

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



AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI TƏHSİL NAZİRLİYİ  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ  
MINISTRY OF EDUCATION THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN



SUMQAYIT DÖVLƏT UNIVERSİTELİ  
СУМГАЙИТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SUMGAYIT STATE UNIVERSITY

# ELMİ XƏBƏRLƏR НАУЧНЫЕ ИЗВЕСТИЯ SCIENTIFIC NEWS

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

Cild  
Tom  
Volume | 21 № 3

Sumqayıt - 2021

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

SUMQAYIT DÖVLƏT UNIVERSİTETİ  
СУМГАЙТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SUMGAYIT STATE UNIVERSITY

ЕЛМІ ХӘВƏRLƏR  
НАУЧНЫЕ ИЗВЕСТИЯ  
SCIENTIFIC NEWS

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

Cild 21

2021

№ 3



Sumqayıt – 2021

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

**REDAKSİYA HEYƏTİ**

**ELXAN HÜSEYNOV**

**RAMAZAN MƏMMƏDOV**

**FİKRƏT FEYZİYEV**

*prof., rektor (baş redaktor)*

*prof., elm və innovasiyalar üzrə prorektor, (baş redaktor müavini)*

*prof. (məsul kətbə)*

**REDAKSİYA HEYƏTİNİN ÜZVLƏRİ**

**Fizika**

**Riyaziyyat**

**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), Məhəmməd Zərbəliyev, prof. (məsul redaktor, Azərbaycan), Həmidulla Aslanov, prof. (Azərbaycan), Məmməd Yaqubov, prof. (Azərbaycan), Vəqif Salmanov, prof. (Azərbaycan), Rəşid Əliyev, r.e.d. (Azərbaycan), Tamella Əhmədova, dos. (Azərbaycan), Zəfər Hüseynov, dos. (Azərbaycan).**

**Kimya elmləri**

**Ramil Baxtizin, akad.(Rusiya), Vəqif Abbasov, akad.(Azərbaycan), Dilqəm Tağıyev, akad. (Azərbaycan), Abasqulu Quliyev, AMEA-nin müxbir üzvü prof. (Azərbaycan), Məhəmməd Babanlı, AMEA-nin müxbir üzvü, prof. (Azərbaycan), Tatyana Prosoçkina, prof. (Rusiya), Eldar Əhmədov, prof. (Azərbaycan), Əkbər Ağayev, prof. (Azərbaycan), Qafar Ramazanov, prof. (məsul redaktor, Azərbaycan), Muxtar Səmədov, prof. (Azərbaycan), Mahal Muradov, dos. (Azərbaycan).**

**Biologiya elmləri**

**Elşad Qurbanov, AMEA-nin müxbir üzvü, prof. (Azərbaycan), Pənah Muradov, AMEA-nin müxbir üzvü, prof. (Azərbaycan), Vladimir Prokofyev, prof. (Rusiya), Ulduz Həşimova, prof. (Azərbaycan), Selia Bell, dos.( İngiltərə), Arzu Baxşalyev, dos. (məsul redaktor, Azərbaycan).**

**Coğrafiya elmləri**

**Vladimir Kozodyorov, prof. (Rusiya), Anatoliy Yamaşkin, prof. (Rusiya), Niyaz Valiyev, prof. (Rusiya), Tahir Ağayev, prof. (Azərbaycan), Yaqub Qəribov, prof. (Azərbaycan), Məhəmməd Abduyev, dos. (Azərbaycan), İlham Mərdanov, dos. (Azərbaycan).**

**Texnika elmləri**

**Telman Əliyev, akad. (Azərbaycan), Ağası Məlikov, AMEA-nin müxbir üzvü, prof. (Azərbaycan), Nail Kaşarov, EA-nin müxbir üzvü, prof. (Rusiya), Nikolay Korovkin, prof. (Rusiya), Yevgeniy Moşev, prof.(Rusiya), Aleksandr Qoleniçev-Kutuzov, prof. (Rusiya), Mixail Verxoturov, prof. (Rusiya), Leonid Ponomarenko, prof. (Ukrayna), Vladimir Qvozdev, prof.(Rusiya), Nafisa Yusupova, prof. (Rusiya), Aqil Hüseynov, prof. (Azərbaycan), Məhəmməd Əhmədov, prof. (Azərbaycan), Cavanşir Məmmədov, prof. (məsul redaktor, Azərbaycan), Georgios Dafoulas, dos.(İngiltərə), Qadir Mənsurov, dos.(Azərbaycan), Ulduz Ağayev, dos. (Azərbaycan).**

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

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

**ЭЛЬХАН ГУСЕЙНОВ**

**РАМАЗАН МАМЕДОВ**

**ФИКРАТ ФЕЙЗИЕВ**

*проф., ректор (главный редактор)*

*проф., проректор по науке и инновациям (зам. главного редактора)*

*проф., (ответственный секретарь)*

**ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ**

**Физика**

**Математика**

**Альберт Гильмутдинов, акад. (Россия), Сеонг-Чу Ю, проф. (Южная Корея), Сулейман Озчелик, проф. (Турция), Казимир Янушкевич, проф. (Белоруссия), Камиль Сабитов, проф. (Россия), Камиль Мансимов, проф. (Азербайджан), Магомедали Зарбалиев проф. (отв. ред., 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).**

**Химия.**

**Рамиль Бахтизин, акад. (Россия), Вагиф Абасов, акад. (Азербайджан), Дильгам Тагиев, акад. (Азербайджан), Абасгуду Гулиев, член-корр. НАНА, проф. (Азербайджан), Махмад Бабанлы, член-корр. НАНА, проф. (Азербайджан), Татьяна Просочкина, проф. (Россия), Ельдар Ахмедов, проф. (Азербайджан) Акбер Агаев, проф. (Азербайджан), Гафар Рамазанов, проф. (отв. ред.,**

*(Азербайджан), Мухтар Самедов, проф. (Азербайджан), Махал Мурадов, доц. (Азербайджан).*

**Биология**

*Эльшад Гурбанов, член-корр. НАНА, проф. (Азербайджан), Панах Мурадов, член-корр. НАНА, проф. (Азербайджан), Владимир Прокофьев, проф. (Россия), Улдуз Гашимова, проф. (Азербайджан), Селия Белл, доц., (Англия), Арзу Бахшалиев, доц. (отв. ред., Азербайджан).*

**География**

*Владимир Козодёров, проф. (Россия), Анатолий Ямашкин, проф. (Россия), Нияз Валиев, проф. (Россия), Тайир Агаев, проф. (Азербайджан), Ягуб Гаривов, проф. (Азербайджан), Магомед Абдуев, доц. (Азербайджан), Ильхам Марданов, доц. (Азербайджан).*

**Технические науки**

*Тельман Алиев, акад. (Азербайджан), Агаси Меликов, член-корр. НАНА, проф. (Азербайджан), Наиль Карапапов, 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), Нафиса Юсупова, проф. (Россия), Агиль Гусейнов, проф. (Азербайджан), Махмад Ахмедов, проф. (Азербайджан), Джаваншир Мамедов, проф. (отв. ред., Азербайджан), Георгиус Дафулас, доц. (Англия), Гадир Мансуров, доц. (Азербайджан), Улдуз Агаев, доц. (Азербайджан).*

**Sumgayit State University  
Scientific News. Series for Natural and Technology sciences**

**EDITORIAL STAFF**

**ELKHAN HUSEYNOV**

*prof., rector (chief editor)*

**RAMAZAN MAMMADOV**

*prof., vice-rector for Science and Innovations (deputy chief editor)*

**FIKRAT FEYZIYEV**

*prof.(executive secretary)*

**MEMBERS OF EDITORIAL STAFF**

**Physics**

*Albert Gilmutdinov, acad. (Russia), Seong-Cho Yu, prof. (South Korea), Suleyman Ozchelik, prof. (Turkey), Kazimir Yanushkevich, prof. (Belarus), Kamil Sabitov, prof. (Russia), Kamil Mansimov, prof. (Azerbaijan), Mahammadali Zarbaliyev, prof. (executive editor, Azerbaijan), Hamidulla Aslanov, prof. (Azerbaijan), Mammad Yagubov, prof. (Azerbaijan), Vagif Salmanov, prof. (Azerbaijan), Rashid Aliyev, assoc.prof. (Azerbaijan), Tamella Ahmadova, assoc.prof. (Azerbaijan), Zafar Huseynov, assoc.prof. (Azerbaijan).*

**Mathematics**

*Ramil Bakhtizin, acad.(Russia), Vagif Abbasov, acad.(Azerbaijan), Dilgham Taghiyev, acad. (Azerbaijan), Abasgulu Guliyev, prof. (Azerbaijan), Muhammad Babanli, prof. (Azerbaijan), Tatyana Prosochkin, prof. (Russia), Eldar Ahmadov, prof. (Azerbaijan), Akbar Aghayev, prof. (Azerbaijan), Gafar Ramazanov, prof. (executive editor, Azerbaijan), Mukhtar Samadov, prof. (Azerbaijan), Mahal Muradov, assoc.prof. (Azerbaijan).*

**Chemical sciences**

*Elshad Qurbanov, prof. (Azerbaijan), Panah Muradov, prof. (Azerbaijan), Vladimir Prokofyev, prof. (Russia), Ulduz Hashimova, prof. (Azerbaijan), Selia Bell, assoc.prof. (England), Arzu Baxshaliyev, assoc.prof. (executive editor), (Azerbaijan).*

**Biological sciences**

*Vladimir Kozodyorov, prof. (Russia), Anatoliy Yamashkin, prof. (Russia), Niyaz Valiyev prof. (Russia), Tahir Aghayev, prof. (Azerbaijan), Yagub Garibov, prof. (Azerbaijan), Mahammad Abdulyev, assoc.prof. (Azerbaijan), Ilham Mardanov, assoc.prof. (Azerbaijan).*

**Geographical sciences**

*Telman Aliyev, acad. (Azerbaijan), Aghasi Malikov, prof. (Azerbaijan), Nail Koschapov, 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), Nafisa Yusupova, prof. (Russia), Agil Huseynov, prof. (Azerbaijan), Mahammad Ahmadov, prof. (Azerbaijan), Javanshir Mammadov, prof. (executive editor), (Azerbaijan), Georgios Dafoulas, assoc.prof. (England), Gadir Mansurov, assoc.prof. (Azerbaijan), Ulduz Aghayev, assoc.prof. (Azerbaijan).*

**Technical sciences**

*Telman Aliyev, acad. (Azerbaijan), Aghasi Malikov, prof. (Azerbaijan), Nail Koschapov, 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), Nafisa Yusupova, prof. (Russia), Agil Huseynov, prof. (Azerbaijan), Mahammad Ahmadov, prof. (Azerbaijan), Javanshir Mammadov, prof. (executive editor), (Azerbaijan), Georgios Dafoulas, assoc.prof. (England), Gadir Mansurov, assoc.prof. (Azerbaijan), Ulduz Aghayev, assoc.prof. (Azerbaijan).*

**Təsisçi: Sumqayıt Dövlət Universiteti**

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

Azərbaycan Respublikası Ədliyyə Nazirliyi tərəfindən qeydiyyata alınmışdır.

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

Jurnal Rusiya Elmi İstiqadə 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://www.ssu-scientificnews.edu.az/az> tanış olmaq olar.

**Учредитель: Сумгайитский государственный университет**

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

Зарегистрирован Министерством Юстиции Азербайджанской Республики.

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

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

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

С правилами оформления статей можно ознакомиться на официальном сайте журнала

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

**Founder: Sumgayit State University**

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

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

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

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

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

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

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВОЛН В НЕОДНОРОДНЫХ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ ПРИ МАЛОЙ ВЯЗКОСТИ

<sup>1</sup>**КУРБАНОВ НАБИ ТАПДЫГ оглу**

<sup>2</sup>**БАБАДЖАНОВА ВУСАЛЯ ГАМЗА гызы**

<sup>3</sup>**АЛИЕВА УЛЬВИЯ САНГАН гызы**

*Сумгаитский государственный университет, 1-профессор, 2-доцент, 3-ст.преподаватель  
[yusala11@gmail.com](mailto:yusala11@gmail.com)*

**Ключевые слова:** напряжение, плотность, релаксация, преобразование Лапласа, изображение, коэффициент Пуассона, упругость, неоднородность, вязкоупругость.

В статье исследуется задача о распространении нестационарных динамических волн в неоднородном реологическом слое, когда плотность и функция релаксации материала слоя зависят от координат. Задача решена с помощью интегрального преобразования Лапласа для произвольных наследственных функций при малой вязкости. При вычислении оригинала предположено, что коэффициент Пуассона является постоянным. Решение получено в виде ряда, первый член которого соответствует фундаментальным решениям теории упругости, остальные члены ряда возникают за счет вязкоупругости материала. Показано, что волны затухают по экспоненциальному закону с течением времени.

Многие задачи природы, связанные с решением проблем сейсмологии сейсмостойкости технических систем приводятся к исследованию волновых процессов с учетом неоднородности и реологических свойств среды [1,6]. Однако, исследование этой задачи приводит к значительным сложностям математического характера. Аналогичная задача для упругого полупространства решена в работах [1,5], а в работах [2,3] исследована, когда плотность зависит от координаты, а функция релаксации не зависит от координат.

В данной работе исследуется задача о распространении нестационарных динамических волн в вязкоупругом слое, когда функция релаксации и плотность материала зависят от координат, направленных в глубь материала [1].

Пусть к поверхности неоднородного слоя  $y \geq 0$ , находящегося в покое, в момент  $t = 0$  прикладывается нагрузка

$$\sigma = f(t) \quad (1)$$

Тогда исследование напряженно-деформационного состояния слоя в последующие моменты времени математически сводится к решению системы уравнений

$$\frac{\partial \sigma(y,t)}{\partial y} = \rho \frac{\partial^2 u(y,t)}{\partial t^2} \quad (2)$$

$$u(y,t) = 0 \text{ при } y = h \quad (3)$$

начальные условия нулевые

$$u(y,t) = \frac{\partial u(y,t)}{\partial t} = 0 \text{ при } t = 0 \quad (4)$$

Определяющие соотношения и неоднородность среды принимаем в следующем виде:

$$\sigma(y,t) = \int_0^t \left[ R_1(t-\tau, y) + \frac{2}{3} R_2(t-\tau, y) \right] d \left[ \frac{\partial u(y,t)}{\partial y} \right] \quad (5)$$

$$R_1(y, t) = R_1(t)(1+ay)^k, R_2(y, t) = R_2(t)(1+ay)^k \rho(y) = \rho_0(1+ay)^k.$$

где  $\sigma$  - напряжение,  $\rho_0$  - плотность,  $u(y, t)$  - перемещение,  $h$  - толщина слоя,  $a$  и  $k$  постоянные,  $R_1(y, t)$  и  $R_2(y, t)$  - функции объемной и сдвиговой релаксации,  $f(t)$  - заданная функция, характеризующая внешнюю нагрузку.

Применяя интегральное преобразование Лапласа по времени  $t$  к уравнению (2) с учетом (4) и (5) получаем:

$$\frac{d^2 u(z, p)}{dz^2} + \frac{k}{z} \frac{du(z, p)}{dz} - \frac{\beta^2}{a^2} \tilde{u}(z, p) = 0 \quad (6)$$

Здесь введено обозначение

$$z = 1 + ay, \quad \tilde{\beta}^2(p) = \frac{p^2}{\tilde{c}^2(p)}, \quad \tilde{c}^2(p) = \frac{p\bar{R}_1(p) + \frac{2}{3}p\tilde{R}_1(p)}{\rho_0}$$

$p$  - параметр преобразования Лапласа,  $\tilde{u}(z, p)$ -изображение функции  $u(y, t)$ ,  $\bar{R}_1(p)$  и  $\bar{R}_2(p)$  изображение по Лапласу функций  $R_1(t)$  и  $R_2(t)$  соответственно.

Решение уравнения (6) в общем виде имеет вид:

$$\tilde{u}(z, p) = \left[ AK_\nu\left(\frac{\beta z}{a}\right) + BI_\nu\left(\frac{\beta z}{a}\right) \right] z^\nu \quad (7)$$

Здесь  $I_\nu(z)$  и  $K_\nu(z)$  модифицированные функции Бесселя.  $\nu = \frac{1-k}{2}$ ;  $A$  и  $B$  постоянные интегрирования, которые определяются из граничных условий. Из условия (3) определяем:

$$\begin{aligned} \tilde{u}(z, p) &= z^\nu \left[ AK_\nu\left(\frac{\beta z}{a}\right) + BI_\nu\left(\frac{\beta z}{a}\right) \right] = 0 \text{ при } y = h \\ AK_\nu\left(\frac{\beta z_0}{a}\right) + BI_\nu\left(\frac{\beta z_0}{a}\right) &= 0 \Rightarrow B = -A \frac{K_\nu\left(\frac{\beta z_0}{a}\right)}{I_\nu\left(\frac{\beta z_0}{a}\right)} \end{aligned}$$

где  $z_0 = 1 + ah$ . Тогда решение (7) принимает вид:

$$\tilde{u}(z, p) = Az^\nu \left[ K\left(\frac{\beta z}{a}\right) - \frac{K_\nu\left(\frac{\beta z_0}{a}\right)}{I_\nu\left(\frac{\beta z_0}{a}\right)} I_\nu\left(\frac{\beta z}{a}\right) \right] \quad (8)$$

Из условия (1) получаем:

$$\begin{aligned} \tilde{\sigma} &= \left( p\bar{R}_1 + \frac{2}{3}\rho\bar{R}_2 \right) \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = f(p) \\ \frac{\partial \tilde{u}}{\partial y} &= \frac{\bar{f}(p)}{\left( p\bar{R}_1 + \frac{2}{3}p\bar{R}_2 \right)} \end{aligned}$$

Из этого уравнения находим неизвестный коэффициент  $A$ ; тогда решение принимает вид:

$$\tilde{u}(z, p) = \frac{\bar{f}(p)Z^{\frac{v-1}{2}}}{\bar{c}_1(p)\beta} \cdot \frac{K_v\left(\frac{\beta z}{a}\right)I_v\left(\frac{\beta z_0}{a}\right) - K_v\left(\frac{\beta z_0}{a}\right)I_v\left(\frac{\beta z}{a}\right)}{K_{v-1}\left(\frac{\beta}{a}\right)I_v\left(\frac{\beta z_0}{a}\right) - I_{v-1}\left(\frac{\beta}{a}\right)K_v\left(\frac{\beta z_0}{a}\right)} \quad (9)$$

где  $\bar{c}_1(p) = p\bar{R}_1 + \frac{2}{3}p\bar{R}_2$ .

С помощью асимптотических выражений цилиндрических функций

$$K_v(z) = \sqrt{\frac{\pi}{2z}} e^{-z}$$

$$I_v(z) = \sqrt{\frac{1}{2\pi z}} e^z$$

определяем перемещение в следующем виде:

$$\tilde{u}(z, p) = \frac{\bar{f}(p)}{\bar{c}_1(p)\beta} \cdot \frac{e^{-\frac{\beta}{a}(z-z_0)} - e^{-\frac{\beta}{a}(z_0-z)}}{e^{-\frac{\beta}{a}(z_0-l_0)} - e^{-\frac{\beta}{a}(l-z_0)}}$$

или

$$\tilde{u}(z, p) = \frac{\bar{f}(p)}{\bar{c}_1(p)\beta} \cdot \frac{e^{-\bar{\beta}(y-h)} - e^{-\beta(h-y)}}{e^{-\beta h} - e^{\beta h}}$$

Разлагая знаменатель в ряд, получаем:

$$\tilde{u}(z, p) = \frac{\bar{f}(p)Z^{\frac{v-1}{2}}}{\bar{c}_1(p)\beta} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ e^{-\beta(2nh+y)} - e^{-\beta(2(n+1)h-y)} \right\}$$

Здесь

$$\frac{1}{\bar{c}_1(p)\beta} = \frac{1}{\left(pR_1 + \frac{2}{3}pR_2\right) \cdot \frac{p}{\sqrt{pR_1 + \frac{2}{3}pR_2}}} = \frac{1}{\sqrt{\rho_0}p\sqrt{p\tilde{R}_1 + \frac{2}{3}p\tilde{R}_2}}$$

Поэтому решение принимает вид:

$$\tilde{u}(z, p) = \frac{\bar{f}(p)Z^{\frac{v-1}{2}}}{\sqrt{\rho_0}p} \cdot \frac{1}{\sqrt{pR_1 + \frac{2}{3}pR_2}} \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} \left[ e^{-\frac{p}{\sqrt{c(p)}}(2nh+y)} - e^{-\frac{p}{\sqrt{c(p)}}[2(n+1)h-y]} \right] \right\} \quad (10)$$

Решение поставленной задачи фактически получено в изображении Лапласа.

Для вычисления оригинала сначала рассмотрим следующие случаи. Предположим, что коэффициент Пуассона  $v$  - является постоянным. Тогда реологические функции будут пропорциональными, т.е.  $R_l(t) = \eta R(t)$ , где  $\eta = \frac{1+v}{3(1-2v)}$

Поэтому

$$\sqrt{\frac{\rho_0}{p\tilde{R}_1 + \frac{2}{3}p\tilde{R}_2}} = \sqrt{\frac{\rho_0}{\eta + \frac{2}{3}} \cdot \frac{1}{p\tilde{R}(p)}} = \sqrt{\frac{\rho_0}{\frac{1+v}{3(1-2v)} + \frac{2}{3}} \cdot \frac{1}{p\tilde{R}(p)}}$$

Учитывая, что

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)}, \quad G = \frac{1}{2(1+\nu)}$$

Получаем

$$\sqrt{\frac{\rho_0}{p\tilde{R}_1(p) + \frac{2}{3}p\tilde{R}_2(p)}} = \sqrt{\frac{\rho_0}{K + \frac{2}{3}2G} \cdot \frac{2G}{p\tilde{R}(p)}} = \frac{1}{c} \sqrt{\frac{R(0)}{p\tilde{R}(p)}}$$

где

$$c = \sqrt{\frac{R_1(0) + \frac{2}{3}R(0)}{\rho_0}}; \quad K = R_1(0); \quad 2G = R_2(0)$$

После этого для изображения решения получаем:

$$\tilde{u}(z, p) = \frac{c\bar{f}(p)Z^{\frac{v-1}{2}}}{\rho_0 p} \sqrt{\frac{R(0)}{p\tilde{R}(p)}} \left\{ e^{-\frac{py}{c}\sqrt{\frac{R(0)}{p\tilde{R}(p)}}} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[ e^{-\frac{p}{c}(2nh+y)\sqrt{\frac{R(0)}{p\tilde{R}(p)}}} - e^{-\frac{p}{c}(2nh-y)\sqrt{\frac{R(0)}{p\tilde{R}(p)}}} \right] \right\} \quad (11)$$

Отсюда видно, что окончательное решения поставленной задачи сводится к вычислению оригиналов функций:

$$\tilde{\varphi}_i(y, p) = \frac{f(p)}{p} \sqrt{\frac{R(0)}{p\tilde{R}(p)}} e^{-\frac{py}{c}\sqrt{\frac{R(0)}{p\tilde{R}(0)}}}$$

где

$$\gamma_1 = y; \quad \gamma_2 = 2nh + y; \quad \gamma_3 = 2nh - y;$$

Сначала предположим что,  $\sigma = f(t) = \sigma_0 H(t)$  где  $\sigma_0 = \text{const}$ ,  $H(t)$  - функция

Хевисайда. Тогда  $\tilde{\sigma} = \tilde{f}(p) = \frac{\sigma_0}{p}$  и при этом для  $\tilde{\varphi}_i(y, p)$  получаем:

$$\tilde{\varphi}_i(\gamma_i, p) = \frac{\sigma_0}{p^2} \sqrt{\frac{R(0)}{p\tilde{R}(p)}} e^{-\frac{p\gamma_i}{c}\sqrt{\frac{R(0)}{p\tilde{R}(p)}}} \quad (12)$$

Представляя экспоненциальную функцию в виде интеграла Фурье, с учетом  $p\tilde{R}(p) = E(1 - \varepsilon\tilde{\Gamma}(p))$  получаем:

$$\tilde{\varphi}_i(\gamma_i, p) = \frac{2\sigma_0}{\pi E p} \int_0^\infty \frac{\cos\left(\frac{\lambda\gamma_i}{c}\right) d\lambda}{p^2 + \lambda^2 - \varepsilon\lambda^2\tilde{\Gamma}(p)}$$

где  $\Gamma(t)$ -ядро релаксации,  $\varepsilon > 0$  некоторый малый параметр (иногда  $\varepsilon = \frac{R_0 - R_\infty}{R_0}$ ),

$R_\infty$  - релаксированное,  $R_0$ -нерелаксированное значение функции  $R(t)$ . Разлагая знаменатель в ряд, получаем:

$$\begin{aligned} \tilde{\varphi}_i(\gamma_i, p) = & \frac{2\sigma_0}{\pi E p} \int_0^\infty \left[ \frac{1}{p^2 + \lambda^2} + \frac{\varepsilon\lambda^2\tilde{\Gamma}(p)}{(p^2 + \lambda^2)^2} + \dots + \right. \\ & \left. + \frac{\varepsilon^m \lambda^{2m} \tilde{\Gamma}^{(m)}(p)}{(p^2 + \lambda^2)^m} \cdot \frac{1}{\left(p + \frac{1}{2}\varepsilon\Gamma_s\lambda\right)^2 + \lambda^2 \left(1 - \frac{1}{2}\varepsilon\Gamma_c\right)^2} \right] \cos\left(\frac{\lambda\gamma_i}{c}\right) d\lambda \end{aligned}$$

$$\text{где } \Gamma_s = \int_0^\infty \Gamma(\tau) \sin \lambda \tau d\tau; \quad \Gamma_c = \int_0^\infty \Gamma(\tau) \cos \lambda \tau d\tau.$$

Отсюда после интегрирования находим:

$$\begin{aligned} \tilde{\varphi}_i(\gamma_i, p) &= \frac{2\sigma_0}{\pi E p} \left\{ \frac{\pi}{2} \exp\left(-\frac{p\gamma_i}{c}\right) \sum_{n=0}^{\infty} (\varepsilon \tilde{\Gamma}(p))^n + \sqrt{\pi} \left( \frac{\gamma_i}{2cp} \right)^{\frac{3}{2}} \times \right. \\ &\quad \times K_{\frac{3}{2}} \left( \frac{p\gamma_i}{c} \right) (-p^2) \sum_{n=1}^m n (\varepsilon \tilde{\Gamma}(p))^n + \dots + \sqrt{\pi} \left( \frac{\gamma_i}{2cp} \right)^{\frac{5}{2}} K_{\frac{5}{2}} \left( \frac{p\gamma_i}{c} \right) \times \\ &\quad \times (-p^2)^2 \sum_{n=2}^m \frac{n!}{2!(n-2)!} (\varepsilon \tilde{\Gamma}(p))^n + \dots + \\ &\quad \left. + \varepsilon^{n+1} \int_0^\infty \frac{\lambda^{2(m+1)} (\tilde{\Gamma}(p))^{m+1}}{(p^2 + \lambda^2)^{m+1}} \cdot \frac{o s \left( \frac{\lambda \gamma_i}{c} \right) d\lambda}{\left( p + \frac{1}{2} \varepsilon \Gamma_s \lambda \right)^2 + \lambda^2 \left( 1 - \frac{1}{2} \varepsilon \Gamma_c \right)^2} \right\} \end{aligned}$$

Здесь, переходя к обратному преобразованию Лапласа, находим:

$$\begin{aligned} \varphi_i(z, t) &= \frac{c \sigma_0 Z^{\frac{v-1}{2}}}{E} \left\{ H\left(t - \frac{\gamma_i}{c}\right) \left( t - \frac{\gamma_i}{c} \right) * \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^n \Gamma_n(t) + \frac{(-1)}{2^2} \left( t^2 - \frac{\gamma_i^2}{c^2} \right) H\left(t - \frac{\gamma_i}{c}\right) * \delta_1(t) * \right. \\ &\quad * \sum_{n=1}^m n \varepsilon^n \Gamma_n(t) + \frac{(-1)^2}{2^6} \left( t^2 - \frac{\gamma_i^2}{c^2} \right)^2 H\left(t - \frac{\gamma_i}{c}\right) * \delta_3(t) * \sum_{n=2}^m \frac{n!}{2!(n-2)!} \varepsilon^n \Gamma_n(t) + \dots + \\ &\quad \left. + \varepsilon^{m+1} \int_0^\infty \left[ \int_0^t \theta_{m+1}(\tau) d\tau * \exp\left(-\frac{1}{2} \varepsilon \Gamma_s \lambda t\right) \times \sin \lambda \left( 1 - \frac{1}{2} \varepsilon \Gamma_c \right) t \right] \frac{\cos \left( \frac{\lambda \gamma_i}{c} \right)}{\lambda \left( 1 - \frac{1}{2} \varepsilon \Gamma_c \right)} d\lambda \right\} \end{aligned}$$

где  $\delta(t)$  - дельта функция Дирака;  $K_v(z)$  - функция Макдональда. Здесь введены следующие обозначения:

$$\theta_0(t) = \frac{1}{\lambda} \int_0^t \Gamma(\tau) \sin \lambda(t-\tau) d\tau$$

$$\theta_1(t) = \lambda \int_0^t \theta_0(\tau) \sin \lambda(t-\tau) d\tau$$

.....

$$\theta_m(t) = \lambda \int_0^t \theta_m(\tau) \sin \lambda(t-\tau) d\tau$$

Из решений видно, что волна затухает по экспоненциальному закону и первый член сумм соответствует фундаментальным решениям теории упругости, а остальные члены ряда возникают за счет вязкости материала среды.

## ЛИТЕРАТУРА

- Бабаджанова В. Г., Алиева У. С. Исследование волновых процессов в толстостенной трубе под действием внутреннего давления // Сумгаитский государственный университет. Научные известия. Серия: Естественные и технические науки. т.19, № 4. Сумгаит: СГУ, 2019, с. 14-18; <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43167222>

2. Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел. М.: Наука, 1977, 384 с .
3. Ильясов М.Х. Нестационарные вязкоупругие волны. Баку, 2011, 329 с.
4. Курбанов Н.Т., Бабаджанова В.Г. Исследование нестационарных волн сдвига в неоднородном вязкоупругом полупространстве // Естественные и технические науки. №3. М., 2009.
5. Кристенсен Р. Введение в теорию вязкоупругости. М.: Мир, 1974, 340 с.
6. Огурцов Л.И., Пушкарев И.К. Распространение упругих и упругопластических волн. Алма-Ата: Наука, 1973, с.277-281

**XÜLASƏ**  
**ÖZLÜLÜK KİÇİK OLDUQDA QƏRARLAŞMAYAN DALĞALARIN**  
**QEYRİ-BİRCİNS REOLOJİ MÜHİTDƏ TƏDQİQİ**  
*Qurbanov N.T., Babacanova V.H., Əliyeva Ü.S.*

**Açar sözlər:** gərginlik, sıxlıq, relaksasiya, Laplas çevirməsi, təsvir, Puasson əmsali, elastiklik, qeyri – bircins, özlüelastiklik.

Məqalədə mühitin sıxlığı və relaksasiya funksiyası koordinatlardan asılı olduqda qeyri-stasionar dinamik dalğaların özlüelastik layda yayılması məsələsi araşdırılır. Məsələ ixtiyari reoloji funksiyalar üçün Laplasın integrallı çevirməsinin köməyi ilə həll olunmuşdur. Orijinalın hesablanmasında nəzərə alınır ki, Puasson əmsali sabitdir. Məsələnin həlli sira şəklində alınır, belə ki, sıranın birinci həddi elastiklik nəzəriyyəsinin fundamental həllinə uyğun, digər hədləri isə materialın özlüelastikliyinə əsasən yaranır. Zamanla dalğaların eksponensial qanununa görə sönməsi göstərilir.

**SUMMARY**  
**STUDY OF NON-STATIONARY WAVES IN INHOMOGENEOUS**  
**RHEOLOGICAL MEDIA WITH LOW VISCOSITY**  
*Gurbanov N.T., Babajanova V.H., Aliyeva U.S.*

**Key words:** tension, density, relaxation, Laplace's transformation, image, Poisson's coefficient, elasticity, heterogeneity, viscoelasticity.

The article studies the problem of propagation of non-stationary dynamic waves in an inhomogeneous rheological layer, when the density and relaxation function of the layer material depend on the coordinates. The problem is solved using the integral Laplace transform for arbitrary hereditary functions at low viscosity. When calculating the original, it is assumed that the Poisson's ratio is constant. The solution is obtained in the form of a series, the first term of which corresponds to the fundamental solutions of the theory of elasticity, the remaining terms of the series arise due to the viscoelasticity of the material. It is shown that the waves decay exponentially over time.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	31.05.2021
	Son variant	21.06.2021

## НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ ОПТИМАЛЬНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ В НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧАХ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВОИЧНЫХ ЛИНЕЙНЫХ МОДУЛЯРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

<sup>1</sup>**ФЕЙЗИЕВ ФИКРАТ ГЮЛЬАЛИ оглу**

<sup>2</sup>**ГАСАНЛЫ НИДЖАТ ИСМАЙЫЛ оглу**

*Сумгаитский государственный университет, 1- профессор, 2- ассистент*

*[FeyziyevFG@mail.ru](mailto:FeyziyevFG@mail.ru)*

**Ключевые слова:** двоичные линейные модулярные динамические системы, терминалные оптимальные управления, задача Больца, булевые и псевдобулевые функции, необходимое условие оптимальности управлений.

*Рассматривается задача терминального оптимального управления и задача Больца для одного класса двоичных линейных модулярных динамических систем. Используя понятие производной и дифференциала булевых и псевдобулевых функций, находится необходимое условие оптимальности управления.*

**Введение.** Модулярные динамические системы (МДС) относятся к классу дискретных управляющих динамических систем [1-4]. Они широко применяются в компьютерной технике, системах диагностики, кодировании и декодировании дискретных сообщений, в криптографии, моделировании, управлении объектов и т.д. [1, 3–11]. В некоторых применениях МДС сталкиваются нахождения оптимальных процессов. К таким задачам относится задача оптимального синтеза, задача оптимального управления и т.д. Задача оптимального синтеза имеет теоретический и прикладной характер и к настоящему времени различные аспекты этой задачи для некоторых классов двоичных МДС, заданных в виде двухзначного аналога полинома Волтерра, исследованы достаточно [12–23]. А задача оптимального управления для МДС исследована недостаточно. В данной работе, используя понятия производных булевых и псевдобулевых функций, получены необходимые условия оптимальности для некоторого класса задач оптимального управления двоичных МДС.

Рассмотрим функцию  $f(x_1, \dots, x_n)$ , где  $x_\alpha \in B$ ,  $\alpha = \overline{1, n}$  и  $B = \{0, 1\}$ , т.е. множество есть бинарное множество. Если для всех  $(x_1, \dots, x_n) \in B^n = B \times \dots \times B$  удовлетворяется  $f(x_1, \dots, x_n) \in B$ , тогда функция  $f(x_1, \dots, x_n)$  называется булевой функцией. Ясно, что во множестве  $B^n$  существуют  $2^n$   $n$ -мерных наборов.

Производная булевых функций  $f(x_1, \dots, x_n)$  по переменной  $x_i$  понимается в следующим смысле [24]:

$$\frac{\partial f(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_i} = f(x_1, \dots, x_{i-1}, 1, x_{i+1}, x_n) \oplus f(x_1, \dots, x_{i-1}, 0, x_{i+1}, \dots, x_n).$$

Для дифференциала  $\delta f(x_1, \dots, x_n)$  булевой функции  $f(x_1, \dots, x_n)$  справедливо [6]

$$\delta f(x_1, \dots, x_n) = \sum_{\alpha=1}^n \sum_{1 \leq j_1 < \dots < j_\alpha \leq n} \frac{\partial^\alpha f}{\partial x_{j_1} \dots \partial x_{j_\alpha}} \delta x_{j_1} \dots \delta x_{j_\alpha}, \quad GF(2), \quad (1)$$

где  $\delta x_{j_k} \in \{0,1\}$ ,  $k = \overline{1, \alpha}$ . Ясно, что если функция  $f(x_1, \dots, x_n)$  есть линейная функция, тогда в формуле (1) смешанные производные отсутствуют и поэтому формула (1) имеет следующий вид:

$$\delta f(x_1, \dots, x_n) = \sum_{\alpha=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_\alpha} \delta x_\alpha, \quad GF(2).$$

Рассмотрим функцию  $\varphi(x_1, \dots, x_n)$  где  $x_\alpha \in B$ ,  $\alpha = \overline{1, n}$ . Если для всех  $(x_1, \dots, x_n) \in B^n$  удовлетворяется  $f(x_1, \dots, x_n) \in R$ , тогда функция  $g(x_1, \dots, x_n)$  называется псевдобулевой функцией, где  $R$  есть множество вещественных чисел.

Производные псевдобулевых функций  $\varphi: B^n \rightarrow R$  понимаются в следующем смысле [25]:

$$\frac{\partial \varphi(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_\alpha} = \varphi(x_1, \dots, x_{\alpha-1}, 1, x_{\alpha+1}, x_n) - \varphi(x_1, \dots, x_{\alpha-1}, 0, x_{\alpha+1}, \dots, x_n).$$

Всякая псевдобулевая функция линейна по каждому аргументу. Следовательно, для дифференциала псевдобулевой функции справедливо

$$\delta \varphi(x_1, \dots, x_n) = \sum_{\alpha=1}^n \sum_{1 \leq j_1 < \dots < j_\alpha \leq n} \frac{\partial^\alpha \varphi}{\partial x_{j_1} \dots \partial x_{j_\alpha}} \delta x_{j_1} \dots \delta x_{j_\alpha}, \quad (2)$$

где  $\delta x_{j_\alpha} \in \{0,1\}$ , если  $x_{j_\alpha} = 0$ ;  $\delta x_{j_\alpha} \in \{0, -1\}$ , если  $x_{j_\alpha} = 1$ . Очевидно, что

$\delta x_i = \text{sign} \delta x_i \cdot |\delta x_i| = -x_i \cdot |\delta x_i|$ . Поэтому в дальнейшем в (2) будем предполагать, что  $\delta x_i \in \{0,1\}$  и  $\frac{\partial \varphi(\cdot)}{\partial x_i} = -x_i [\varphi(x_1, \dots, x_{i-1}, 1, x_{i+1}, \dots, x_n) - \varphi(x_1, \dots, x_{i-1}, 0, x_{i+1}, \dots, x_n)]$ .

**Задача терминального управления.** Рассмотрим следующую МДС

$$x[n+1] = f(x[n], u[n]), \quad x[0] = a, \quad 0 \leq n < N, \quad GF(2), \quad (3)$$

где  $x[n] \in GF^m(2)$  - вектор состояния,  $u[n] \in GF^r(2)$  - вектор входной последовательности или управления.  $N > 1$  - заданное натуральное число,  $a$  -  $m$ -мерный заданный вектор над полем  $GF(2)$ ,  $f(\cdot)$  - заданная линейная функция.

Задача оптимального управления МДС (3) заключается в определении такого  $u[n] \in GF^r(2)$ , которое с учетом (3) минимизирует заданный псевдобулевый функционал

$$I = \Phi(x[N]). \quad (4)$$

Задача (3),(4) есть задача терминального управления. Пусть  $f(\cdot)$  и  $\Phi(\cdot)$  таковы, что их смешанные производные равны нулю. Пусть

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(x[n], u[n])}{\partial x[n]} &= \left( \frac{\partial f_1(x[n], u[n])}{\partial x_1[n]}, \dots, \frac{\partial f_1(x[n], u[n])}{\partial x_m[n]} \right. \\ &\quad \left. \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \right), \\ \frac{\partial f(x[n], u[n])}{\partial u[n]} &= \left( \frac{\partial f_1(x[n], u[n])}{\partial u_1[n]}, \dots, \frac{\partial f_1(x[n], u[n])}{\partial u_r[n]} \right. \\ &\quad \left. \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \right), \quad \frac{\partial \Phi(x[n])}{\partial x[n]} = \left( \frac{\partial \Phi(x[n])}{\partial x_1[n]}, \dots, \frac{\partial \Phi(x[n])}{\partial x_m[n]} \right), \end{aligned}$$

Пусть  $u^* = \{u^*[0], \dots, u^*[N-1]\}$  есть оптимальная последовательность,  $x^* = \{x^*[0], \dots, x^*[N]\}$  - соответствующая ей последовательность состояний и  $\tilde{u}$  - некоторая измененная входная последовательность, такая что

$$\tilde{u}[k] = u^*[k], k \neq n, 0 \leq k \leq N-1; \quad \tilde{u}[n] = u^*[n] \oplus \delta u^*[n],$$

где  $\delta u^*[n] = (\delta u_1^*[n], \dots, \delta u_r^*[n])$ . Тогда  $\tilde{x} = \{x^*[0], \dots, x^*[n], \tilde{x}[n+1], \dots, \tilde{x}[N]\}$ .

В силу условий, налагаемых на  $f(\cdot)$  справедливо:

$$\tilde{x}[n+1] \oplus x^*[n+1] = \delta x^*[n+1] = \frac{\partial f(x^*[n], u^*[n])}{\partial u[n]} \cdot \delta u^*[n], \quad GF(2).$$

Здесь операция умножения по mod 2 заменена обычной операцией умножения. В силу условий, налагаемых на  $\Phi(\cdot)$  справедливо

$$\Phi(\tilde{x}[N]) - \Phi(x^*[N]) = \frac{\partial \Phi(x^*[N])}{\partial x[N]} \delta x^*[N] \geq 0, \quad (5)$$

$$\tilde{x}[k] \oplus x^*[k] = \delta x^*[k] = \frac{\partial f(x^*[k-1], u^*[k-1])}{\partial x[k-1]} \cdot \delta x^*[k-1], \quad GF(2), \quad k = n+2, \dots, N.$$

Правую часть соотношения (5) можно переписать в следующем виде

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \Phi(x^*[N])}{\partial x[N]} \left\{ \frac{\partial f(x^*[N-1], u^*[N-1])}{\partial x[N-1]} \cdot \delta x^*[N-1] \right\} = \\ &= \frac{\partial \Phi(x^*[N])}{\partial x[N]} \left\{ \frac{\partial f(x^*[N-1], u^*[N-1])}{\partial x[N-1]} \cdot \frac{\partial f(x^*[N-2], u^*[N-2])}{\partial x[N-2]} \cdot \delta x^*[N-2] \right\} = \\ &= \frac{\partial \Phi(x^*[N])}{\partial x[N]} \left\{ \frac{\partial f(x^*[N-1], u^*[N-1])}{\partial x[N-1]} \cdot \frac{\partial f(x^*[N-2], u^*[N-2])}{\partial x[N-2]} \cdot \delta x^*[N-2] \cdot \dots \right. \\ & \quad \left. \dots \cdot \frac{\partial f(x^*[n+1], u^*[n+1])}{\partial x[n+1]} \cdot \delta x^*[n+1] \right\} = \\ &= \frac{\partial \Phi(x^*[N])}{\partial x[N]} \left\{ \frac{\partial f(x^*[N-1], u^*[N-1])}{\partial x[N-1]} \cdot \dots \cdot \frac{\partial f(x^*[n+1], u^*[n+1])}{\partial x[n+1]} \cdot \frac{\partial f(x^*[n], u^*[n])}{\partial u[n]} \cdot \delta u[n] \right\}. \quad (6) \end{aligned}$$

Здесь операция умножения по mod 2 заменена обычной операцией умножения. Введем следующую сопряженную систему

$$p[N] = \frac{\partial \Phi(x[N])}{\partial x[N]}, \quad p[n] = p[n+1] \frac{\partial f(x[n], u[n])}{\partial x[n]}, \quad n = N-2, N-3, \dots, 1, 0, \quad (7)$$

где  $p = (p_1, \dots, p_m)$  -  $m$ -мерный вектор над  $GF(2)$ . Тогда (6) запишется в виде

$$p^*[n+1] \frac{\partial f(x^*[n], u^*[n])}{\partial u[n]} \delta u^*[n] \geq 0. \quad (8)$$

Введем дискретную функцию Гамильтона [26]

$$H(p^*[n+1], x^*[n], u[n]) = \sum_{i=1}^m p_i^*[n+1] \cdot f_i(x^*[n], u[n]). \quad (9)$$

Из (9) видно, что (8) можно записать в виде

$$\frac{\partial H(p^*[n+1], x^*[n], u^*[n])}{\partial u[n]} \delta u^*[n] \geq 0. \quad (10)$$

Таким образом, справедлива следующая теорема.

