəmiyyətləri ayrıca şərtləndirilməlidirlər.

Gərginliklər üçün də (4) – (6) ifadələrinə analoji ifadələr yazmaq olar. Tədqiqat nəticələri göstərir ki,  $\dot{\mathcal{E}}_U=5\%$  olduqda və uzunmüddətli nominal yüklə elektrik maşınlarının qorxulu qızması baş verir və nəticədə onlar çox vaxt sıradan çıxırlar. Bu halda cərəyana görə qeyri-simmetriklik  $\dot{\mathcal{E}}_U$ -nun göstərilmiş qiymətindən çox böyük ola bilər.

Üçfazlı sistemlərin buraxıla bilən qeyri-simmetriklik qiyməti qida mənbələrinin və elektrik enerjisi tələbatçıların qənaətbəxş işləmə şərtindən seçilməlidir. Praktiki olaraq belə bir rejimi üçfazlı sistemin simmetrik rejimi hesab etmək olar ki, əks və sıfır ardıcılıqlı cərəyanların

simmetrik mürəkkəbələri düz ardıcılıqlı cərəyanın simmetrik mürəkkəbələrindən 5% çox olmur (yəni  $\dot{\mathcal{E}}_1 \leq 5\%$  və  $\dot{\mathcal{E}}_{01} \leq 5\%$ ), əks və sıfır ardıcılıqlı gərginliklərin simmetrik mürəkkəbələri isə düz ardıcılıqlı gərginliyin simmetrik mürəkkəbələrindən 2% çox olmur (yəni  $\dot{\mathcal{E}}_U \leq 2\%$  və  $\dot{\mathcal{E}}_{0U} \leq 2\%$ ).

DÜİST 13109-67-yə əsasən elektrik enerjisinin keyfiyyətinə qoyulan normalara görə gərginliyin qeyri-simmetrikliyi 2%-dən çox deyilsə üçfazlı sistem simmetrik sayılır.

Qeyd etmək lazımdır ki, sıfır ardıcılıqlı cərəyanlar adətən yalnız birbaşa torpaqlanmış neytralla işləyən yüksək gərginlikli şəbəkələrdə və paylayıcı alçaq gərginlikli şəbəkələrdə mövcud olur. Geniş yayılmış sıfır xətti olmayan üçfazlı elektrik şəbəkələrində bu cərəyanlar olmur və onlarda qeyri –simmetriklik təyin edildikdə  $\mathcal{E}_1$  və  $\mathcal{E}_U$  əmsalları istifadə olunurlar. Gərginliklərin qeyri simmetrikliyi üçfazlı simmetrik sistemlərdə cərəyanların qeyri-simmetrikliyi ilə əlaqədar yarandığından bu əmsallar öz aralarında qarşılıqlı əlaqəli olurlar. Göstərilən əmsalları təyin etmək üçün müxtəlif ardıcılıqlı cərəyan və gərginliklərin mürəkkəbələrinin ölçülmüş qiymətlərindən istifadə edilir. Bu mürəkkəbələr simmetrik mürəkkəbələr süzgəcləri vasitəsilə ölçülür və ya aşağıdakı ifadələrin köməyiylə hesablanırlar:

$$\begin{aligned}\dot{I}^{II} &= \frac{1}{3}(\dot{I}_1 + a^2\dot{I}_2 + a\dot{I}_3) \\ \dot{I}^I &= \frac{1}{3}(\dot{I}_1 + a\dot{I}_2 + a^2\dot{I}_3)\end{aligned}\quad (7)$$

burada  $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3$  -sistemin fazalarındakı cərəyanlar;  $a^{j\frac{2\pi}{3}}$  -faza operatorudur.

Müxtəlif ardıcılıqlı cərəyan və gərginliklərin mürəkkəbələrinin tapılmasını sadələşdirmək məqsədilə tez-tez xüsusi nomogramlar istifadə olunur.