**Теорема 1.** Пусть  $f(x)$  и  $\Phi(x[N])$  такие, что их смешанные частные производные равны нулю;  $u^* = \{u^*[0], \dots, u^*[N-1]\}$  - оптимальная входная последовательность задачи (3), (4), а  $x^* = \{x^*[0], \dots, x^*[N]\}$  соответствующая ей последовательность состояния;  $p^* = \{p^*[N], \dots, p^*[0]\}$  - оптимальное решение сопряженного уравнения (7). Тогда для всех  $n=0, \dots, N-1$  справедливо соотношение (10).

Ясно что, если функция  $f(x)$  линейна, а функционал  $\Phi(\cdot)$  сепарабельный функционал, тогда их смешанные частные производные равны нулю.

**3. Задача оптимального управления Больца.** Пусть теперь МДС задана уравнением (3), а функционал качества есть следующий функционал

$$I = \Phi(x[N]) + \sum_{k=0}^{N-1} f_0(x[k]), \quad (11)$$

где  $\Phi$  и  $f_0$  - есть сепарабельные псевдобулевые функционалы.

Задача оптимального управления (3),(11), есть задача Больца. Для нахождения необходимого условия оптимальности управления задачи (3),(11), приведем ее к задаче терминального управления. Для этого введем обозначения

$$x_0[n+1] = f_0(x[n], u[n]), \quad x[0] = 0, \quad GF(2). \quad (12)$$

Ясно, что,

$$x_0[N] = \sum_{k=0}^{N-1} f_0(x[k], u[k]). \quad (13)$$

На основе (12),(13) введем следующие векторы:

$$\bar{x}[k] = (x_0[k], x_1[k], \dots, x_m[k]), \\ \bar{f}(\bar{x}[k], u[k]) = (f_0(x[k], u[k]), f_1(x[k], u[k]), \dots, f_m(x[k], u[k])).$$

Пусть,

$$\bar{\Phi}(\bar{x}[N]) = \Phi(x[N]) + x_0[N], \quad (14)$$

$$\bar{x}[n+1] = \bar{f}(\bar{x}[n], u[n]), \quad GF(2), \quad (15)$$

$$\bar{x}[0] = (0, a_1, a_2, \dots, a_m) \in GF^{m+1}(2). \quad (16)$$

Таким образом, задача Больца (3),(11) приводится к задаче терминального управления (15),(16),(14).

Пусть,  $u^* = \{u^*[0], \dots, u^*[N-1]\}$  - последовательность оптимального управления,  $\bar{x}^* = \{\bar{x}^*[0], \dots, \bar{x}^*[N]\}$  - соответствующая им последовательность состояния, а  $\tilde{u}$  - некоторая измененная входная последовательность и

$$\tilde{u}[k] = u^*[k], \quad \tilde{u}[n] = u^*[n] \oplus \delta u^*[n],$$

где,  $\delta u^*[n] = (\delta u_1^*[n], \dots, \delta u_r^*[n])$ . Тогда  $\tilde{x} = \{\bar{x}^*[0], \dots, \bar{x}^*[n], \tilde{x}'[n+1], \dots, \tilde{x}'[N]\}$ .

В силу условий, налагаемых на  $f(\cdot)$  справедливо:

$$\begin{aligned} \tilde{x}[n+1] \oplus x^*[n+1] &= \delta x^*[n+1] = \frac{\partial \bar{f}(\bar{x}^*[n], u^*[n])}{\partial u[n]} \cdot \delta u^*[n], \quad GF(2), \\ \tilde{x}'[k] \oplus \bar{x}^*[k] &= \delta x^*[k] = \frac{\partial \bar{f}(\bar{x}^*[k-1], u^*[k-1])}{\partial \bar{x}[k-1]} \cdot \delta \bar{x}^*[k-1], \quad Gf(2), \\ k &= n+2, \dots, N. \end{aligned}$$

Здесь операция умножения по  $\text{mod } 2$  заменена обычной операцией умножения. В силу условий, налагаемых на  $\bar{\Phi}(\cdot)$  справедливо

$$\bar{\Phi}(\tilde{x}[N]) - \bar{\Phi}(\bar{x}^*[N]) = \frac{\partial \bar{\Phi}(\bar{x}^*[N])}{\partial \bar{x}[N]} \delta \bar{x}^*[N] \geq 0 . \quad (17)$$

Правую часть соотношения (17) можно переписать в следующем виде:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \bar{\Phi}(\bar{x}^*[N])}{\partial \bar{x}[N]} \left\{ \frac{\partial \bar{f}(\bar{x}^*[N-1], u^*[N-1])}{\partial \bar{x}[N-1]} \cdot \dots \cdot \frac{\partial \bar{f}(\bar{x}^*[n+1], u^*[n+1])}{\partial \bar{x}[n+1]} \times \right. \\ & \left. \times \frac{\partial \bar{f}(\bar{x}^*[n], u^*[n])}{\partial u[n]} \cdot \delta u[n] \right\}. \end{aligned} \quad (18)$$

Здесь операция умножения по mod 2 заменена обычной операцией умножения. Введем следующую сопряженную систему:

$$\bar{p}[N] = \left( \frac{\partial \bar{\Phi}(\bar{x}[N])}{\partial \bar{x}[N]} \right)^T, \quad \bar{p}[n]^T = \bar{p}[n+1]^T \frac{\partial \bar{f}(\bar{x}[n], u[n])}{\partial \bar{x}[n]}, \quad n = N-1, N-2, \dots, 1, 0, \quad (19)$$

где, вектор  $\bar{p} = (p_0, p_1, \dots, p_m)^T$  над  $GF(2)$  есть  $(m+1)$ -мерный вектор.

Ясно, что второе равенство формулы (19) можно записать в виде:

$$\bar{p}_i[n] = \sum_{j=0}^m \bar{p}_j[n+1] \frac{\partial \bar{f}_j(\bar{x}[n], u[n])}{\partial \bar{x}_i[n]}, \quad i = 0, 1, \dots, m.$$

Тогда формулы (18) можно записать в следующим виде:

$$\bar{p}^*[n+1]^T \frac{\partial \bar{f}(\bar{x}^*[n], u^*[n])}{\partial u[n]} \delta u^*[n] \geq 0. \quad (20)$$

Введем дискретную функцию Гамильтона:

$$\bar{H}(\bar{p}^*[n+1], \bar{x}^*[n], u[n]) = \sum_{i=0}^m \bar{p}_i^*[n+1] \cdot \bar{f}_i(\bar{x}^*[n], u[n]). \quad (21)$$

Из формулы (21) видно, что формулы (20) можно записать в виде:

$$\frac{\partial \bar{H}(\bar{p}^*[n+1], \bar{x}^*[n], u^*[n])}{\partial u[n]} \delta u^*[n] \geq 0,$$

где

$$\frac{\partial \bar{H}(\bar{p}^*[n+1], \bar{x}^*[n], u^*[n])}{\partial u[n]} = \left( \frac{\partial \bar{H}(\bar{p}^*[n+1], \bar{x}^*[n], u^*[n])}{\partial u_1[n]}, \dots, \frac{\partial \bar{H}(\bar{p}^*[n+1], \bar{x}^*[n], u^*[n])}{\partial u_r[n]} \right).$$

Ясно, что

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{\Phi}(\bar{x}[N])}{\partial \bar{x}[N]} &= \left( \frac{\Phi(x[N]) + x_0[N]}{\partial x_0[N]}, \frac{\Phi(x[N]) + x_1[N]}{\partial x_1[N]}, \dots, \frac{\Phi(x[N]) + x_l[N]}{\partial x_l[N]} \right) = \\ &= \left( 1, \frac{\Phi(x[N])}{\partial x_1[N]}, \dots, \frac{\Phi(x[N])}{\partial x_l[N]} \right) = \left( 1, \frac{\Phi(x[N])}{\partial x[N]} \right). \end{aligned}$$

Поэтому

$$\bar{p}[N] = \begin{pmatrix} 1 \\ p_1[N] \\ \vdots \\ p_m[N] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ p[N] \end{pmatrix}.$$

Поскольку  $\bar{p}[N] = \left( \frac{\partial \bar{\Phi}(\bar{x}[N])}{\partial \bar{x}[N]} \right)^T$  получим, что  $p[N] = \left( \frac{\partial \Phi(x^*[N])}{\partial x[N]} \right)^T$ .

Запишем выражения  $\frac{\partial \bar{f}(\bar{x}[n], u[n])}{\partial \bar{x}[n]}$  в открытым виде:

$$\frac{\partial \bar{f}(\bar{x}[n], u[n])}{\partial \bar{x}[n]} = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_0(x[n], u[n])}{\partial x_0[n]} & \frac{\partial f_0(x[n], u[n])}{\partial x_1[n]} & \dots & \frac{\partial f_0(x[n], u[n])}{\partial x_m[n]} \\ \frac{\partial f_1(x[n], u[n])}{\partial x_0[n]} & \frac{\partial f_1(x[n], u[n])}{\partial x_1[n]} & \dots & \frac{\partial f_1(x[n], u[n])}{\partial x_m[n]} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_m(x[n], u[n])}{\partial x_0[n]} & \frac{\partial f_m(x[n], u[n])}{\partial x_1[n]} & \dots & \frac{\partial f_m(x[n], u[n])}{\partial x_m[n]} \end{pmatrix}.$$

Ясно, что

$$\frac{\partial f_0(x[n], u[n])}{\partial x_0[n]} = 1, \quad \frac{\partial f_1(x[n], u[n])}{\partial x_0[n]} = 0, \dots, \frac{\partial f_m(x[n], u[n])}{\partial x_0[n]} = 0.$$

Поэтому

$$\frac{\partial \bar{f}(\bar{x}[n], u[n])}{\partial \bar{x}[n]} = \begin{pmatrix} 1 & \frac{\partial f_0(x[n], u[n])}{\partial x_1[n]} & \dots & \frac{\partial f_0(x[n], u[n])}{\partial x_m[n]} \\ 0 & \frac{\partial f_1(x[n], u[n])}{\partial x_1[n]} & \dots & \frac{\partial f_1(x[n], u[n])}{\partial x_m[n]} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \frac{\partial f_m(x[n], u[n])}{\partial x_1[n]} & \dots & \frac{\partial f_m(x[n], u[n])}{\partial x_m[n]} \end{pmatrix}.$$

При  $n = N-1, N-2, \dots, 1, 0$  находим выражения  $\bar{p}[n]$ :

$$\begin{aligned} \bar{p}[N-1]^T &= \bar{p}[N]^T \frac{\partial \bar{f}(\bar{x}[N-1], u[N-1])}{\partial \bar{x}[N-1]} = \\ &= (1, p_1[N], \dots, p_m[N]) \begin{pmatrix} 1 & \frac{\partial f_0(x[N-1], u[N-1])}{\partial x_1[N-1]} & \dots & \frac{\partial f_0(x[N-1], u[N-1])}{\partial x_m[N-1]} \\ 0 & \frac{\partial f_1(x[N-1], u[N-1])}{\partial x_1[N-1]} & \dots & \frac{\partial f_1(x[N-1], u[N-1])}{\partial x_m[N-1]} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \frac{\partial f_m(x[N-1], u[N-1])}{\partial x_1[N-1]} & \dots & \frac{\partial f_m(x[N-1], u[N-1])}{\partial x_m[N-1]} \end{pmatrix} = \\ &= \left( 1, \sum_{i=0}^m p_i[N] \frac{\partial f_i(x[N-1], u[N-1])}{\partial x_1[N-1]}, \dots, \sum_{i=0}^m p_i[N] \frac{\partial f_i(x[N-1], u[N-1])}{\partial x_m[N-1]} \right). \end{aligned}$$

Отсюда получим, что

$$p_0[N-1] = 1,$$

$$p_1[N-1] = \sum_{i=0}^m p_i[N] \frac{\partial f_i(x[N-1], u[N-1])}{\partial x_1[N-1]} = p_0[N] \frac{\partial f_0(x[N-1], u[N-1])}{\partial x_1[N-1]} +$$

$$\begin{aligned}
 & + \sum_{i=1}^m p_i[N] \frac{\partial f_i(x[N-1], u[N-1])}{\partial x_1[N-1]} = \frac{\partial f_0(x[N-1], u[N-1])}{\partial x_1[N-1]} + \\
 & + \sum_{i=1}^m p_i[N] \frac{\partial f_i(x[N-1], u[N-1])}{\partial x_1[N-1]}, \\
 \dots \\
 p_m[N-1] & = \sum_{i=0}^m p_i[N] \frac{\partial f_i(x[N-1], u[N-1])}{\partial x_m[N-1]} = p_0[N] \frac{\partial f_0(x[N-1], u[N-1])}{\partial x_m[N-1]} + \\
 & + \sum_{i=1}^m p_i[N] \frac{\partial f_i(x[N-1], u[N-1])}{\partial x_m[N-1]} = \frac{\partial f_0(x[N-1], u[N-1])}{\partial x_m[N-1]} + \sum_{i=1}^m p_i[N] \frac{\partial f_i(x[N-1], u[N-1])}{\partial x_m[N-1]}
 \end{aligned}$$

или

$$p[N-1]^T = \frac{\partial f_0(x^*[N-1], u^*[N-1])}{\partial x[N-1]} + p[N]^T \frac{\partial f(x^*[N-1], u^*[N-1])}{\partial x[N-1]}.$$

Продолжая, таким образом, для  $k = N-2, N-3, \dots, 0$  получим, что:

$$\begin{aligned}
 p_0[k] & = 1, \\
 p_1[k] & = \sum_{i=0}^m p_i[k+1] \frac{\partial f_i(x[k], u[k])}{\partial x_1[k]} = p_0[k+1] \frac{\partial f_0(x[k], u[k])}{\partial x_1[k]} + \\
 & + \sum_{i=1}^m p_i[k+1] \frac{\partial f_i(x[k], u[k])}{\partial x_1[k]} = \frac{\partial f_0(x[k], u[k])}{\partial x_1[k]} + \sum_{i=1}^m p_i[k+1] \frac{\partial f_i(x[k], u[k])}{\partial x_1[k]}, \\
 \dots \\
 p_m[k] & = \sum_{i=0}^m p_i[k+1] \frac{\partial f_i(x[k], u[k])}{\partial x_m[k]} = p_0[k+1] \frac{\partial f_0(x[k], u[k])}{\partial x_m[k]} + \\
 & + \sum_{i=1}^m p_i[k+1] \frac{\partial f_i(x[k], u[k])}{\partial x_m[k]} = \frac{\partial f_0(x[k], u[k])}{\partial x_m[k]} + \sum_{i=1}^m p_i[k+1] \frac{\partial f_i(x[k], u[k])}{\partial x_m[k]}
 \end{aligned}$$

или получим, что

$$p[k]^T = \frac{\partial f_0(x^*[k], u^*[k])}{\partial x[k]} + p[k+1]^T \frac{\partial f(x^*[k], u^*[k])}{\partial x[k]}.$$

Из вышеизложенного видно, что для любых  $k = N, N-1, \dots, 0$  есть

$$\bar{p}[k] = \begin{pmatrix} 1 \\ p_1[k] \\ \vdots \\ p_m[k] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ p[k] \end{pmatrix}.$$

По соотношению (21) можно получить следующее:

$$\begin{aligned}
 \bar{H}(\bar{p}^*[n+1], \bar{x}^*[n], u[n]) & = \sum_{i=0}^m \bar{p}_i^*[n+1] \cdot \bar{f}_i(\bar{x}^*[n], u[n]) = \bar{p}_0^*[n+1] \cdot \bar{f}_0(\bar{x}^*[n], u[n]) + \\
 & + \sum_{i=1}^m \bar{p}_i^*[n+1] \cdot \bar{f}_i(\bar{x}^*[n], u[n]) = p_0^*[n+1] \cdot f_0(\bar{x}^*[n], u[n]) + \sum_{i=1}^m p_i^*[n+1] \cdot f_i(\bar{x}^*[n], u[n]) = \\
 & = f_0(x^*[n], u[n]) + \sum_{i=1}^m p_i^*[n+1] \cdot f_i(x^*[n], u[n]) = H(p^*[n+1], x^*[n], u[n]).
 \end{aligned}$$

Таким образом, доказана следующая теорема:

**Теорема 2.** Пусть булевая функция  $f(x)$  линейная, а псевдобулевые функции  $\Phi(x[N])$  и  $f_0(\cdot)$  сеперабельные;  $u^* = \{u^*[0], \dots, u^*[N-1]\}$  - оптимальная входная последовательность задачи (3),(11), а  $x^* = \{x^*[0], \dots, x^*[N]\}$  соответствующая ей последовательность состояния;  $p^* = \{p^*[N], \dots, p^*[1]\}$  - оптимальное решение следующего сопряженного уравнения

$$p[k]^T = \frac{\partial f_0(x^*[k], u^*[k])}{\partial x[k]} + p[k+1]^T \frac{\partial f(x^*[k], u^*[k])}{\partial x[k]}, k = N-1, \dots, 1, 0,$$

$$p[N] = \left( \frac{\partial \Phi(x^*[N])}{\partial x[N]} \right)^T.$$

Тогда для всех  $n = 0, \dots, N-1$  справедливо соотношение

$$\frac{\partial H(p^*[n+1], x^*[n], u^*[n])}{\partial u[n]} \delta u^*[n] \geq 0,$$

где  $H(p^*[n+1], x^*[n], u[n]) = f_0(x^*[n], u[n]) + \sum_{k=1}^m p_k^*[n+1] \cdot f_k(x^*[n], u[n]).$

**4. Заключение.** В работе, получены необходимые условия оптимальности управления, которые являются двухзначным аналогом принципа Понтрягина. Эти необходимые условия оптимальности могут быть обобщены и для других классов МДС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Фараджев Р.Г. Линейные последовательностные машины. М.: Советское радио, 1975, 248 с.
2. Блюмин С.Л., Фараджев Р.Г. Анализ и синтез конечных линейных последовательностно-клеточных машин// Автоматика и телемеханика. №6. М.: Наука, 1981, с. 57-66
3. Фараджев Р.Г., Фейзиев Ф.Г. Методы и алгоритмы решения задачи квадратичной оптимизации для двоичных последовательностных машин. Баку: Элм, 1996, 180 с.
4. Фейзиев Ф.Г., Фараджева М.Р. Модулярные последовательностные машины: основные результаты по теории и приложению. Баку: Элм, 2006, 234 с.
5. Скобелев В.В. Автоматы на алгебраических структурах (обзор) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Математика. Механика. Информатика. 2013. Т. 13, вып. 2, ч. 2. с. 58-66
6. Фейзиев Ф.Г. Основы построения и применения конечно-последовательностных моделей. Баку: Элм, 1999, 126 с.
7. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки. М.: Мир, 1986. 576 с.
8. Латыпов Р.Х., Нуруддинов Ш.Р., Соловьев Е.Л., Фараджев Р.Г. Применение теории линейных последовательностных машин в системах диагностирования // Автоматика и телемеханика. №8. М.: Наука, 1988, с. 3-27
9. Nagiyev A.T., Feyziyev F.G. The sequential cellular-machining model of the continuous objects with distributing parameters // Seminarberichte, Fachbereich Mathematic. 2001. Bd.71. pp.31-43
10. Фейзиев Ф.Г. Конечно-последовательностная модель некоторого класса объектов с распределенными параметрами // Электронное моделирование. Т.24, №4. 2002, с.99-112
11. Фейзиев Ф.Г., Бабаванд А.М. Описание декодирования циклических кодов в классе последовательностных машин, основанного на теореме Меггитта // Автоматика и вычислительная техника. т. 46, №4. 2012, с.26-33

12. Фараджев Р.Г., Нагиев А.Т., Фейзиев Ф.Г. Аналитическое описание и квадратичная оптимизация двоичных многомерных нелинейных последовательностно-клеточных машин // Докл. РАН. 1998. т. 360. № 6. с. 750- 752
13. Фейзиев Ф.Г., Самедова З.А. Полиномиальное соотношение для представления полной реакции 3D - нелинейных модулярных динамических систем // Электронное моделирование. т. 33. №2. 2011. с.33-50.
14. Фейзиев Ф.Г., Мехтиева М.Р., Гусейнова А.Дж. Двухзначный аналог полинома Вольтерры для описания полной реакции двоичных многомерных нелинейных модулярных динамических систем // Электронное моделирование. т. 39, № 3. 2017. с.3-15.
15. Фейзиев Ф.Г., Абаева Н.Б. Полиномиальное соотношение для представления полной реакции одного класса двоичных 4D-модулярных динамических систем // Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. Вып. 2(45). 2019. с.46-54
16. Фейзиев Ф.Г., Мехтиева М.Р. Аналитическое представление полной акции одного класса двоичных 3D -многомерных нелинейных модулярных динамических систем // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. № 49. 2019. с.82–91.
17. Фейзиев Ф.Г., Мехтиева М.Р., Байрамова А.А. Полиномиальное представление полной реакции одного класса двоичных модулярных динамических систем // Сумгaitский государственный университет. Научные известия. Серия: Естественные и технические науки. т.20, № 1. Сумгайт: СГУ, 2002, с. 72-74;  
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43177818>
18. Байбатшаев М.Ш., Попков Ю.С. Об одной задаче квадратичной оптимизации двоичных нелинейных последовательностных машин // Автоматика и телемеханика. №12. 1978. с. 37-47
19. Фараджев Р.Г., Фейзиев Ф.Г. К задаче квадратичной оптимизации для двоичных многомерных нелинейных последовательностно-клеточных машин // Автоматика и телемеханика. №5. 1996. с.104-119
20. Фейзиев Ф.Г., Самедова З.А. Задача синтеза двоичных 3D –нелинейных модулярных динамических систем // Известия НАН Азербайджана, сер. физ.-техн. и мат. наук: Информатика и проблемы управления, Т. XXIX, №6, 2009, с.126-133.
21. Фейзиев Ф.Г., Абаева Н.Б. Задача оптимального синтеза двоичных 4D - нелинейных модулярных динамических систем// Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. № 53. 2020, с.102-109
22. Фейзиев Ф.Г., Самедова З.А. Условия ортогональности для входных последовательностей двоичных 3D –нелинейных модулярных динамических систем // Известия НАН Азербайджана, сер. физ.-техн. и мат. наук: Информатика и проблемы управления, т.XXX, №3, 2010, с.115-124.
23. Фараджев Р.Г., Фейзиев Ф.Г. Алгоритм построения ортогональных тестовых последовательностей для двоичных многомерных нелинейных последовательностно-клеточных машин// А и Т, №6, 1996, с.114-124
24. Бохманн Д., Постхоф Х. Двоичные динамические системы. М.: Энергоиздат, 1986, 400 с.
25. Саати Т. Целочисленные методы оптимизации и связанные с ними экстремальные проблемы. М.: Мир, 1973, 304 с.
26. Пропой А.И. Элементы теории оптимальных дискретных процессов. М.: Наука, 1973, 258 с.

## XÜLASƏ

### İKİLİK XƏTTİ MODULYAR DİNAMİK SİSTEMLƏRİN BƏZİ OPTİMAL İDARƏETMƏ MƏSƏLƏLƏRİNDE İDARƏETMƏNİN ZƏRURİ OPTİMALLIQ ŞƏRTLƏRİ Feyziyev F.G., Həsənli N.I.

*Açar sözlər:* ikilik xətti modulyar dinamik sistemlər, terminal optimal idarəetmə, Bolsa məsələsi, bul və psevdobul funksiyalar, idarəetmənin zəruri optimalliq şərtləri.

Bir sinif ikilik xətti modulyar dinamik sistemlər üçün terminal optimal idarəetmə məsələsinə baxılır. Bul və psevdobul funksiyalarının törəmə və diferensialı anlayışlarından, diskret Hamilton funksiyasından və qoşma sistemdən istifadə etməklə optimal idarəetmə məsələsində idarəetmənin zəruri optimalliq şərtləri tapılır. Sonra bir sinif ikilik xətti modulyar dinamik sistemlər üçün Bolsa məsələsinə baxılır. Xüsusi işarələmədən istifadə etməklə Bolsa məsələsi terminal optimal idarəetmə məsələsinə gətirilir və beləliklə, Bolsa məsələsində idarəetmənin zəruri optimalliq şərtləri tapılır.

## SUMMARY

### A NECESSARY CONDITIONS FOR OPTIMALITY CONTROLS IN SOME PROBLEMS OF OPTIMAL CONTROL PROBLEMS FOR BINARY LINEAR MODULAR DYNAMIC SYSTEMS

Feyziyev F.G., Hasanlı N.I.

*Key words:* binary linear modular dynamic system, terminal optimal control; the Bolza problem, boolean and psevdoboolean functions, necessary conditions for the optimality of control

The problem of terminal optimal control for one class of binary linear modular dynamical systems are considered. Using the concept of the derivative and differential of boolean and psevdoboolean functions, the discrete Hamilton function and the adjoint system, a necessary conditions for the optimality of control is find. Next, the Bolza problem for one class of binary linear modular dynamical systems are considered. Using the spesial notation, the Bolza problem is reduced to the problem of terminal control and in this way, the necessary conditions for the optimality for Bolza problem is find.

Daxilolma tarixi:	İllkin variant	20.06.2021
	Son variant	12.07.2021

## 2-PROPİL-5-METİLFENOLUN KATALİTİK DEHİDROGENLƏŞMƏSİ

<sup>1</sup>AĞAYEV ƏKBƏR ƏLİ oğlu

<sup>2</sup>FUAD BƏXTİYAR

<sup>3</sup>QARAYEVA İRADƏ EYVAZ qızı

<sup>4</sup>MUSTAFAYEV MUSA MUSA oğlu

Sumqayıt Dövlət Universiteti, 1- professor, 3,4-dosent, 2-dissertant

[iradeqarayeva71@gmail.com](mailto:iradeqarayeva71@gmail.com)

*Açar sözlər:* 2-propil-5-metilfenol, 1-propanol, dehidrogenləşmə, alkilfenol, katalizator

Əsasən allilfenolların alınmasında istifadə olunan propilfenolların dehidrogenləşmə prosesi [1] allilkrezol və alliksilenolların sintezində tətbiq olunmamış və bu sahədə elmi məlumat praktiki olaraq çox azdır.

Məqalədə 2-propil-5-metilfenolun katalitik dehidrogenləşmə reaksiyasının tədqiqinin nəticələri öz əksini tapmışdır.

Başlanğıc maddə kimi götürülən 2-propil-5-metilfenol m-krezolun 1-propanolla alkilləşmə reaksiyasından alınmış və katalizator kimi Pd-HSZM götürülmüşdür.  $360^0\text{C}$  temperaturda xüsusi yüklemənin  $1,0 \text{ st}^{-1}$  qiymətində aparılmış təcrübədə 3-metilfenolun 1-propanola olan mol nisbəti 1:1 təşkil etmişdir. Alınan reaksiya məhsulları içərisində 2-propil-3-metil, 2-propil-5-metil və 4-propil-3-metilfenollara rast gəlinir ki, onların da bir-birindən ayrılmazı dəqiq rektifikasiya ilə mümkünkündür. Alınan məhsullar içərisində üstünlüyü 2-propil-5-metilfenol təşkil edir ki, ona görə reaksiyanın selektivliyi reaksiya şəraitində asılı olaraq 72,0-88,0%, çıxım isə 34,0-41,7% təşkil edir.

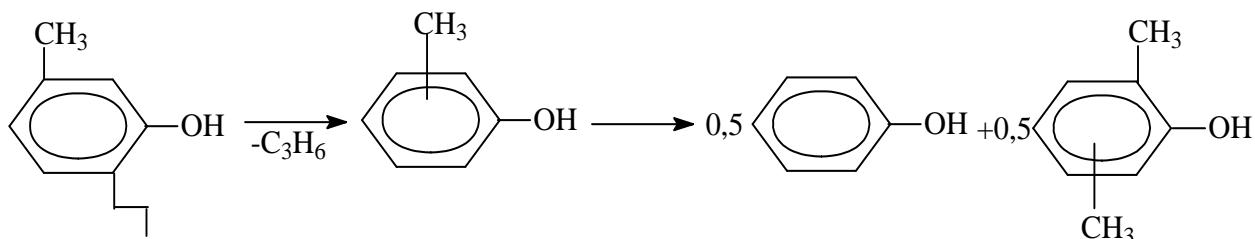
2-propil-5-metilfenolun katalitik dehidrogenləşmə reaksiyasının tədqiqi tərpənməz laylı katalizator olan reaktorlu laboratoriya qurğusunda həyata keçirilmiş, təcrübələr 1 saat ərzində aparılmış və alınan məhsulların analizi xromatoqrafik və spektral üsullarla yerinə yetirilmişdir. Maye xromatoqrafik faza kimi 5% Apiezon L və 5% dimetiltalat götürürlərək xromaton H üzərinə hopdurulmuş və göstərdiyimiz ardıcılıqla xromatoqrafik kalona (50%+50%) yerləşdirilmişdir. Kalonun ölçüləri  $3,6 \text{ m} \times 4,0 \text{ m}$  olub, helium daşıyıcısının sərfi  $50 \text{ ml/dəqiqə}$  təşkil edir. Analizin temperaturu  $80-130^0\text{C}$  intervalında götürülüb, əvvəlcə programlaşdırılmış qaydada  $5^0\text{C/dəqiqə}$  sürətlə artırılmışdır. Analiz zamanı nisbi xəta  $\sim 3,0\%$  olur. Alınmış məhsulların İQ spektrləri M-80 (Almaniya) cihazında NMR spektrləri isə Tesla şirkətinin (80 MHs) BS487B spektrometrində çəkilmişdir.

Dimer, trimer və oligomerlərin əmələ gəlməsinin qarşısını almaq üçün reaksiya qarışığına cüzi miqdarda stabilizator (mononitroarenlər) əlavə edilmiş onların fərdi qaydada ayrılması və analizi kapilyar xromatoqrafiya yolu ilə Xromateks-Kristall-5001 cihazında və ya kimyəvi üsullar ilə həyata keçirilmişdir.

Tədqiqatlarda xrom oksidi əsasında hazırlanmış ikili, üçlü və daha mürəkkəb katalitik sistemlərdən istifadə edilmişdir. Əvvəlki illərdə aparılmış elmi araşdırmalar nəticəsində [2] müəyyən edilmişdir ki, 2-metil-4-propilfenolun dehidrogenləşmə reaksiyasında daha yüksək aktivlik və selektivliyi ikili sistemlərdə  $\text{CoO-Cr}_2\text{O}_3$ , üçlü sistemlərdə isə  $\text{NiO-Cr}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3$  nümayiş etdirir. Belə ki,  $\text{CoO-Cr}_2\text{O}_3$  iştirakında 2-metil-4-propilfenolun dehidrogenləşməsindən ( $T=540^0\text{C}, \vartheta=1,0 \text{ st}^{-1}$ , alkilfenolun suya olan mol nisbəti 1:8) 81,4% selektivliklə və 25,4% çıxımla 2-metil-4-allilfenol alınır. Üçlü katalitik sistemlər götürüldükdə həmin reaksiyada 2-metil-4-allilfenol 81,7% selektivliklə və daha yüksək çıxımla (30,0%) alınır. Bu göstəricilər  $\text{NiO-Cr}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3$  katalitik sistemi iştirakında aşağıda göstərilən şəraitdə əldə olunur:  $T=540^0\text{C}, \vartheta=1,0 \text{ st}^{-1}$ , 2-metil-4-propilfenolun suya olan mol nisbəti 1:8 dir.

2-metil-4-propilfenolun dehidrogenləşməsi reaksiyası üçün seçilmiş bu katalitik sistemlər iştirakında 2-propil-5-metilfenolun dehidrogenləşməsi də tədqiq edilmişdir. Alınan nəticələr 1.6 sayılı cədvəldə verilir. Göründüyü kimi hər iki katalizator iştirakında alınan katalizatorların kimyəvi tərkibi praktiki olaraq eynidir. Reaksiya məhsullarına 2-allil-5-metilfenol onun dimeri və trimeri həmçinin 2-propil-5-metilfenolun dealkilləşmə məhsulları olan fenol, krezollar və ksilenollar aiddir. Qaz halında alınan maddələr C<sub>1</sub>-C<sub>3</sub> karbohidrogenləri olub, katalizatorun tərkibindən asılı olmayaraq eyni miqdarda əmələ gəlir.

İkili oksid sistemi (CoO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) iştirakında 2-propil-5-metilfenolun konversiyası, üçlü oksid katalizatoru (NiO- Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) olan halla müqayisədə 4,5% az olur və 30,5% təşkil edir. Əsas reaksiya məhsulu sayılan 2-allil-5-metilfenolun çevrilmiş 2-propil-5-metilfenola görə hesablanmış çıxımı üçlü oksid katalizatoru götürüldükdə 84,6% olur ki, bu da ikili oksid katalizatoru ilə müqayisədə 2,2% çoxdur. Qeyd etmək lazımdır ki, üçlü oksid katalizatoru iştirakında aparılan dehidrogenləşmə reaksiyasında alınan məhsullar içərisində ksilenollara rast gəlinir ki, bu birləşmələr CoO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oksid katalizatoru olan halda əmələ gəlmir. Çox güman ki, mürəkkəb oksid sistemi iştirakında daha dərin çevrilmələr, o cümlədən 2-propil-5-metilfenolun depropilləşməsi nəticəsində alınan krezolların disproportionlaşması da baş verir.



Katalizatorların katalitik və istismar xassələrini yaxşılaşdırıran üsullardan biri onların modifikasiyasıdır. Modifikator və promotorların az miqdarda katalitik sistemlərə daxil edilməsi onların quruluşunun qismən də olsa dəyişməsinə turşu-əsasi xassələrin tənzimlənməsinə səbəb olur. Bəzi oksid katalizatorlarında bu məqsədlə kaliumlu birləşmələrdən istifadə olunur. Qeyd edilir ki, bu birləşmələr vanadium tərkibli katalizatorların sulfat turşusu istehsalında xassələrini yaxşılaşdırır və ferritlərin aromatik və parafin karbohidrogenlərin dehidrogenləşmə reaksiyasındaki aktivlik xüsusən də selektivliyini artırır.

Bunları nəzərə alaraq, ikili və üçlü oksid sistemlərimizin kalium karbonatla modifikasiyası aparılmış və katalitik sistemdəki kalium oksidi-promotorunun qatılığının prosesə təsiri öyrənilmişdir. Promotorun katalizatordakı qatılığı 0,1-0,33 kütlə % sərhəddində dəyişdirilmiş və alınan nəticələr 1-ci şəkildə öz əksini tapmışdır.

Göründüyü kimi hər iki katalizatorda promotorun 2-propil-5-metilfenolun dehidrogenləşmə reaksiyasına təsiri eynidir. Belə ki, CoO-CrO<sub>3</sub> sistemində əmələ gələn 2-allil-5-metilfenola görə selektivlik 82,4% olduğu halda promotorlu katalizatorlarda bu göstərici 84,8% (0,1% K<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) daha sonra 87,4% (0,2% K<sub>2</sub>O)-ə qalxır. Promotorun qatılığının sonrakı artımı (0,3-0,33% K<sub>2</sub>O) allilkrezola görə selektivliyə (88,0%) praktiki olaraq təsir etmir. 2-propil-5-metilfenolun konversiyasına gəldikdə promotorun ikili oksid sistemə daxil edilməsi əvvəlcə onu 1,5% aşağı salır (0,2% K<sub>2</sub>O) və kalium oksidin katalizatordakı qatılığının 0,33%-ə qaldırılması konversiyani daha 0,5% azaldır və 28,5% təşkil edir.

Üçlü katalitik sistemə (NiO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) promotorun daxil edilməsi onun katalitik xassələrinə analoji qaydada təsir edir. Promotorsuz katalizator iştirakında prosesin əsas məhsula görə selektivliyi 84,6%, 0,2 kütlə% K<sub>2</sub>O olan halda selektivliyi 88,2%, promotorun qatılığını 0,3-0,33 kütlə%-ə qaldırıldıqda isə 2-allil-5-metilfenola görə selektivliyin cəmi 1,0% artımı müşahidə olunur. Sonuncu halda 2-propil-5-metilfenolun konversiyası 28,5% təşkil edir ki, bu da tərkibində 0,2 kütlə% K<sub>2</sub>O olan oksid katalizatoru ilə müqayisədə 2,5% azdır. Başqa sözlə desək, üçlü

oksidsisteminə daxil edilən promotorun qatılığını  $0,2\%-dən$   $0,3\div 0,33\%$ -ə qaldırılmasının məqsədli məhsulun selektivliyini cüzi artırırsa da, onun çıxımını aşağı salır. Bu hal ikili oksid sistemi iştirakında aparılmış dehidrogenləşmə prosesinə də aiddir.

Tədqiqatın növbəti mərhələsində tərkibində 0,2 kütlə % kalium oksidi olan  $\text{NiO-Cr}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3$  katalizatoru iştirakında 2-propil-5-metilfenolun dehidrogenləşmə reaksiyasına temperatur, həcmi sürət xammaldakı propil krezolun suya olan mol nisbətinin təsiri öyrənilmiş və alınan nəticələr 1 sayılı cədvəldə öz əksini tapmışdır. Alınan nəticələrin təhlilindən aydın olur ki, bu parametrlərin prosesə təsiri müxtəlif olub, bəzi ümumi qanuna uyğunluqlara da tabe olur.

**Cədvəl 1.**

*Müxtəlif katalizatorlar iştirakında 2-propil-5-metilfenolun dehidrogenləşmə reaksiyasının tədqiqinin nəticələri*

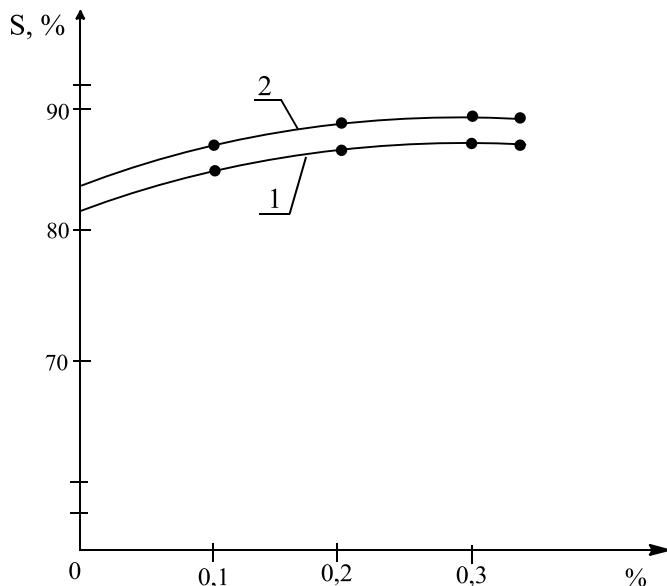
*Reaksiyanın şəraiti:  $T=340^{\circ}\text{C}$ ,  $\vartheta=1,0 \text{ st}^{-1}$ , 2-propil-5-metilfenolun suya olan mol nisbəti=1:8*

Göstəricinin adı	Katalizatorun kimyəvi tərkibi, kütlə% ilə			
	CoO-27,5 $\text{Cr}_2\text{O}_3-72,5$	CoO-27,5 $\text{Cr}_2\text{O}_3-72,5$ $\text{K}_2\text{O}-0,2$	NiO-11,0 $\text{Cr}_2\text{O}_3-29,0$ $\text{Al}_2\text{O}_3-60,0$	NiO-11,0 $\text{Cr}_2\text{O}_3-29,0$ $\text{Al}_2\text{O}_3-59,8$ $\text{K}_2\text{O}-0,2$
Alınmışdır kütlə % ilə, o cümlədən				
Fenol	0,8	-	0,6	0,2
krezollar	0,7	1,0	0,8	0,7
ksilenollar	-	-	0,4	-
2-propil-5-metilfenol	69,5	71,0	65,0	69,0
2-allil-5-metilfenol	24,8	25,0	29,2	27,0
Dimer	1,0	0,6	1,2	1,1
Trimer	0,4	0,4	0,2	-
identifikasiya olunmamış maddələr	1,2	1,0	1,0	0,8
qaz+itki	1,6	1,2	1,7	1,2
2-propil-5-metilfenolun konversiyası, %	30,5	29,0	35,0	31,0
2-allil-5-metilfenola görə reaksiyanın selektivliyi	82,4	87,4	84,6	882

Məsələn temperaturun artırılması, həcmi surətin azaldılması və xammaldakı suyun qatılığının aşağı salınması 2-propil-5-metilfenolun konversiyasının aşağı düşməsinə səbəb olur. Temperaturun  $500^{\circ}\text{C}$ -dən  $540^{\circ}\text{C}$ -yə qaldırılması alınan 2-allil-5-metilfenola görə selektivliyi  $90,6\%-dən$   $88,2\%$ -ə azalıdır, lakin temperaturun sonrakı artımı ( $580^{\circ}\text{C}$ ) bu azalmanı  $9,6\%-ə$  qədər edir. Temperaturun artması allil krezolun dimerinin alınmasını artırmaqla yanaşı, propil krezolun dealkilləşməsini də çoxaldır. Belə ki,  $500^{\circ}\text{C}$ -də alınan fenol və krezollara görə reaksiyanın selektivliyi  $3,0\%$  olduğu halda  $580^{\circ}\text{C}$ -də bu göstərici  $14,0\%-ə$  qalxır.

Verilən xammalın həcmi surətinin  $0,5 \text{ st}^{-1}$ -ə azaldılması reaksiya qarışığının katalizatorla kontakt vaxtını çoxaldır ki, bu da sonrakı çevrilmələrin, məsələn, 2-allil-5-metilfenolun dimerləşməsini surətləndirir və katalizatda onun selektivliyi  $11,5\%-ə$  çatır. Həcmi surətin  $2,0 \text{ st}^{-1}$ -ə qaldırılması isə məqsədli məhsulun selektivliyini  $90,8\%-ə$  qədər artırır, lakin buna baxmayaraq bu zaman 2-propil-5-metilfenolun konversiyası cəmi  $24,8\%$  təşkil edir.

Xammalda suyun parsial təzyiqinin artırılması 2-propil-5-metilfenolun konversiyasını  $35,0\%-dən$  ( $\mathcal{V}=1:6$  mol/mol) əvvəlcə  $31,0\%-ə$  ( $\mathcal{V}=1:8$  mol/mol), daha sonra isə  $29,0\%-ə$  ( $\mathcal{V}=1:10$  mol/mol)-ə salır. 2-allil-5-metilfenola gəldikdə onun selektivliyi uyğun olaraq əvvəlcə  $82,0\%$ , daha sonra  $88,2\%$  və sonda  $89,5\%$  təşkil edir.



**Şəkil 1.** Modifikatorun ( $K_2O$ ) qatlılığının oksid sistemlər iştirakında alınan 2-allil-5-metilfenolun əmələgəlmə selektivliyinə təsiri

1. İkili oksid sistemində ( $CoO-Cr_2O_3$ ) 2-allil-5-metilfenolun əmələgəlmə selektivliyi, %
2. Üçlü oksid sistemində ( $NiO-Cr_2O_3-Al_2O_3$ ) 2-allil-5-metilfenolun əmələgəlmə selektivliyi, %

**Cədvəl 2.**

Modifikasiya olunmuş  $NiO-Cr_2O_3-Al_2O_3$  iştirakında 2-propil-5-metilfenolun dehidrogenləşmə reaksiyasına müxtəlif giriş parametrlərinin təsirinin nəticələri

Reaksiyanın şəraiti			2-propil-5-metilfenolun konversiyası	Çevrilmiş 2-propil-5-metilfenola görə hesablanmış reaksiya məhsullarının çıxımı		
T°C	θ, st <sup>-1</sup>	Allilfenolun suya olan mol nisbəti		2ASMF	Dimer	Fenol+ Metilfenollar
500	1,0	1:8	18,5	90,6	5,5	3,0
540	1,0	1:8	31,0	88,2	7,0	3,5
580	1,0	1:8	44,5	78,5	6,0	14,0
540	0,5	1:8	36,5	81,5	11,5	5,8
540	2,0	1:8	24,8	90,8	5,0	2,6
540	1,0	1:6	35,0	82,0	8,5	6,5
540	1,0	1:10	29,0	89,5	6,5	2,5

Beləliklə, aparılmış tədqiqatın nəticələri göstərmüşdir ki, tərkibində 0,2 kütlə%  $K_2O$  olan  $NiO-Cr_2O_3-Al_2O_3$  katalitik sistemi iştirakında  $540^0C$  temperatur,  $1,0 \text{ st}^{-1}$  həcmi surət və xammaldakı 2-propil-5-metilfenolun suya olan mol nisbəti 1:8 olan halda daha yaxşı nəticələr əldə olunur. Çevrilmiş və ilkin götürülmüş 2-propil-5-metilfenola görə hesablanmış 2-allil-5-metilfenolun çıxımları müvafiq olaraq 88,2 və 27,3% təşkil edir.

### ƏDƏBİYYAT

1. Магеррамов А.М., Байрамов М.Р. Химия алкенилфенолов Б.: Нурлар, 2015, 399 с.
  2. Ağayev Ə.Ə., Qarayeva İ.E., Fuad Bəxtiyar, Abuşova Z.B. 2,6-dimetil-4-propilfenolun dehidrogenləşmə reaksiyasına temperaturun təsiri // Sumqayıt Dövlət Universiteti. Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmi bölməsi. c.20, Sumqayıt: SDU, №4. 2020, s.22-24
- <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44600574>

**РЕЗЮМЕ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ДЕГИДРИРОВАНИЯ  
2-ПРОПИЛ-5-МЕТИЛФЕНОЛА**  
*Агаев А.А., Fuad Bakhtiyar, Гараева И.Э., Мустафаев М.М.*

**Ключевые слова:** дегидрирование, 1-пропанол, 2-пропил-5-метилфенол, алкилфенол, катализатор

Приводятся результаты исследования реакции дегидрирования 2-пропил-5-метилфенола сложных оксид катализаторов. В исследованиях использованы двойные, тройные и более сложные катализитические системы, полученные на основе оксида хрома (III). В процессе дегидрирования наибольшую активность и селективность среди двойных катализитических систем проявляет  $\text{CoO-Cr}_2\text{O}_3$ , а в присутствии тройных систем  $\text{NiO-Cr}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3$ . В присутствии  $\text{NiO-Cr}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3$  модифицированного карбонатом калия выход 2-аллил-5-метилфенола на прореагировавший и пропущенный алкилфенол составляет соответственно 88.2 və 27.3%

**SUMMARY**

**CATALYTIC DEHYDROGENATION OF 2-PROPYL-5-METHYLPHENOL**

*Aghayev A.A., Fuad Bakhtiyar, Garayeva I.E., Mustafayev M.M.*

**Key words:** *2-propyl-5-methylphenol, dehydrogenation, 1-propanol, alkylphenol, catalyst.*

The results are given of a study of the dehydrogenation reaction of 2-propyl- 5- methylphenol complex oxide catalysts. The studies used dual, triple and more complex catalytic systems based on chromium oxide.  $\text{CoO-Cr}_2\text{O}_3$  in binary systems and  $\text{NiO-Cr}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3$  in triple systems show higher activity and selectivity in the dehydrogenation process. In the presence of  $\text{NiO-Cr}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3$  modified with potassium carbonate, the yield of 2-allyl-5-methylphenol for the reacted and passed alkylphenol is 88.2 və 27.3%, respectively.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	12.06.2021
	Son variant	06.07.2021

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НА ХАРАКТЕРИСТИКУ НАНОРАЗМЕРНЫХ Cu-Me-Al (Me-Co, Zn) ОКИСНЫХ СИСТЕМ И ИХ АКТИВНОСТЬ В РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ CO В ВОДОРОДСОДЕРЖАЩЕЙ СРЕДЕ

ДЖАФАРОВА СЕВИЛЬ ТАГИ гызы

Институт катализа и неорганической химии им. ак. М. Нагиева НАН Азербайджана,

к.х.н., в.н.с., доцент

[rsevil7@gmail.com](mailto:rsevil7@gmail.com)

**Ключевые слова:** монооксид углерода, наночастицы, морфология, структура, гидротермальный синтез, полиолы, формальдегид.

В реакции окисления CO в токе водорода в качестве катализаторов исследованы наноразмерные окисные системы состава Cu-Me-Al (Me-Co, Zn), полученные термообработкой твердых продуктов гидротермального синтеза с участием полиолов или формальдегида. Особое внимание удалено исследованию влияния условий синтеза (температуры, среды, природы металлов) на результирующие свойства (структура, размер, морфология) наноматериалов и их активность в реакции окисления CO. Это достигнуто путем исследования промежуточных продуктов и продуктов синтеза с помощью РФА, СЭМ, ИКС. Выявлено, что в среде этиленгликоля формируются частицы со средним размером ~240нм, а в среде формальдегида в диапазоне размеров 8.5 - 24.01 мкм. Установлено, что дисперсность термообработанных частиц возрастает с уменьшением температуры синтеза. Показано формирование наноразмерных Cu-Co-Al-O катализитических частиц (25~300нм) определенного химического состава (присутствует шпинель) и нужной морфологии, обеспечивающие высокую активность (100% при 210~216°C) в реакции окисления CO за счет оптимального сочетания физико-химических свойств поверхности.

Оксидные системы кобальта, меди, цинка широко используются в современном гетерогенном катализе в качестве катализаторов для окисления углеводородов, синтеза Фишера–Тропша, горения летучих органических соединений, предпочтительного окисления CO в смеси с водородом [1,2]. Разработка эффективных катализитических систем для окисления CO в водородсодержащих смесях для топливных элементов является одной из актуальных проблем [3]. В настоящее время наиболее распространены коммерческими катализаторами для этой реакции являются катализаторы, содержащие благородные металлы (подгруппа Pt) [4,5]. Стоимость благородных металлических катализаторов высока и это оказывает значительное влияние на экономику процесса, в связи с чем, внимание исследователей привлекает синтез катализитически активных композиций, содержащих переходные металлы [6-8]. Высокую активность в реакции окисления CO проявляют катализитические композиции в высокодисперсном состоянии. Гидротермальной обработкой нитратов в среде ди- и триолов получены высокодисперсные композиции, включающие одновременно металлы, оксиды металлов [9]. В работах [10,11] исследовано взаимодействие нитратов кобальта, железа, никеля, хрома с водными растворами гликолов (этиленгликоль, пропиленгликоль, бутандиол) при температурах до 150°C и показано образование дикарбоксилатов, которых путем прокаливания при 500°C переводят в оксиды и ферриты. Ранее [12] изучены закономерности процесса восстановительного разложения нитратов кобальта, меди и алюминия в присутствии полиолов в автоклаве. Приготовление катализаторов традиционными методами из нитратных солей сопряжено с выходом токсичных азотсодержащих газообразных продуктов, тогда как технология получения в автоклаве в гидротермальных условиях практически лишена этих недостатков. Однако,

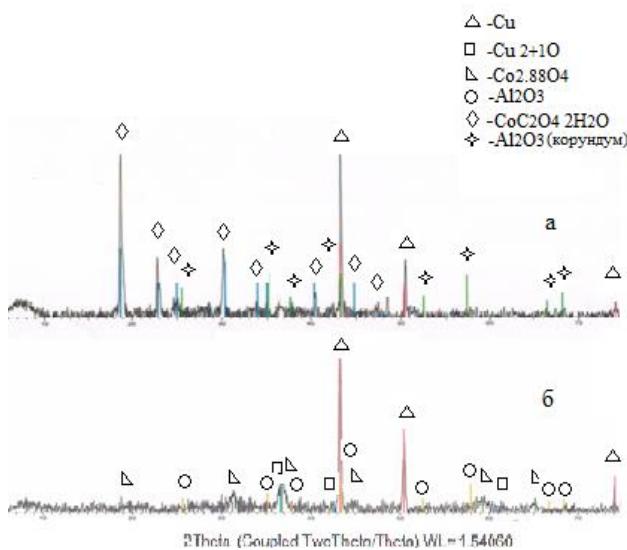
сложность взаимосвязей между условиями синтеза, желаемыми свойствами и характеристиками полученных материалов является ограничивающим фактором целесообразности применения этого метода получения.

В представленной работе исследовано влияние условий синтеза (температуры, природы восстановителя и металла) на свойства (состав, морфологию поверхности, размер) наноматериала состава Cu-Me-Al-O (Me-Co,Zn) и их активность в реакции окисления CO в водородсодержащей среде.

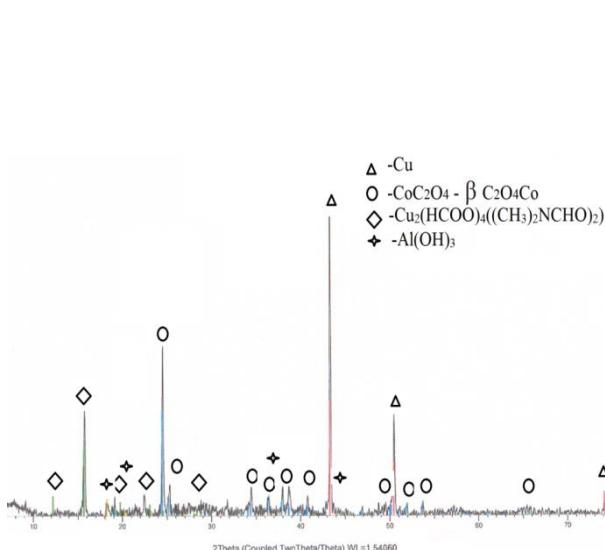
**Экспериментальная часть.** В качестве источников катионов металлов использованы кристаллогидраты соответствующих нитратов квалификации «ч.д.а.»:  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ . В качестве восстановителей использованы: этиленгликоль, глицерин и формальдегид (40 об.% водный раствор). Для синтеза наночастиц использован метод коллоидного синтеза в автоклаве, в частности, раствор смеси нитратов металлов ( $\text{Co} (\text{Zn})/\text{Cu}/\text{Al}=1/1/3$ (масс.)) термически разлагают в среде восстановителя, по методике [12]. Полученные твердые продукты реакции термообработаны при температуре  $500^{\circ}\text{C}$  в течение 2 часов. Конечные и промежуточные продукты реакции охарактеризованы физико-химическими методами анализа: РФА и СЭМ, ИКС. Структура фазы, размер и форма частиц до и после термообработки изучены с использованием дифрактометра рентгеновских лучей D2 Phaser (Bruker) и сканирующего электронного микроскопа Sigma VP (Carl Zeiss).

Катализитические свойства образцов изучены в кварцевом реакторе проточного типа со стационарным слоем катализатора ( $0.1 \text{ см}^3$ ). Активность определена по степени конверсииmonoоксида углерода. Температура реакции измерена на выходе из катализатора хромель-алюмелевой термопарой. Исходная газовая смесь содержала 1.6% monoоксида углерода с соотношением  $\text{CO}/\text{O}_2=1.32$ , баланс – водород. Тестирование проведено в температурном интервале  $150$ - $350^{\circ}\text{C}$ , объёмной скорости газовой смеси  $10800\text{ч}^{-1}$ .

**Обсуждение результатов.** Для целенаправленного синтеза материала той или иной структуры необходимо подробно исследовать фазовый состав промежуточных химических соединений. Рентгенофазовый анализ позволил выяснить образующиеся фазы в системе Cu-Co-Al в зависимости от температуры и среды синтеза (рис.1 и 2).

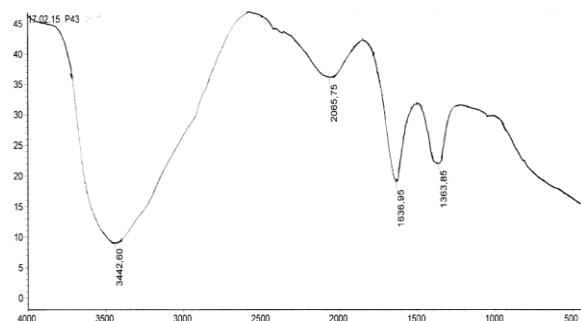


**Рис.1.** Рентгенофазовый анализ продуктов синтеза в системе Cu-Co-Al, образованных в среде глицерина, при температурах: а - 280; б - 330°C.



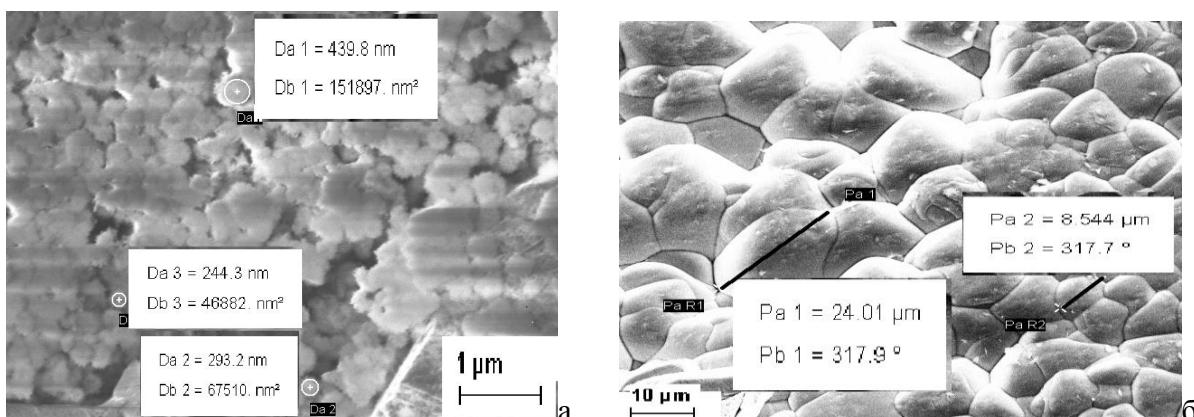
**Рис.2.** Рентгенофазовый анализ продуктов синтеза в системе Cu-Co-Al, образованных в среде этиленгликоля, при температуре 330°C. в среде глицерина, при температурах: а - 280; б - 330°C.

При использовании формальдегида металлическая фаза меди не обнаружена (присутствуют оксалаты кобальта и меди, азотсодержащие органические соединения). Наличие солей карбоновых кислот подтверждается результатами исследования жидкого остатка реакционного раствора с инфракрасной спектроскопией (рис.3). На спектре наблюдаются полосы поглощения с волновым числом 1636 и 1363  $\text{cm}^{-1}$ , соответствующие симметричным и асимметричным карбоксильным группам.



*Рис.3. ИКС реакционного раствора системы Cu-Co-Al, оставшегося после синтеза в среде формальдегида.*

Таким образом, температура 330 $^{\circ}\text{C}$  при синтезе в среде этиленгликоля и формальдегида недостаточно высока, чтобы вызвать термическое разложение предшественников оксидов кобальта, а это означает, что гидроксиоксалаты являются промежуточными соединениями при образовании оксидов. Микрофотографии СЭМ показывают (рис.4), что продукты синтеза представляют собой частицы со средним размером  $\sim 240$  нм в среде этиленгликоля, в диапазоне размеров 8.5 - 24.01 мкм в среде формальдегида.



*Рис.4. СЭМ изображения продуктов синтеза в системе Cu-Co-Al в среде этиленгликоля (а) и формальдегида (б).*

Перед каталитическими испытаниями все образцы были прокалены при 500 $^{\circ}\text{C}$  (2 часа). Рентгенофазовые исследования прокаленных образцов показали формирование соединений  $\text{Co}_3\text{O}_4$  (№000431003) и  $\text{CuO}$  (№010895895), тогда как рефлексов, характерных для соединений алюминия, не прослеживалось. Результаты исследований распределения элементов по площади поверхности частиц, определенных методом микрорентгеноспектрального анализа (таблица), показали наличие алюминия в составе образцов, что указывает на рентгеноаморфность ее соединений.

**Таблица**

Распределение основных элементов в системе Cu-Co-Al-O по площади поверхности частиц в зависимости от восстановительной среды.

Среда синтеза	Элементы, масс.%			
	Al	Co	Cu	O
Этиленгликоль	24.6	20.2	1.9	44.4
	26.1	13.5	6.9	44.5
Глицерин	19.1	30.0	11.9	34.0
	25.4	39.1	10.7	24.8
Формальдегид	34.6	10.3	7.5	47.3
	30.8	11.2	11.7	45.8

Анализ данных таблицы показывает, что при синтезе систем в среде этиленгликоля и глицерина на поверхности наблюдается преобладающее количество кобальта по сравнению с медью, тогда как в среде формальдегида их количество практически одинаково.

Для выяснения влияния факторов синтеза на морфологию и размер частиц после прокаливания были проведены электронно-микроскопические исследования выбранных образцов (рис.5).

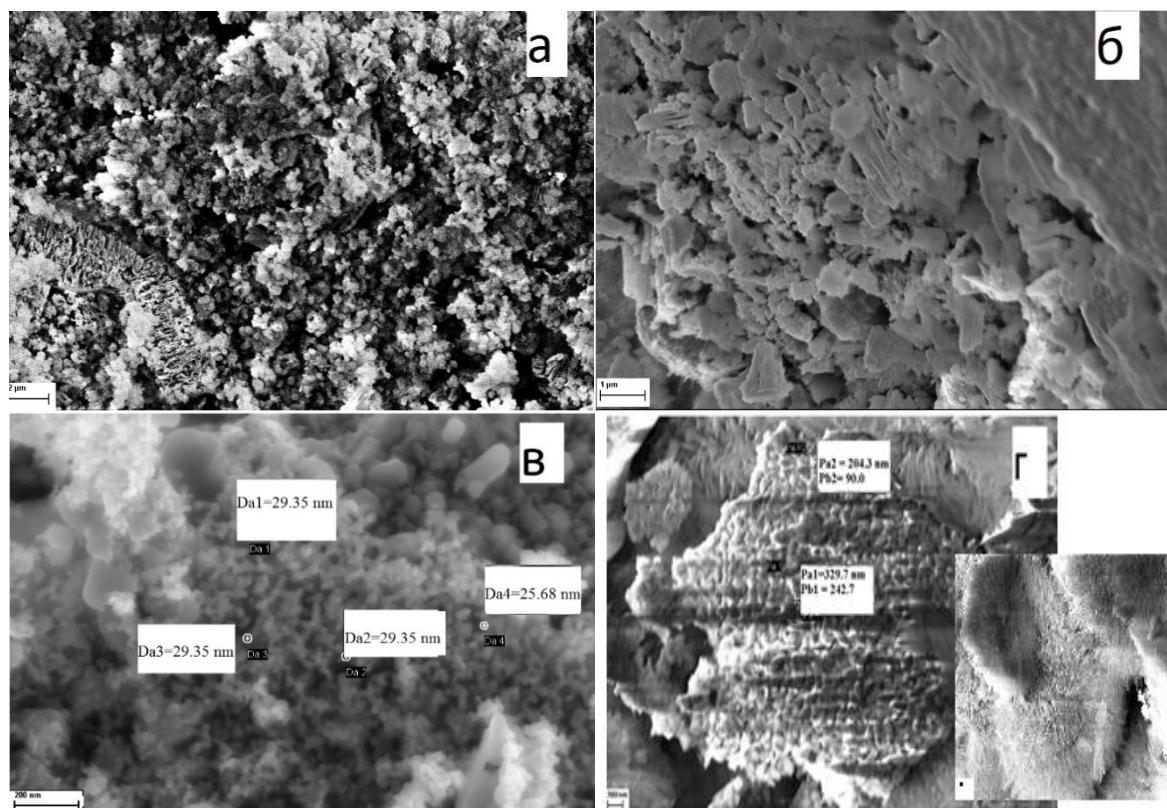
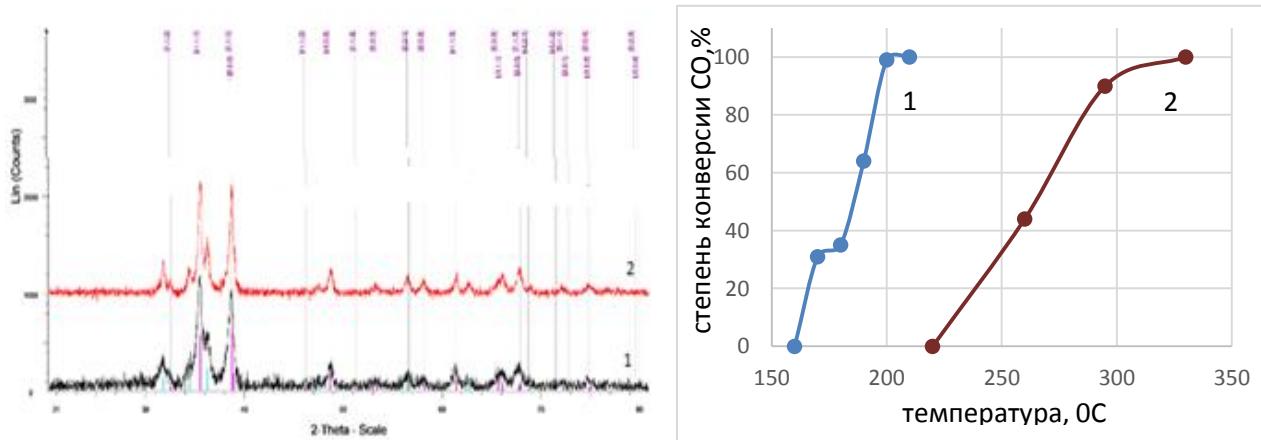


Рис.5. Микрофотографии СЭМ Cu-Co-Al-O порошков, полученных в среде этиленгликоля (а-330°С); глицерина (б-280°С); формальдегида (в-230; г-280°С) с последующим прокаливанием при 500°С.

Микрофотографии СЭМ показывают, что в среде этиленгликоля формируются пушистые зерна, в то время как в присутствии глицерина частицы имеют произвольную форму. Сферические частицы, по-видимому, формируются путем объединения нескольких наночастиц в одно. Дополнительные фазы, наблюдаемые в структуре, относятся к предшественникам оксидов (слоистые структуры гидроксиоксалатов). Рисунок 5 содержит

микрофотографии СЭМ выбранных образцов, синтезированных при разных температурах в среде формальдегида, и иллюстрируют изменчивость размера и морфологии наночастиц. При температуре синтеза  $230^{\circ}\text{C}$ , термообработанные частицы имеют средний размер  $25.68\text{--}29.5\text{ нм}$ , в то время как при температуре синтеза  $280^{\circ}\text{C}$ , размер частиц увеличивается и составляет в среднем  $200\text{--}300$  нм. При этом частицы имеют сферическую форму, которая состоит из волокон, исходящих из одной точки и с мечевидным свободным концом. Таким образом, наблюдается четкая корреляция между температурой синтеза и размером наночастиц при стабильной температуре прокалки ( $500^{\circ}\text{C}$ ).

Наноматериалы (12-20нм), полученные в среде этиленгликоля при температуре  $270^{\circ}\text{C}$  из смеси нитратов состава Cu-Zn-Al с последующей прокалкой при температуре  $400\text{--}500^{\circ}\text{C}$ , по интерпретации результатов РФА представляли собой оксиды: CuO (№ 01 080 1916) и ZnO (№ 01 080 0075) (рис.6). Соединения алюминия повели себя аналогично предыдущим исследованиям – они оказались рентгеноаморфными.



**Рис. 6.** Дифрактограммы порошков, полученных прокалкой при  $500$  (1) и  $400^{\circ}\text{C}$  (2) продуктов синтеза системы состава Cu-Zn-Al (сиреневые линии - CuO; голубые - ZnO).

Синтезированные образцы протестированы в реакции окисления CO в водородсодержащей среде. Изучение сравнительной активности образцов Cu-Zn-Al-O и Cu-Co-Al-O в реакции окисления CO показало более высокую активность второго образца (рис.7).

Более высокая активность системы Cu-Co-Al-O объясняется образованием шпинельной структуры  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , которая содержит смесь октаэдрически координированных катионов  $\text{Co}^{3+}$  и тетраэдрически координированных катионов  $\text{Co}^{2+}$ . Быстрое переключение между ионами  $\text{Co}^{3+}/\text{Co}^{2+}$  способствует высокой подвижности кислорода, что в конечном счете приводит к быстрому окислению CO [13]. Катионы меди, вероятно, усиливают выделение решетчатого кислорода оксидов в восстановительной атмосфере.

Эксперименты по определению каталитических свойств Cu-Co-Al-O в зависимости от природы восстановителя показали, что степень окисления CO практически не зависела от данного показателя. Образцы с размерами частиц от 25-29 до 200-300нм обладали близкими каталитическими свойствами: полная степень конверсии CO при объемной скорости газовой смеси  $10800 \text{ ч}^{-1}$  практически совпадает ( $210\text{--}216^{\circ}\text{C}$ ). Таким образом, образцы, полученные гидротермальным путем в жидкофазной среде, обладают оптимальным сочетанием физико-

**Рис.7.** Температурная зависимость конверсии CO в водородсодержащей среде на нанооксидных порошках: Cu-Co-Al-O (1) и Cu-Zn-Al-O (2).

химических свойств поверхности для проявления максимальной активности независимо от природы восстановителя.

Стойкость к «термическим ударам» в условиях катализа проверена путем воспроизведения температурных зависимостей  $x=f(T)$  при повторении опытов на одном и том же образце катализатора с выдержкой при каждой из исследованных температур до постоянства степени конверсии. При втором «термическом цикле» образца катализатора активность остается на том же уровне, однако, третий «термический удар» повышает температуру достижения максимальной степени конверсии CO на 20°C (рис.8, кривая 2). Это, по-видимому, объясняется изменениями связи в структуре катализатора, ведущее к снижению поверхностной энергии.

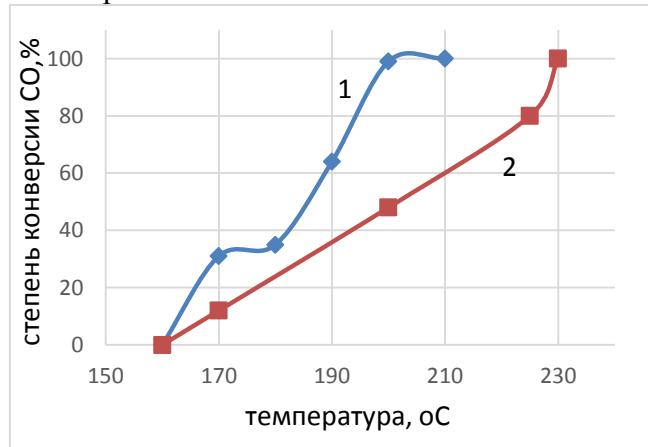


Рис.8. Температурная зависимость каталитической активности нанопорошка Cu-Co-Al-O в реакции окисления CO в водородсодержащей среде (кривая 1) и на этом же образце после третьего «термического удара» (кривая 2).

Сопоставление активностей образцов Cu-Co-Al-O, прокаленных при различных температурах: 400, 650, 800°C, показывает, что с возрастанием степени прокаливания температура полной конверсии CO возрастила, а селективность закономерно уменьшалась. Температурная кривая зависимости степени конверсии CO образца, прокаленного при 400°C, совпадала с активностью образца прокаленного при 500°C (рис.7, кр.1). При прокалке образцов при 650 и 800°C температурная кривая была смещена в высокотемпературную область, и, начиная с 340 и 290°C, соответственно, в продуктах реакции присутствовал нежелательный продукт – метан. Падение избирательности катализатора, возможно, связано с образованием в этих условиях реакции паров воды, которые в свою очередь взаимодействуют с CO, а также с возможным изменением дисперсии каталитических частиц. Возможно, что высокодисперсные частицы оксида меди находятся в состоянии сильного взаимодействия с оксидами кобальта, что облегчает отрыв кислорода от поверхности катализатора при восстановлении оксида меди [14]. Повышение температуры прокалки, вероятно, способствует укрупнению частиц оксида меди, взаимодействие которых с оксидами кобальта ослабляется из-за их размера, что понижает активность и селективность. Следовательно, оптимальной температурой прокалки образцов катализаторов можно считать 350-550°C, повышение температуры прокалки способствует укрупнению частиц, ведущей к уменьшению селективности процесса. Таким образом, повышенная каталитическая активность образцов объясняется высокой дисперсией каталитических частиц.

Итак, при гидротермальном восстановлении нитратов металлов в среде полиолов и формальдегида с последующей термической обработкой массы формируются высокодисперсные частицы в нанометровом диапазоне (12-300нм) с поверхностью определенного химического состава и нужной морфологией, способствующей проявлению ими высокой каталитической активности в реакции окисления CO в водородсодержащей

среде. В ряде случаев данные системы по основным показателям (активности, селективности, стабильности) не уступают катализаторам на основе благородных металлов (платины, палладия, родия), а сам метод приготовления катализаторов характеризуется экологичностью за счет отсутствия выбросов в атмосферу.

*Работа выполнена при финансовой поддержке «SOCAR» (Грант №07 от 2014-2016г. «Синтез катализаторов для получения и очистки водорода для топливных элементов»).*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лукьянчук И.В., Черных И.В., Руднев В.С. и др. Каталитически активные кобальтмедные оксидные слои на алюминии и титане // Физикохимия поверхности и защита материалов, 2014, Т.50, № 2, С.183-191
2. Руднев В. С., Тырина Л. М., Устинов А. Ю. и др. Сравнительный анализ состава, строения и каталитической активности композиций  $\text{NiO-CuO-TiO}_2$  на титане и  $\text{NiO-CuO-Al}_2\text{O}_3$  на алюминии // Кинетика и катализ, 2010, Т.51, № 2, С.281-287
3. Тырина Л. М., Руднев В. С., Лукьянчук И. В. и др. Силикатные анодные покрытия на алюминии, содержащие оксиды кобальта и /или меди и/ или церия, и их активность в окислении CO// Физикохимия поверхности и защита материалов, 2015, т.51, №5, с. 532-540
4. Amairia C., Fessi S., Ghorbel A., Rives A. Methane oxidation behaviour over sol-gel derived  $\text{Pd/Al}_2\text{O}_3-\text{ZrO}_2$  materials: Influence of the zirc // J. Mol. Catal. A. 2010. Vol. 332, № 2, pp. 25–31
5. Lee Min Jung, Kim Nam Experiment on the effect of Pt-catalyst on the characteristics of a small heat-regenerative  $\text{CH}_4$ -air premixed combustor // Appl. Energy., 2010., V. 87, №1, pp.3409–3416
6. Alireza Salehirad, Mehdi Parvini, Seyed Mahdi Latifi, and Zahra Heydari Liquid Phase Facile Synthesis of  $\text{CuAl}_2\text{O}_4/\text{ZnO/MgAl}_2\text{O}_4$  Nanocomposite as a New Efficient Catalyst for Water Gas Shift Reaction // Russian Applide Chemistry, 2015, V.88, №8, pp.1361–1367
7. Jafarova S.T., Belous A. G., Pashkova E. V., Akhmedov M. M. Solid Solutions Based on Iron-Substituted Cobaltites  $\text{MnFexCo}_{2-x}\text{O}_4$  in CO Oxidation // Russian Journal of Applied Chemistry, 2013, Vol. 86, No. 8, pp. 1168–1173
8. Jafarova S.T., Akhmadov M. M. , Belous A. G. , Pashkova E. V. , Ivanitskii V. P. Phase composition of the ferrite catalyst with the spinel structure and its catalytic activity in the water—gas shift reaction of carbon monoxide // Russian Chemical Bulletin, February 2015, Volume 64, Issue 2, pp. 332-336
9. Medjidov A.A., Fatullayeva P.A., Agayeva S.A., Yalcin B., Jafarova S.T., Ahmedov V.M., Abbasov M.G. Reduction of metal nitrates by formaldehyde, ethyleneglycole and glycerol under hydrothermal conditions // Azerbaijan chemical jurnal, 2016, №3, pp. 75-81
10. Marcela Stoia, Paul Barvinschi, Lucian Barbu Tudoran, Mirela Barbu, Mircea Stefanescu Synthesis of nanocrystalline nickel ferrite by thermal decomposition of organic precursors // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 2012, V. 108, N 3, pp.1033-1039
11. Hiromichi Hayashi, Yukiya Hakuta Hydrothermal Synthesis of Metal Oxide Nanoparticles in Supercritical Water // Materials 2010, N 3, pp. 3794-3817
12. Джафарова С.Т., Меджидов А.А., Ахмедов М.М. и др. Получение наноразмерных порошков методом гидротермального совместного разложения нитратов Cu, Co и Al в полиольной среде // Азербайджанский химический журнал, 2018, № 2, с.20-26
13. Kathleen Mingle, Jochen A. Lauterbach, Synthesis-Structure-Activity Relationships in  $\text{Co}_3\text{O}_4$  Catalyzed CO Oxidation / Front. Chem., 25 May 2018  
<https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00185>
14. Афонасенко Т.Н., Цырульников П.Г., Гуляева Т.И. и др. Влияние природы топливной добавки при поверхностном самораспространяющемся термосинтезе на свойства катализаторов  $(\text{CuO-CeO}_2)$ /стеклоткань для селективного окисления CO в присутствии  $\text{H}_2$  // Кинетика и катализ, 2013, т.54, №1, с.61-70

15. Джадарова С.Т. Оценка катализитической активности и склонности никелевого катализатора на основе цеолита типа шабазита к углеотложению в реакции конверсии биогаза в синтез-газ // Сумгайитский государственный университет. Научные известия. Серия: Естественные и технические науки. т.20, №4. Сумгайит: СГУ, 2020, с.35-40; <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44600577>

## XÜLASƏ

### SİNTEZ ŞƏRTLƏRİNİN Cu-Me-Al (Me-Co, Zn) NANOÖLÇÜLÜ OKSİD SİSTEMLƏRİNİN XARAKTERİSTİKASINA VƏ ONLARIN CO HİDROGEN MÜHİTİNDƏ OKSİDLƏŞMƏ REAKSİYASINDA AKTİVLİYİNƏ TƏSİRİ

*Cəfərova S.T.*

**Açar sözlər:** dəm qazı, nanohissəciklər, morfolojiya, quruluş, hidrotermal sintez, poliollar, formaldehid

CO hidrogen axınında oksidləşmə reaksiyasında poliolların və formaldehidin iştirakı ilə hidrotermal sintezin bərk məhsullarının közərdilməsi ilə əldə edilən Cu-Me-Al (Me-Co, Zn) tərkibində nanoölcülü oksid sistemləri katalizator kimi tədqiq edilmişdir. Sintez şərtlərinin (temperatur, mühit, metalin təbiəti) nanomaterialların yaranan xassələrinə (quruluşu, ölçüsü, morfolojiyası) və CO oksidləşmə reaksiyasındaki aktivliyinə təsirinin tədqiqinə xüsusi diqqət yetirilmişdir. Buna ara məhsullar və sintez məhsulların RFA, SEM, IQS istifadə edərək tədqiqi ilə nail olunmuşdur. Hissəciklərin etilen qlikol mühitində orta ölçüsü ~ 240 nm, formaldehid mühitində isə 8,5 - 24,01 mikron ölçülərində olması aşkar edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, közərdilmiş hissəciklərin dispersiyası sintez temperaturun azaldılması ilə artır. Səthin fiziki və kimyəvi xüsusiyyətlərinin optimal birləşməsi sayəsində CO oksidləşməsi reaksiyasında yüksək aktivliyi (100% 210-216°C) təmin edən müəyyən bir kimyəvi tərkibə (spinel mövcuddur) və istənilən morfolojiyaya malik olan nanoölcülü (25-300 nm) Cu-Co-Al-O katalitik hissəciklərin formalaşması göstərilmişdir.

## SUMMARY

### INFLUENCE OF SYNTHESIS CONDITIONS ON THE CHARACTERISTIC OF NANOSCALE Cu-Me-Al (Me-Co, Zn) OXIDE SYSTEMS AND THEIR ACTIVITY IN THE REACTION OF Co OXIDATION IN A HYDROGEN-CONTAINING MEDIUM

*Jafarova S.T.*

**Key words:** carbon monoxide, nanoparticles, morphology, structure, hydrothermal synthesis, polyols, formaldehyde.

Nanoscale oxide systems of Cu-Me-Al (Me-Co, Zn) composition obtained by heat treatment of solid products of hydrothermal synthesis with participation of polyols or formaldehyde in the CO oxidation reaction in the hydrogen current have been studied as catalysts. The emphasis is on studying the effect of synthesis conditions (temperature, environment, nature of metals) on the resulting properties (structure, size, morphology) of nanomaterial and their activity in the CO oxidation reaction. This was achieved by studying intermediate and synthesis products using XRD, SEM and IRS. It was found out that in ethylene glycol environment the particles with average size ~240 nm are formed, and in formaldehyde environment in the range of sizes 8.5 - 24.01 microns. It has been established that the dispersibility of heat-treated particles increases with a decrease in synthesis temperature. The formation of nanoscale Cu-Co-Al-O catalytic particles (25-300nm) of a certain chemical composition (spinel are present) and the required morphology, providing high activity (100% at 210-216°C) in the CO oxidation reaction due to an optimal combination of physical and chemical properties of the surface, are shown.

Daxilolma tarixi:	İllkin variant	09.12.2020
	Son variant	04.02.2021

## IN THE PRESENCE OF IONIC LIQUIDS SYNTHESIS AND TRANSFORMATIONS OF TETRABROMDIOXIALKYL SPIROCYCLOPENTADIENE ADDUCTS

**KARIMOVA SAIDA SAYYADDIN**

*Institute of Polymer Materials of ANAS, PhD student  
[saidakarimova26@gmail.com](mailto:sidakarimova26@gmail.com) (tel: 0552870602)*

**Key words:** hexabromcyclopentadien, maleic anhydride, imidazolium-based ionic liquids.

*In the presented paper, 5,5-dioxyethylentetrabromcyclopentadiene was synthesized by the reaction between potassium hydroxide, ethylenglycol and hexabromcyclopentadiene. Anhydride of 7,7-dioxyethylene-1,4,5,6-tetrabrombycyclo [2.2.1] -hept-5-en-2,3-dicarboxylic acid was synthesized in the presence of imidazolium-based ionic liquids via the reaction between maleic anhydride and obtained spirocyclic dienes. In concentrated sulfuric acid medium bromine-containing anhydrides were obtained by hydrolyzing of the synthesized adducts.*

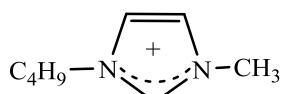
**1. Introduction.** In organic synthesis instead of volatile organic solvents non-flammable, non-toxic, reusable ionic liquids are of interest from scientific and practical point. In Diels-Alder reactions ionic liquids are used as solvent and catalyst. In this type of cycloaddition reactions desired endo- or exo-adducts are obtained by using of ionic liquids [1, 2]. Also, ionic liquids do not form by-products with reagents and reaction products.

Prior to, on the bases of hexabromcyclopentadiene (HBT) and 5,5-dimethoxy-tetrabromcyclopentadiene (DMTB) [3,4] polybromine-containing bicyclic anhydrides, imides, amides, ethers, nitriles were synthesized. Using these compounds flame-retardant polymeric materials, plasticizers, biological active substances are obtained. It has been defined, bicyclic polybromine-containing compounds could be obtain through Diels-Alder reactions. Therefore, in order to increase the range of polybromine dienes, the synthesis of bromine-containing dienes by placing different functional groups on the hexabromcyclopentadiene molecule and according to these, developing the purposeful synthesis method of novel bicyclic adducts in imidazolium based ionic-liquids are of great interest scientific and practical point of view.

### 2. Results and discussion

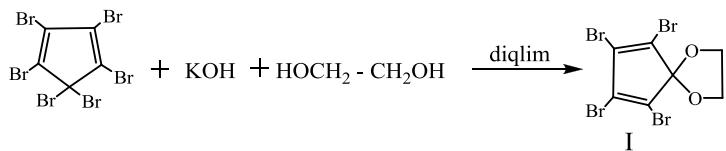
The presented paper has been devoted to the purposefull synthesis method of 5,5-dioxyethylentetrabromcyclopentadiene based on the reaction between potassium hydroxide, ethylenglycol and hexabromcyclopentadiene and studing its structure and contain. In add, its investigation of the Diels-Alder reaction between 5,5-dioxyethylentetrabromocyclopentadiene and maleic anhydride as well as N-arylmaleic imides in the presence of ionic liquids has been reported in the paper.

Selection of the imidazolium ring as cation is based on its stability, easy synthesis, and low viscosity against the oxidizing and reducing environment.

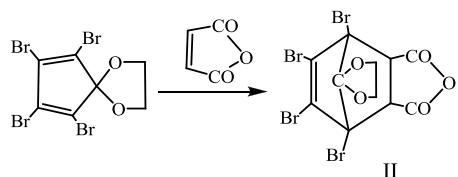


It has been shown that in the presence of ionic liquids the yield and selectivity of the reaction product is high [5, 6].

According to numerous experiments, it has been shown that the reaction rate is high when KOH is used during the synthesis of tetrabromospirocyclopentadiene. The reaction was carried out in a negative 30-35°C, in diglyme medium.



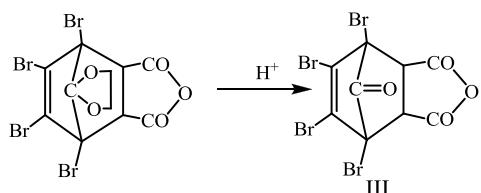
Diels-Alder reaction between maleic anhydride and synthesized DESC in ionic liquids has been studied. It was found that when the reaction mixture was heated at 50°C in chlorobenzene medium for 1.5-2 h, the yield of 7,7-dioxyethylene-1,4,5,6-tetrabromocyclo [2.2.1]-hept-5-en 2,3-dicarboxylic acid anhydride (II) was 85%.



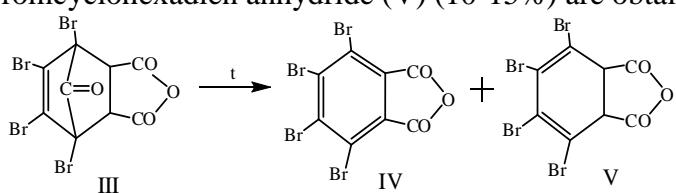
The structure and content of synthesized DESC was confirmed by IR and <sup>1</sup>H NMR spectrums.

On IR spectrum of DESC the absorption of the C-O-C is observed in 1110-1120 sm<sup>-1</sup> field. Absorption observing on 1565-1585 sm<sup>-1</sup> belonging to v(BrC=BrC) group.

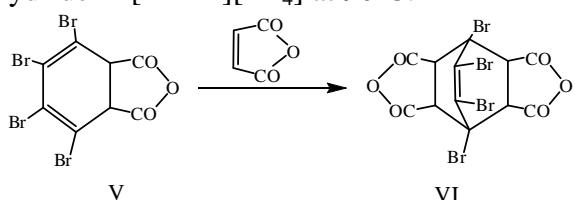
Hydrolysis of synthesized anhydride has been studied in concentrated sulfuric acid medium. It has been found 7,7 -dioxyethylene group of anhydride (II) is easily hydrolyzed to keto-anhydride (III) due to the effect of concentrated sulfuric acid [1].