Əgər mənbənin (generatorun) gücünü sonsuz qəbul etsək, üçfazlı sistemlərdəki qeyri-simmetrikliyi yüklərin güclərinə əsaslanaraq qiymətləndirmək olar. Kompleks tam güc üçün yazmaq olar:

$$\dot{S} = \dot{I}\dot{U} = \dot{Y}\dot{U}\dot{U} = \dot{Y}U^2$$

$\dot{Y}$  və  $\dot{U}$  yük keçiriciliyinin və gərginliyin qoşma qiymətləridir.

Düz və əks ardıcılıqlı xətt cərəyanlarının mürəkkəbələrinin qoşma kəmiyyətləri üçün ifadələr aşağıdakı kimi olacaq:

$$\begin{aligned}\dot{I}^I &= \frac{1}{\sqrt{3}U_x} \sum S \quad ; \\ \dot{I}^{II} &= \frac{1}{\sqrt{3}U_x} (a^2\dot{S}_{12} + \dot{S}_{23} + a\dot{S}_{31})\end{aligned}\quad (8)$$

Birfazlı yükün 2 və 3 fazaları arasında qoşulduğunu fərz edib (8) ifadəsindən tapırıq.

$$\dot{\mathcal{E}}_1 = \frac{\dot{S}_{bif}}{\sum \dot{S}} \quad ; \quad \mathcal{E}_1 = \frac{S_{bif}}{|\sum \dot{S}|}\quad (9)$$

Burada  $\dot{S}_{bif}$  -birfazlı yükün tam gücü;  $\sum \dot{S}$  -bütün yüklərin tam kompleks gücü.

$$\sum \dot{S} = \dot{S}_{12} + \dot{S}_{23} + \dot{S}_{31} = \dot{S}_{tr} + \dot{S}_{bif}$$

$\dot{S}_{tr}$  -ekvivalent simmetrik və üçfazlı yükün kompleks gücü.

Böyük güclü birfazlı yükün enerji sistemin müəyyən nöqtəsinə qoşulma imkanlarını qiymətləndirmək üçün (9) ifadəsinin ikincisindən istifadə etmək əlverişlidir.

## ƏDƏBİYYAT

1. Аббакутов, В.Г. Симметрирование и компенсация реактивной мощности несимметричных промышленных нагрузок // Промышленная электроника, –1967.
2. Бамдас, А.М. Стабилизированные устройства для симметрирования трехфазных сетей при несимметричной трехфазной нагрузке / А.М.Бамдас, В.А.Кулинич, В.П.Неклюдов // В кн.: Устройства преобразовательной техники. Вып.2., –Киев: Наукова думка, –1969.

3. Бирюкова, Р.П. Симметрирование режимов в электрических системах с мощными однофазными тяговыми нагрузками / Р.П.Бирюкова, Д.В.Тимофеев // В кн.: Устройство преобразовательной техники. Вып.2, –Киев: Наукова думка, –1969.

**SUMMARY**  
**RESEARCH OF THE EFFECTS OF UNSYMMETRICAL LOADS**  
**ON WORKING MODES IN ELECTRICAL SUPPLY SYSTEMS**  
*Hajibalayev N.M., Guliyev Z.A., Jabbarova S.M.*

**Key words:** *power supply, non-symmetry, three-phase system, single-phase system, direct and reverse sequence current.*

In this presented article, the study of the effects of non-symmetrical load operating modes in electrical supply systems was conducted. Here, ensuring the symmetry of voltages and currents is necessary not only for the technical operation of the equipment, but also for the reliable and economical operation of all the points of the multiphase system.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕСИММЕТРИЧНЫХ НАГРУЗОК НА РЕЖИМЫ**  
**РАБОТЫ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**  
*Гаджибалаев Н.М., Кулиев З.А., Джаббарова С.М.*

**Ключевые слова:** *электрообеспечение, несимметрия, трехфазная система, однофазная система, ток прямой и обратной последовательности.*

В представленной статье было проведено исследование влияния несимметричных режимов работы нагрузки в системах электрообеспечения. Здесь обеспечение симметрии напряжений и токов необходимо не только для технической эксплуатации оборудования, но и для надежной и экономичной работы всех точек многофазной системы.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 05.04.2024 |
|                   | Son variant   | 30.05.2024 |