According to the experiment it was found when keto anhydride (III) is decarbonilated in nitrobenzene medium, tetrabrom fthalic anhydride (IV) (80-85%) and in a small amount tetrabromcyclohexadien anhydride (V) (10-15%) are obtained.

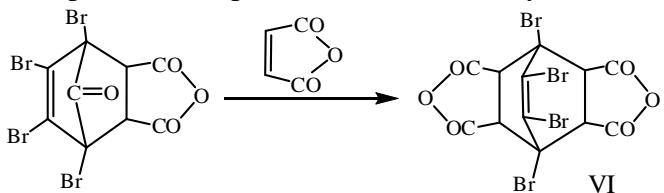


It has been shown 1,2,3,4-tetrabromobicyclo [2.2.2]-oct-2-en-5,6,7,8-tetracarboxylic acid anhydride (IV) is obtained by the reaction of tetrabromcyclohexadien anhydride with maleic anhydride in [Bmim][BF<sub>4</sub>] at 90°C.



When decarbonilation of keto-anhydride is carried out in exceed amount of maleic anhydride, dianhydride is obtained in 85-90% yield.

In add, dianhydride was obtained from keto-anhydride in 85-90% yield when carbon dioxide was decomposed in the presence of maleic anhydride.



The structure of synthesized compounds has been conformed by IR spectrum. The clarity and contents have been determined by thin layer chromatography and element analysis.

On synthesized anhydrides (II, IV-VI) absorptions of carbonyl group is observed on 1850-1855 $\text{cm}^{-1}$ .

On synthesized spirocyclic anhydrides (II, IV-VI)methyn protons ( $\text{CH}$ ) are observed on 4,20MHz as singlet.

**3.Experimental part.** 1-butylBis (trifluormethylsulfonilimide)-[ $\text{TF}_2\text{N}^-$ ] was taken as anion in imidazolium based ionic liquids. Infrared spectrum of synthesized compounds were determined by using "SPEKORT-75-IR" in the suspension of vaseline oil [7] and  $^1\text{H}$  NMR spectrum was made in the system of "AVANCE" on 300 $\mu\text{h}$  and as solvent was used dimethyl sulfoxide [7,8]. The clarity of the substances were determined on "Silufol UV-254"

**5,5-dioxiethylene tetrabromocyclopentadiene (I).** 0.1 mol hexabrom-cyclopentadiene and 50 ml diglyme was poured to the reaction flask (0.5 l) which was provided mechanical agitator, reflux condenser, dropping funnel and thermometr. After dissolution, 0.1 mol ethylenglycol containing potassium hydroxide (0.1 mol) was added into the flask through the dropping funnel at negative 25-30 $^\circ\text{C}$  (external cooling) with vigorously stirring. The mixture was poured onto the crumbled ice. Obtained crystals are washed with water until neutral. The crystalline substance is recrystallized in the petroleum ether. 30.8 gr product was obtained.  $T_{\text{melt}}=97-98^\circ\text{C}$ ,  $R_f=0,58$ .

$\text{C}_7\text{H}_4\text{O}_2\text{Br}_4$  (calculated) %:C-19,09, H-0,9, Br-72,73; (found): C-18,73, H-0,3, Br-72,33.

**7,7-dioxyethylene-1,4,5,6-tetrabromocyclo [2.2.1] -hept-5-en-2,3-dicarboxilyc acid anhydride (II).** 0.1mol (44gr) DESC was poured into the flask (250 ml), then 0.15 mol (14.7gr) maleic anhydride and 2 ml [Bmim][ $\text{Tf}_2\text{N}$ ] was added into the flask. The mixture was stirred during 2 hours. After distilling the chlorobenzene in vacuo, the residue was recrystallized from the mixture of ethylasetat-hexane. 44.1 gr pure crystal was obtained.  $T_{\text{melt}}=255-256$ ,  $R_f=0,60$   $\text{C}_{11}\text{H}_6\text{O}_5\text{Br}_4$

Calculated %: C-24,53; H-1,12; Br-59,48;

Found %: C-24,10; H-0,93; Br-59,08.

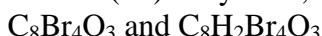
**1,4,5,6-tetrabrom-7-on-bicyclo [2.2.1]-hept-5-en-2,3-dicarboxilyc acid anhydride (III).** 30 ml solid sulfuric acid was added to the 0.01 mol adduct by dropping funnel with vigorously stirring. The reaction mixture was stirred at 50 $^\circ\text{C}$  within 3 hours. Then mixture was poured onto the ice. Precipitated crystals were washed with water untill neutral and were dried. The synthesized crystal was boiled in chloroacetic acid anhydride.  $T_{\text{melt}}=163-166^\circ\text{C}$  (decomposed),  $R_f=0,58$ ,  $\text{C}_9\text{H}_2\text{O}_4\text{Br}_4$

Calculated %: C-21,86; H-0,4; Br-64.78;

Found %: C-21,56; Br-64,35.

**1,2,3,4-tetrabromphthalic acid (IV) and 1,2,3,4-tetrabrom-1,4-cyclohexadiene-5,6-dicarboxylic acid anhydrides (V).** The mixture of 0.01 mol 1,4,5,6-tetrabrom-7-on-bicyclo [2.2.1] - hept-5-en-2,3-dicarboxilyc acid anhydride and 50 ml nitrobenzene was boiled with reflux condenser during 5 hours. After removing nitrobenzene the residue is seperated in the column filled with silicagel. As solvent was used benzene:hexane:ether in amount of 3:2:1. After evaporating of the solvent first residue is recrystallized from ethylasetat:hexane and 1,2,3,4-tetrabromphthalic acid anhydride (IV) is separated. After evaporating the solvent of the solution which was taken from the column residue was recrystallized from benzene:hexane and the crystal is separated. 1,2,3,4-

tetrabrom-1,4-cyclohexadiene-5,6-dicarboxylic acid anhydride (V) is obtained. M.p.=264<sup>0</sup>-266<sup>0</sup>C R<sub>f</sub>=0,65is for (IV) anhydride; and M.p.= 205-207<sup>0</sup>C, R<sub>f</sub>=0,66 is for (V) anhydride.



Calculated %: C-20,69; Br-68,96;

Found %: C-20,30; Br-68,45.

Calculated %:C-20,6; H-0,43; Br-68,67;

Found %: C-20,25; Br-68,28.

**Anhydride of 1,2,3,4-tetrabromobycyclo[2.2.2]-oct-2-en-5,6,7,8 tetracarboxylic acid (VI).** The mixture of anhydride of 0.01 mol 1,2,3,4-tetrabromo-1,4-cyclohexadiene-5,6-dicaboxiliyc acid and 0.06 mol maleic anhydride was heated with 3 ml pyridine and 1 ml [Bmim][BF<sub>4</sub>] during 5 hours at 90<sup>0</sup>C. Obtaining product was recrystallized from ethylasetat-hexane. Mp.= 318<sup>0</sup>C (decomposed), R<sub>f</sub>=0,68, C<sub>12</sub>H<sub>4</sub>Br<sub>4</sub>O<sub>6</sub>.

Calculated %: C-25,53; H-0,71; Br-56,74;

Found %: C-2,15; H-0,46; Br-56,4.

**4. Conclusions.** It was synthesized 5,5-dioxiethylene-1,2,3,4-tetrabromcyclopentadiene by the reaction of hexabromcyclopentadien with ethylenglycol in the presence of potassium hydroxide.

In imidazolium based ionic liquids 7,7-dioxiethylene-1,4,5,6,-tetrabromspirocyclopentadien [2.2.1]-hept-5-en-2,3 dicarboxilyc acid anhydride was synthesized by the Diels-Alder reaction of 5,5-dioxiethylenespirocyclopentadien with maleic anhydride. In concentrated sulfuric acid by the hydrolisis of latter novel anhydrides were synthesized and investigated.

## REFERENCES

1. Wassercheid P/ Welton T/ Ionic liquid in synthesis/ Weinheim Wiley-VCH/ 2003/ P 319
2. John S.W. Properties of ionic liquid solvents for catalysis/ Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 214 (2004) 11-17
3. Самедов, М. М. о. Получение фосфорсодержащих минеральных удобрений разложением природных фосфатов серной кислотой с применением интенсифицирующих добавок / М. М. о. Самедов, С. Г. г. Джавадова, Г. М. г. Мамедова // Сумгaitский государственный университет. Научные известия. Серия: Естественные и технические науки. Сумгайт: СГУ, . – 2020. – Т. 20. – № 1. – с. 21-25; <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43177821>
4. Kumar A., Pawar S.S. Ionic Liquids as Powerful Solvent Media for Improving Catalytic Performance of Silyl Borate Catalyst to Promote Diels–Alder Reactions / J. Org.chem., 2007, 72, 8111-8114.
5. Nur Liyana Sakinah Johari, Nur Hasyareeda Hassan of Diels-Alder Reaction in imidazolium-based ionic liquids at room temperature/ Oriental Journal af Chemistry, 2014, vol 30, №3, Р.1191-1196.
6. Магеррамов А.М., Мустафаев А.М., Велиева Г.Х. и др. Диметокситетрабромцикlopентадиен и поликлинические соединения / Процессы нефтехимии и нефтепереработки. 2(17), 2004, с.41
7. Bellami L. Novye dannye po IK-spektram slozhnyh molekul. M.Mir. 1971. pp.318.

XÜLASƏ

İON MAYE İŞTİRAKINDA TETRABROMDİOKSİALKİL  
SPİROTSİKLOPENTADİENİN ADDUKTLARININ SİNTEZİ VƏ ÇEVİRİLMƏLƏRİ  
*Kərimova S.S.*

*Açar sözlər:* heksabromtsiklopentadien, malein anhidridi, imidazolium əsaslı ion mayelər.

Təqdim olunan 5,5-ci maddədə oksietilen tetrabrom ensiklopedikadien kalium hidroksid, etilenqlikol və heksabrom ensiklopedikadien arasında reaksiya ilə sintez olunmuşdur. Anhidrid 7,7-dioksietilen-1,4,5,6-tetrabrombisiklo [2.2.1] gept-5-en-2,3-dikarbon turşusu ion mayelərinin iştirakı ilə moruq anhidridi və əldə edilmiş spirosiklik diyen arasında reaksiyaya görə imidazoliya əsasında sintez edilmişdir. Konsentratlaşdırılmış kükürd turşusu mühitində brom tərkibli anhidridlər sintez edilmiş adduktların hidrolizi ilə qəbul edilmişdir

РЕЗЮМЕ

СИНТЕЗ И ПРЕВРАЩЕНИЯ АДДУКТОВ ТЕТРАБРОМДИОКСИАЛКИЛ-  
СПИРОЦИКЛОПЕНТАДИЕНА В ПРИСУТСТВИИ ИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ

*Каримова С. С.*

**Ключевые слова:** гексабромцикlopентадиен, малеиновый ангидрид, ионные жидкости на основе имидазолия.

В представленной статье 5,5-диоксиэтилентетрабромцикlopентадиен был синтезирован реакцией между гидроксидом калия, этиленгликolem и гексабромцикlopентадиеном. Ангидрид 7,7-диоксиэтилен-1,4,5,6-тетрабромбицикл [2.2.1] гепт-5-ен-2,3-дикарбоновой кислоты был синтезирован в присутствии ионных жидкостей на основе имидазолия по реакции между малеиновым ангидридом и полученным спироциклическим диеном. В среде концентрированной серной кислоты бромсодержащие ангидриды получали гидролизом синтезированных аддуктов.

Daxilolma tarixi: İlkin variant 02.05.2021  
Son variant 10.06.2021

UOT 544.2

## QUMMİARABİK VƏ POLİETİLENQLİKOL MÜHİTİNDƏ ALINMIŞ GÜMÜŞ NANOHİSSƏCİKLƏRİNİN BƏZİ FİZİKİ XASSƏLƏRİNİN ÖYRƏNİLMƏSİ

HÜMBƏTOVA SƏADƏT FAİQ qızı

AMEA akad. M. Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-iżvi Kimya İnstitutu, doktorant  
[seadet.humbetova@inbox.ru](mailto:seadet.humbetova@inbox.ru)

**Açar sözlər:** gümüş nanohissəciklər, qummiarabik, nanokompozitlər, müqavimət, polietilenqlikol, gərginlik, poliakril turşusu, arabinoqalaktan, volt-amper

Son dövrlərdə nanotexnologiya sahəsində əhəmiyyətli dərəcədə irəliləmələr qeydə alınmışdır ki, bunlardan geniş tətbiq sahəsi olan nanomaterialların sintezində polimer birləşmələrin istifadəsi xüsusi maraq doğurur. Bu istiqamətdə gedən tədqiqatlar onu göstərir ki, metal əsaslı nanohissəciklərin alınmasında təbii, və sintetik polimerlərdən geniş istifadə olunur. Təbii polimerlərdən istifadə olunmasında əsas səbəb antitoksik xüsusiyyəti, ətrafa zərərli olmaması, geniş yayılmış və iqtisadi cəhətdən əlverişli olmasıdır. [1-4]

Çeşidli reduksiyaedilərdən istifadə olunması hasil olunmuş nanokompozitin ümumi təsir etdiyi əhatə arealını əsaslandırır. Antioksidant reaksiyaya xas olan *Rumex hymenosepalusun* qarışığından reduksiyaedici təmsilindən tətbiq etməklə 2-40 nm ölçündə gümüş nanohissəcikləri sintezləşdirilmişdir [5]. SEM, UV-Vis və FTIR spektroskopiya metodologiyası vasitəsi ilə təstiq olunmuşdur ki, əldə edilən gümüş nanozərrəcikləri səthə mərkəzləşmiş kub və heksoqonal kristal quruluşa malik olmaqla tibbdə məqsədə uyğun şəkildə istifadə edilməsi mümkündür.

Bu metodun başqa fiziki və kimyəvi reduksiya metodlarından üstünlükleri ilə seçilir, yəni nanohissəciklərin yüngül şəraitdə - aşağı temperatur və təzyiqdə, az enerji sərfi ilə, toksiki maddələrdən istifadə olunmadan, ucuz və effektiv şəkildə əldə edilməsi ilə fərqlənir..

Ümumi mənada qeyd etmək lazımdır ki, təqdim edilən işdə qummiarabik (QA) və polietilenqlikol (PEQ) şəraitində əldə olunan  $\text{Ag}^0$  nanohissəciklərin bir sıra fiziki cəhətləri öyrənilib. Burada biz həm ümumi, həm xüsusi cəhətləri qeyd edə bilərik.

### Təcrubi hissə.

**Materiallar.** Sabitləşdirici məqsədilə işlədilən orta molekul çəkisi 200 kDa olan QA, 97% kimyəvi saflığı özündə ehtiva etmiş və Sigma Aldrichdən əldə olunmuşdur. PEQ 97% kimyəvi təmizliyə malik orta molekul kütləsi 40 kDa-dur, ümumi mənada isə flukadan əldə olunmuşdur. Hər ikisi təcrübələrdə təmizlənməmiş işlədilmişdir.

**Əldə olunan məhlulunun sintezi.** PEQ və QA 2:1 çəki fərqində 100 ml deionlaşmış suda 2 saat ərzində sintez edilməklə həll olunur, ardınca 5 ml  $2.5 \times 10^{-2}$  M  $\text{AgNO}_3$  əlavə olunub daha 2 saat otaq temperaturunda qarışdırılır. Daha sonra 2 paralel təcrübədə məhlula müvafiq olan qatlılıq  $\text{NaBH}_4$  və  $\text{HCOOH}$  əlavə edib 293 K-də qarışdırılır. Məhlulun rəngi 15-20 dəq. sonra saridan tünd qəhvəyi və qaraya kimi dəyişə bilir. Məhlul dietil efiri yaxud da asetonda çökdürülür, etanol ilə 2-3 dəfə yuyulandan sonra qurudulur, adı atmosfer təzyiqində sabit kütləyə gətirilir. Əldə edilən gümüş nanohissəciklərin ölçülərinə fərqli-fərqli amillərin təsirini öyrənmək məqsədi ilə reduksiya prosesi 293, 313, 333, 353 K temperaturlarda,  $m(\text{PEQ}):m(\text{QA})=1:1, 1:2, 2:1$  çəki nisbətlərində, təxminən 5, 10, 20, 30 və 60 dəq. aralıqlarında tətbiq edilmişdir.

**Cihazlar.** Fiziki kəmiyyatləri dəyin etmək üçün ölçmələr MS8050 Digital Multimeter. HY3003D DC Power Supply. Elektron osilloqraf 2-kanal BM8020 cihazları ilə aparılmışdı.

**Nəticələr və onların müzakirəsi.** İşdə istifadə edilən QA və PEQ mühitində  $\text{Ag}^0$  nanohissəciklərinin sintezi və onların quruluşlarının müxtəlif üsullarla öyrənilməsi haqqında geniş məlumatlar tərəfimizdən dərc edilmiş və bu məqalədə alınmış həmin nəticələrin yenidən verilməsi məqsədə uyğun deyil [15,16] Ona görədə məqalədə istifadə edilən polimerlər mühitində alınmış kompozitlərin fiziki xüsusiyyətlərinin tədqiqi başlıca məqsəd daşıyır.

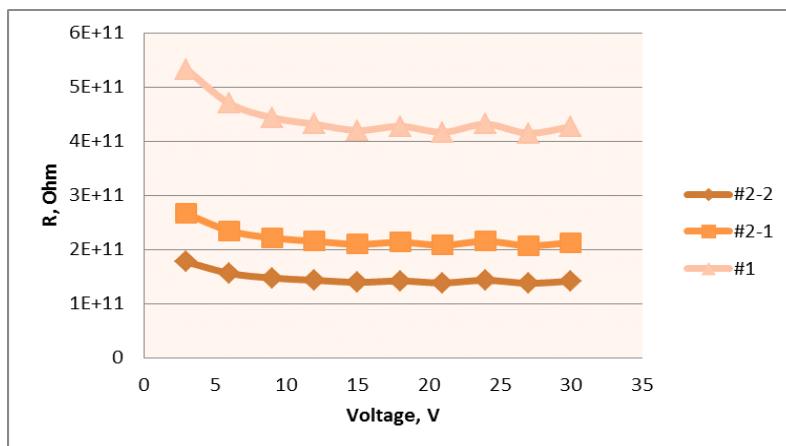
Xüsusiyyətlərin öyrənilməsi üçün 3 müxtəlif nümunə hazırlanmış və müşahidə edilmişdir.

#1 QA+PEQ +Ag ( $100\text{-}150 \text{ kqf/sm}^2$ ) ( $\tau = 25 \text{ dəq}$ ) ( $t = 105\text{-}110^\circ\text{C}$ ) ( $t = 20^\circ\text{C}$ ) otaq temperaturu

#2-1 QA +PEQ +Ag ( $100\text{-}150 \text{ kqf/sm}^2$ ) ( $\tau=25 \text{ dəq}$ ) ( $t=110\text{-}120^\circ\text{C}$ ) ( $t=40^\circ\text{C}$ )

#2-2 QA +PEQ +Ag ( $100\text{-}150 \text{ kqf/sm}^2$ ) ( $\tau=25 \text{ dəq}$ ) ( $t=105\text{-}110^\circ\text{C}$ ) ( $t=60^\circ\text{C}$ )

İlkin olaraq hazırlanmış nümunələrin müqavimətinin gərginlikdən asılılığı izlənmiş və qrafikdə göstərilmişdir.

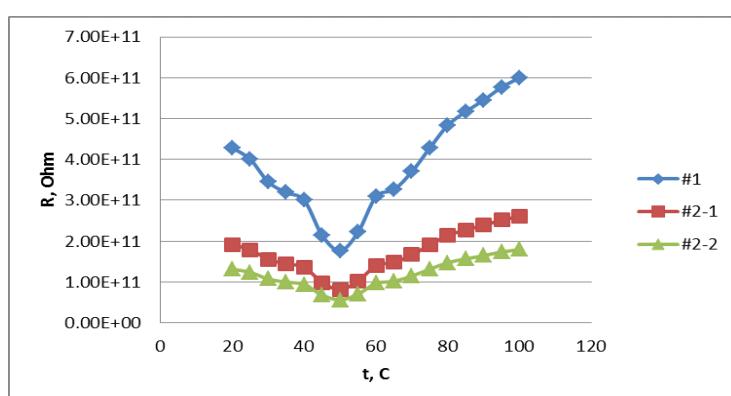


*Şəkil 1. Nümunələrin müqavimətinin tətbiq olunan gərginlikdən asılılığı*

Nümunələrin müqavimətinin tətbiq olunan gərginlikdən asılılığı göstərilmişdir. Qrafikdən göründüyü kimi gərginlik düşgüsünün kiçik qiymətlərində hər 3 nümunənin müqaviməti eksponensial olaraq azalır. Lakin, təxminən 15 V-dan etibarən bütün nümunələrin müqaviməti artıq gərginliyin sonrakı dəyişməsindən asılı olmur və stabil olaraq qalır.

Gərginliyin dəyişməsi  $Z=f(x,y)$  funksiyası formasında komputerin yaddaşına qeyd olunur, sonra komputer qrafikası vasitələri ilə təsvir canlandırılır. Göstərilən fakt özü-özlüyündə çox maraqlı effektdir və xarakter baxımından yarımkəcərilərə bənzərliyi yoxdur.

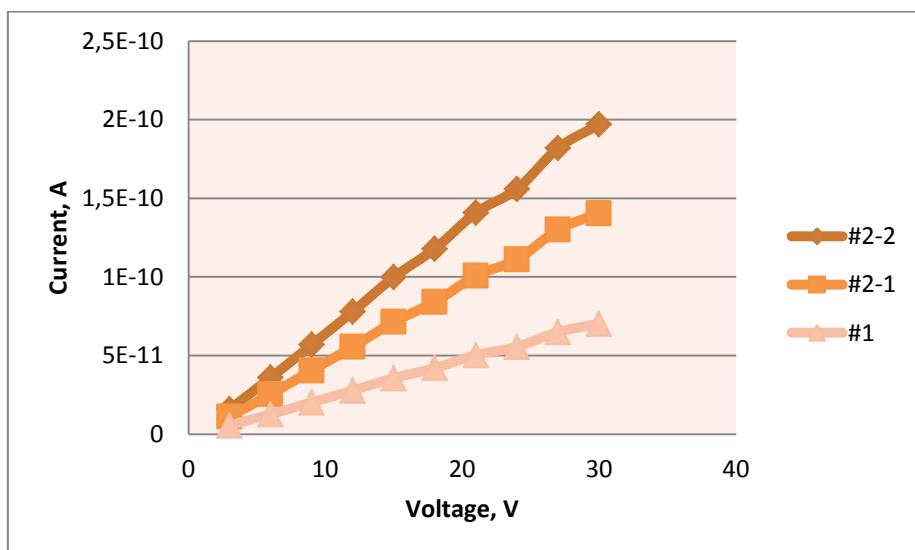
Şəkil 2-də nümunələrin müqavimətinin temperaturdan asılılığı tədqiq olunmuşdur.



*Şəkil 2. Nümunələrin müqavimətinin temperaturdan asılılığı*

Qrafiklərdən göründüyü kimi ən çox dəyişikliyə #1 nümunəsi məruz qalmışdır.  $50^0\text{C}$ -də nümunələrin müqaviməti minimum qiymətini almışdır. Çox maraqlıdır ki, hər 3 nümunənin müqaviməti temperaturdan asılı olaraq müxtəlif xarakterə malikdir.  $50^0\text{C}$ -yə qədər əgər müqavimət azalırsa, bundan sonra onların müqaviməti kəskin artır. Bu da nümunələrin tərkibində faza keçidi ilə əsaslıdırıla bilər.

Nümunələrin həmçinin volt-amper xarakteristikasında (VAX) tədqiq olunmuşdur.



*Şəkil 3. Nümunələrin volt-amper xarakteristikası*

Nümunələrin volt-amper xarakteristikası (VAX) tədqiq olunmuşdur. Gərginlikdən asılı olaraq tətbiq olunan nümunələrdən axan cərəyan şiddəti də əsasən xətti asılılıqla artmaqdə davam edir. Ümumiyyətlə, Skanedici tunel mikroskopu (STM) köməyi ilə səthin fərqli-fərqli nöqtələrində volt-amper xarakteristikasını çıxarmaq mümkün kündür. Bütün bunların köməyi ilə nümunənin lokal keçiriciliyini müəyyən etmək asanlaşır, eyni zamanda elektronların enerji spektrində lokal vəziyyət sıxlığının necə olduğunu öyrənmək mümkün kündür. Nümunələrin volt-amper xarakteristikasını qeyd etmək məqsədi ilə STM-də aşağıda göstərilən ardıcılıqla əməliyyat icra edilir:

- 1) STM görüntüsündə nümunə üzərində seçilmiş başlanğıc nöqtəsi qərarlaşdırılır. Xüsusi zond skanerin köməyi ilə seçilmiş istiqamətə gətirilir.
- 2) Kontaktın VAX-nı təyin etmək hədəfi ilə əks rabitə qısa zamanda kəsilir, tunel aralığına xətti artan gərginlik tətbiq olunur. Sinxron olaraq gərginliyin dəyişməsi ilə tunel kontaktından keçmiş cərəyan qeyd olunur.
- 3) Əks əlaqənin olmadığı zamanda skanerin elektroduna əks əlaqə kəsilən zamanda olan potensial verilir. Göstərildiyi kimi kiçik gərginliklərdə cərəyan gərginlikdən xətti asılı olur.

**Nəticə.** Polietilenqlik və qummiarabik ilə koloidal  $\text{Ag}^0$  nanohissəciklər sintez edilmişdir. Daha sonra 3 nümunə üzərində fiziki xüsusiyyətlərinə görə müxtəlif asılılıqlar müəyyən olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, gərginlikdən asılı olaraq müqavimət gərginliyin kiçik qiymətlərində eksponensial olaraq azalır. Temperaturun təsirindən isə  $50^0\text{C}$ -yə qədər azalsa da, bundan sonra kəskin artır. Cərəyan şiddəti isə bunun əskinə olaraq,  $50^0\text{C}$ -yə qədər artsa da, bundan sonra kəskin azalır.

## REFERENCES

1. Pan.W.,Chen.Y. Preparation of Ag–Polyacrylamide Nanocomposites by Ultraviolet Irradiation Technique // Applied Mechanics and Materials, 2010, 44-47, p. 2199-2202.
2. MelissaKempM., KumarA.,MousaS., Tae-Joon Park, AjayanP., KuboteraN., Mousa.S.A. Linhardt.R.J., Synthesis of Gold and Silver Nanoparticles Stabilized with Glycosaminoglycans Having Distinctive Biological Activities // Biomacromolecules.2009, 10, p.589–595.
3. Y.İ.Rüstəmov,H.Ə.Qaraməmmədov,S.H.Məmmədova,A.Ə.Əzim-zadə.Kapsullaşdırılmış gübrə dənələrinin mexaniki möhkəmliyinin artırılmasının kapsuləmələğətirici polimerin və prosesin əsas parametrlərindən asılılığının tədqiqi. //SDU."Elmi Xəbərlər" Təbiət və Texniki Bölümlər Bölməsi.2017.4.p 73-79.
4. S.F.Humbatova, Sh.Z.Tapdigov, S.M.Mammadova, N.A.Safarov, D.B.Tagiyev, N.A.Zeynalov.Synthesis of silver nanoparticles in different polymers environment. //Azerbaijan Chemical Journal.2016.4,p.6-11.
5. Махмудова, Н. И. Синтез и исследование физико-химические свойств наночастиц шпинельных фаз  $DyxMg1-xAl2O4...$  / Н. И. Махмудова // Сумгaitский государственный университет. Научные известия. Серия: Естественные и технические науки. Сумгайт: СГУ – 2020. – Т. 20. – № 4. – с. 41-45. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44600578>

## РЕЗЮМЕ

### ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА, ПОЛУЧЕННЫХ В СРЕДЕ ГУММИАРАБИКА И ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ

*Гумбатова С.Ф.*

**Ключевые слова:** наночастицы серебра, гуммиарабик, нанокомпозиты, сопротивление, полиэтиленгликоль, напряжение, поликарболовая кислота, арабиногалактан, вольт-ампер.

Были получены наночастицы  $AgO$  в среде гуммиарабика и полиэтиленглиоля. Было установлено, что размеры наночастиц серебра, стабилизованных в среде гуммиарабика и полиэтиленглиоля, варьируются в диапазоне 7-9 нм. Изучены различные физические свойства полученных нанокомпозитов. Было обнаружено, что сила тока, протекающего через наночастицы при соответствующих условиях, приблизительно в 5 раз выше по сравнению с протекающим через другие образцы. Зависимость в диапазоне напряжения 0-50В линейна. Также была исследована температурная зависимость сопротивления образцов и доказано, что сопротивления всех 3 образцов в зависимости от температуры имеют различный характер. До  $50^0C$  наблюдается снижение сопротивления, однако после указанной температуры сопротивление образцов резко возрастает.

## SUMMARY

### STUDY OF SOME PHYSICAL PROPERTIES OF SILVER NANOPARTICLES OBTAINED IN GUM ARABIC AND POLYETHYLENE GLYCOL MEDIA

*Humbatova S.F.*

**Keywords:** silver nanoparticles, gum arabic, nanocomposites, resistance, polyethylene glycol, voltage, polyacrylic acid, arabinogalactane, volt-ampere

$Ag^0$  nanoparticles were obtained in gum arabic and polyethylene glycol media. It has been confirmed that the size of silver nanoparticles stabilized in gum arabic and polyethylene glycol media varies in the range of 7-9 nm. Various physical properties of the obtained nanocomposites have been studied. It was found that the current flowing through the nanoparticles was about 5 times higher than the other under suitable conditions. Dependence is a line of voltage in the range of 0-50V. Also, the temperature dependence of the resistance of the samples was studied and it was proved that the resistance of all 3 samples is different depending on the temperature. If the resistance decreases to  $50^0C$ , then their resistance increases sharply.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	20.07.2021
	Son variant	10.09.2021

УДК. 620.193

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ ИНГИБИТОРА МАРЗА-1 В СРЕДАХ $H_2S$ , $CO_2$ и $H_2S + CO_2$

ПАШАЕВА САИДА МЕЙДАН гызы

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, докторант  
[ebikib@mail.ru](mailto:ebikib@mail.ru)

**Ключевые слова:** сероводород, углекислый газ, ингибитор, МАРЗА-1, коррозия, защитный эффект, гравиметрический метод

**Введение.** Аварии по причине коррозии металлов приводят к большим потерям. Техническое развитие во многих отраслях замедляется из-за нерешенных проблем коррозии. Этот вопрос особенно актуален для развитых стран с большими запасами металла. Коррозия, которая в настоящее время считается глобальной проблемой нефтегазовой отрасли, остается серьезной проблемой в нашей стране, наряду с развитыми странами нефтяной отрасли. В производстве нефти и газа используется большое количество стали. Добываемые нефть и газ транспортируются по трубопроводам. Нефть проходит стадию очистки на сепарационных установках. В этом случае внутренние части используемых оборудования и трубопроводов подвергаются коррозии из-за постоянного контакта с двух-трехфазной системой, содержащей сероводород и диоксид углерода. [1-5]. Хотя процесс коррозии металлов в сероводородных средах в настоящее время широко изучается исследователями, именно в нефтяной промышленности исследования и решения этой проблемы имеют как практическое, так и экономическое значение [6-8]. Эксплуатация оборудования в агрессивных технологических условиях, содержащих сероводород или диоксид углерода, сопровождается экономическими потерями, а также экологическим ущербом. При этом сокращается срок службы оборудования, используемого в агрессивных условиях. В настоящее время на многих нефтяных месторождениях для увеличения добычи в нефтяные пласты закачивается вода. Содержащая сероводород минерализованная пластовая вода, входящая в состав водонефтяной эмульсии, образующейся в скважинах при длительной закачке воды, вызывает сероводородную коррозию. Чтобы увеличить добычу на старых нефтяных месторождениях, в пласты также закачивают газообразный  $CO_2$ , что приводит к самой опасной коррозии - коррозии  $CO_2$  [10-13]. Самый простой и эффективный метод способа защиты установок, оборудования и конструкций, используемых при добыче нефти, ее хранении, транспортировке по нефтепроводам и переработке на нефтеперерабатывающих заводах - это применение ингибиторов коррозии. Хотя интенсивные научные исследования в области синтеза и исследования ингибирующих соединений продолжаются, потребность промышленности в ингибиторах еще не полностью удовлетворена. С другой стороны, частые изменения условий эксплуатации используемого оборудования, а также чрезмерная агрессивность коррозионной среды в некоторых случаях снижают эффективность применяемых ингибиторов, а в некоторых случаях эти ингибиторы совершенно бесполезны для использования в этих условиях. Следовательно, существует большая потребность в создании новых высокоеффективных ингибиторов со сложным действием и с сырьевым запасом, которые могут защитить от коррозии объекты нефтяной промышленности, оборудования и механизмы в средах, содержащих высокие уровни агрессивных компонентов ( $H_2S$ ,  $CO_2$ ). Несмотря на многочисленные научные исследования и разработку новых типов ингибиторов коррозии, разработка высокоеффективных ингибирующих реагентов, которые могут защитить объекты и оборудование нефтяной промышленности от коррозии при

высоких концентрациях  $H_2S$ ,  $CO_2$  и  $O_2$ , остается актуальной проблемой. По этой причине необходимо создать реагент с такими многофункциональными свойствами, чтобы он мог решить проблему коррозии во всех агрессивных средах. [14-17].

**Цель исследования** - изучение эффективности антакоррозионной защиты ингибитора MARZA-1 в лабораторных условиях.

**Методология исследования.** Для исследования интенсивности коррозии использовались образцы стали марки Ст3. Поверхность стальных образцов должна быть выглажена в соответствии с требованиями ГОСТ 9. 905-82 и объем агрессивной испытательной среды должен быть не менее  $20 \text{ см}^3$  на  $1 \text{ см}^2$  площади поверхности образца.

Для определения скорости коррозии стальных пластин Ст3 размером  $30 \times 20 \times 1$  мм по потере массы, исследования проводились в лабораторных условиях в течение 24 и 240 часов, при температуре  $25^\circ\text{C}$ , при нормах расхода 3.0, 5.0, 7.0 и 10 мг / л ингибитора МАРЗА-1. Ингибитор MARZA-1 - это органическое соединение с тройной связью, содержащий в молекуле атомов углерода, водорода, кислорода, галогена и т. Физико-химические характеристики ингибитора MARZA-1 приведены в таблице 1.

**Таблица 1.**

*Физико-химические характеристики ингибитора MARZA-1*

	<b>Ингибитор</b>	<b>“MARZA-1”</b>
1	Внешний вид	Прозрачная жидкость
2	Цвет	Бесцветный
3	Растворимость	Растворим в нефти, диспергируется в воде
4	Температура замерзания ( $^\circ\text{C}$ )	-25 $^\circ$
5	Относительная плотность ( $20^\circ\text{C}$ )	896 $\text{kg/m}^3$
6	Температура кипения ( $^\circ\text{C}$ )	123-125 (1мм.рут.шкала)
7	Кинематическая вязкость ( $20^\circ\text{C}$ )	5,8 $\text{mm}^2/\text{s}$
8	Температура возгорания ( $^\circ\text{C}$ )	< 38
9	Коэффициент излучения $n_D^{20}$	1,5570
10	$MR_D$	57,92
11	Эффективность защиты (%) $C_{in}=10\text{mg/l}$	94-99

Поверхность пластин из стали Ст3 размером  $30 \times 20 \times 1$  мм шлифуется на шлифовальном станке в соответствии с требованиями ГОСТ 2789-73, после очистки ацетоном и спиртом промывается дистиллированной водой. Для активации поверхности стальные пластины выдерживают в 15% растворе  $HCl$  в течение 60 сек., затем последовательно промывают проточной водой, дистиллированной водой, сушат фильтровальной бумагой, выдерживают в эксикаторе 60 минут и определяют массу на аналитических весах с точностью  $5 \cdot 10^{-5}$  г. Эксперименты проводились в одинаковых условиях как без ингибиторов, так и параллельно для сравнения с ингибиторами. Для определения скорости коррозии гравиметрическим методом и эффекта защитного действия исследуемого ингибитора в два химических стакана наливают предварительно рассчитанный объем агрессивной среды в соответствии с ГОСТ 9. 905-82 и быстро перемешивают в течение 300 секунд для обеспечения образования эмульсии. Для предотвращения расслоения эмульсии на фазы, жидкую среду снова перемешивают в течение получаса. В некоторых случаях в среду добавляют эмульгатор. Затем испытательную среду насыщают инертными газами, такими как азот и гелий, и насыщают сероводородом и/или диоксидом углерода. Газообразный сероводород получают в результате реакции сульфида натрия с соляной кислотой в аппарате Кипа, и его количество определяют йодометрически по стандарту ГОСТ 39-234-89. Образцы стали, подготовленные в соответствии с правилами лабораторных испытаний, вводятся в вызывающую коррозию среду без ингибитора и с добавлением ингибитора. При этом фиксируется время. Для определения оптимальной защитной

концентрации ингибитора, было проведено множество экспериментов, начиная от низкой до высокой концентрации ингибитора. По завершении лабораторных испытаний, стальные пластины были удалены из окружающей среды, а поверхность очищена от продуктов коррозии. Для этого пластины очищали ватным тампоном в растворе 10% соляной кислоты и 40% формалина, промывали проточной водой и сушили в ацетоне. Пластины выдерживали в экскаторе 10-12 часов, как до, так и после эксперимента для стабилизации веса. Затем пластины снова взвешивали.

Потери металла рассчитывались на основе следующего выражения,

$$\Delta m = m_2 - m_1$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – масса пластин из стали марки Ст3 соответственно до и после эксперимента.

В ходе эксперимента потеря металла рассчитывается по трём стальным пластинам и определяется средняя масса. При гравиметрических испытаниях как без ингибиторов, так и с ингибиторами скорость коррозии характеризуется показателем массы  $K_m$  и рассчитывается по следующему математическому выражению.

$$K_m = \frac{m_0 - m_1}{S \cdot \tau}, \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{час}),$$

где:  $m_0$  – масса образца перед испытаниями, г;  $m_1$  – масса образца после испытаний, г;  $S$  – средняя площадь поверхности, рассчитанная для трех образцов,  $\text{м}^2$ ;  $\tau$  – продолжительность испытания, час.

На основе скорости коррозии глубина проникновения определяется следующим образом:

$$K_p = \frac{8760 K_m}{\rho} \cdot 10^{-3} \text{ мм}/\text{год},$$

где,  $K_p$  – глубина проникновения, мм / год,  $K$  – скорость коррозии, г /  $\text{м}^2 \cdot \text{час}$ ,  $\rho$  – плотность исследуемого металла, г /  $\text{см}^3$ , 8760 – постоянная величина, выражает количество часов в году.

Выражение, используемое для расчета коэффициента задержки:

$$\gamma = \frac{K_0}{K_{inh}}$$

где,  $K_0$  – скорость коррозии без ингибиторов,  $K_{inh}$  – скорость коррозии в присутствии ингибитора (г /  $\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ ).

Защитный эффект ингибитора MARZA рассчитывали по следующей формуле:

$$Z = \frac{K_0 - K}{K_0} \cdot 100\%$$

где  $K_0$  – скорость коррозии образца в среде без ингибитора (г /  $\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ ),  $K_{inh}$  – скорость коррозии образца в присутствии ингибитора (г /  $\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ ).

Во время эксперимента при высоком давлении углекислого газа для фиксации стальных образцов использовались 1-литровые пластмассовые посуды с герметичной крышкой, ручкой и ниппельным клапаном.

**Результаты и их обсуждение.** Лабораторные испытания проводились в растворе аналога пластовой воды М1 с использованием гравиметрического метода. Высокоминерализованная среда была насыщена сероводородом и углекислым газом, как по отдельности, так и в сочетании. Насыщение раствора диоксидом углерода проводили в баллоне высокого давления при давлении 1 атм. Давление в испытательных сосудах контролировалось манометром. Газообразный сероводород был получен путем непосредственного добавления в среду эквивалентных количеств сульфида натрия и соляной кислоты. Концентрацию сероводорода контролировали йодометрическим титрованием. В эксперименте использовались герметичные емкости объемом 1л и стальные образцы размером 30×20×1 мм. Тесты проводились как в среде без ингибитора, так и в среде в

присутствии ингибитора в течение 24 и 240 часов. Пластиковый контейнер снабжен герметичной крышкой и ручкой для крепления стальных образцов [71]. Результаты многочисленных экспериментов, проведенных в лаборатории, представлены в таблице 2.

**Таблица 2.**  
*Скорость коррозии стали Ст3 в среде МI и защитный эффект реагента МАРЗА-1  
 $(C_{H_2S} = 400 \text{ мг / л})$  и  $(P_{CO_2} = 1 \text{ атм})$*

Среда	$C_{\text{ини.}}$ мг/л	$K$ , $\text{г}/\text{м}^2 \cdot \text{час}$	$\gamma$	$K_p$ , $\text{мм}/\text{год}$	$Z$ , %
$H_2S$	-	0,4326	-	-	-
		0,1874	-	-	-
	3,0	0,0506	8,54	0,0566	88,3
		0,0504	3,71	0,0564	73,1
	5,0	0,0328	13,18	0,0367	92,4
		0,0329	5,69	0,0368	82,4
	7,0	0,0190	22,76	0,0212	95,6
		0,0163	11,49	0,0182	91,3
	10,0	0,0086	50,3	0,0096	98,0
		0,0080	23,42	0,0089	95,7
$CO_2$	-	0,2418	-	-	-
		0,06231	-	-	-
	3,0	0,0573	4,21	0,0641	76,3
		0,0247	2,52	0,0276	60,22
	5,0	0,0430	5,62	0,0481	82,2
		0,0187	3,33	0,0209	69,86
	7,0	0,0232	10,42	0,0259	90,4
		0,0080	7,78	0,0089	87,15
	10,0	0,0125	14,34	0,0140	94,8
		0,0032	11,47	0,0035	94,83
$H_2S + CO_2$	-	0,3416	-	-	-
		0,7612	-	-	-
	3,0	0,0792	4,31	0,0887	76,8
		0,1364	5,58	0,1527	82,07
	5,0	0,0526	6,49	0,0589	81,6
		0,0796	4,56	0,0891	89,54
	7,0	0,0290	11,77	0,0324	91,5
		0,0246	30,94	0,0275	46,76
	10,0	0,0109	31,33	0,0122	96,8
		0,0058	131,24	0,0064	99,23

Продолжительность эксперимента - 24 часа (числитель) и 240 часов (знаменатель).

Как видно из таблицы 2, увеличение концентрации реагента MARZA-1 в диапазоне 3-10 мг/л во всех трех агрессивных коррозионных средах приводит к снижению скорости коррозии как при 24-, так и при 240-часовых испытаниях.

В обоих случаях наибольший эффект был зафиксирован при количестве реагента 10 мг/л. Как видно из таблицы, этот эффект составил 98.0 и 95.7% в среде сероводорода, 94.80 и 94.83% в среде диоксида углерода и соответственно 96.8 и 99.23% в смешанной среде ( $H_2S + CO_2$ ). Таким образом, на основе анализа результатов лабораторных экспериментов определено, что оптимальная концентрация исследуемого ингибитора МАРЗА-1 для защиты от коррозии составляет 10 мг/л.

**Полученные результаты.** 1. Впервые в лаборатории исследовано защитное действие ингибитора МАРЗА-1 в агрессивных средах электрохимической коррозии  $H_2S$ ,  $CO_2$  и  $H_2S + CO_2$ , в течение 24, 240 часов, в растворе М1-аналога пластовой воды. Эксперименты по определению скорости коррозии стальных листов Ст3 по потере массы, проводились при температуре 25°C для концентраций ингибитора MARZA-1 3.0, 5.0, 7.0 и 10.0 мг/л.

2. Наивысший эффект ингибитора MARZA-1 в течение одного дня и десяти дней был обнаружен в количестве 10 мг / л, 98.0 и 95.7% в сероводородной среде, 94.80 и 94.83% в среде с диоксидом углерода и соответственно 96.8 и 99.23% в смешанной среде ( $H_2S + CO_2$ ).

3. Проанализированы результаты многочисленных испытаний, проведенных в различных агрессивных коррозионных средах в лабораторных условиях и установлено, что оптимальная норма расхода исследуемого ингибитора MARZA-1 составляет 10 мг/л.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ваганов Р.К. Об Ингибиторной защите оборудования добывающих нефтяных скважин // Коррозия: материалы, защита. 2007, №10. с.9-13
2. Кузнецов Ю.И., Возможности ингибирования коррозии оборудования трубопроводов в нефтегазовой промышленности. / Кузнецов Ю.И., Ваганов Р.К., Гетманский М.Д. // Коррозия: материалы, защита – 2007, №3. -с.9-13
3. Гафаров Н.А. Анализ отказов оборудования и трубопроводов оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения / Гафаров Н.А., Гончаров А.А., В.М.Кущнаренко, Щипунов Д.Н., Чирков Ю.А. // Защита металлов: - 2003, -T.39. №3. -с.328-331
4. Абдуллин И.Г., Давыдов С.Н., Худяков М.А. Коррозия нефтегазового нефтепромыслового оборудования. Учебное пособие. – Уфа: Изд. УНИ, 1990. -70 с.
5. Иниюшин Н.В., Лейфрид А.В., Валеев А.С., Ривкин П.Р. Коррозия внутренней поверхности нефтесборных промысловых трубопроводов // Нефтяное хозяйство, -2002, №3. с.85-86
6. Кузнецов Ю.И., Фролова Л.Н. Ингибиторы сероводородной коррозии и наводороживания сталей // Коррозия: материалы, защита. – 2004, №8. -с.11-16
7. Ефреман А.П., Ким С.К. Ингибиторная защита нефтепромыслового оборудования от коррозии в средах, содержащих сероводород и сульфатвосстанавливающие бактерии // Коррозия: материалы, защита. – 2005, №10. -с.14-18
8. Цыганова Л.Е., Ким Я.Р. Кичигин В.И., Вигдорович В.И. // Исследование ингибирования коррозии и проникновение водорода в сталь в имитатах пластовых вод // Практика противокоррозионной защиты - 2005. –T.38, №4. с.29-38
9. Цыганова Л.Е., Вигдорович В.И., Ким Я.Р., Кичиган В.И., Болдырев А.В. Торможение коррозии и наводороживание углеродистой стали рядом ингибиторов в слабокислых средах, содержащих  $H_2S$  и  $CO_2$  // Журнал прикладной химии. - 2005. -T.78, №12. -с.1993-2001
10. Кузнецов Ю.И., Фролов Л.В., Тамина Е.В. Об ингибировании сероводородной коррозии стали четвертичными аммонийными солями // Защита металлов. 2006. Т.42. №3. с.233-238
11. Камаева С.С. Биокоррозионная активность грунта как фактор стресс-коррозии магистральных трубопроводов./ М. ИРЦ Газпром, 1996. -72 с.
12. Вигдорович В.И., Цыганова Л.Е., Ингибирование сероводородной и углекислотной коррозии металлов. // Универсалитет ингибиторов М.: КАРТЭК. 2011. - 244 с.
13. Набутовский З.А., Антонов В.Т., Филиппов А.Г. Проблемы коррозии и ингибиторной защиты на месторождениях газа. // Практика противокоррозионной защиты. -2000. –T17. №3. - с. 53-59
14. Ваганов Р.К. Выбор ингибиторов для антикоррозионной защиты стального оборудования на нефтепромыслах. / Ваганов Р.К.// Коррозия: материалы, защита. -2007. №1. -с.9-13
15. Ваганов Р.К. Ингибиторная защита от коррозии нефтепромыслового оборудования и трубопроводов / Ваганов Р.К. // Коррозия: материалы, защита - 2007. №1. -с.17-23

16. Антропов Л.И., Макушин Е.М. Панасенко В.Ф. Ингибиторы коррозии металлов. / Киев: Техника.1981.181 с.
17. Решетников С.М. Ингибитора кислотной коррозии металлов. Л.: Химия. -1986. -144 с.
18. Юсифли, Ф. Х. Использование аддуктов метилендиоксоланов с этандитиолом в качестве ингибиторов коррозии металлов в кислой среде / Ф. Х. Юсифли // Сумгайтский государственный университет. Научные известия. Серия: Естественные и технические науки. Сумгайт: СГУ, – 2020. – Т. 20. – № 1. – с. 30-34;  
<https://elibrary.ru/item.asp?id=43177823>

### XÜLASƏ

## H<sub>2</sub>S , CO<sub>2</sub> və H<sub>2</sub>S+CO<sub>2</sub> MÜHİTLƏRDƏ MARZA-1 İNHİBİTORUNUN KORROZİYADAN MÜHAFİZƏ EFFEKTİNİN TƏDQİQİ

Pashayeva S.M.

*Açar sözlər:* hidrogen-sulfid, karbon qazı, inhibitor, MARZA-1, korroziya, mühafizə effekti, gravimetrik iisul

İlk dəfə olaraq laboratoriya şəraitində hidrogen-sulfid, korbon qazı və hidrogen sulfidlə karbon qazının birgə olduğu aqressiv mühitlərdə MARZA-1 inhibitorunun korroziyadan mühafizə effektivliyi öyrənilmişdir. Laboratoriya sınaqları lay suyunun oxşarı olan MI məhlulunda aparılmışdır. Təcrübələr inhibitorun 3.0, 5.0, 7.0, 10.0 mq/l qatılıqları üçün bir və on gün müddətində yerinə yetirilmişdir. Aparılmış çoxsaylı laboratoriya sınaqlarının nəticələrindən məlum olmuşdur ki, bütün hallarda MARZA-1 inhibitorunun qatılığının artması zamanı onun mühafizə effekti də artır. 24 və 240 saat müddətlərində ən yüksək effekt reagentin 10 mq/l miqdarında qeydə alınmışdır. Uyğun olaraq hidrogen-sulfid mühitində bu effekt 98.0 və 95.7, korbon qazı mühitində 94.80 və 94.83, qarışq mühitdə isə ( H<sub>2</sub>S+CO<sub>2</sub> ) 96.8 və 99.23 % olmuşdur.

### SUMMARY

## RESEARCH OF THE EFFICIENCY OF CORROSION PROTECTION OF THE MARZA-1 INHIBITOR IN THE MEDIA H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S + CO<sub>2</sub>

Pashayeva S.M.

*Key words:* hydrogen sulfide, carbon dioxide, inhibitor, MARZA-1, corrosion, protective effect, gravimetric method

For the first time in the laboratory, the effectiveness of protection of the MARZA-1 inhibitor from corrosion in aggressive environments with hydrogen sulfide, carbon dioxide and carbon dioxide in combination with hydrogen sulfide was investigated. Laboratory tests were carried out in a solution of an analogue of formation water MI. The experiments were carried out for one and ten days at an inhibitor concentration of 3.0, 5.0, 7.0, 10.0 mg/l. The results of numerous laboratory studies have shown that in all cases the protective effect of the MARZA-1 inhibitor increases with an increase in its concentration. The greatest effect was recorded at 10 mg/l for 24 and 240 hours. This effect was 98.0 and 95.7% in a hydrogen sulfide environment, 94.80 and 94.83% in a carbon dioxide environment, 96.8 and 99.23% in a mixed environment (H<sub>2</sub>S + CO<sub>2</sub>).

Daxilolma tarixi: 22.01.2021  
İlkin variant 22.01.2021  
Son variant 04.03.2021

## SUMQAYITÇAYDAN GÖTÜRÜLMÜŞ SU NÜMUNƏLƏRİNDE FİZİKİ-KİMYƏVİ PARAMETRLƏRİN TƏYİNİ

<sup>1</sup>**ƏHMƏDOVA RƏHİLƏ RZA qızı**  
<sup>2</sup>**BABAYEVA TÜNZALƏ MƏMMƏD qızı**  
<sup>3</sup>**AŞUROVA NƏRGİZ DURSUN qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, 1,3-dosent, 2-baş müəllim  
[ahmedova.rahila@mail.ru](mailto:ahmedova.rahila@mail.ru)*

*Açar sözlər: Sumqayıtçay, fiziki-kimyəvi parametrlər, ağır metallar, iżvi maddələr*

Sumqayıtçay Böyük Qafqazın cənub yamacı çayları içərisində ən az sululuğa malik olan çaydır. Uzunluğu 198 km, hövzəsinin sahəsi 1751 km<sup>2</sup>-dir. [1]

Araşdırılmışdır ki, Sumqayıtçay ərazi yaşayış massivi yaxınlığında zibil poliqon yerləşdirilmişdir. Bu poliqona duzgün nəzarət olunmaması nəticəsində Sumqayıtçay və Sumqayıt yaşayış massivində pis qoxu müşahidə olunur. Eyni zamanda qeyd olunan ərazilərinin atmosfer havasının çirkənməsi çay sularının da fiziki-kimyəvi parametrlərinin dəyişməsinə səbəb olur.

Sumqayıtçay Şamaxı, Xızı rayonları və Sumqayıt şəhər inzibati ərazi vahidlərinin ərazisindən axaraq Xəzər dənizinə töküür. [2,3]

Neft-qaz ehtiyatı potensialına görə Xəzər dənizi dünyanın ən iri karbohidrogen xammalı mərkəzlərindən biridir. Qapalı hövzələrin isə müvafiq problemləri var. Çaylar vasitəsilə hər il Xəzərə 40-45 km<sup>3</sup> çirkəb sular daxil olur ki, onun da 60 % Volqa çayının payına düşür. Xəzər sularının çirkənməsində Kür və Ural çayları da az rol oynamır. Dəniz dibi qruntlarından götürülen nümunələrin tərkibində neft məhsulları, fenollar, bəzi rayonlarda isə civə olması müəyyən edilmişdir. Dəniz sularının çirkənməsi Xəzərin ekoloji şəraitində böyük gərginliyə səbəb olmuş, onun bir sıra sahil bölgələrində isə ekoloji böhran yaratmışdır. [4,5]

Tədqiqat ərazisinin yaxınlığından keçən Sumqayıtçaydan götürülmüş su nümunələrinin fiziki-kimyəvi analizləri dənən məlum olur ki, pH zəif qələvi, Cl<sup>-</sup> və SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ionları üstünlük təşkil edir. Ağır metallardan isə Sumqayıtçayda Cd 0,018 mkq/l; Ni 3.399 mkq/l; Cu 3.305 mkq/l; Pb 0.138 mkq/l təşkil edir. (Cədvəl 1)

**Cədvəl 1.**

*Çay və dəniz sularında təyin olunmuş ağır metalların Pb, Ni, Cd, Cu qatlığının yol verilən həddi*

S.s.	Parametrlər	Ölçü Vahidi	Analizin nəticələri	
			Sumqayıtçay	Xəzər dənizi
1	2	3	4	5
1	pH		7,64	7,77
2	Duzluluq	%	0,3	0,4
3	Qoxu	Ball	3	3
4	Xlor ionu, Cl <sup>-</sup>	mk/l	99,109	102,623
5	Sulfat ionu, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mk/l	240,399	246,922
6	Nitrat ionu NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mk/l	2,612	2,706
7	Asılı hissəciklər	mk/l	4211	4253
8	Quru qalıq	mk/l	722	770
9	Neft məhsulları və yaqlar	mk/l	6,8	1,6
10	Cd	mkq/l	<0.018	0.018

1	2	3	4	5
11	Ni	mkq/l	3.399	8.993
12	Cu	mkq/l	3.305	3.900
13	Pb	mkq/l	0.138	0.174
14	QHY	mkq/l	Cd-0,001; Ni-0,01	Cu-1,0; Pb-0,03

Cədvəldən göründüyü kimi, təyin olunan ağır metallardan Ni və Cu miqdarı nisbətən çoxdur. Eyni zamanda götürülən su nümunələrində mikroelementlərin (Mn, Co, Zn, Cu, Ni, Pb, Cd) miqdarı fəsillər (yaz, payız) üzrə öyrənilmişdir. (Cədvəl 2)

*Cədvəl 2.*

*Sumqayıtçayın su nümunələrində mikroelementlərin miqdarı (fəsillər üzrə) mq/l*

S.s.	Mikroelementlərin adı	Yaz (may)	Payız (oktyabr)
1	Manqan (Mn)	0,046	0,028
2	Kobalt (Co)	0,00078	0,00048
3	Sink (Zn)	0,0060	0,0041
4	Mis (Cu)	0,0021	0,0014
5	Nikel (Ni)	0,3399	0,2499
6	Qurğuşun (Pb)	0,0138	0,0128
7	Kadmium (Cd)	0,000018	0,000014

Cədvəl 2-dən göründüyü kimi yaz fəslində çayın suyunda Mn - 0,046  $mq/l$ ; Co - 0,00078; Zn - 0,0060; Cu - 0,3305; Ni - 0,3399; Pb - 0,0138; Cd - 0,000018  $mq/l$  olduğu halda payız fəslində bu miqdardan Mn - 0,028; Co - 0,00048; Zn - 0,0041; Cu - 0,2605; Ni - 0,2499; Pb - 0,0128; Cd - 0,000014  $mq/l$  arasında dəyişir. Yaz fəslində çaydan götürülmüş su nümunələrində mikroelementlərin miqdarı payız fəslində nisbətən çoxdur. Bu isə Sumqayıtçayın su rejimi xüsusiyətlərinə görə baş verir. Sumqayıtçay Böyük Qafqazın cənub yamacı çaylarının içində ən az sululuğa malikdir. Axımı əsasən yağış (90 %) sularından əmələ gelir. Orta illik su sərfi  $1,34 m^3/sandır$ . Bunun 80-85 %-i yaz-yay, 10-15 %-i isə payız və qış fəslində keçir. Daşqınlar yağış sularından əmələ gəldiyinə görə qısamüddətli olur və yağış kəsiləndən sonra qurtarılır. Daşqın hər il eyni vaxtda müşahidə edilir. Həmçinin suda həll olan kimyəvi elementlərin, o cümlədən mikroelementlərin yazda donu açılan torpaqlardan yeraltı və səth suları vasitəsilə çaya keçməsi ilə əlaqədar olaraq mikroelementlərin miqdarında fərq özünü göstərir.

Sumqayıtçay Sumqayıt sənaye ərazisində yerləşdiyindən, ora axıdılan təmizlənmiş suların tərkibində mikroelementlərlə yanaşı, üzvi maddələr də müşahidə olunur. (Cədvəl 3)

*Cədvəl 3.*

*Sumqayıtçaya axıdılan təmizlənmiş suların tərkibində olan üzvi maddələrin miqdarı, mq/l*

S/s	Üzvi maddələr	Miqdari
1	Neft məhsulları	0,05
2	Fenollar	0,1
3	Səthi aktiv maddələr (SAM)	0,05
4	İzopropil spirti	0,25
5	Diizopropil efiri	0,5
6	Benzol	0,5
7	Toluol	0,5
8	Ksilol	0,05
9	Stirol	0,1

Cədvəl 3-dən müəyyən olunmuşdur ki, Sumqayıtçaya axıdilan təmizlənmiş suların tərkibində olan üzvi maddələrdən diizopropil efirinin, benzolun və toluolen miqdarı üstünlük təşkil edərək, 0,5 mq/l bərabərdir.

## ƏDƏBİYYAT

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
2. Axundova A.B. Torpaqların ağır metallarla çirkənməsinin ekoloji aspektləri // “Torpaqsünsənashlıq və Aqrokimya” əsərlər toplusu. c.17. Bakı: Elm, 2007, 249 s.
3. Məmmədov Q.S. Ekologiya ətraf mühiti və insan / M.J. Xəlilov. Bakı: Elm, - 2006. 608 s.
4. Panin Q.N. Xəzər dənizinin müasir vəziyyəti / R.M. Məmmədov. Bakı: Elm, 2005, 211s.
5. Babayeva, T.M., Muradov, M.M., Ashurova N.D. The pollution of the Caspian Sea // Materials of the International forum “Caspian sea – the sea of friendship and hopes”, devoted to the 85<sup>th</sup> anniversary Dagestan State University, Makhachkala: 11-15 October , 2016, pp.108-109
6. Rüstəmov Q.İ., Kazımova L. A. Texnogen ərazilərin geokimyəvi təsnifatı və rayonlaşdırmanın elmi-nəzəri xüsusiyyətlərinin tədqiqi / Q. İ. Rüstəmov, L. A. Kazımova // Sumqayıt Dövlət Universiteti. Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi. Sumqayıt: SDU, – 2020. – Vol. 20. – No 4. – s. 51-56: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44600580>

**РЕЗЮМЕ**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОД**  
**РЕКИ СУМГАЙТ-ЧАЙ**  
*Aхмедова Р.Р., Бабаева Т.М., Ашуроева Н.Д.*

**Ключевые слова:** река Сумгайт-чай, физико-химические параметры, тяжелые металлы, органические вещества

На основании экспериментов было установлено, что в водах реки Сумгайт-чай pH слабый, а также преобладают ионы Cl- и SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>. В реке Сумгайт-чай тяжелые металлы составляют: Cd 0,018 мкг/л; Ni 3,399 мкг/л; Cu 3305 мкг/л; Pb 0,138 мкг/л. Также было изучено количество микроэлементов в пробах вод реки Сумгайт-чай по временам года (Mn, Co, Cu, Zn, Pb, Cd). Так, весной Mn в речной воде составляет 0,046 мг/л; Co - 0,00078; Zn - 0,0060; Cu - 0,3305; Ni - 0,3399; Pb - 0,0138; Cd - 0,000018 мг/л, а осенью Mn - 0,028; Co - 0,00048; Zn - 0,0041; Cu - 0,2605; Ni - 0,2499; Pb - 0,0128; Cd колеблется в пределах 0,000014 мг/л. Таким образом, количество микроэлементов в пробах вод, взятых из реки весной, выше, чем взятых осенью. Так же было определено количество органических веществ в водах реки Сумгайт-чай. Было определено, что содержание дизопропилового эфира, бензола и толуола в воде составляет 0,5 мг/л.

**SUMMARY**  
**DETERMINATION OF THE PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS**  
**OF THE SUMGAYIT-CHAY RIVER WATERS**  
*Aхмедова Р.Р., Бабаева Т.М., Ашуроева Н.Д.*

**Key words:** Sumgayit-chay river, physical and chemical parameters, heavy metals, organic substances

Based on experiments, it was found that the pH is weak in the waters of the Sumgayit-chay river, and Cl - and SO<sub>4</sub>-2 ions also predominate. In the Sumgayit-chay river, heavy metals are: Cd 0.018 mcg/l; Ni 3.399 mcg/l; Cu 3305 mcg / l; Pb 0.138 mcg/l, the amount of trace elements in samples of the Sumgayit-chay river waters by seasons (Mn, Co, Cu, Zn, Pb, Cd) was also studied. Thus, in spring Mn in river water is 0.046 mg/l; Co-0.00078; Zn-0.0060; Cu-0.3305; Ni-0.3399; Pb-0.0138; Cd-0.000018 mg/l, and in autumn Mn - 0.028; Co-0.00048; Zn-0.0041; Cu-0.2605; Ni-0.2499; Pb-0.0128; Cd ranges from 0.000014 mg/l. Thus, the amount of trace elements in water samples taken from the river in spring is higher than that taken in autumn. The amount of organic substances in the waters of the Sumgayit-chay river was also determined. It was determined that the content of diisopropyl ether, benzene and toluene in water is 0.5 mg/l.

Daxilolma tarixi:	İllkin variant	25.07.2021
	Son variant	10.09.2021

## XƏTTİ OBYEKTLƏRİN KOMBİNƏ ÜSULLARI İLƏ GEODEZİK TƏMİNATI

QOCAMANOV MƏQSƏD HÜSEYN oğlu

Bakı Dövlət Universiteti, tex.e.d., professor

[mgodja@yandex.ru](mailto:mgodja@yandex.ru)

*Açar sözlər:* geodezik təminat, kombinə üsulları, peyk naviqasiya sistemi, elektron taxeometrlər, İnfersial naviqasiya sistemləri, SmartStation sistemi

Ölçmə şəraiti, təyinatı, dəqiqlik tələbləri, texniki imkanları və digər göstəricilərindən asılı olaraq elə hallar olur ki, geodezik təminat məqsədilə bu və ya digər geodezik alət və üsullardan kombinə edilmiş şəkildə istifadə edilir [1]. Bu zaman kombinə sxemdə iştirak edən alət və ya üsullardan birinin texniki çatışmazlıqları digərinin üstünlükleri ilə kompensasiya olunmuş olur. Kombinə sxemi geodezik təminat alət və üsulları arasında qrupdaxili, eləcə də qruplararası qurula bilər. Başqa sözlə desək, məsələn, yerüstü üsullar öz aralarında və yaxud da peyk üsulları ilə birgə istifadə oluna bilərlər.

Məlum olduğu kimi, müasir dövrdə peyk naviqasiya üsulları geodezik təminatın əsas vasitələridir. Lakin bir sıra hallarda geodezik təminatın tək onların tətbiqi ilə aparılması mümkün deyildir. Məsələn, bitki örtüyünün sıx olduğu yerlərdə, şəhər və qəsəbələrdə hündür binaların əhatəsində peyk vasitələrindən istifadə etmək mümkün olmur və yaxud da təyinətmənin dəqiqliyi əhəmiyyətli dərəcədə aşağı düşür. Ona görə də belə hallarda peyk ölçmə sistemləri, məsələn, yerüstü ölçmə vasitələri ilə (məsələn, elektron taxeometrlərlə) birlikdə istifadə edilir. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, koordinat təyinətmələri zamanı etibarlılıq təmin edilməlidir. Başqa sözlə, mövqenin etibarlı göstərilməsi vacib məsələlərdəndir. Yalnız bir geodezik təminat vasitəsinə və onun realizə etdiyi üsula etibar etmək bir çox hallarda böyük problemlərə səbəb olmuş və ola bilər [2]. Bu fikri belə şərh etmək olar: Məlum olduğu kimi, GPS (NAVSTAR) ABŞ dövlətinə məxsus və əsasən hərbi məqsədlər üçün yaradılmış peyk naviqasiya sistemidir. Onun idarə olunması Pentaqonun (ABŞ müdafiə nazirliyinin) müvafiq əmr və sərəncamları əsasında həyata keçirilir. Bu o deməkdir ki, istənilən zaman anında Pentaqon tərəfindən mülki istifadəçilərlə razılışdırılmışdan GPS peyk sisteminin uçuş parametrləri, yəni YSP koordinatları məxfi qaydada dəyişdirilə bilər. Aydındır ki, belə olan halda dəyişiklərdən xəbərsiz olan mülki istifadəçilərin mövqe təyinətmələri (koordinatları) də dəyişdirilmiş, yəni təhrifli olacaqdır. Peyk sisteminin uçuş parametrlərinin xəbərdarlıqsız dəyişdirilməsi, xüsusilə də avtonom rejimdə geodezik təminat həyata keçirən istifadəçilər üçün (hava, dəniz naviqasiyası, dəniz geodeziya işlərində və s.) çox təhlükəli ola bilər (dənizdə qayığın və yaxud gəminin dayaza oturması, hava gəmisinin uçuş trayektoriyasından uzaqlaşması və s.). Bunlara misal olaraq ABŞ və onunla müttəfiq ölkələrin İraq ərazisində həyata keçirdiyi “Səhrada tufan” adla hərbi əməliyyatı göstərmək olar. O vaxtlar əməliyyat şəraitini nəzərə alaraq, ABŞ Müdafiə Nazirliyi tərəfindən məxfilik məqsədi ilə GPS peyk sisteminin parametrlərində dəyişikliklər edilmişdi. Ona görə də etibarlılığın artırılması üçün istənilən növ işin geodezik təminat üzrə mövqe təyinətmələri müxtəlif növ üsullardan istifadə etməklə kombinə şəklində alınmış nəticələrin uyğunluğunu yoxlamaqla həyata keçirilməlidir.

Yuxarıda qeyd edilənləri nəzərə alaraq, geodeziya ölçmə vasitələrinin istehsalı ilə məşğul olan şirkətlər müxtəlif növ qruplara məxsus alətlər və onların realizə etdikləri üsulların üstün cəhətlərindən birgə bəhrələnmək məqsədi ilə kombinə edilmiş geodeziya ölçmə cihazlarının istehsalını aparırlar. Bu istiqamətdə, xüsusilə də, GPS (ABŞ) sistemi ilə yanaşı GLONASS (Rusiya), GALILEO (Avropa Birliyi) və Beydau (Çin) peyk naviqasiya sistemlərinin birgə

istifadəsinə imkan verən peyk qəbuledicilərinin hazırlanması olduqca təqdirəlayiqdir. Bu qəbuledicilərin istehsalında əsasən iki məqsəd qoyulur:

- 1) təyinətmələrin bir sistemdən asılılığı aradan qaldırılsın (“Səhrada tufan” əməliyyatında olduğu kimi);
- 2) müşahidə edilən YSP peyklərinin sayı nə qədər çox olarsa, daha əlverişli həndəsi faktora malik geodezik kəsdirmə aparmaqla daha yüksək mövqetəyinə dəqiqliyi əldə edilir.

Məsələn, iki sistem – GPS/ГЛОНАСС kompleksinin birgə istifadəsi ilə müşahidə olunan peyklərin sayı artırıldığından koordinatların təyinedilmə dəqiqliyi də 1,3-1,5 dəfə artır. [5] Peyk sistemlərinin kombinə edilməsi ilə bir sıra başqa üstünlükler də, o cümlədən, peyk psevdosafələrindən ən yaxşı həndəsi faktora (bucaq kəsdirməsinə) malik olanlarından mövqetəyinə dəqiqliyində istifadə edilməsi imkanı yaranır. Tədqiqatlar göstərir ki, şəhər mühitində nəqliyyatın intensiv hərəkət etdiyi bir şəraitdə yalnız bir peyk sistemi ilə fasiləsiz ölçmələri təmin etmək mümkün deyildir, təkcə GPS-dən istifadə edilərsə, təminat 50%, GPS/ ГЛОНАСС kompleks sistemi isə 90% fasiləsiz ölçmə aparılmasına şərait yaradır. [6]

Hal-hazırda Avropa Birliyi ölkələrinin yaratdığı GALILEO peyk sistemi də istismara qəbul olunmuşdur. Ona görə bu sistemdən də gələn siqnalları qəbul edən yeni GPS/ ГЛОНАСС/ GALILEO qəbuledicilərinin istehsalına başlanılıb. Hər üç Qlobal peyk naviqasiya sistemləri quruluşca və iş prinsipinə görə bir-birinə çox yaxın olsalar da, fərqli cəhətləri də mövcuddur, hər birinin üstün cəhətləri ilə yanaşı, müəyyən məhdudiyyətləri də mövcuddur. Ona görə də onların kombinə edilməsi, yuxarıda qeyd edildiyi kimi, bir-birini tamamlayır və mövqetəyinə dəqiqliyini yüksəldir.

Digər tərəfdən peyk sistemlərinə xas olan bir sıra çatışmazlıqları yalnız onların öz aralarında kombinəlməsi ilə aradan qaldırmaq olmur. Məsələn, nəqliyyat vasitəsində yerləşdirildiyi hərəkətli halında, başqa sözlə, kinematika rejimində, GPS qəbuledicisi ilə informasiyanın toplanılmasında hiss olunacaq çətinliklər yaranır. Görünüşlərin məhdud olduğu ərazilərdə, xüsusiylə də, tunelə, böyük ölçülü körpüyə daxil olan zaman YSP-lərdən gələn siqnallar kəsilir. Belə vəziyyətlərdə çıxış yolu Peyk naviqasiya sistemlərinin (PNS) İmersial naviqasiya sistemləri (İNS) ilə kombinə edilməsində görünür. İNS avtonom sistem olub, yol boyu koordinatların dəyişmə təciliini ölçür və bu ölçmə nəticələrinə əsasən hərəkət sürəti və koordinat artımları təyin edilir. Digər üstün cəhət isə ondan ibarətdir ki, PNS ölçmələrinə təsir edən faktorlar İNS sisteminə təsir etmir. Ona görə də PNS sisteminin işinin dayandığı andan İNS sisteminin isə salınması ilə mövqetəyinə əməliyyatı davam etdirilə bilir.

PNS sisteminin fəaliyyətinin dayandığı və yaxud da ölçmə dəqiqliyinin aşağı düşdüyü zaman vəziyyətdən başqa bir çıxış variansi onların müasir elektron taxeometrlərlə (Total Station) kombinə edilməsindən ibarətdir. Bu isə yerüstü və peyk ölçmə üsullarının birgə istifadəsi deməkdir. Xüsusiylə də, bitki örtüyünün (meşə sahəsi), hündür tikililərin və başqa obyektlərin olduğu ərazilərdə RTK(Real Time Kinematics) rejimində peyk naviqasiya sistemlərinin tətbiqi mümkün olmur və geodezik təminat yalnız müasir elektron əsaslı teodolit və taxeometrlərlə aparıla bilər. Geodeziya alətləri istehsal edən şirkətlər peyk qəbulediciləri və elektron taxeometrlərin üstün cəhətlərini özündə birləşdirən xüsusi alətlər də istehsal edirlər.

XX əsrin sonunda GPS sisteminin yaranması ilə ənənəvi optik alətlərin onlarla tam əvəz edilməsi hadisəsi baş vermədi. Peyk ölçmə texnologiyaları optik geodeziya ölçmə texnologiyaları qarşılığında əhəmiyyətli üstünlüklərə malik olmaqla yanaşı, bir sıra çatışmazlıqları da mövcuddur(bunlardan ən əsası antenna ətrafi sahənin müəyyən bir radiusda açıq olması tələbidir). Hal-hazırda elektron taxeometrlərlə yanaşı optik geodeziya alətləri də təkmilləşdirilir və geniş istifadə edilir. Eləcə də elektron taxeometrlər və GPS qəbulediciləri ayrı-ayrılıqda istehsal edilir. Çünkü hər bir geodeziya ölçü aləti və cihazının özünəməxsus texnoloji iş prinsipləri mövcuddur. Cox zaman GPS sistemlərindən dayaq geodeziya istinad şəbəkəsinin yaradılması və sıxlışdırılmasında, elektron taxeometrlərdən isə relyef və təfsilatın ətraflı planalınmasında istifadə edilir. Kompleks ölçmələr zamanı hər iki qrup alətdən ayrı-ayrılıqda istifadə edilərsə, ölçmə

məntəqələrinə iki dəfə getmək lazımlı gəlir (məntəqələrin koordinatlarının təyini və planalmanın yerinə yetirilməsi). Bu səbəbdən ölçmə nəticələrinin birgə işlənməsi zamanı bəzi anlaşılmazlıqlar və səhvler də meydana çıxa bilir. Ona görə də səmərəliliyin artırılması məqsədilə bu alətlərin bir gövdədə quraşdırılması ideyası meydana çıxmışdır.

1983-cü ildə T.Stansell ABŞ Müdafiə Nazirliyinin simpoziumunda «2000-ci ildə GPS» adlı çıxışı zamanı söyləmişdi ki, geodezistlər ənənəvi geodeziya alətləri ilə GPS qəbuledicilərini çöl planalması işləri üçün kombinə istifadəsinə (birləşdirilməsinə) çalışmalıdır. Artıq 1998-ci ildə beynəlxalq konqresdə Spectra Precision (İsvəç) şirkəti universal (birləşdirilmiş) GPS/Total Station alətinin ilk nümunəsini nümayiş etdirdi. Universal funksiyalı alətin yaradılması ilə hər iki texnologiyaya məxsus çatışmazlıqlar aradan qaldırılmış oldu.

GPS-taxeometr universal aləti yeni inkişaf mərhələsinə SmartStation aləti qismində yüksəldi. [3] 2004-cü ildə Leica Geosystems (İsvəçrə) kompaniyası yeni Leica System 1200 alətini təqdim etdi. Bu alət özündə Leica TPS 1200 elektron taxeometrini və Leica GPS 1200 peyk qəbuledicisini, kontrolleri və Leica Geo Office program təminatını birləşdirir (şəkil 1).

TPS 1200 seriyalı peyk qəbulediciləri çətin çöl şəraitində (Smart Track texnologiyası) GPS siqnallarını izləmək imkanlarına və real vaxt rejimində (RTK) planalma və nəticələrin hesablanması zamanı etibarlı, həmçinin qısa vaxt intervalında tez nəticələr (Smart Check texnologiyası) əldə etmək imkanlarına malikdir. SmartStation hər iki Smart Track (peyk texnologiyası) və Smart Check (taxeometr texnologiyası) texnologiyalarının kombinasiyasını ifadə edir.

Leica Geosystems kompaniyasının yeni geodezik sistemi planalma zamanı ölçmələrin yerinə yetirilmə vaxtını 80% azaldır. Planalmadan əvvəl və yaxud piket nöqtələri qurarkən müşahidəçiye yer üzərində dayaq məntəqələrini axtarmaq lazımlı deyildir. Sadəcə SmartStation sistemini rayonunun hər hansı əlverişli nöqtəsində, yəni peyk siqnallarının qəbuluna maneəçilik olmayan yerdə, qurmaq lazımdır. Universal alət RTK texnologiyası əsasında stansiyanın cari yerinin koordinatlarını təyin edir. Baza stansiyasından 50 km-dək uzaqlaşmalarда təyinətmənin planda dəqiqliyi ( $10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ ) və yüksəklik cəhətdən ( $20 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ ) təşkil edir. Alətin dayandığı yerin koordinatları təyin edildikdən sonra alət elektron taxeometrin iş rejiminə keçir və ənənəvi ölçmələrə başlamaq olur. Bu zaman cəhətləndirmək üçün koordinatları əvvəlcədən məlum olan və yaxud planalmadan sonra təyin edilən ikinci nöqtədən istifadə edilir.

SmartStation sistemi çöl ölçmələrinin səmərəliliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırmaq imkanı verir. Bu alətlə işləyərkən çöldə planalma istinad şəbəkəsinin olmasına, planalma gedişlərinin salınması və tərs geodezik kəsdirmələrə ehtiyac yoxdur. [4] Bu alət ərazicə böyük sahələrdə planalma zamanı, yaşayış və tikinti meydançasında yerləşən dayaq məntəqələrinin görünüşünə maneəçilik olduqda (texnika, tikinti materialları və digər qurğularla) olduqca qiymətlidir. Bir ədəd SmartStation alətindən istifadə zamanı vaxt qənaəti GPS qəbuledicisi və taxeometrin ayrı-ayrılıqda işlədildiyi varianta nisbətən 30%-dən çox təşkil edir.

**Nəticə.** 1. Bir çox hallarda geodezik təminat məqsədi ilə bu və ya digər geodezik alət və üsüldən kombinə edilmiş şəkildə istifadə edilir. Mövqetəyinətəmələri zamanı həllin etibarlılığının artırılması vacib məsələlərdəndir. Ona görə də geodezik təminat kombinə üsullardan istifadə etməklə alınmış nəticələrin uyğunluğunu yoxlamaqla həyata keçirilməlidir.



*Şəkil. SmartStation aləti*

2. Geodeziya ölçmə vasitələri istehsalı edən şirkətlər müxtəlif qruplara məxsus alətlər və onların realizə etdikləri üsulların üstün cəhətlərini özündə birləşdirən geodeziya ölçmə cihazları istehsal edirlər. Peyk naviqasiya sistemlərinin birgə istifadəsinə imkan verən qəbuledicilərin istehsalında əsasən iki məqsəd qoyulur:

- Təyinətmələrin bir sistemdən asılılığı aradan qaldırılsın;
- Müşahidə edilən YSP peyklerinin sayını artırmaqla əlverişli həndəsi faktora malik geodezik kəsdişmə əldə etmək və yüksək mövqətəyinə nail olmaq.

3. XX əsrin sonunda GPS sisteminin yaranması ilə ənənəvi optik alətlərin onlarla tam əvəz edilməsi hadisəsi baş vermədi. Peyk ölçmə texnologiyaları optik geodeziya ölçmə texnologiyaları qarşılığında əhəmiyyətli üstünlüklərə malik olmaqla yanaşı, bir sıra çatışmazlıqları da mövcuddur. Geodeziya alətləri istehsal edən şirkətlər peyk qəbulediciləri və elektron taxeometrlərin üstün cəhətlərini özündə birləşdirən xüsusi alətlər (məsələn, SmartStation sistemi) istehsal edirlər.

## ƏDƏBİYYAT

1. Məmmədov Q.S., Qocamanov M.H. Geodeziya-kartoqrafiya elmi müasir inkişaf mərhələsində: Coğrafi tədqiqatlarda yeri və əhəmiyyəti // Elmi-praktiki konfransın materialları. Bakı, 2014. s.7-20.
2. Gədjamənov M.G. Rekonstrukция и развитие геодезических сетей с использованием спутниковых технологий. M., Bakı, 2008, 256 c.
3. Evstaf'ev O.B. SMARTSTATION – новый прибор компании Leica Geosystems // Геопрофи. № 1. M.: Проспект, 2005, с.40-42
4. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. – M.: ЦНИИГАиК, 2002, 124 s.
5. Serapinas B.B. Глобальные системы позиционирования: Учебн. изд. – M.: ИКФ «Каталог», 2002. – 106 c.
6. Tsakiri M., Stewart M. A future vehicle positioning system for data capture in the urban canyon // Cartography. – 1998.- Vol.27.- №1.-pp.17-25
7. Məmmədova C.S. Böyük Qafqazın cənub yamacı müasir geosistemlərinin landşaftekoloji potensialının qiymətləndirilməsi // Sumqayıt Dövlət Universiteti. Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi. Sumqayıt: SDU, 2020, c. 20, № 4. s. 57-60;  
<https://elibrary.ru/item.asp?id=44600581>

## РЕЗЮМЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ КОМБИНИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ Годжаманов М.Г.

**Ключевые слова:** комбинированные методы, спутниковая навигационная система, электронные тахеометры, инерциальные навигационные системы, система SmartStation

Одним из наиболее важных вопросов при проведении любого вида деятельности на физической поверхности Земли является геодезическое обеспечение выполняемых работ. В некоторых случаях в зависимости от условия работы, назначения, требований к точности, технических возможностей и других показателей для геодезического обеспечения используется те или иные геодезические инструменты, а также и методы в комбинированном виде. В такой комбинации технические недостатки одного из средств или методов, задействованных в схеме, компенсируются преимуществами другого.

В представленной статье рассмотрены различные варианты комбинирования существующих геодезических средств и методов измерения при геодезическом обеспечении работ и, даны рекомендации по их использованию.

**SUMMARY**

**GEODETIC SUPPORT OF LINEAR OBJECTS BY COMBINED METHODS**

*Gojamanov M.H.*

**Key words:** *combined methods, satellite navigation system, electronic total stations, inertial navigation systems, SmartStation System*

One of the most important issues when conducting any type of activity on the physical surface of the Earth is the geodetic support of the work performed. In some cases, depending on the working conditions, purpose, accuracy requirements, technical capabilities and other indicators, certain geodetic tools are used for geodetic support, as well as methods in a combined form. In this combination, the technical disadvantages of one of the tools or methods involved in the scheme are compensated for by the advantages of the other.

In the present article, various options for combining existing geodetic tools and measurement methods in the geodetic support of works are considered and recommendations for their use are given.

Daxilolma tarixi:	Ilkin variant	30.03.2021
	Son variant	04.05.2021

## PİLOTSUZ ÜZƏN APARATIN DƏRİNLİYƏ DALMASININ AVTONOM REJİMDƏ İNTELLEKTUAL İDARƏETMƏ SİSTEMİNİN İŞLƏNMƏSİ

<sup>1</sup>CƏFƏROV SƏYYƏDDİN MƏŞƏDİ oğlu

<sup>2</sup>ƏLİYEVA ADİLƏ SƏYYƏDDİN qızı

<sup>3</sup>İSMAİLOV ELCAN ŞAHVƏLƏD oğlu

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, 1-professor, 2-dissertant

AMEA-in İdarəetmə Sistemləri İnstitutu, 3-magistrant

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

**Açar sözlər:** pilotsuz üzən aparat, qeyri səlis tənzimləyici, linqvistik qaydalar cədvəli, qeyri-xətti model

**Giriş.** Pilotsuz üzən aparatlar - su dronları sualtı robototexnikanın mühüm istiqamətlərindən biri olub, hal hazırda elmi tədqiqatçıların və mühəndislərin diqqətini cəlb edir. Buna səbəb onların su altında olan qurğuların, nəqliyyat kəmərlərinin inspeksiyası və təmiri işlərinin bilavasitə insansız icrası tələbinin olmasıdır. Pilotsuz üzən aparatlar su hövzələrinin fauna və florasının tədqiqatçılar tərəfindən öyrənilməsi, balıqlığın səmərəliliyinin artırılması, hərbi strateji obyektlərin və gəmilərin qorunması - müdafiəsi məsələlərinin həllində geniş tətbiq olunmasıdır.

Əvvəlki dövrlərdə su dronları – sualtı mobil robotlar bilavasitə insan operator tərəfindən idarə olunurdu. Lakin, müasir dövrdə informasiyanın ölçülməsi, emalı, süni intellekt texnologiyasının üsul və vasitələrinin inkişafı artıq sualtı robotların-dronların avtomatik olaraq idarə olunmasını aktual məsələ kimi tədqiqatçıların qarşısına qoyur. [1-6]

Bir sıra elmi işlərdə sualtı robotların riyazi modelləri və klassik-adi PİD ( Proporsional-İnteqral-Diferensial) tipli tənzimləyicilər əsasında onların idarəetmə sistemləri işlənilmişdir. [5] Lakin, dronların qeyri müəyyənlikli iş şəraitlərində klassik PİD tənzimləyicilər vasitəsilə qurulan AİS-ləri idarəetmənin keyfiyyət göstəricilərinə (dəqiqliyə, dayanıqlılığı) olan yüksək tələbləri ödəyə bilmirlər. [3,4]

Qeyd etdiklərimizi nəzərə alaraq, təqdim olunan məqalədə su dronunda (PÜA-da) dərinliyə dalmanın qeyri-səlis tipli intellektual PDPI tənzimləyicinin sintezi məsələsi formallaşdırılmış, onun biliklər bazası və digər parametrləri sintez edilmişdir. Sintez edilmiş intellektual idarəetmə sisteminin səmərəliliyi MATLAB mühitində (“Fuzzy Logic Toolbox” və “Simulink”-də) aparılmış kompüter simulasiyası əsasında göstərilmişdir.

### 1. Pilotsuz üzən aparatın - sualtı robotun dərinliyə dalmanın dinamik modelinin müəyyənləşdirilməsi.

“Pilotsuz üzən aparat” (PÜA) kimi, sualtı robot da altı sərbəstlik dərəcəsinə malik olub, üç ölçülü fəzadakı kordinatlar ( $x, y, z$ ) üzrə yerdəyişmə və uyğun oxlar üzrə dönmələri “roll” (dönmə), “pitch”(sapma) və “yaw” (əyilmə) ( $\varphi, \theta, \psi$ ) bucaqları ilə xarakterizə olunurlar. Lakin təqdim olunan məqalədə əsas məqsəd sualtı mobil robotun dərinliyə dalmasının (yaxud qalxmasının) intellektual avtomatik idarəetmə sisteminin (IAİS) sintezi olduğundan su dronunun idarəetmə obyekti kimi ilkin dinamik modelini müəyyənləşdirmək lazımdır. Sualtı mobil robotun müəyyən qədər qeyri- müəyyənliyə malik riyazi modelini aşağıdakı mülahizələr əsasında qurmaq olar [5].