MÜNDƏRİCAT \* СОДЕРЖАНИЕ \* CONTENTS

**Riyaziyyat. Fizika**

1. *Məmmədov K.Ş., Hüseynov S.Y., Baxşəliyeva İ.İ.* Intervallı çanta məsələsində məchulları iki-iki seçməklə suboptimist və subpessimist həllərin tapılması üsulu 4
2. *Мусаева М.А.* Об одной задаче оптимального управления противоборством 7

**Kimya**

3. *Азизов Р.Э.* Исследование процесса биокоррозии с применением ингибиторов коррозии и биоцидов 16
4. *Karimov S.A., Abdullayev E.T., Gurbanov M.A., Gasimzada L.Kh.* The kinetic properties of  $\gamma$  – radiolysis of HCB In selected organic solvents 24
5. *Салаева З.Ч., Мамедова Э.С., Серебряков Б.Р., Гусейнова А.Э., Мамедалиев Г.А.* Каталитические системы для процесса окислительной дегидроциклизации изобутилена в пара-ксилол 30
6. *Aslanova E.T., Garayeva A.A., Geydarova SY., Mamedov B.A., Nurullayeva D.R.* Synthesis of some derivatives of triglyceride of saccharin-6-carboxylic acid 37
7. *Turabxanlı S.E., Muradov M.M., Nəsirova İ.M., Abuşova Z.B.* 2-metilanilinin 2-propanolla katalitik alkilləşməsinin tədqiqi 43
8. *Məmmədov Ş.H., Kərimli O.Ş.*  $\text{Sn}_2\text{Sb}_2\text{Se}_5$ - $\text{Sn}_2\text{Bi}_2\text{Se}_5$  sisteminin tədqiqi 47

**Ekologiya**

9. *Джафарова Н.М., Гаджиева С.Р., Байрамов Г.И.* Экологический анализ органических веществ с экотоксичными свойствами, выбрасываемых в воздушную среду из участка электродугового сталеплавления (уэдсп) Бакинского сталелитейного предприятия 52

**Coğrafiya**

10. *Mərdanov İ.İ., Ağayev T.D., Əhmədova N.M.* Şərqi Zəngəzurun düzənlik hissəsinin geoloji-geomorfoloji xüsusiyyətləri 58

**Biologiya**

11. *Namazov N.R., Yusifova S.N.* Turistik meşə landşaftlarının antropogen çirklənməsinin nəticələrinin aradan qaldırılmasında mikrobiotadan istifadə perspektivləri 62
12. *Xəlilov T.A., Qədimov V.Ə., Ələkbərli G.Y.* Kimyəvi maddələrin qonadotrop və konserogen təsiri 67

**Texnika**

13. *Гахраманов В.Ф.* Влияние химического состава стали и сплавов на электрическое сопротивление 72
14. *Rasulzada Sh.F.* Enhancing transportation planning and execution with erp systems: a case study analysis 76
15. *Əmirbəyova N.S.* Kanal və küvetləri təmizləyən işçi orqanın tənzimləyən vasitənin funksiyalarının modelləşdirilməsi və kompüter eksperimentləri ilə tədqiqi 82
16. *Məmmədov Ş.H.* İstilik mübadilə prosesinin intensivləşdirilməsi 91
17. *Hacıbalayev N.M., Quliyev Z.A., Cabbarova S.M.* Elektrik təchizati sistemlərində qeyri-simmetrik yüklərin iş rejimlərinə təsirlərinin tədqiqi 96

---

|                  |                       |
|------------------|-----------------------|
| Kompüter yığımı  | <i>S.Şahverdiyeva</i> |
| Texniki redaktor | <i>E.Həsəratova</i>   |

Çapa imzalanmışdır: 28.06.2024-cü il  
Mətbəə kağızı, kağızın formatı: 70\*108 ¼  
Yüksək çap üsulu. Həcmi: 23,18 ş.ç.v.  
Sifariş 67. 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://ssu.nat-tech.scientificnews.edu.az>

**E-mail:** [Sevda.Shaxverdiyeva@sdu.edu.az](mailto:Sevda.Shaxverdiyeva@sdu.edu.az)