Dronun su altında dərinliyə dalarkən (üzərkən) ağırlıq qüvvəsi -  $F_g$  suyun (mühitin) qaldırma (Arximed) qüvvəsi -  $F_a$ , suyun hidrodinamik müqavimət (sürtünmə) qüvvəsi  $F_s$  və mühərrikin məcmuu qüvvəsi -  $F_{\Sigma M}$  təsir edir. Bu qüvvələrin təsiri nəticəsində su dronu hərəkət edir. Su dronunun-robotun hərəkəti Nytonun ikinci qanunu ilə müəyyənləşir. Qeyd etdiyimiz bu qüvvələr aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$Fg = mg, \quad (1.1)$$

$$Fa = \rho g V, \quad (1.2)$$

$$Fs = \frac{1}{2} \rho c_\omega A v^2, \quad (1.3a)$$

Burada  $m$  [kq] –su dronun kütləsi,  $g$  [m/s<sup>2</sup>] - qravitasiya təcili,  $\rho$  [kq/m<sup>3</sup>] - mühitin (suyun) sıxlığı, baxılan halda təqribən sabit olduğu qəbul olunur,  $v$  [m/san] – robotun suda dərinliyə dalma (qalxma) hərəkətinin sürəti,  $V$  [m<sup>3</sup>] - su dronun həcmi, yəni dronun sıxışdırıb çıxardığı suyun həcmidir,  $A$  [m<sup>2</sup>] - dronun müstəvi proyeksiyasının sahəsidir,  $c_\omega$  – suyun hidravlik möqavimətinin mütənasiblik əmsalıdır. Qurğunun-dronun dərinliyə dalmasının (qalxmasının) sürətinin müsbət va ya mənfi (əks istiqamətli) olmasını nəzərə almaq üçün (1.3a) ifadəsində  $v^2$ -ni  $v|v|$  ilə əvəzləməklə suyun hidrodinamik möqavimət qüvvəsinin  $F_s$  istiqaməti müəyyənləşmiş olur. Başqa sözlə (1.3a) ifadəsini aşağıdakı kimi təsvir etmək olar:

$$Fs = \frac{1}{2} \rho c_\omega A v |v| \quad (1.3b)$$

**Su dronunun** – sualtı mobil robotun idarəetmə obyekti kimi riyazi-dinamik modelinin təyini bilavasitə dərinliyə dalma hərəkətini Nyutonun ikinci qanununa əsasən drona təsir edən qüvvələrin tarazlığı şərtindən aşağıdakı kimi təyin etmək olar:

$$\begin{aligned} Fa &= F_g - Fa + Fs; \\ FM &= F_g - Fa = mg - \rho g V \\ F &= ma \end{aligned} \quad (1.4)$$

$$ma = mg - \rho g V + \frac{1}{2} d \rho c_\omega A v |v| \quad (1.5)$$

Əgər drona hərəkəti (dərinliyə dalması) üçün mühərrikkən (kompressordan) istifadə olunduğunu nəzərə alaraq, aşağıdakı işarəetmələri qəbul edək:

$$\begin{aligned} x_1(t) &= h, \\ x_2(t) &= v(t), \\ x_3(t) &= \frac{m}{\rho} - V, \\ \dot{x}_3(t) &= -\dot{V} \text{ ( kompressorlu halda)} \end{aligned} \quad (1.6)$$

Yuxarıdakı (1.1)-(1.6) ifadələri nəzərə alsaq, onda sualtı mobil robotun – su dronunun idarəetmə obyekti kimi dinamik modelini vəziyyətlər fəzasında aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= x_2(t), \\ \dot{x}_2(t) &= k_1 x_3(t) - k_2 x_2(t) |x_2(t)|, \\ \dot{x}_3(t) &= ku(t), \\ Ku(t) &= -\dot{V} \end{aligned} \quad (1.7a)$$

Burada  $k_1, k_2$  əmsalları uyğun olaraq aşağıdakı ifadələrlə təyin olunur:

$$k_1 = \rho g / m ; \quad k_2 = \rho c_\omega a / 2m$$

$K$  - transmissiyanın (çevirmənin) mütənasiblik əmsalı olub mühərrrikin giriş gərginliyi ilə kompressorun həcminin dəyişməsini xarakterizə edən kəmiyyətdir.

Əgər [5]-dəki tip sualtı mobil robotu üçün riyazi model təyin etdiqdə su dronun kütləsinin 0.434 kq, suyun sıxlığının  $\rho \approx 1200 \text{ kq/m}^3$ ;  $c_\omega = 0.75$ ;  $K = 2.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$  olduğunu qəbul etsək, onda  $k_1 = 2.258 \cdot 10^{-4}$ ;  $k_2 = 6.91$  kimi qiymətlərə malik olacaqdırlar.

Beləliklə pilotuz üzən aparatın – sualtı robotun vəziyyətlər fəzasında sadələşdirilmiş-xəttılışdırılmış dinamik modelini ümumi şəkildə aşağıdakı kimi təsvir etmək olar:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (1.7b)$$

$$y(t) = C^T x$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -k_2|x_2| & k_1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ k \end{bmatrix}, \quad C^T = [1, 0, 0]$$

(1.7) ifadəsindəki transmisiya (çevirmə) əmsalını  $k$  ölçmək olur. Robotun-dronu suyun içində yerləşdirilib daşan (supplanted) su ölçülür. Baxılan tip sualtı robotun həcmi 425 sm<sup>3</sup> ilə 445 sm<sup>3</sup>

arasında dəyişir, artım  $20 \text{ sm}^3$  sudur. Kompressor bu dəyişikliyi təqribən 8 sən ərzində təmin edir. Həcmi dəyişmə sürəti  $\dot{V} = 2.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$  olduğundan kompressorun işləmə müddəti əsasında mühərrikin fırlanma sürəti ilə sabit cərəyan mənbəyindən (batareyadan) mühərrikin girişinə verilən gərginlik arasındaki asılılığını xarakterizə edən transmissiya əmsalı təyin olunur. Məqalədə baxılan hal üçün transmissiya əmsalını sabit kəmiyyət kimi götürmək olar, yəni  $k \approx 2.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

**2. Pilotsuz üzən aparatın – sualtı robotun dərinliyə dalmanın intellektual idarəetmə sisteminin sintezi.** Məlum olduğu kimi, idarəetmə sistemi qeyri-müəyyənlik səraitində fəaliyyət göstərən hallarda adı tənzimləyicilər vasitəsi ilə yüksək keyfiyyət göstəriciləri təmin etmək mümkün olmur[1, 2]. Bir sıra hallarda konstruktur obyektin idarə olunması haqqında müəyyən biliklərə malik olur. Məhz bu biliklər əsasında idarəetmənin sintezi daha səmərəli ola bilər [1-3]. İdarəetmə obyektinin (1.1) - (1.7.) modeli əsasən PÜA-ın – sualtı robotun dərinliyədalma dəyişənin real ölçülən qiymətini müəyyən dəqiqliklə xarakterizə edir. Belə ki, suyun səthi olduğundan səviyyə (dərinlik) ölçənin qiyməti rəqsı olacaqdır. Bu da idarəetmə sisteminin fəaliyyətində qeyri-müəyyənliyin olmasını göstərir.

Yuxarıda qeyd olunanları nəzərə alaraq, təqdim olunan məqalədə intellektual tənzimləyici kimi PDPİ qeyri-səlis tipli tənzimləyici təklif edilir.

Sintez məsələsinin qoyuluşunu aşağıdakı kimi formallaşdırmaq olar. Qeyri müəyyənliyə malik dinamik obyekt (sualtı mobil robotun dərinliyə dalması) üçün elə qeyri-səlis tipli tənzimləyici

$$\tilde{U}_r = f(\tilde{E}_j, \dot{\tilde{E}}_j) \quad (2.1)$$

sintez etmək lazımdır ki, sistemi istənilən başlangıç vəziyyətdən  $x(t_b)$  son  $x(t_s)$  vəziyyətə gətirsin və tələb olunan keyfiyyət göstəriciləri ödənsin, məsələn, dinamik dəqiqliy yüksək, integrallı kvadratik xətası minimum olsun.

Qeyri-səlis tipli tənzimləyicinin sintezi üçün [3-6] təklif olunan üsulundan istifadə edək. İlkin mərhələ kimi idarəetmənin xətasının  $e(t)$ , onun dəyişmə sürətinin  $\dot{e}(t)$  və idarəetmənin müəyyənləşdirilmiş universiumlarında  $(E, \dot{E}, U)$  qeyri-səlis term çoxluqları ( $\tilde{E}_j = E_j$ ,  $\dot{\tilde{E}}_j = \dot{E}_j$ ,  $\tilde{U}_r = u_r$ ) təyin olunur.

$$\begin{aligned} \tilde{E}_j &= \{e, \mu_j(e) | e \in E\}; \mu_j(e) \in [0, 1], \tilde{E}_j \subseteq E, j = \overline{1, 9} \\ \dot{\tilde{E}}_j &= \{\dot{e}, \mu_j(\dot{e}) | \dot{e} \in \dot{E}\}, \mu_j(\dot{e}) \in [0, 1], \dot{\tilde{E}}_j \subseteq \dot{E}, j = \overline{1, 9} \\ \tilde{U}_r &= \{u, \mu_r(u) | u \in U\}; \mu_r(u) \in [0, 1], \tilde{U}_r \subseteq U, j = \overline{1, 9} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Qeyri-səlis linqvistik term çoxluqların mənsubiyət funksiyalarını qaussəkilli seçirik. Burada, həmçinin tənzimləyicinin linqvistik qaydalar cədvəlinde (TLQC) linqvistik term çoxluqların birinci hərfi  $N$  – “neqativ” – mənfi,  $P$  – “pozitiv” – müsbət, ikinci hərfələr isə uyğun olaraq  $S$  – “smol” – kiçik,  $M$  – “medium” – orta,  $B$  – “big” – böyük və  $Z$  – “zero” – sıfır bildirir.

[ 2,3 ] üsulundan istifadə edərək sintez edilmiş qeyri-səlis tənzimləyicinin linqvistik qaydalar cədvəli (TLQC) aşağıdakı kimi olacaqdır.

*Qeyri-səlis tənzimləyicinin linqvistik qaydalar cədvəli (TLQC).*

$E_j$	NB	NM	NS	NZ	Z	PZ	PS	PM	PB
$\dot{E}_j$	<b>PB</b>	<b>PM</b>		<b>NB</b>	<b>NB</b>	<b>NM</b>			<b>Z</b>
NB			<b>NB</b>	<b>NB</b>	<b>NM</b>	<b>NS</b>	<b>NZ</b>	<b>Z</b>	<b>PZ</b>
NM			<b>NB</b>	<b>NB</b>	<b>NM</b>	<b>NS</b>		<b>Z</b>	<b>PZ</b>
NS		<b>NB</b>	<b>NB</b>	<b>NM</b>	<b>NS</b>	<b>NZ</b>	<b>Z</b>	<b>PZ</b>	<b>PS</b>
NZ	<b>NB</b>	<b>NB</b>	<b>NM</b>	<b>NS</b>	<b>NZ</b>	<b>Z</b>	<b>PZ</b>	<b>PS</b>	<b>PM</b>
Z	<b>NB</b>	<b>NM</b>	<b>NS</b>	<b>NZ</b>	<b>Z</b>	<b>PZ</b>	<b>PS</b>	<b>PM</b>	<b>PB</b>
PZ	<b>NM</b>	<b>NS</b>	<b>NZ</b>	<b>Z</b>	<b>PZ</b>	<b>PS</b>	<b>PM</b>	<b>PB</b>	<b>PB</b>
PS	<b>NS</b>	<b>NZ</b>	<b>Z</b>	<b>PZ</b>	<b>PS</b>	<b>PM</b>	<b>PB</b>	<b>PB</b>	
PM	<b>NZ</b>	<b>Z</b>		<b>PS</b>	<b>PM</b>	<b>PB</b>	<b>PB</b>		
PB	<b>Z</b>			<b>PM</b>	<b>PB</b>	<b>PB</b>		<b>PB</b>	<b>PB</b>

$u_{rL} = \tilde{U}_r$  – İdarəetmənin qeyri-səlis term çoxluqları.

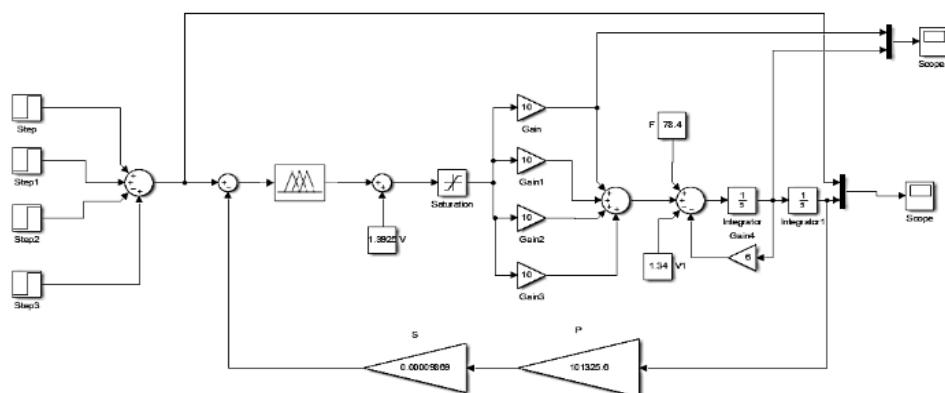
Linqivistik qaydalar cədvəli (LQC) idarəedici girişin  $u_{rL} = \tilde{U}_r$  idarəetmənin xətasının  $E_j$  və onun dəyişmə sürətindən (türəməsinin)  $\dot{E}_j$  asillığını göstərən model olub, aşağıdakı kimi deyilmələri-hökümləri əks etdirir.

**Əgər** idarəetmənin xətasının  $E_j$  **müsbat böyükdürsə** (PB) **və** idarəetmənin xətasının dəyişmə sürəti mənfi **kiçikdir** (NS), **onda** idarəetmə  $u_{rL}$  **müsbat kiçikdir** (PS), **əks halda**

(2.3)

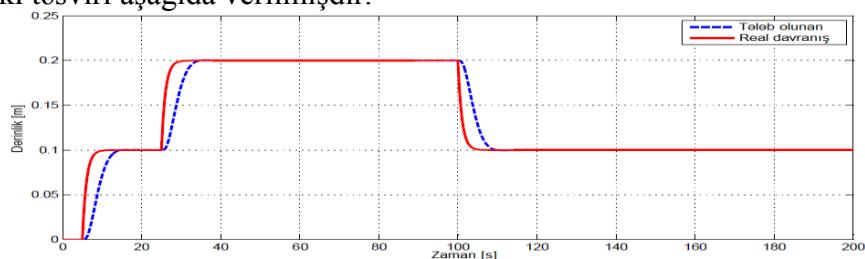
### 3. Dərinliyə dalmanın intellektual - qeyri-səlis idarəetmə sistemin texniki realizasiyası.

Dinamik obyektlərin intellektual idarəetmə sistemlərinin texniki realizasiyası və onun simulyasiyası üçün effektiv olan [1, 3] verilmiş metodikadan istifadə olunmuşdur. Su dronunun dərinliyə dalmanın intellektual - qeyri-səlis idarəetmə sistemin MATLAB mühitində texniki realizasiyası Şəkil 4.1.-də verilmişdir.



Şəkil 4.1. Su dronunun – sualtı mobil robotun MATLAB mühitində qeyri-səlis tənzimləyicili idarəetmə sisteminin “S-modeli”

Yuxarıda təklif olunan dərinliyə dalmanın intellektual - qeyri-səlis idarəetmə sistemin səmərəliliyini təsdiqinin əyanılıyı məqsədi ilə qeyri-müəyyənliyə malik sualtı mobil robotun - dinamik obyektin sadələşdirilmiş (1.7) şəklindəki modeli (yaxud ötürmə funksiyası) və linqivistik sintez edilmiş qeyri-səlis tənzimləyicinin LQC ilə qurulmuş idarəetmə sisteminin **MATLAB** mühitində **Fuzzy Logic Toolbox** və **Simulink** paketləri əsasında kompüter modelləşdirilməşdirilməsi – kompüter simulyasiyası aparılmışdır və bir eksperimentin-keçid prosesinin qrafiki təsviri aşağıda verilmişdir.



Şəkil 4.2. Sualtı robotun dərinliyədalmasının intellektual idarəetmə sisteminin keçid prosesinin təsviri

**Nəticə.** Sintez edilmiş sualtı robotun dərinliyədalmasının intellektual idarəetmə sisteminin **MATLAB** mühitində texniki realizasiyası əsasında aparılmış eksperimentlər təsdiq etdi ki, sistemin hərəkəti kifayət qədər dayanıqlı olmaqla həm də yüksək keyfiyyət göstəriciləri – dinamik dəqiqliyi təmin edir.

## **ƏDƏBİYYAT**

1. Aliyev R.A., Jafarov S.M. and ozer. Principles of construction and design of intelligent systems.Baku, Nargiz, 2005.-368p.
2. Jafarov S.M, Zeynalov E.R, Jafarov P.S . Fuzzy Controllers analitic synthesis and modelling for the objects with fuzzy dynamic models. Eighteens intern. Conference on Application of Fuzzy System and Soft Computing. Helsinki, Finland, September 1-3, 2008, p.290-295
3. Aliyeva A. S. The synthesis method of fuzzy regulators for dynamic objects with uncertainty // Sumgayit State University. Scientific News. Series for Natural and Technology Sciences. Sumgayit: SSU, -2019, - c.19, -No 4. -pp.78-85; <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43167233>
4. Alieva A.S.. Synthesis of intelligent control system of quadrotor –multidimensiond dynamic objekt ICSCCW-2019, Progne, Czech Republic , August 27-28.
5. Sebastian Vasries and oth Robot control of autonoms underwater Vehicles INVARIA Rhone-Alpes Gipsa –Lap, June 14 , 2010
6. Nəsirova E. Ə. Çevik istehsalat sisteminin idarəetmə funksiyalarının biliklərin müxtəlif təsvir üsulları ilə modelləşdirilməsi məsələləri // Sumqayıt Dövlət Universiteti. Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi. Sumqayıt: SDU, -2020, -c. 20. -No 3. s. 63-69; <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44220000>

## **РЕЗЮМЕ**

**РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОГРУЖЕНИЯ ГЛУБОКОВОДНОГО БЕСПИЛОТНОГО АППАРАТА В АВТОНОМНОМ РЕЖИМЕ**  
*Джафаров С.М., Алиева А.С., Исмаилов Э.Ш.*

**Ключевые слова:** подводный дрон, нечеткий регулятор, таблица лингвистических правил, нелинейная модель

Беспилотные подводные аппараты широко применяются исследователями для изучения фауны и флоры водных бассейнов, повышения эффективности рыболовства, решения вопросов охраны-защиты военно-стратегических объектов и судов. В представленной работе синтезирована интеллектуальная система управления для автономного функционирования подводного робота-дрона. Предложена архитектура нечеткого регулятора, определена база знаний и др. параметры. Эффективность синтезированной интеллектуальной системы инерции была продемонстрирована на основе компьютерного моделирования, выполненного в среде MATLAB (в “Fuzzy Logic Toolbox” и “Simulink”).

## **SUMMARY**

**DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR THE AUTONOMOUS DIVING OF A DEEP-SEA UNMANNED VEHICLE**  
*Jafarov S.M., Aliyeva A.S., Ismayilov E.Sh.*

**Key words:** underwater drone, fuzzy controller, table of linguistic rules, non-linear model

Unmanned underwater vehicles are widely used by researchers to study the fauna and flora of water basins, improve the efficiency of fishing, and solve issues of protection-the protection of military-strategic objects and ships. In the presented work, an intelligent control system has been synthesized for the autonomous functioning of underwater robot-drone. The architecture of the type fuzzy regulator has been proposed as a control device, the knowledge base and other parameters have been defined. The effectiveness of the synthesized intelligent inertia system was demonstrated on the basis of computer modeling performed in MATLAB (in “Fuzzy Logic Toolbox” and “Simulink”).

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	04.04.2021
	Son variant	28.05.2021

УДК 681.2

## ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РАЗДУВКИ КАНАЛА АЛЮМИНИЕВЫХ ИСПАРИТЕЛЕЙ

АТАЕВ ГАФАР НАРИМАН оглу

Сумгаитский государственный университет, доцент

[gafar\\_atayev@mail.ru](mailto:gafar_atayev@mail.ru)

**Ключевые слова:** производственные правила, фазификация, дефазификация, функция принадлежности.

Для создания современных методов принятия решения для раздувки канала алюминиевых испарителей приходится разрабатывать и уточнять математические модели, описывающие различные операции в условиях неопределенности. При этом происходит процесс накопления информации – эмпирические и экспертные модели должны дополняться и уточняться по мере накопления новых опытных данных, полученных в модельных и экспериментальных условиях. [1]

В представленной работе рассматривается реализация программного обеспечения принятия решений для раздувки канала алюминиевых испарителей. Инструментальные и программные средства моделирования для раздувки канала алюминиевых испарителей реализованы в среде MATLAB с использованием пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox [2,3].

Для формирования базы правил системы нечетких продукции в качестве входной лингвистической переменной используются следующие термы: давление воды испарителя; усилия давления гидропресса. В качестве выходной лингвистической переменной следует использовать вентиль крана водяного крана. В результате фазификации входных и выходных лингвистических переменных база нечетких продукции для раздувки канала алюминиевых испарителей состоит из следующих правил.

*Правило 1: ЕСЛИ давление воды в канале испарителя отрицательное большое и усилие давления гидропресса отрицательное большое, ТО повернуть вентиль крана водяного насоса гидропресса на большой угол вправо;*

(1) [14.18 15.02 15.67 16.12], [5.28 5.45 5.65 5.97], [0.86 0.872 0.883 0.91]

*Правило 2: ЕСЛИ давление воды в канале испарителя отрицательное среднее и усилие давления гидропресса отрицательное среднее, ТО повернуть вентиль крана водяного насоса гидропресса на небольшой угол вправо;*

(2) [12.32 12.92 13.57 14.17], [2.79 2.94 3.48 3.62], [0.665 0.669 0.7 0.702]

*Правило 3: ЕСЛИ давление воды в канале испарителя отрицательное малое и усилие давления гидропресса отрицательное малое, ТО повернуть вентиль крана водяного насоса гидропресса на небольшой угол вправо;*

(3) [10.1 11.01 11.73 12.31], [1.1 1.35 1.67 1.98], [0.573 0.586 0.61 0.62]

*Правило 4: ЕСЛИ давление воды в канале испарителя отрицательное, близко к нормальному и усилие давления гидропресса отрицательное, близко к нормальному, ТО оставить вентиль крана водяного насоса гидропресса без изменения;*

(4) [16.13 16.53 17.32 17.94], [1.99 2.16 2.48 2.78], [0.51 0.54 0.551 0.572]

*Правило 5: ЕСЛИ давление воды в канале испарителя соответствуетциальному, близко к нормальному и усилие давления гидропресса соответствуетциальному, близко к нормальному, ТО оставить вентиль крана водяного насоса гидропресса без изменения;*

(5) [17.95 18.33 19.14 19.33], [3.651 3.86 4.192 4.45], [0.621 0.628 0.637 0.663]

*Правило 6: ЕСЛИ давление воды в канале испарителя положительное, близко к нормальному и усилие давления гидропресса положительное, близко к нормальному, ТО оставить вентиль крана водяного насоса гидропресса без изменения;*

(6)[19.34 19.87 20.46 21.01], [4.46 4.725 5.067 5.27], [0.755 0.764 0.772 0.8]

*Правило 7: ЕСЛИ давление воды в канале испарителя положительное малое и усилие давления гидропресса положительное малое, ТО повернуть вентиль крана водяного насоса гидропресса на небольшой угол влево;*

(7) [21.02 21.61 22.15 22.41] , [5.98 6.27 6.41 6.62], [0.804 0.824 0.837 0.859]

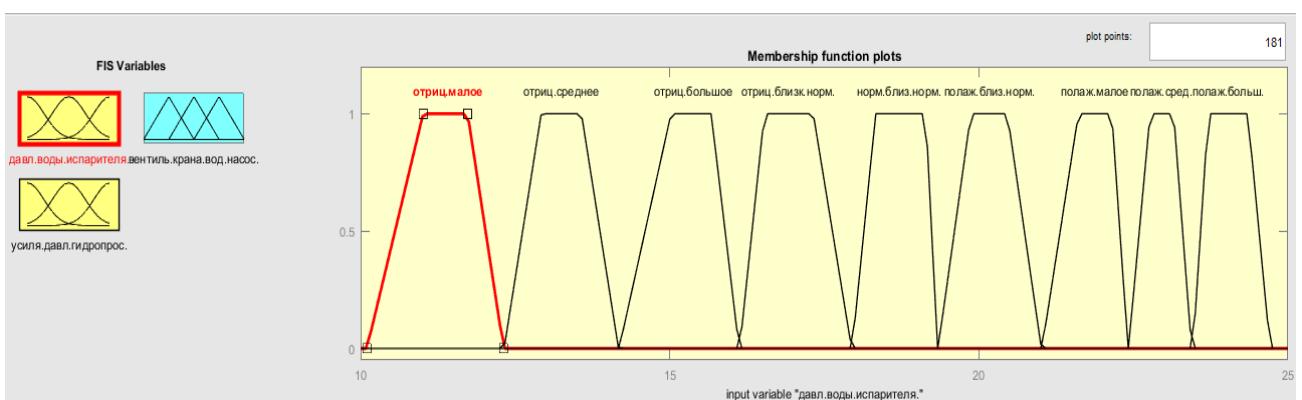
*Правило 8: ЕСЛИ давление воды в канале испарителя положительное среднее и усилие давления гидропресса положительное среднее, ТО повернуть вентиль крана водяного насоса гидропресса на небольшой угол влево;*

(8) [21.02 21.61 22.15 22.41], [6.73 6.98 7.21 7.38], [0.917 0.938 0.953 0.968]

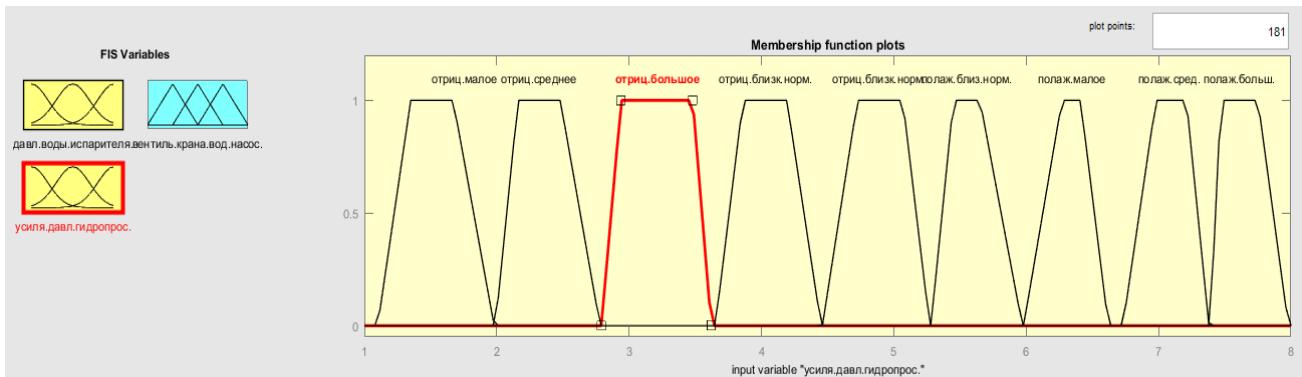
*Правило 9: ЕСЛИ давление воды в канале испарителя положительное большое и усилие давления гидропресса положительное большое, ТО повернуть вентиль крана водяного насоса гидропресса на большой угол влево.*

(9) [22.42 22.77 23.15 23.44],[7.39 7.47 7.75 7.98], [0.703 0.705 0.725 0.754]

Результат фаззификации входных лингвистических переменных «давление воды испарителя» и «усилия давления гидропресса» изображена на рис. 1-2.



**Рис.1.** Графики функций принадлежности для термов входной лингвистической переменной «давление воды испарителя»



**Рис. 2.** Графики функций принадлежности для термов входной лингвистической переменной «усилие давления гидропресса»

Результат функций принадлежности для термов выходной лингвистической переменной «вентиль крана водяного насоса» изображён на рис.3.

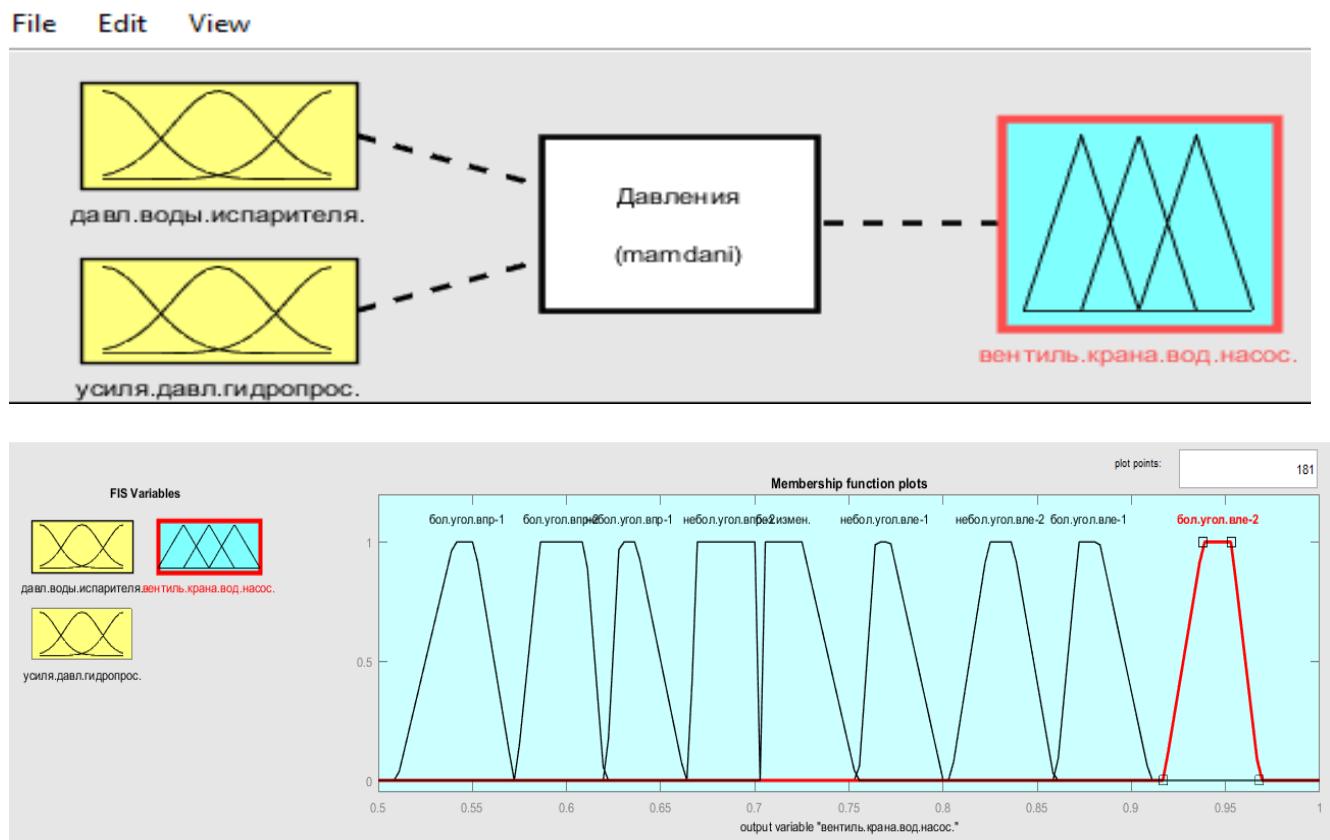
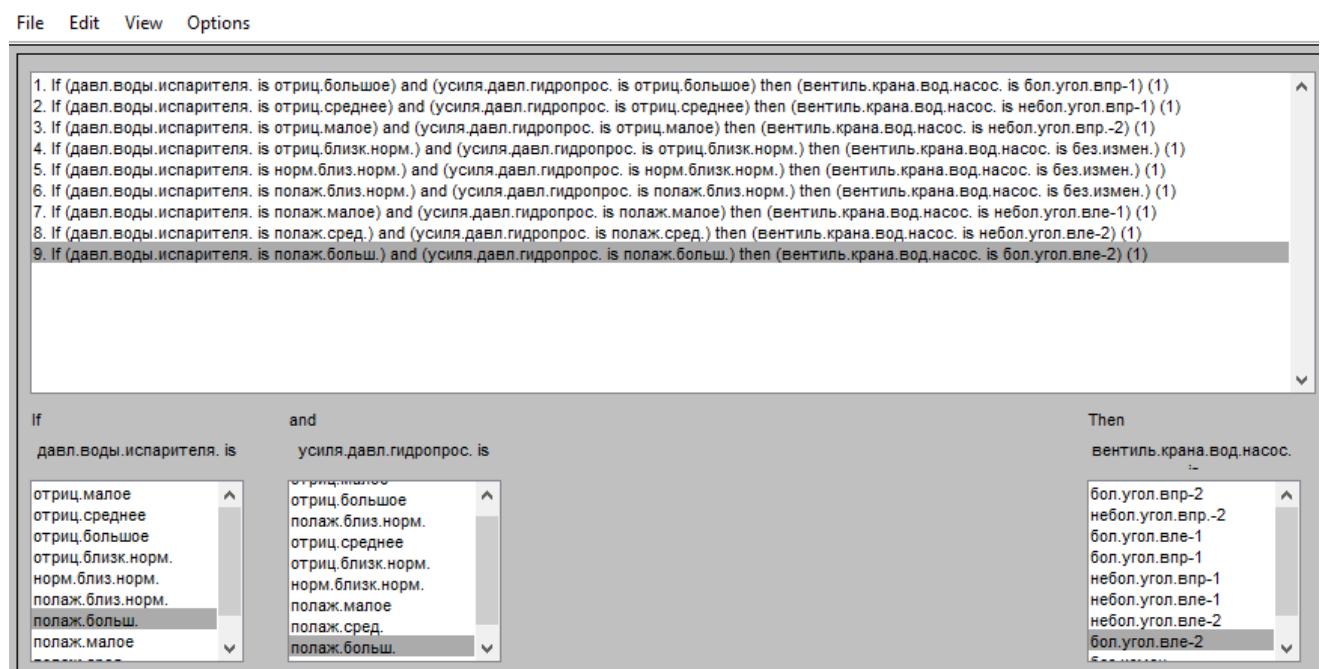
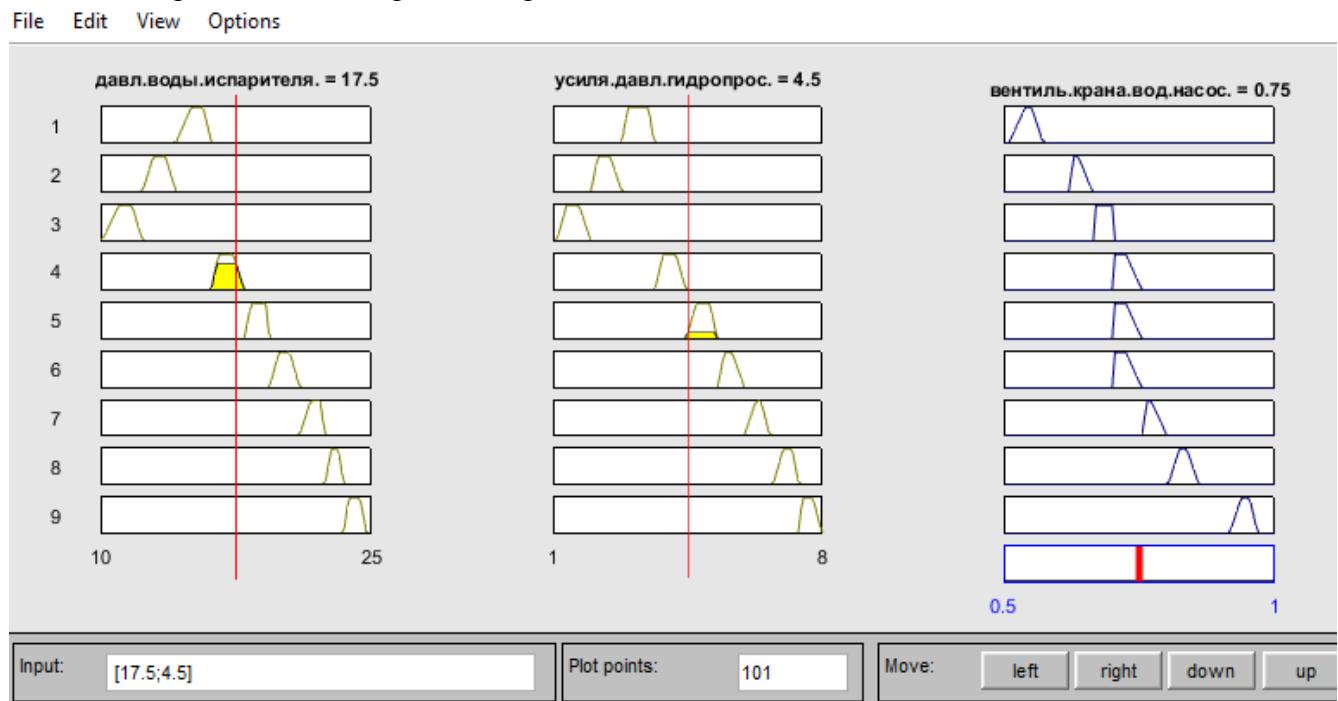


Рис. 3. Графики функций принадлежности для термов выходной лингвистической переменной «вентиль крана водяного насоса»

Сокращение записи продукционных правил имеет следующий вид:

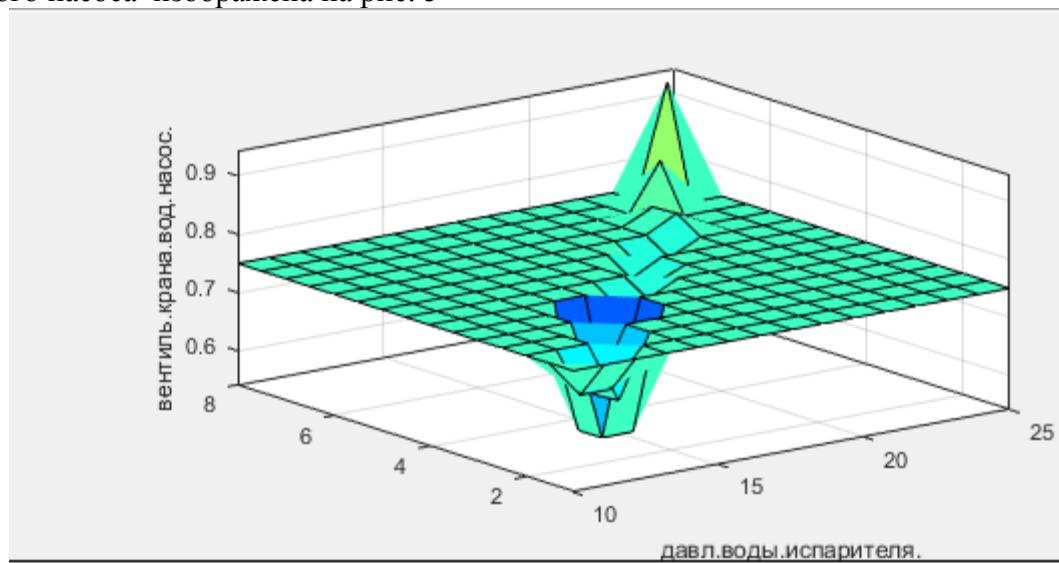


Результат аккумулирования заключений нечетких правил продукции с использованием метода центра тяжести изображен на рис. 4.



*Рис 4. Результат аккумулирование заключений нечетких правил продукции*

Результат дефазификации выходной лингвистической переменной вентиль крана водяного насоса изображена на рис. 5



*Рис. 5. Дефазификации выходной переменной вентиль крана водяного насоса*

Специальным языком в среде MATLAB Fuzzy Logic Toolbox описаны атрибуты элементов базы производственных правил:

```
[System]
Name='Давления'
Type='mamdani'
Version=2.0
```

```
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=9
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='давл.воды.испарителя.'
Range=[10 25]
NumMFs=9
MF1=' отриц.малое':'trapmf',[10.1 11.01 11.73 12.31]
MF2=' отриц.среднее':'trapmf',[12.32 12.92 13.57 14.17]
MF3=' отриц.большое':'trapmf',[14.18 15.02 15.67 16.12]
MF4='отриц.близк.норм.':'trapmf',[16.13 16.53 17.32 17.94]
MF5=' норм.близ.норм.':'trapmf',[17.95 18.33 19.14 19.33]
MF6='полаж.близ.норм.':'trapmf',[19.34 19.87 20.46 21.01]
MF7='полаж.малое.':'trapmf',[23.463 23.71 24.35 24.71]
MF8='полаж.сред.':'trapmf',[21.02 21.61 22.15 22.41]
MF9='полаж.больш.':'trapmf',[22.42 22.77 23.15 23.44]

[Input2]
Name=' усилия.давл.гидропрос.'
Range=[1 8]
NumMFs=9
MF1='отриц.малое.':'trapmf',[1.1 1.35 1.67 1.98]
MF2='отриц.среднее':'trapmf',[2.79 2.94 3.48 3.62]
MF3='отриц.большое.':'trapmf',[5.28 5.45 5.65 5.97]
MF4='отриц.близк.норм.':'trapmf',[1.99 2.16 2.48 2.78]
MF5='норм.близ.норм.':'trapmf',[3.651 3.86 4.192 4.45]
MF6='полаж.близ.норм.':'trapmf',[4.46 4.725 5.067 5.27]
MF7='полаж.малое.':'trapmf',[5.98 6.27 6.41 6.62]
MF8='полаж.сред.':'trapmf',[6.73 6.98 7.21 7.38]
MF9='полаж.больш.':'trapmf',[7.39 7.47 7.75 7.98]

[Output1]
Name='вентиль.крана.вод.насос.'
Range=[0.5 1]
NumMFs=9
MF1='бол.угол.впр.-2':'trapmf',[0.573 0.586 0.61 0.62]
MF2=' небол.угол.впр.-2':'trapmf',[0.665 0.669 0.7 0.702]
MF3=' бол.угол.вле-1':'trapmf',[0.86 0.872 0.883 0.91]
MF4='бол.угол.впр-1':'trapmf',[0.51 0.54 0.551 0.572]
MF5=' небол.угол.впр-1':'trapmf',[0.621 0.628 0.637 0.663]
MF6='небол.угол.вле-1':'trapmf',[0.755 0.764 0.772 0.8]
MF7='небол.угол.вле.-2':'trapmf',[0.804 0.824 0.837 0.859]
MF8=' бол.угол.вле-2':'trapmf',[0.917 0.938 0.953 0.968]
MF9=' без.измен.':'trapmf',[0.703 0.705 0.725 0.754]

[Rules]
3 2, 4 (1) : 1
2 4, 5 (1) : 1
1 1, 2 (1) : 1
```

```
4 5, 9 (1) : 1
5 6, 9 (1) : 1
6 3, 9 (1) : 1
8 7, 6 (1) : 1
9 8, 7 (1) : 1
7 9, 8 (1) : 1
```

Построена база нечетких продукционных правил. С применением алгоритма Мамдани реализованы фазификации входных и выходных лингвистических переменных базы продукционных правил. Осуществлены процедуры агрегирования подусловий входных лингвистических переменных и аккумулирование заключений нечетких правил продукции с использованием операции max-дизъюнкции. Выполнена процедура дефазификации выходной лингвистической переменной «вентиль крана водяного насоса» методом центра тяжести.

### ЛИТЕРАТУРА

- Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH/ А.В.Леоненков БХВ – Петербург, Санкт-Петербург, 2005, 717 с.
- Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. -768 с.
- Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. М., Телеком, 2012, 725 с.
- Мустафаев, В. А. Анализ модели управления паралельно функционирующими гибкими производственными модулями механообработки / В. А. Мустафаев, И. С. Будагов // Сумгaitский государственный университет. Научные известия. Серия: естественные и технические науки. Сумгайт: СГУ. – 2021. – Т. 21. – № 1. – С. 72-76.

<https://elibrary.ru/item.asp?id=46196414>

### XÜLASƏ

### ALÜMİNİUM BUXARLANDIRICILARINDA KANALAÇMA PROSESİNDƏ QƏRAR QƏBULETMƏNİN PROQRAM REALİZASIYASI

Atayev Q.N.

*Açar sözlər:* produksiyalar qaydası, fazzifikasiya, defazzifikasiya, mənsubluq funksiyası

Məqalədə alüminium buxarlanan dırıcılarında kanalaçma prosesində qərar qəbuletmənin program realizasiyası verilmişdir. Giriş və çıxış linqvistik dəyişənlərinin fazzifikasiyası üçün trapesiya şəkilli qeyri-səlis interval şəklində mənsubluq funksiyaları seçilmişdir. Bütün linqvistik dəyişənlərin aktivizasiyası və akkumulasiyası prosedurları reallaşdırılmışdır. MATLAB mühitində Fuzzy Logic Toolbox paketindən istifadə etməklə və Mamdani alqoritminin tətbiqi ilə giriş və çıxış linqvistik dəyişənlərinin fazzifikasiyası reallaşdırılmışdır. Ağırlıq mərkəzi üsulundan istifadə etməklə çıxış linqvistik dəyişəni defazzifikasiya olunaraq məntiqi nəticə çıxarmanın kəmiyyət qiymətləri alınmışdır.

### SUMMARY

### DECISION-MAKING IN THE PROCESS OF DUCTING IN ALUMINUM EVAPORATORS SOFTWARE IMPLEMENTATION

Atayev G.N.

*Key words:* production rules, fuzzification, defuzzification, affiliation function

The article presents the software realization of decision-making in the process of sewer in aluminum steamer conductors. For phasification of input and output linguistic variables, membership functions in the form of trapezoidal fuzzy interval were selected. Activation of all statistical variables and accumulation procedures were performed. Using Fuzzy Logic Toolbox package and applying Mamdani algorithm in MATLAB environment, phasification of input and output statistics variables was performed. Using the central method of weighting, the output linguistic variable was defuzzified and the quantitative values of the logical conclusion were obtained

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	29.07.2021
	Son variant	10.09.2021

## KEYFİYYƏT MENECMENTİ SİSTEMLƏRİNİN MÜƏSSİSƏNİN STRATEJİ MƏQSƏDLƏRİNƏ UYĞUNLAŞDIRILMASI

SEYDƏLİYEV İLHAM MƏHƏMMƏD oğlu

Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti (UNEC), tex.e.n., dosent  
[ilham.seydaliyev@mail.ru](mailto:ilham.seydaliyev@mail.ru)

*Açar sözlər:* keyfiyyət menecmenti sistemi, rəqabət, keyfiyyət sahəsində siyaset, ISO standartları, proses, tətbiq, məqsəd, keyfiyyətə nəzarət

Azərbaycanın yüngül sənaye müəssisələrinin qarşısında dayanan strateji məqsədlərdən biri müəssisədə fəaliyyət göstərən keyfiyyət menecmenti sistemlərinin (KMS) səmərəliliyini yüksəltməkdir. Müəssisədə son məqsədə çatmaq üçün keyfiyyət sahəsində siyasetdə məqsədlərin düzgün müəyyən olunması əhəmiyyətli rol oynayır. Keyfiyyət sahəsində siyasetdə müəyyənləşdirilən məqsədlər istehlakçıların məmənunluğu ilə bilavasitə əlaqəlidir və keyfiyyət menecmentinin prinsiplərindən birinin, yaxşılaşdırma prinsipinin reallaşdırılmasına kömək etməlidir.

KMS-in təkmilləşdirilməsi ölkə və xarici ölkə alımlarının ənənəvi olaraq tədqiqat obyektlərindən biridir. KMS təşkilatda keyfiyyət sahəsində siyasetin həyata keçirilməsinə, məqsədlərə çatmağa yönələn sistemdir. Keyfiyyət sahəsində məqsədlər istehlakçının, müəssisənin və cəmiyyətin təlabatlarının üst-üstə düşməsi ilə təyin olunmalıdır. Belə bir mövqedən çıxış etməklə, KMS-in məqsədi bu şəkildə müəyyənləşdirilməlidir: KMS istehlakçıların gözləntilərini tam həcmidə ödəyən məhsulların (xidmətlərin) yüksək keyfiyyətini təmin etmək məqsədi ilə müəssisədə proseslərin səmərəli qarşılılıqlı əlaqəsinin təşkilidir.

KMS-in inkişafının vacib məsələsi onun ümumi və xüsusi proseslərinin idarə edilməsinin maksimum avtomatlaşdırılmasıdır.

ISO 9001 beynəlxalq standartı KMS-in işlənməsi, mənimşənilməsi və fəaliyyət göstərməsi prosesini müəyyənləşdirir. Həmin standarta uyğun qurulan keyfiyyət menecmenti sistemləri tətbiq edilərkən onların sertifikatlaşdırılması həyata keçirilir. ISO 9001 standartına uyğunluğa serifikatlaşdırılan KMS-in olması məhsulların insanın həyatı və sağlamlığı üçün təhlükəsizliyini təsdiq edir. Beləliklə, KMS-in sertifikatlaşdırılması məhsulun müəyyən standartların tələblərinə uyğunluğunun təsdiqi formasıdır.

KMS xammalın alınmasından məhsulların son istehlakçıya çatdırılması mərhələsinə kimi onun bütün yaradılması prosesini əhatə edir. Bu qırılmayan zəncirin bütün mərhələlərdə məhsulun keyfiyyətinə təsir edə biləcək hər bir halqası KMS-in bir hissəsidir. [3]

Keyfiyyətin yüksəldilməsinin təcrübədə istifadə edilən metodlarına aşağıdakılardan aid edilə bilər:

- ISO 9004:2009 “Təşkilatın davamlı müvəffəqiyyətlərə nail olması üçün menecment – Keyfiyyət menecmenti əsasında yanaşma” [5];
- QFT – keyfiyyət funksiyasının genişləndirilməsi texnologiyası;
- Kaydzen – yapon yaxşılığa dəyişmələr sistemi;
- 0 qüsür – prosesə statistik nəzarətə əsaslanan konsepsiya;
- “6 Sigma” – qüsurları və meyillənmələri minimallaşdırmaq üçün istiqamətlənən konsepsiya;
- PDCA Deminq tsikli – proseslərin fasılısız yaxşılaşdırılması üçün geniş istifadə edilən model;
- keyfiyyət qrupları - təkmilləşdirməyə personalın cəlb edilməsinə əsaslanan qrup yanaşması;

- Taquti metodları – eksperimentin planlaşdırılması və keyfiyyətə nəzarətin statistik metodlarını, əməliyyatlarını əhatə edir;
- BPT – biznes-proseslərin reinjinirinqi;
- 5S (5 Step) – iş yerlərində müəyyən əməliyyatların yerinə yetirilməsi üçün optimal şəraitin yaradılmasına istiqamətlənən metod;
- 8D (EIGHT DISCIPLINE) – istehsal proseslərində aşağı keyfiyyət səviyyəsinin olma səbəblərinin aradan qaldırılmasına istiqamətlənən metodika. [2]

Keyfiyyət sahəsində məqsədlərdən çıxış edərək ilk növbədə potensial istehlakçını cəlb etmək, maraqlı tərəflərlə qarşılıqlı əlaqəni qurmaq üçün məhsulun zəruri olan keyfiyyət göstəriciləri, həmçinin qarşıya qoyulan məqsədlərə çatmaq üçün müvafiq proses və metodlar müəyyənləşdirilməlidir.

Mənsub olduğu fəaliyyət növündən və sahəsindən asılı olmayaraq, hər bir təşkilat KMS-in tətbiqindən aşağıdakılara nail olur:

- əsas biznes-proseslərə fasıləsiz nəzarət, bu da təşkilatın fəaliyyətinin səmərəliliyini yüksəltməyə şərait yaradır;
- təşkilatın fəaliyyətinin idarə edilməsi prosesinin yaxşılaşdırılması;
- qeyri-istehsal xərclərinin azaldılması;
- məhsulların və xidmətlərin keyfiyyətinin yüksəldilməsi;
- sifarişçinin tələblərinin etibarlı yerinə yetirilməsinə zəmanət;
- risklərin idarə edilməsinin yaxşılaşdırılması;
- yüksək rəqabətqabiliyyətlilik;
- idarəetmə sisteminin təkmilləşdirilməsi, bütün idarəçilik və icraçılıq səviyyələrində əməkdaşların işinin səmərəliliyinin yüksəldilməsi. [4]

ISO 9001-2015 standartında məcburi qaydada daimi yaxşılaşdırılmaya tələblər qoyulur. Bu, tətbiq edilən KMS-in mütəmadi təhlilini, aşkar olunan qüsurlar əsasında onun səmərəliliyinin yüksəldilməsini nəzərdə tutur. [7]

Məhsulların keyfiyyətinin, istehlakçıların məmənunluq dərəcəsinin yüksəldilməsinə yönəldilən KMS-in təkmilləşdirilməsi yüngül sənaye müəssisələrinin rəqabət qabiliyyətini yüksəltmək üçün mühüm əhəmiyyət daşıyır. Yüخارıda göstərilən metodlardan hətta bəzilərinin öz proseslərində tətbiqi, hər hansı bir təşkilatın fəaliyyətini əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırmağa imkan verər.

Hal-hazırda daha praktiki əhəmiyyətli olan nəzəri işləmələrdə təşkilatların fəaliyyətlərində dəyişiklikləri əhatəli şəkildə əks etdirən tədqiqat istiqamətləri ön planda durur. Bu, yeni texnologiyaların tətbiqi, riskli sərmayələr problemi, təsərüfatın yüksək səmərəli idarə edilməsi qaydaları, istehlakçı tələblərinin proqnozlaşdırılması, rəqiblərin davranışısı, idarəetməyə strateji yanaşmanın hakimliyi kimi məsələlərlə əlaqəlidir.

Fəaliyyətin nəticələrinin keyfiyyətinin və rəqabətqabiliyyətliliyinin müasir idarə edilməsi təşkilatda üç əsas strategiyaya sahib ola bilər:

- Təşkilatın yuxarı və orta menecment səviyyələrində menecment fəaliyyətinin keyfiyyətinin formallaşması strategiyası keyfiyyət menecmentinə sistemli yanaşma nəzərdə tutur. Bu zaman əvvəlcə təşkilatın idarəçilik fəaliyyətinin ümumi keyfiyyəti, sonra istehsal texnologiyasının keyfiyyəti əhəmiyyət daşıyır;
- Məhsul üçün KMS-də menecment keyfiyyətinin formallaşdırılması strategiyası keyfiyyət problemlərinin həllində vahid yanaşmaya əsaslanır. Əsası məhsulların keyfiyyətinə birbaşa təsir edən istehsal və menecment elementlərinin keyfiyyətinin prioritətidir;
- İstehsal texnologiyası səviyyəsində keyfiyyətin formallaşması strategiyasında (lokal yanaşma) diqqət istehsal üsuluna yönəlmüşdür.

Mövcud şəraitdə keyfiyyət anlayışı nöqtəyinəzərindən nəzəri ümumiləşdirmələr və istiqamətlərdən daha perspektivli olanlardan birini təşkilatın idarəetmə və fəaliyyət mexanizminin öyrənilməsi təşkil edir və keyfiyyətin ümumi idarə edilməsi prinsiplərinə və KMS üçün standartlara

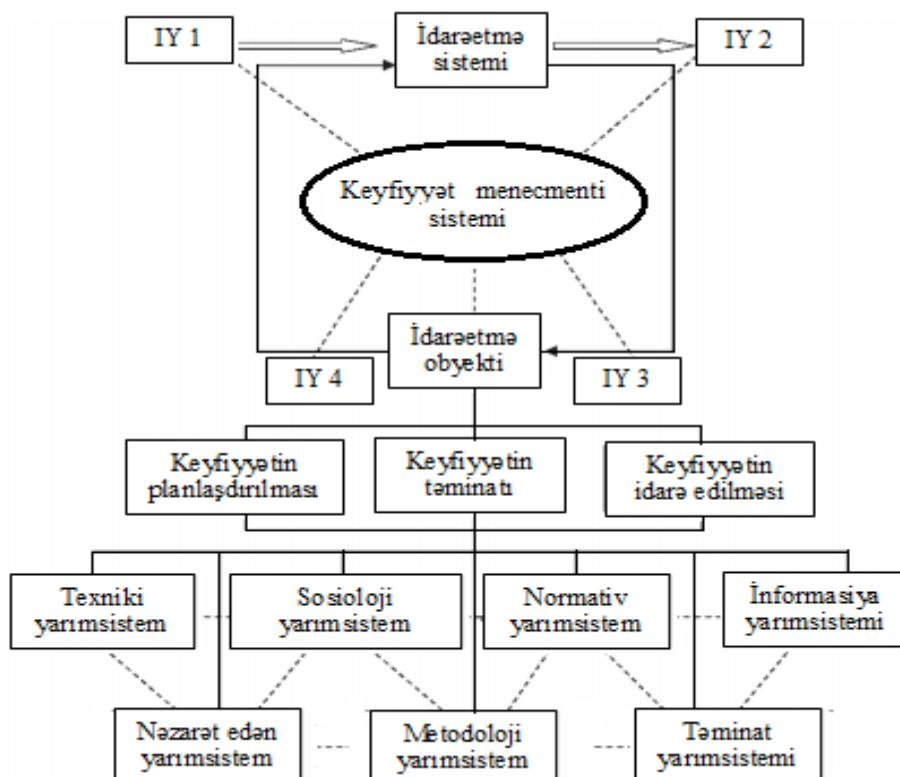
istiqamətlənmək tələb olunur. Bu onunla əlaqədardır ki, hazırkı bazar şəraitində müəssisələr, onların məhsulları yox, müəssisələrin keyfiyyət menecmenti sistemləri rəqabət aparır və belə rəqabət xüsusilə “tədarükçü-təşkilat” zəncirində daha kəskin xarakter daşıyır. Bu günün keyfiyyət fəlsəfəsini keyfiyyət üzərində təşkilatın idarə edilməsi təşkil edir. KMS nəzərən bəzi anlayışların təyinini nəzərdən keçirək [6]:

1. Sistem qarşılıqlı əlaqəli və qarşılıqlı təsirdə olan elementlərin məcmusudur.
2. Menecment sistemi siyasəti, məqsədləri müəyyənləşdirilmək və bu məqsədlərə çatmaq üçün sistemdir.
3. Keyfiyyət menecmenti sistemi – təşkilati keyfiyyətə nəzərən istiqamətləndirmək və idarə etmək üçün menecment sistemidir.
4. Keyfiyyət məxsusi xarakteristikaların tələblərə uyğunluq dərəcəsidir.
5. Tələb müəyyənləşdirilən (rəsmi formalaşdırılan) tələbatlar və gözləntilərdir. Bir qayda olaraq onlar könüllü və ya məcburi olur.
6. Keyfiyyət xarakteristikası məhsulun, prosesin və ya sistemin tələbə aidiyiyəti olan xarakteristikasıdır.

Əhatə miqyasına görə KMS -ə böyük sistem kimi baxıla bilər. Bu, qarşılıqlı əlaqədə və təsirdə olan böyük sayda elementlər kompleksidir. Onlar xüsusi vəhdətdə olmaqla mürəkkəb funksiyaların yerinə yetirilməsini təmin edir. [3]

Belə sistemə tam şəkildə KMS-ə uyğun gələn dörd keyfiyyət mənsubdur:

1. Hər bir böyük sistem qarşılıqlı əlaqəli elementlərin mürəkkəb kompleksidir. KMS çox sayıda yarımsistemlərin (elementlərin) və onların qarşılıqlı əlaqələrinin çoxluğudur (KMS çərçivəsində belə yarımsistemləri funksional əlamətə görə müəyyənləşdirmək olar (şəkil 1)).



*Şəkil 1. KMS-in funksional əlamətə görə ayrılan yarımsistemlərinin strukturu*

2. Hər bir böyük sistem xarici mühitlə vəhdət təşkil edir (KMS çərçivəsində xarici mühitlə daim informasiya və material mübadiləsi həyata keçirilir).

3. Hər bir böyük sistem daha yüksək səviyyə sisteminin yarımsistemini (elementini) təşkil edir (KMS -ə təşkilatın ümumi menecmentinin tərkib hissəsi kimi baxıla bilər).

4. Böyük sistemin yarımsistemləri (elementləri) aşağı səviyyə sistemlərini (yarımsistemlərini) təşkil edir (KMS-in bütün yarımsistemlərinə təşkilat çərçivəsində bir vəhdət şəklində fəaliyyət göstərən və qarşılıqlı təsirdə olan müəyyən əlamətlərə malik yarımsistemlər kimi baxıla bilər, təşkilata isə daha yüksək səviyyəli sistem kimi baxıla bilər).

İdarəetmə obyekti kimi məhsulların, proseslərin və sistemlərin onlara xas olan bütün müxtəlifliklər və təsirlər nəzərə alınmaqla keyfiyyəti qəbul edilir. KMS üç əsas məsələni həll etməlidir: keyfiyyətin planlaşdırılması, keyfiyyətin təmin edilməsi və keyfiyyətin idarə edilməsi. Məhsulun keyfiyyətinin planlaşdırılması baxılan halda, yaxud verilmiş vaxt intervalı ərzində keyfiyyət göstəricilərinin tələb olunan qiymətləri ilə məhsulun buraxılışı üzrə əsaslandırılmış tapşırıqların işlənib hazırlanması və müvafiq qaydalarla qəbul edilməsi prosesidir.

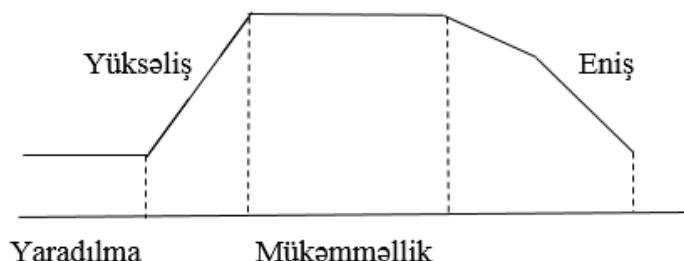
Məhsulun keyfiyyətinin planlaşdırılmasının məqsədi müəyyən edilmiş norma və parametrlərə uyğun keyfiyyətin təmin olunmasından və keyfiyyət göstəricilərinin yaxşılaşdırılması üzrə istiqamətlərin aşkarılmasından (müəyyən edilməsindən) ibarətdir. [1]

Keyfiyyətin təminatı dedikdə keyfiyyət səviyyəsinə nəzarət də, keyfiyyətin idarə edilməsi dedikdə isə məqsədlərin qoyuluşu və keyfiyyəti yaxşılaşdırmaq üçün yanaşmaların işlənməsi də nəzərdə tutulur.

KMS üçün qüvvədə olan standartlar, o cümlədən ISO 9000 seriyali standartlar menecment sisteminin daha rasional layihələndirilməsi və tətbiqi üçün hazır model və tələbləri təqdim edir. Lakin aşağıdakı məsələlərin həlli təşkilatların üzərinə düşür:

- həmin sistemlərin harmonik işini təmin etmək;
- KMS-in təkamül dəyişmələrinin vacibliyini müəyyən etmək;
- sistemdə zəruri olan və kifayət edən qarşılıqlı əlaqələri qiymətləndirmək, sistemin elementlərinin və yarımsistemlərinin xüsusiyyətlərini, mürəkkəb asılılıqlarını müəyyənləşdirmək;
- sistemdə müxtəlif məntiqi səviyyələri fərqləndirmək və ayırmak.

Hər bir idarəetmə sistemi kimi KMS fəaliyyətin və təkamülün özünəməxsus həyat tsiklinə malikdir (şəkil 2).



*Şəkil 2. Keyfiyyət menecmenti sisteminin həyat tsikli*

Yuxarıda göstərilən xüsusiyyətli sistemin maksimum səmərəliliyini təmin etmək məqsədilə KMS-in həyat tsiklinin mərhələlərini, onun elementlərinin tamlığını izləmək üçün KMS-in daha adekvat modelinin yaradılması, KMS-in fəaliyyət konsepsiyasının və qiymətləndirmə kriterlərinin müəyyənləşdirilməsi, işlənməsi əsas və mürəkkəb məsələ kimi qarşıya qoyulur. Bu, KMS yarımsistemlərində zəruri dəyişiklikləri vaxtında etməyə və sistemin bütövlüyünü qoruyub-saxlanmağa imkan verir.

## ƏDƏBİYYAT

1. Seydaliyev I.M. Planning and forecasting of quality management // 37<sup>th</sup> International Scientific Conference on Economic and Social Development "Socio Economic Problems of Sustainable Development". UNEC. 14-15 February. Baku, Azerbaijan, 2019, pp.566-571

2. Коваленко Л.В., Шатко Д.Б. Практика совершенствования системы менеджмента качества университета // Экономика и управление инновациями, № 2 (5). 2018, с. 77-87
3. Тебекин А.В. Управление качеством. М.: Юрайт, 2018, 371 с.
4. Фидельман Г.Н. Альтернативный менеджмент: Путь к глобальной конкурентоспособности. М.: Альпина Бизнес Букс, 2016, 186 с.
5. ISO 9004-2009. Управление с целью достижения устойчивого успеха организации - Подход с точки зрения менеджмента качества.
6. ISO 9000:2015 Quality management systems - Fundamentals and vocabulary
7. ISO 9001:2015 Quality management systems – Requirements
8. Aliyeva, A. S. The synthesis method of fuzzy regulators for dynamic objects with uncertainty / A. S. Aliyeva // Sumgayit State University. Scientific news. Series for natural and technology sciences. Sumqayit: SSU. – 2019. – Vol. 19. – No 4. – pp. 78-85;  
<https://elibrary.ru/item.asp?id=43167233>

**РЕЗЮМЕ**  
**ПРИВЕДЕНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В СООТВЕТСТВИЕ  
СО СТРАТЕГИЧЕСКИМИ ЦЕЛЯМИ ПРЕДПРИЯТИЯ**  
*Сейдалиев И.М.*

**Ключевые слова:** система менеджмента качества, конкуренция, политика в области качества, стандарты ISO, процесс, применение, цель, контроль качества

В статье показано, что применение и совершенствование системы менеджмента качества обусловлены изменчивостью потребностей рынков. Завоевание лидерских позиций на рынках сбыта принимаются как стратегические цели ведущими предприятиями легкой промышленности. Здесь исследуются особенности и вопросы, связанные с применением систем менеджмента качества, служащие для реализации этих целей. В статье указывается, что на современных рынках конкуренция между предприятиями в конечном итоге ведется между соответствующими системами менеджмента качества.

Система менеджмента качества может рассматриваться как составная часть общего менеджмента предприятия с особенностями, свойственными большим системам. Система менеджмента качества в свою очередь является совокупностью подсистем и элементов, взаимодействующих между собой и функционирующих в единстве.

**SUMMARY**  
**BRINGING THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM IN LINE WITH  
THE STRATEGIC OBJECTIVES OF THE ENTERPRISE**  
*Seydaliyev I.M.*

**Key words:** quality management system, competition, quality policy, ISO standards, process, application, purpose, quality control

The article shows that the application and improvement of the quality management systems is conditioned by the variability of market requirements. Gaining leadership positions in sales markets are accepted as strategic goals by leading enterprises in the light industry. It examines the features and issues associated with the application of quality management systems that serve to achieve these goals. The article points out that in the current market conditions, quality management systems of enterprises compete. They can be considered as an integral part of the overall management of the enterprise with the characteristics inherent in large systems. The quality management system is a set of subsystems and elements that interact with each other and function in unity

## QEYRİ-MÜƏYYƏN MÜHİTDƏ NEFT MƏHSULLARININ SIXLİĞİNİN TƏYİN EDİLMƏSİNİN PROQRAM TƏMİNATININ REALİZASIYASI

**ALLAHVERDİYEVA KÖNÜL ƏSVƏR qızı**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, baş müəllim*

*[konul636@mail.ru](mailto:konul636@mail.ru)*

*Açar sözlər: neft məhsulunun sixlığı, produksiyalar qaydası, fuzzifikasiya, trapesiya şəkilli, qeyri-səlis interval*

Qeyri-müəyyən mühitdə neft məhsullarının sixlığının təyin edilməsini təmin etmək üçün məhsulun saxlanıldığı rezervuarlarda müxtəlif proseslərin təsvirini və dürüstləşdirilməsini təmin edən riyazi modellərin işlənməsini zəruri edir. Bu baxımdan eksperimental verilənlərin modelləşdirmə mühitində istifadəsinin effektivliyini təmin etmək məqsədi ilə yeni tip təcrübə verilənlərin toplanması, onların emprik və ekspert modellərlə analizi, dəqiqləşdirilməsi və alınması aktual elmi texniki məsələdir. [1]

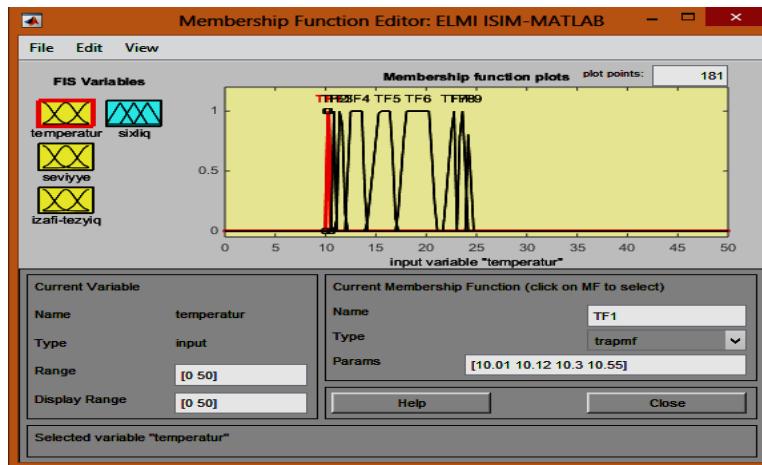
Təqdim olunan işdə qeyri-müəyyən mühitdə neft məhsullarının sixlığının təyin edilməsinin proqram təminatının realizasiyasına baxılır. Qeyri-müəyyən mühitdə neft məhsullarının sixlığının təyin edilməsinin modelləşdirilməsinin instrumental və proqram vasitələri **MATLAB mühitində Fuzzy Logic Toolbox** genişləndirilmiş proqram paketinin istifadəsi ilə reallaşdırılmışdır. Neft məhsullarının qeyri-müəyyən mühitdə sixlığının təyin edilməsi üçün formalasdırılan qeyri-səlis produksiyalar qaydasında istifadə olunan giriş linqvistik dəyişənlər aşağıdakılardır: «neft məhsulunun temperaturu», «neft məhsulunun izafə təzyiqi», «neft məhsulunun səviyyəsinin hündürlüyü».

Neft məhsulunun sixlığının təyin edilməsinin çıkış linqvistik dəyişəni olaraq «neft məhsulunun sixlığı» götürülmüşdür. Giriş və çıkış linqvistik dəyişənlərin fuzzifikasiyası üçün trapesiya şəkilli qeyri-səlis interval mənsubluq funksiyası seçilmişdir. **MATLAB mühitində** «neft məhsulunun temperaturu», «neft məhsulunun izafə təzyiqi», «neft məhsulunun səviyyəsinin hündürlüyü» giriş linqvistik dəyişənlərinin fuzzifikasiyası reallaşdırılmış (cədvəl 1-3), mənsubluq funksiyalarının qrafik təsvirləri isə şəkil 1-3-də verilmişdir. Çıxış linqvistik dəyişəni - «neft məhsulunun sixlığı»nın aktivləşməsi və fuzzifikasiyasının nəticəsi cədvəl 4-də, mənsubluq funksiyasının qrafik təsviri isə şəkil 4-də verilmişdir. [2]

**Cədvəl 1.**

*Neft məhsulunun temperaturu giriş linqvistik dəyişəninin fuzzifikasiyasının nəticələri*

<b>Termələr</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>x</b>
<i>TF1</i>	10.01	10.12	10.30	10.55	10.245
<i>TF2</i>	10.57	10.68	10.91	11.00	10.525
<i>TF3</i>	11.09	11.30	11.62	12.00	11.502
<i>TF4</i>	12.00	12.43	13.67	14.00	13.025
<i>TF5</i>	14.07	15.30	16.48	17.00	15.712
<i>TF6</i>	17.08	17.98	18.30	21.00	18.59
<i>TF7</i>	21.70	22.67	22.92	23.00	22.572
<i>TF8</i>	23.09	23.40	23.79	24.00	23.57
<i>TF9</i>	24.07	24.19	24.37	24.50	24.282

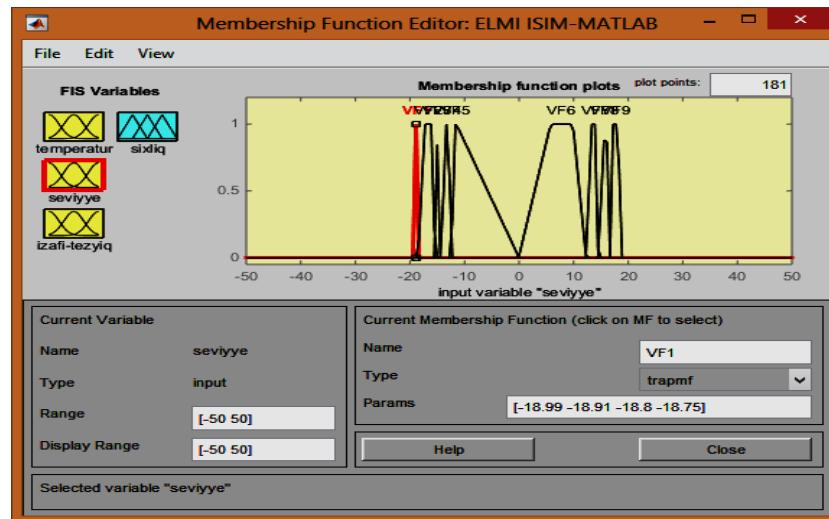


*Şəkil 1. Neft məhsulunun temperaturu giriş linqvistik dəyişənin mənsubluq funksiyasının qrafik təsviri*

*Cədvəl 2.*

*Neft məhsulunun səviyyəsinin hündürlüyü giriş linqvistik dəyişənin fuzzifikasiyasının nəticələri*

Termlər	a	b	c	d	x
VF1	-18.99	-18.91	-18.80	-18.75	-18.862
VF2	-18.5	-17.3	-16.1	-15.40	-16.825
VF3	-15.3	-15.2	-15.1	-14.45	-15.012
VF4	-14.2	-13.5	-13.1	-12.25	-13.262
VF5	-12.27	-12.1	-11.5	0.00	-8.967
VF6	0.09	5.79	9.87	12.28	7.000
VF7	12.30	13.29	14.07	14.47	13.532
VF8	14.50	15.70	16.03	16.65	15.72
VF9	16.67	17.05	18.09	18.83	17.66

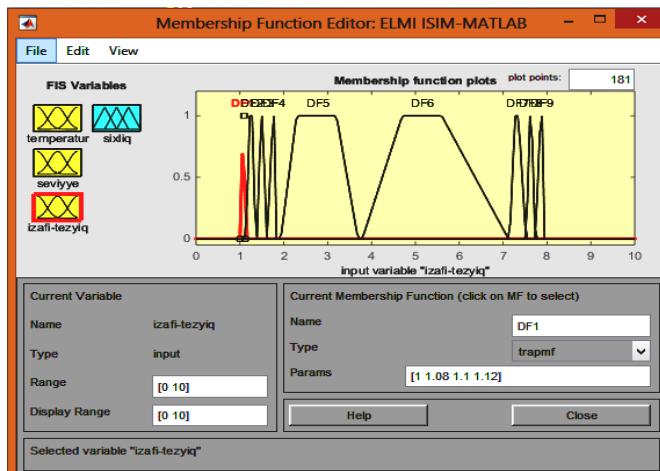


*Şəkil 2. Neft məhsulunun səviyyəsinin hündürlüyü giriş linqvistik dəyişənin mənsubluq funksiyasının qrafik təsviri*

**Cədvəl 3.**

*Neft məhsulunun izafî təzyiqi giriş linqvistik dəyişəninin fuzzifikasiyasının nəticələri*

<b>Termər</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>x</b>
DF1	1.00	1.08	1.10	1.12	1.075
DF2	1.15	1.20	1.29	1.35	1.142
DF3	1.40	1.47	1.53	1.59	1.497
DF4	1.62	1.75	1.79	1.82	1.745
DF5	1.93	2.29	3.20	3.69	2.777
DF6	3.79	4.70	5.60	7.12	5.302
DF7	7.15	7.27	7.35	7.52	7.322
DF8	7.54	7.59	7.65	7.73	7.627
DF9	7.74	7.85	7.89	7.92	7.85

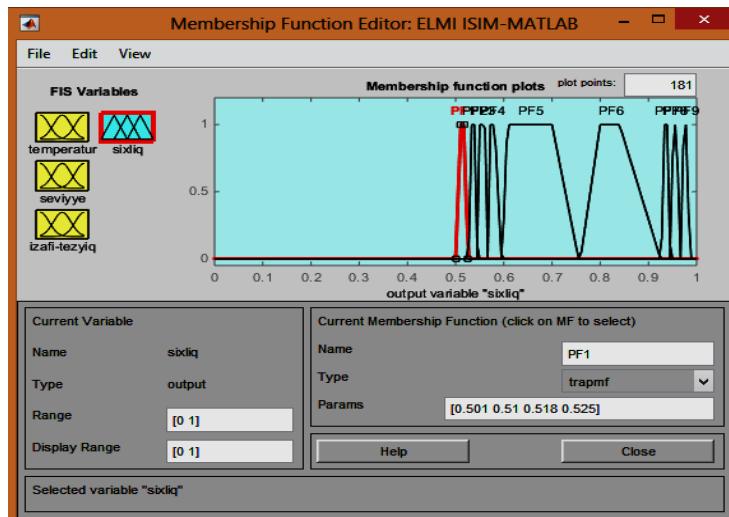


**Şəkil 3.** Neft məhsulunun izafî təzyiqi giriş linqvistik dəyişəninin mənsubluq funksiyasının qrafik təsviri

**Cədvəl 4.**

*Neft məhsulunun sıxlığı çıxış linqvistik dəyişəninin aktivləşməsi və fuzzifikasiyasının nəticələri*

<b>Termər</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>x</b>
PF1	0.501	0.510	0.518	0.525	0.513
PF2	0.527	0.533	0.540	0.545	0.536
PF3	0.547	0.550	0.561	0.565	0.555
PF4	0.567	0.570	0.581	0.595	0.578
PF5	0.597	0.607	0.700	0.755	0.664
PF6	0.759	0.800	0.840	0.925	0.831
PF7	0.927	0.932	0.940	0.945	0.936
PF8	0.947	0.951	0.959	0.965	0.955
PF9	0.968	0.973	0.980	0.985	0.976



*Şəkil 4. Neft məhsulunun sixlığı çıxış linqvistik dəyişənin mənsubluq funksiyasının qrafik təsviri*

Giriş və çıkış linqvistik dəyişənlərinin fuzzifikasiyasının nöticələrinə əsasən neft məhsulunun sixlığının təyin edilməsi üçün yaradılmış qeyri-səlis produksiylar bazası aşağıdakı qaydalardan ibarətdir [3].

**Qayda 1. OGƏR** neft məhsullarının temperaturu yol verilə bilən həddə uyğundursa (**10.01, 10.12, 10.30, 10.55**) **VƏ** neft məhsullarının səviyyəsi sıfır, sıfıra yaxındırsa, normal hala yaxındırsa (-**18.99, -18.91, -18.80, -18.75**), **VƏ** neft məhsullarının izafî təzyiqi normal hala uyğun gəlirsə, normal hala yaxındırsa (**1.00, 1.08, 1.10, 1.12**), **ONDA** neft məhsullarının sixlığını normal hesab edirlər (**0.501, 0.510, 0.518, 0.525**).

**Qayda 2. OGƏR** neft məhsullarının temperaturu yol verilə bilən həddən bir qədər aşağırsa (**10.57, 10.68, 10.91, 11.00**) **VƏ** neft məhsullarının səviyyəsi mənfidirsə, sıfıra yaxındırsa (-**18.5, -17.3, -16.1, -15.40**), **VƏ** neft məhsullarının izafî təzyiqi mənfidirsə, normal hala yaxındırsa (**1.15, 1.20, 1.29, 1.35**), **ONDA** neft məhsullarının sixlığı normal hesab olunur (**0.527, 0.533, 0.540, 0.545**).

**QAYDA 3. OGƏR** neft məhsullarının temperaturu yol verilə bilən həddən bir qədər yüksəkdirsə (**11.09, 11.30, 11.62, 12.00**) **VƏ** neft məhsullarının səviyyəsi müsbətdirsə, sıfıra yaxındırsa (-**15.3, -15.2, -15.1, -14.45**), **VƏ** neft məhsullarının izafî təzyiqi müsbətdirsə, normal hala yaxındırsa (**1.40, 1.47, 1.53, 1.59**), **ONDA** neft məhsullarının sixliğini normal hesab olunur (**0.547, 0.550, 0.561, 0.565**).

**QAYDA 4. OGƏR** neft məhsullarının temperaturu yol verilə bilən həddən aşağırsa (**12.00, 12.43, 13.67, 14.00**) **VƏ** neft məhsullarının səviyyəsi mənfi kiçikdir (**-14.2, -13.5, -13.1, -12.25**), **VƏ** neft məhsullarının izafî təzyiqi mənfi kiçikdir (**1.62, 1.75, 1.79, 1.82**), **ONDA** neft məhsullarının sixlığı nəzarət sisteminə daxil edilir (**0.567, 0.570, 0.581, 0.595**).

**QAYDA 5. OGƏR** neft məhsullarının temperaturu yol verilə bilən həddən yüksəkdirsə (**14.07, 15.30, 16.48, 17.00**) **VƏ** neft məhsullarının səviyyəsi müsbət kiçikdir (**-12.27, -12.1, -11.5, 0.00**), **VƏ** neft məhsullarının izafî təzyiqi müsbət kiçikdir (**1.93, 2.29, 3.20, 3.69**), **ONDA** neft məhsullarının sixlığı nəzarət sisteminə daxil edilir (**0.597, 0.607, 0.700, 0.755**).

**QAYDA 6. OGƏR** neft məhsullarının temperaturu yol verilə bilən həddən yüksəkdirsə (**17.08, 17.98, 18.30, 21.00**) **VƏ** neft məhsullarının səviyyəsi mənfi orta səviyyədədir (**0.09, 5.79, 9.87, 12.28**), **VƏ** neft məhsullarının izafî təzyiqi mənfi orta səviyyədədir (**3.79, 4.70, 5.60, 7.12**),

**ONDA** neft məhsullarının sixlığı geniş yol verilə bilən hədd aralığına daxil edilmir (**0.759, 0.800, 0.840, 0.925**).

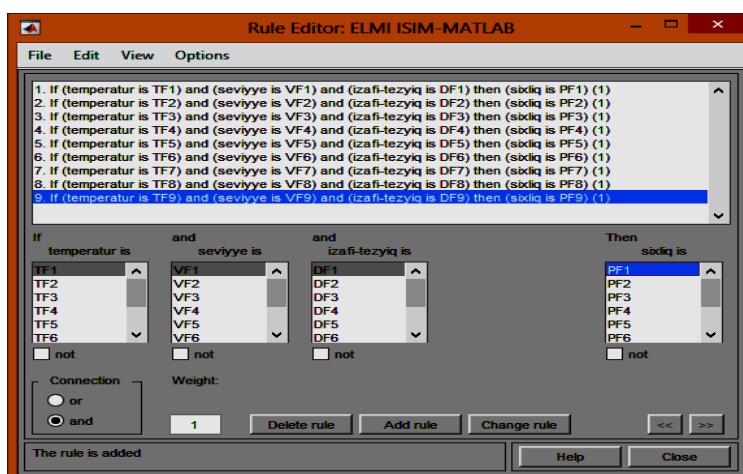
**QAYDA 7. OGƏR** neft məhsullarının temperaturu yol verilə bilən həddən yüksəkdirsə (**21.70, 22.67, 22.92, 23.00**) **VƏ** neft məhsullarının səviyyəsi müsbət orta,

(12.30, 13.29, 14.07, 19.47) VƏ neft məhsullarının izafî təzyiqi müsbət orta səviyyədədirsa, (7.15, 7.27, 7.35, 7.52) ONDA neft məhsullarının sıxlığı geniş yol verilə bilən hədd aralığına daxil edilmir (0.927, 0.932, 0.940, 0.945).

**QAYDA 8. OGƏR** neft məhsullarının temperaturu əhəmiyyətli dərəcədə aşağıdırsa (23.09, 23.40, 23.79, 24.00) VƏ neft məhsullarının səviyyəsi mənfi böyükdürsə, (14.50, 15.70, 16.03, 16.65) VƏ neft məhsullarının izafî təzyiqi mənfi böyükdürsə, (7.54, 7.59, 7.65, 7.73) ONDA neft məhsullarının sıxlığı nəzarət sisteminə daxil edilmir (0.947, 0.951, 0.959, 0.965).

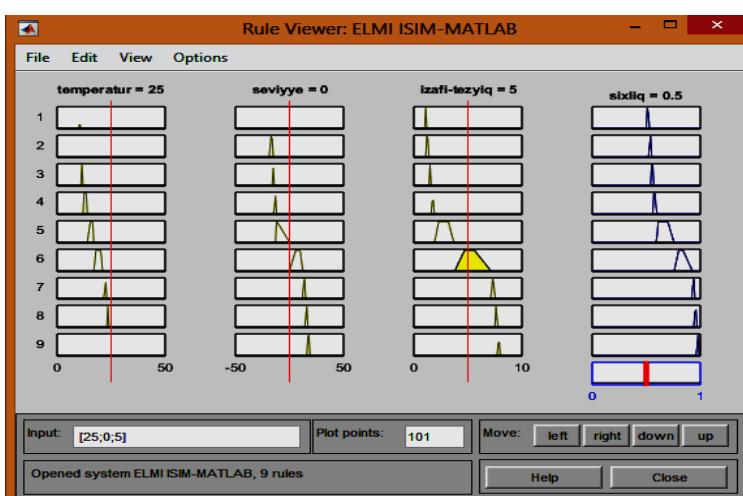
**QAYDA 9. OGƏR** neft məhsullarının temperaturu ol verilə bilən həddən yüksəkdirsə (24.07, 24.19, 24.37, 24.50) VƏ neft məhsullarının səviyyəsi müsbət böyükdürsə (16.67, 17.05, 18.09, 18.83), VƏ neft məhsullarının izafî təzyiqi müsbətdirsə (7.74, 7.85, 7.89, 7.92), ONDA neft məhsullarının sıxlığı nəzarət sisteminə daxil edilmir (0.968, 0.973, 0.980, 0.985).

Giriş və çıxış linqvistik dəyişənlərə uyğun termlər çoxluğunun elementlərinin qısaltılmış işarələrlə MATLAB mühitində generasiyası şəkil 5-də verilmişdir.



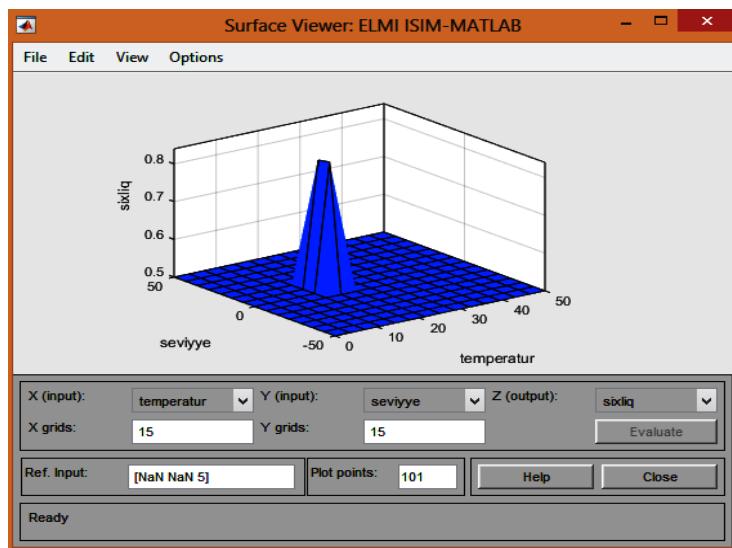
*Şəkil 5. Termlər çoxluğunun elementlərinin qısaltılmış identifikasiatorlarla generasiyası*

Qeyri-səlis produksiyalar bazasında termlər çoxluğunun elementlərinin generasiyasının reallaşdırılmasından sonra hər bir qaydanın icra olunmasının nəticələri şəkil 6-da verilmişdir.



*Şəkil 6. Qeyri-səlis produksiyalar bazasında qaydalara uyğun nəticələrin qrafik təsviri*

Neft məhsullarının sıxlığının təyin edilməsinin qeyri-səlis produksiyalar qaydaları bazasına min-aktivləşmə metodunun tətbiqindən sonra, nəticədə alınan qaydalar mənsubluq funksiyası şəkil 7-də verilmiş qeyri-səlis çoxluğu formalaşdırır.



*Şəkil 7. Neft məhsullarının sixlığı linqvistik dəyişəninin məntiqi nəticə çıxarma qrafik təsviri*

Çıxış linqvistik dəyişəninin defazzifikasiyası nəticəsində onun ədədi qiymətləri tapılmışdır.

### ƏDƏBİYYAT

- Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005, 717 с.
- Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель. М.: ДМК Пресс, 2012, 768 с.
- Мустафаев В.А., Салманова М.Н. Сетевая модель обрабатывающего центра в производственной системе механообработки // Сумгaitский государственный университет. Научные известия. Серия: Естественные и технические науки. Сумгайт: СГУ, 2018, т.18, №4. с.65-69, <https://www.ssu-scientificnews.edu.az/pdf/T18-4.pdf>
- Allahverdiyeva, K.Ə. Neft məhsullannm cari sixığının avtomatlaşdırılmış hesablanması alqoritmi / K. Ə. Q. Allahverdiyeva // Sumqayıt Dövlət Universiteti. Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi. c.21, № 2. Sumqayıt: SDU, 2021, s. 69-74; <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46287066>

### РЕЗЮМЕ

**РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ  
НЕФТЕПРОДУКТОВ В НЕОПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЕ**  
*Аллахвердиева К.А.*

**Ключевые слова:** плотность нефтепродукта, производственные правила, фазификация, трапециевидный, нечеткий интервал.

Для обеспечения определения плотности нефтепродуктов в неопределенной среде необходима разработка математических моделей, обеспечивающих описание и детализацию различных процессов в пластах, в которых хранится продукт. В связи с этим актуальным научно-техническим вопросом является сбор экспериментальных данных нового типа, их анализ с использованием эмпирических и экспертных моделей, их уточнение и получение с целью обеспечения эффективности использования экспериментальных данных в среде моделирования.

В представленной работе рассмотрена реализация программного обеспечения определения плотности нефтепродуктов в неопределенной среде. Инstrumentальные и программные средства моделирования определения плотности нефтепродуктов в неопределенной среде реализованы в среде MATLAB с использованием расширенного программного пакета Fuzzy Logic Toolbox.

**SUMMARY**

**IMPLEMENTATION OF SOFTWARE FOR DETERMINING THE DENSITY  
OF PETROLEUM PRODUCTS IN AN UNCERTAIN ENVIRONMENT**  
*Allahverdiyeva K.A.*

**Key words:** *oil product density, production rule, fuzzification, trapezoidal, fuzzy interval.*

To ensure the determination of the density of petroleum products in an uncertain environment, it is necessary to develop mathematical models that provide a description and detail of various processes in the layers in which the product is stored. In this regard, an urgent scientific and technical issue is the collection of experimental data of a new type, their analysis using empirical and expert models, their refinement and obtaining in order to ensure the effectiveness of the use of experimental data in the modeling environment.

In the present paper, the implementation of software for determining the density of petroleum products in an uncertain environment is considered. Instrumental and software modeling tools for determining the density of petroleum products in an uncertain environment are implemented in the MATLAB environment using the extended Fuzzy Logic Toolbox software package

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	23.04.2021
	Son variant	28.05.2021

## FUZZY OUTPUT CONTROL OF THE MOVEMENT OF THE CASSETTE CONVEYOR IN THE PRODUCTION OF MECHANICAL PROCESSING

ZEYNALABDIYEVA IRADA SAMAD

Sumgayıt State University, dissertation student

[irada0907@mail.ru](mailto:irada0907@mail.ru)

**Key words:** fuzzy inference, production rules, fuzzification, cassette conveyor, membership function

Fuzzy inference occupies a major place in fuzzy logic and fuzzy control systems. The process of fuzzy inference is a certain procedure or algorithm for obtaining fuzzy conclusions based on fuzzy conditions or prerequisites using the tools of the fuzzy logic apparatus. This process combines all the basic concepts of fuzzy set theory: membership functions, linguistic variables, fuzzy logical operations, methods of fuzzy implication and fuzzy composition. Fuzzy inference systems are designed to implement the fuzzy inference process and serve as a conceptual basis for fuzzy logic.

The main feature of fuzzy rules used in fuzzy inference systems, the conditions and conclusions of individual fuzzy rules are formulated in the form of all kinds of fuzzy statements regarding the values of certain linguistic variables. The inference mechanism or algorithm is the next important part of the basic architecture of fuzzy inference systems. The information that enters the input of the fuzzy output system is the measured input variables. These variables correspond to the real variables of the control process. The information that is generated at the output of the fuzzy output system corresponds to the output variables, which are the control variables of the control process.

The rule base of fuzzy inference systems is intended for the formal presentation of empirical knowledge or the knowledge of experts in various problem areas. In systems of fuzzy inference, the rules of fuzzy productions are used, in which the conditions and conclusions are formed in terms of fuzzy linguistic statements of the following type[1-3]:

RULE "#":

IF  $A_1$  there is  $\alpha_1$ , AND  $A_2$  there is  $\alpha_2$ , AND  $A_{n-1}$  there is  $\alpha_{n-1}$ , THAT  $A_n$  there is  $\alpha_n$ ;

$A_1, A_2, \dots, A_n$  - the names of the linguistic variable;  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_{n-1}, \dots, \alpha_n$  - their values, which correspond to individual linguistic terms from the base term-the set of individual linguistic variables.

The input and output linguistic variables are considered to be given if the basic term sets with the corresponding membership functions of each term are defined for them [2]. In this case, trapezoidal membership functions are used as membership functions of terms.

The purpose of fuzzification is to establish correspondences between the specific value of the variable of the fuzzy inference system and the value of the membership function of the corresponding term of the input linguistic variable [3]. After completing this procedure, specific values of membership functions for each of the linguistic terms that are used under the conditions of the fuzzy inference system rule base should be determined for all input variables.

The fuzzification procedure is performed as follows: before the start of this process, the specific values of all input variables must be known, i.e. the set of values  $V = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$  where each  $a_i \in X_i$

Next, we consider each of the sub-conditions of the form "  $A_i$  is  $\alpha$  " of the fuzzy inference system, where a certain term with a known membership function  $\mu(x)$ , thereby the quantitative value of these values is  $b_i = \mu(\alpha_i)$ . the result of fuzzification under the conditions "  $A_i$  is  $\alpha$  ".

The fuzzification procedure ends when all the values for each  $b_i = \mu(\alpha_i)$  of the sub-conditions of all the rules included in the considered rule base of the fuzzy inference system are found. For fuzzification of input variables, the trapezoidal membership function, which is given by the following expressions [4]:

$$f(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{if } a \leq x \leq b; \\ 1, & \text{if } b \leq x \leq c; \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{if } c \leq x \leq d; \\ 0, & \text{if } a \leq d \leq x; \end{cases}$$

where  $a, b, c, d$  are some arbitrary real numbers satisfying the condition  $a \leq b \leq c \leq d$ .

As a result of fuzzification of input and output linguistic variables, the base of fuzzy products for controlling the movement of the cassette conveyor in the production of mechanical processing consists of the following rules [5]:

- Rule 1: IF the load factor of the input drive processing device is zero; close to zero [ 1, 1.2 , 0.20, 0.20,], And the speed of movement of the cassette conveyor is minimal [3, 3, 5, 10] , THEN turn the valve of the controller of the pneumatic motor of the cassette conveyor to the large coal to the right [5, 5, 74, 80];
- Rule 2: IF the load factor of the input drive processing device is zero, close to zero [0.20, 0.20, 1.3, 1.5], And the speed of the cassette conveyor is average [3, 3, 11, 16], THEN turn the valve of the controller of the pneumatic motor of the cassette conveyor to the large coal to the right [5, 5, 70, 76];
- Rule 3: IF the load factor of the input drive processing device is zero, close to zero [0.20, 0.20, 1.6,1.8], And the maximum speed of the cassette conveyor is [3,3, 17, 22], THEN turn the valve of the controller of the pneumatic motor of the cassette conveyor by a small angle to the right [5, 5, 65,71];
- Rule 4: IF the load factor of the input drive of the processing device is negatively close to normal [0.20, 0.20, 1.9 2.1], and the speed of the cassette conveyor is minimal [3, 3, 17, 22], THEN turn the valve of the controller of the pneumatic motor of the cassette conveyor on a small coal to the right [5,5,35,41];
- Rule 5: IF the load factor of the input drive processing device is negatively close to normal [0.2, 0.2, 2.0 ,2.4], And the speed of the cassette conveyor is average [3, 3, 29, 34], THEN leave the valve of the controller of the pneumatic motor of the cassette conveyor unchanged [5, 5, 38, 43];
- Rule 6: IF the load factor of the input drive processing device is negatively close to normal [0.20, 0.20, 2.5, 2.7], And the maximum speed of movement of the cassette conveyor [3, 3, 35, 41], THEN turn the valve of the controller of the pneumatic motor of the cassette conveyor on a small coal to the left [5,5,42,45 ];
- Rule 7: IF the load factor of the input drive processing device is positively close to normal [0.20, 0.20, 2.8, 3.0], And the speed of movement of the cassette conveyor is minimal [3, 3, 42,46], THEN turn the valve of the controller of the pneumatic motor of the cassette conveyor by a small angle to the left [5, 5, 30, 34] ;
- Rule 8: IF the load factor of the input drive processing device is positively close to normal [0.20,

0.20, 3.1, 3.4] , And the speed of the cassette conveyor is average [3, 3, 48, 55], THEN turn the valve of the controller of the pneumatic motor of the cassette conveyor to the large coal to the left [5, 5, 25, 31];

Rule 9: IF the load factor of the input drive processing device is positively close to normal [0.20, 0.20, 3.5, 3.7], And the maximum speed of movement of the cassette conveyor [3, 3, 50, 56], THEN turn the valve of the regulator of the pneumatic motor of the cassette conveyor to the large coal to the left [5, 5, 20, 24].

**Table 1.**

*Load factor of the input drive processing device*

	a	b	c	d
FD 1	1.0	1.2	0,20	0,20
FD 2	1.3	1.5	0,20	0,20
FD 3	1.6	1.8	0,20	0,20
FD 4	1.9	2.1	0,20	0,20
FD 5	2.0	2.4	0,20	0,20
FD 6	2.5	2.7	0,20	0,20
FD 7	2.8	3.0	0,20	0,20
FD 8	3.1	3.4	0,20	0,20
FD 9	3.5	3.7	0,20	0,20

**Table 2.**

*The speed of movement of the cassette conveyor*

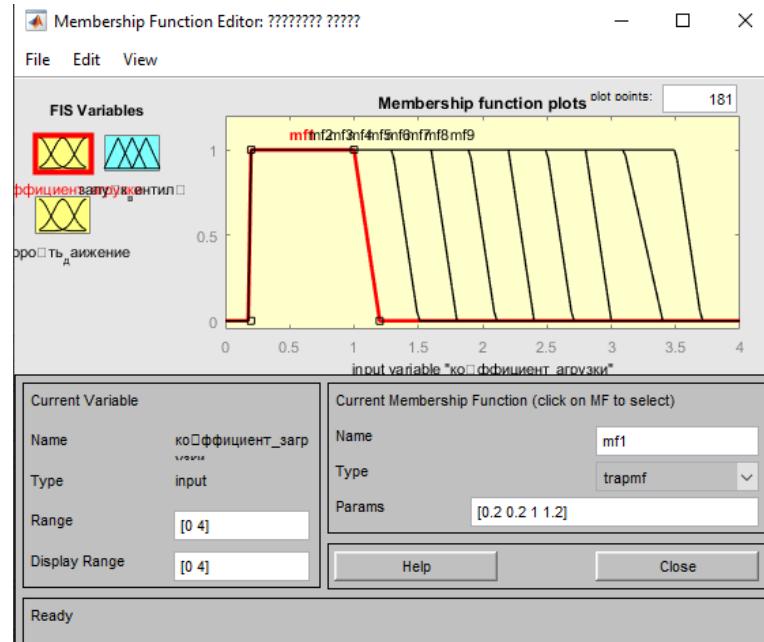
	a	b	c	d
SM 1	5.0	10.0	3.0	3.0
SM 2	11.0	16.0	3.0	3.0
SM 3	17.0	22.0	3.0	3.0
SM 4	23.0	28.0	3.0	3.0
SM 5	29.0	34.0	3.0	3.0
SM 6	35.0	41.0	3.0	3.0
SM 7	42.0	46.0	3.0	3.0
SM 8	48.0	55.0	3.0	3.0
SM 9	50.0	56.0	3.0	3.0

**Table 3.**

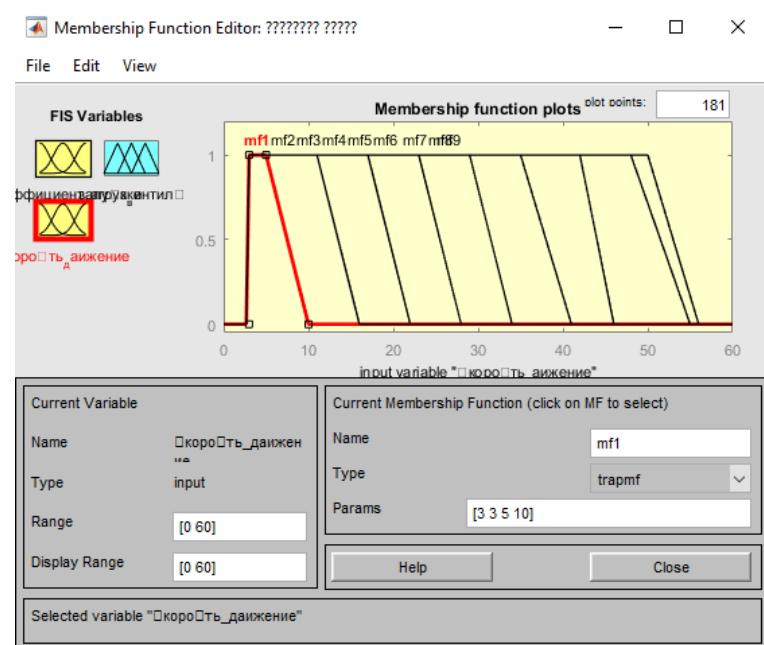
*Starting the valve of the controller of the pneumatic motor of the cassette conveyor*

	a	b	c	d
SV 1	74.0	80.0	5.0	5.0
SV 2	70.0	76.0	5.0	5.0
SV 3	65.0	71.0	5.0	5.0
SV 4	35.0	41.0	5.0	5.0
SV 5	38.0	43.0	5.0	5.0
SV 6	42.0	45.0	5.0	5.0
SV 7	30.0	34.0	5.0	5.0
SV 8	25.0	31.0	5.0	5.0
SV 9	20.0	24.0	5.0	5.0

The result of fuzzification of the input linguistic variables "load factor of the input storage of the processing device" and "speed of movement of the cassette conveyor" is shown in Fig. 1-2.



**Fig. 1.** Graphs of the load factor functions of the input storage device processing device

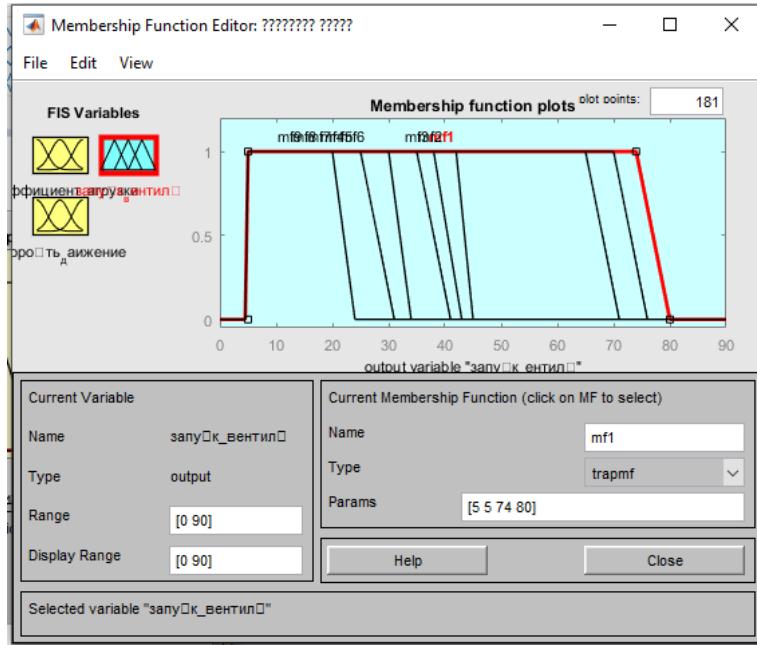


**Fig. 2.** Graphs of the speed functions of the cassette conveyor movement

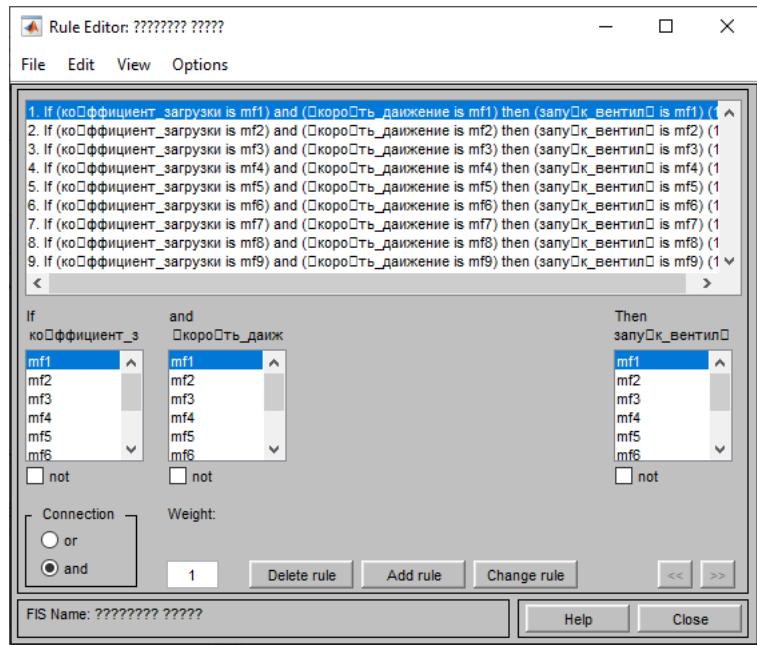
The result of the membership functions for the terms of the output linguistic variable "valve of the controller of the pneumatic motor of the cassette conveyor" is shown in Fig. 3. The abbreviation of the record of production rules has the following form Fig. 4:

The aggregation procedure is the determination of the degree of truth of the conditions for each of the rules of the fuzzy inference system. When performing the aggregation procedure, the truth values of all the conditions of the fuzzy inference system are assumed to be known. Therefore, when using calculation formulas to determine the results of fuzzy conjunction and fuzzy disjunction, it is advisable to use pair-wise consistent calculation methods for all the rules of the system of fuzzy productions. If in a fuzzy inference system the result of a fuzzy conjunction is

determined by the form of an algebraic product, then it is preferable to use an algebraic sum to determine the result of a fuzzy disjunction



**Fig. 3.** Graphs of functions angles of the rotated valve of the controller of the pneumatic motor of the cassette conveyor



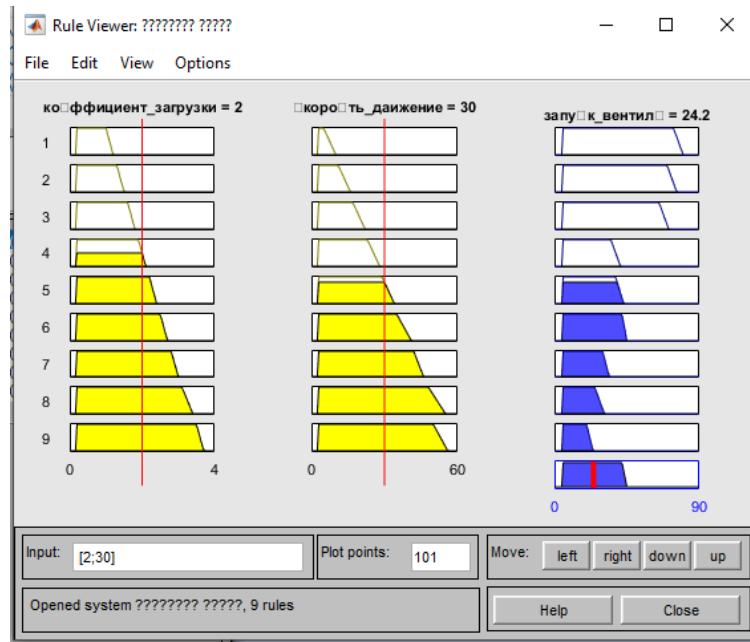
**Fig.4.** Abbreviated records of production rules

Activation in fuzzy inference systems is a procedure for finding the truth system of each of the sub-conclusions of the rules of fuzzy productions. In fact, when forming the rule base of the fuzzy inference system, weight coefficients are set for each rule. If the weight coefficients are not explicitly specified, then its value is assumed to be equal to one. It is not excluded that the

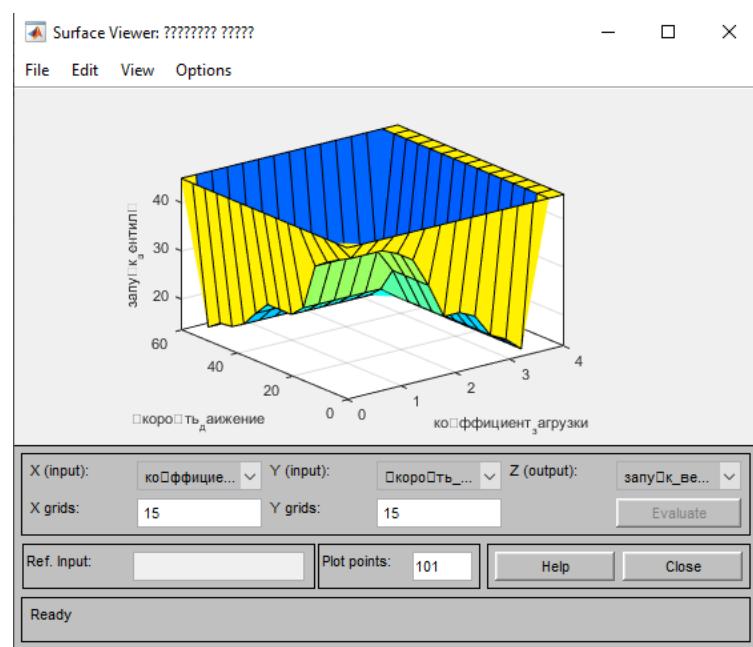
weighting coefficient can be set individually for individual sub-conclusions, while the activation procedure remains the same.

Accumulation in fuzzy inference systems is a procedure for finding the membership function for each of the output linguistic variables. The purpose of the accumulation is to combine all the degrees of truth of the sub-conclusions to obtain a membership function for each of the output variables. The reason for the need to perform this procedure is that the sub-conclusions relating to the same output linguistic variable belong to different rules of the fuzzy inference system.

The result of the accumulation of conclusions of fuzzy production rules using the center of gravity method is shown in Fig. 5.



**Fig. 5. Result accumulation of conclusions of fuzzy rules**



**Fig. 6. Defuzzification of the output variable of the valve of the controller of the pneumatic motor of the cassette conveyor**

Defuzzification in fuzzy inference systems is a procedure for finding a non-fuzzy value for each of the output linguistic variables. The purpose of defuzzification is to use the results of the accumulation of all the output linguistic variables to obtain the usual quantitative value of each of the output variables, which can be used by special devices external to the fuzzy inference system.

The defuzzification procedure is considered complete when the final quantitative values in the form of some real number are determined for each of the output linguistic variables.

The result of defuzzification of the output linguistic variable valve of the controller of the pneumatic motor of the cassette conveyor is shown in Fig. 6.

#### REFERENCES

1. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели в сети. М.: Телеком, 2012, 725 с.
2. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH / А.В Леоненков // БХВ –Петербург, СПб., 2005, 717 с.
3. Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель. -М.: ДМК Пресс, 2012. 768 с.
4. Мустафаев В.А. Анализ нечетких производственных моделей динамических взаимодействующих процессов // Вестник компьютерных и информационных технологий. М., 2012. №5(95), с. 25-30
5. Мустафаев, В. А. Анализ модели управления паралельно функционирующими гибкими производственными модулями механообработки / В. А. Мустафаев, И. С. Будагов // Сумгaitский государственный университет. Научные известия. Серия: естественные и технические науки. Сумгайт: СГУ. –2021. –Т.21. –№1. –с.72-76:

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46196414>

#### XÜLASƏ

#### MEXANİKİ EMAL İSTEHSALINDA KASET KONVEYERİN HƏRƏKƏTİNİN İDARƏ OLUNMASINDA QEYRİ-SƏLİŞ NƏTİCƏÇİXARMA

Zeynalabdiyeva I.S.

*Açar sözlər: qeyri-səlis nəticəçixarma, produksiyalar qaydası, fazifikasiya, kaset konveyeri, mənsubluq funksiyası*

Məqalədə mexaniki emal istehsalında kaset konveyerin hərəkətinin idarə olunmasının qeyri-səlis məntiqi nəticəçixarma mexanizmi verilmişdir. MATLAB mühitində Fuzzy Logic Toolbox paketindən istifadə etməklə, giriş və çıxış linqvistik dəyişənlərin fazifikasiyası reallaşdırılmışdır. Mamdanı alqoritminin tətbiqi ilə ağırlıq mərkəzi metodundan istifadə etməklə çıxış linqvistik dəyişənin kəmiyyət qiymətləri alınmışdır.

#### РЕЗЮМЕ

#### НЕЧЕТКИЙ ВЫВОД УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ КАССЕТНОГО КОНВЕЙЕРА

#### В ПРОИЗВОДСТВЕ МЕХАНООБРАБОТКИ

Зейналабдыева И.С.

*Ключевые слова: нечеткий вывод, производственные правила, фазификация, кассетный конвейер, функция принадлежности.*

В статье представлен механизм нечеткого логического вывода для управления движением конвейера кассеты при производстве механической обработки. В среде MATLAB реализована фазификация входных и выходных лингвистических переменных с использованием пакета Fuzzy Logic Toolbox. С применением алгоритма Мамдани с помощью метода центра тяжести были получены количественные оценки выходной лингвистической переменной.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	23.07.2021
	Son variant	07.10.2021

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО УРОВНЮ МАГНИТНОГО ШУМА

<sup>1</sup>АХМЕДОВ АСЛАН ДИЯР оглу

<sup>2</sup>АХМЕДОВ ДИЯР АСЛАН оглу

<sup>3</sup>АБДУЛОВА НАФИСА АБДУЛЬФАС гызы

<sup>4</sup>ГАСАНОВА УЛВИЯ ЭЛЬХАН гызы

Сумгаитский государственный университет, 1,3 - доцент, 2-докторант, 4-инженер

*lady\_abdulova@mail.ru*

**Ключевые слова:** асинхронный электродвигатель, уровень шума, вибрация, зубцовая частота, корреляция, диагностика.

Постоянно растущие требования к повышению эксплуатационной надежности электрических машин делают актуальной задачу контроля их технического состояния диагностированием в процессе функционирования. В настоящее время для диагностирования неисправностей асинхронных двигателей (АД) широко используются методы, позволяющие не только на ранней стадии выявить образование неисправностей в элементах машины, но и получить информацию о характере изменения дефектов.

В процессе эксплуатации АД в магнитном сердечнике статора происходит: повреждения между листовой изоляцией вызывающей местные перегревы, ослабление прессовки вызывающее вибрации пластин стали с повреждением между листовой изоляцией и к расщеплению крайних пакетов и разлом листов. Все эти неисправности усугубляют нормальный процесс работы, ухудшают виброшумовые характеристики машины, а также приводят к образованию межвитковых и межфазных замыканий в обмотке статора.

**Постановка задачи.** Для обнаружения вышеуказанных неисправностей в ранней стадии их образования в магнитном сердечнике статора и ротора и других узлах машины целесообразно проводить диагностирование по уровню шума.

Известно, что виброшумовые характеристики АД подразделяются на магнитные, механические и аэродинамические.

Шум, создаваемый вентиляционным узлом, на параметры вибрации влияния практически не оказывает [1]. Можно допустить, что для каждого исполнения двигателей аэродинамический шум является величиной практически постоянной [2].

Магнитные составляющие шума и вибрации проявляются на зубцовых частотах, обусловлены периодическим чередованием ферромагнитных зубцов и пазов на статоре и роторе [1]. Зубцовая частота статора зависит от количества зубцов и числа пар полюсов, а ротора – от частоты вращения и количества зубцов ротора.

Результаты измерения шума в значительной мере зависят от акустических свойств помещения и механического составляющего шума, вызванного подшипниками узлами, проявляющегося практически во всем частотном диапазоне. Этот недостаток устраним при организации косвенного контроля уровня шума на основании измерения вибрации. Применение контроля вибрации при наличии корреляции с шумовыми характеристиками значительно упростит процесс контроля уровня излучаемого шума, что и позволит оценить техническое состояние элементов машины, определением магнитных составляющих шума на зубцовых частотах. При контрольных измерениях выход значения за предел порога может служить предупреждением о возникновении неисправности в машине. В качестве предела

допуска могут быть использованы значения, установленные государственными стандартами для вибрационных и акустических параметров [2].

В настоящей статье рассматриваются вопросы выявления и оценки взаимосвязи между магнитной вибрацией и уровнем шума в зубцовой частоте для контроля технического состояния магнитного сердечника статора асинхронного двигателя без отключения от работы.

**Экспериментальные исследования.** Для экспериментального подтверждения изложенных положений и получения данных, характеризующих взаимосвязи между уровнем шума и вибрацией были проведены эксперименты. Испытанию подвергался АД типа 4А100С4У3;1,5 кВт, 1450 об/мин. В целях нагрузки АД использовался генератор постоянного тока типа 2ПН132М;1,5кВт, 1500 об/мин.

Шум измерялся в соответствии с ГОСТ 11929-87, вибрационное ускорение-ГОСТ 12379-7 на зубцовой частоте на корпусе двигателя в радиальном направлении. Измерения параметров проводились приборами 2511 и 1621 (фирмы Breul-Kyaer).

Снимались зависимости уровней шума и вибрационного ускорения на корпусе в радиальном направлении от потребляемого тока АД, по данным полученных из экспериментов (рис.1). На основании характеристик, приведенных на рис.1, можно заключить, что вибрация на зубцовой частоте на корпусе двигателя в радиальном направлении, выраженная в децибелах, практически совпадает с уровнем шума, излучаемым двигателем на этой частоте.

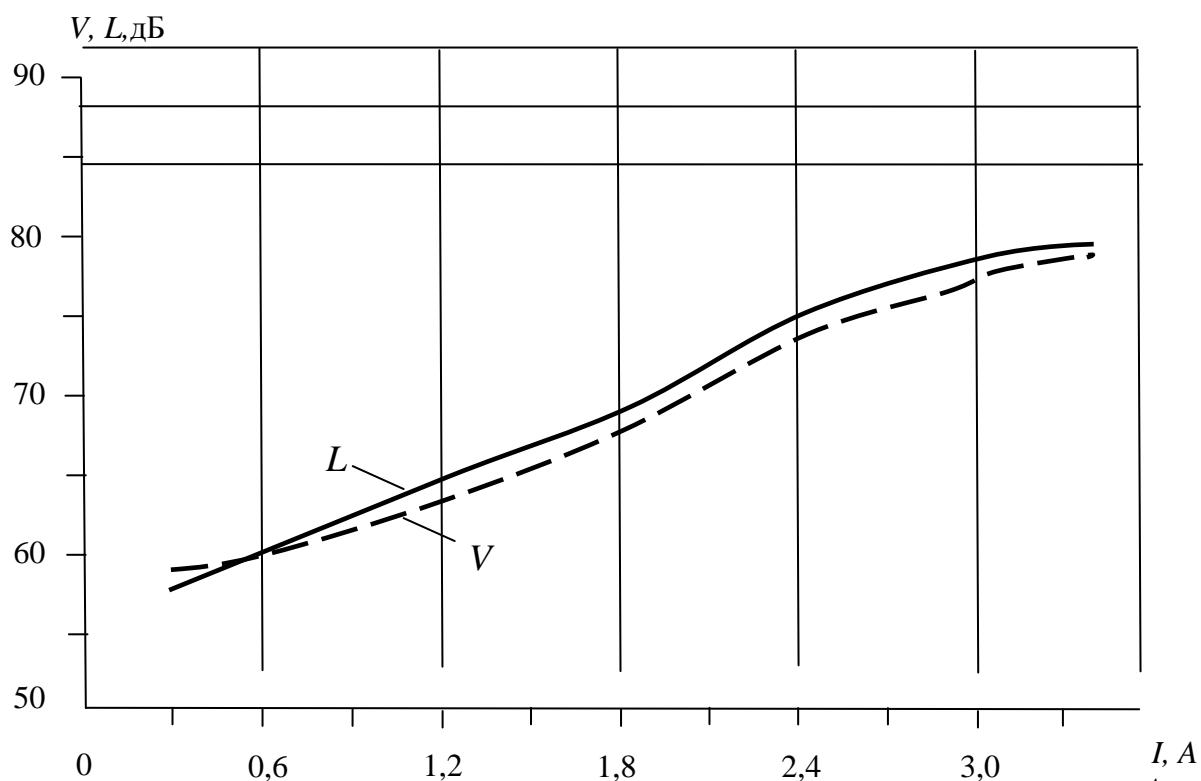


Рис.1. Зависимость уровней шума и вибрации от тока

Следовательно, значение магнитной вибрации на зубцовой частоте может служить критерием определения уровня магнитного шума.

Для подтверждения, сказанного определялись среднеквадратическая магнитная вибрация и уровень шума при различных значениях тока АД. Результаты измерения вибрационного ускорения и шума представлены на рис.2.

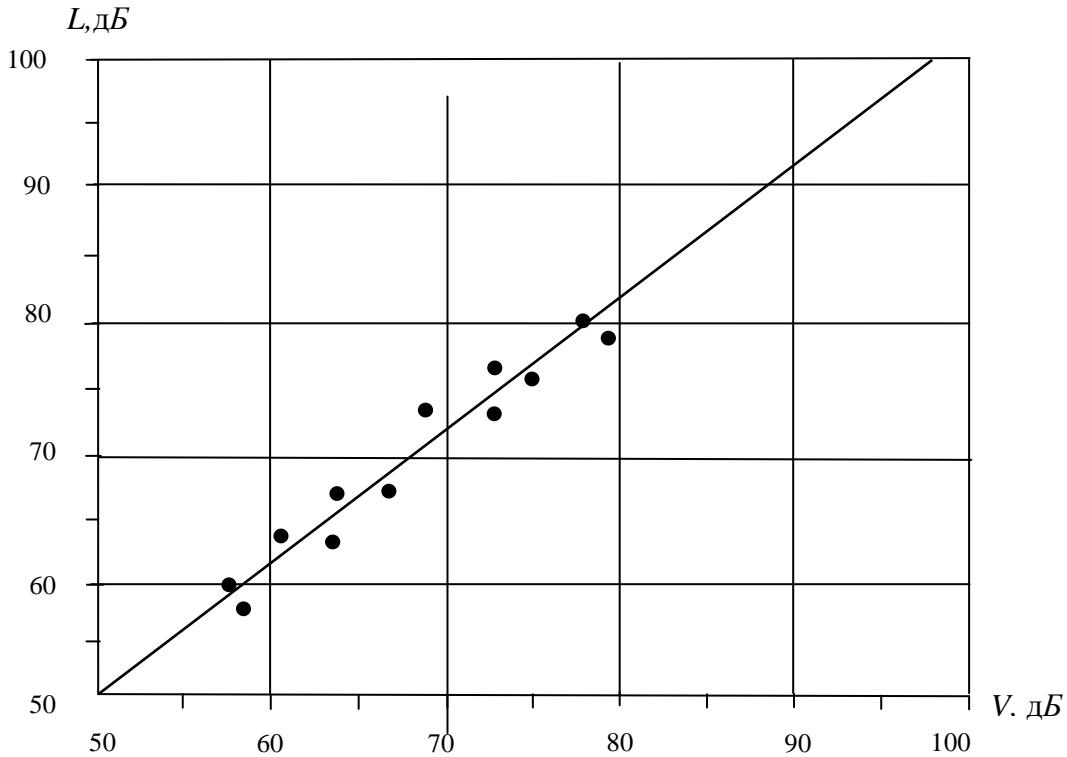


Рис. 2. Результаты измерений шума и вибрации в зависимости от величины тока

**Теоретическая часть.** Анализ результатов, приведенных на рис.2, показывает целесообразность определения взаимосвязи вибрации и шума по линейной зависимости:

$$L = aV + b. \quad (1)$$

По приведенным значениям шума и вибрации двигателя определены значения коэффициентов,  $a$ ,  $b$  и коэффициент корреляции  $r$  методом наименьших квадратов по выражениям [3]:

$$F(a, b) = \sum_{i=1}^n (L_i - b - aV_i)^2, \quad (2)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial F(a,b)}{\partial a} = 0; \\ \frac{\partial F(a,b)}{\partial b} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

$$a = \frac{6 \sum_i^6 V_i L_i - \sum_i^6 V_i \cdot \sum_i^6 L_i}{6 \sum_i^6 V_i^2 - (\sum_i^6 V_i)^2}; \quad (4)$$

$$b = \frac{\sum_i^6 L_i - a \sum_i^6 V_i}{6}; \quad (5)$$

$$r = (\bar{V}L - \bar{V}\bar{L}) / [\sigma(V)\sigma(L)]. \quad (6)$$

Расчет по выражениям (2) – (6) дает следующие результаты:

$$a = 1,04; b = -0,23; r = 0,886.$$

В предположении приблизительно линейной корреляции  $r$  есть мера силы связи между  $V$  и  $L$ . Величина  $|r|$  близка к единице, что означает достаточно тесную связь исследуемых факторов. Подставив полученные коэффициенты,  $a$  и  $b$  в выражение (1), получим эмпирическую зависимость взаимосвязи вибрации и шума:

$$L = 1.04 V - 0.23. \quad (7)$$

Для апробации зависимости (7) по результатам замеров вибрации был определен уровень шума по выражению (7). Результаты расчета и измерений приведены в таблице 1.

**Таблица 1.**

№	Ток $I$ , А	Уровень шума, $L$ , дБ		Вибрация, $V$ , дБ измеренная
		измеренный	расчетный	
1	0,6	60	60,09	58
2	1,2	63	63,81	61
3	1,8	68	68,41	66
4	2,4	74	75,69	73
5	3,0	76	76,73	74
6	3,6	80	80,89	78

**Заключение.** Данные таблицы и полученные зависимость (рис.1и2) позволяют сделать выводы:

Расчетный коэффициент корреляции  $r$  по замерам вибрационного ускорения  $V$  и уровня шума  $L$  показывает хорошую взаимосвязь исследуемых характеристик

Магнитная вибрация на зубцовой частоте на корпусе двигателя в радиальном направлении, выраженная в децибелах, практически совпадает с уровнем магнитного шума, излучаемого двигателем на этой частоте. Следовательно, значение магнитного шума на зубцовой частоте может служить диагностическим признаком для оценки неисправностей магнитного сердечника АД.

## ЛИТЕРАТУРА

- Шубов И. Г. Шум и вибрация электрических машин. Л.: Энергоатомиздат, 1986, 208 с.
- Костюков В.Н., Науменко А.П. Основы виброакустической диагностики и мониторинга: учебное пособие. Омск.: ОмГТУ, 2011, 360с.
- Митропольский А.К. Техника статических вычислений. М.: Наука, 1971, 281с.
- Quliyeva, A. İ. Dərinlik nasos stansiyasının mancanaq qurğusunun həssas elementinin sistematik xətasının təyini alqoritmi / A. İ. Quliyeva, İ. S. Camalxanova // Sumqayıt Dövlət Universiteti. Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi. Sumqayıt: SDU, –2020. –c.20. –№ 3. –s. 92-97; <https://elibrary.ru/item.asp?id=44220004>

## XÜLASƏ

### ASINXRON MÜHƏRRİKİN NASAZLIQLARININ MAQNİT SƏSİNİN SƏVIYYƏSİNƏ GÖRƏ DİAQNOSTİKASI

*Əhmədov A.D., Əhmədov D.A., Abdulova N.A., Həsənova Ü.E.*

*Açar sözlər:* asinxron mühərrrik, səsin səviyyəsi, vibrasiya, diş tezliyi, korrelyasiya, diaqnostika.

Məqalədə asinxron mühərrrikin fiziki prosesini icra etdiqdə nasazlıqlarına nəzarəti səsin səviyyəsinin dolayı vibrasiya təcilinin səviyyəsini ölçməklə aparılması məsələlərinə baxılmışdır. Eksperimental tədqiqatların nəticələri əsasında asinxron mühərrrikin gövdəsinin radial istiqamətində diş tezliyində desibellə ifadə olunan maqnit vibrasiyası bu tezlikdə mühərrrik şüalandıran maqnit səsin səviyyəsinə praktiki uyğun olması müəyyən edilmişdir. Asinxron mühərrrikin, maqnit vibrasiyası ilə səsin arasında diş tezliyində qarşılıqlı sıx əlaqənin olduğu korrelyasiya əmsalının vahidə yaxınlığı ilə də təsdiq edilmişdir. Buna görə də asinxron mühərrrikin nasazlıqlarının diaqnostikasını səsin səviyyəsinə görə apardıqda və eləcə də səsin səviyyəsini dolayı müəyyən etdiqdə sınaqlardan maqnit vibrasiya təcilinin diş tezliyində qiymətlərini təyin etmək lazımdır.

**SUMMARY**

**DIAGNOSING MALFUNCTIONS OF AN ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR  
BY THE LEVEL OF MAGNETIC NOISE**

**Ahmadov D.A., Ahmadov A.D., Abdulova N.A., Hasanova U.E.**

**Key words:** *asynchronous motor, noise level, vibration, cog frequency, correlation, diagnostics*

The article deals with the control of faults in the physical process of an induction motor by measuring the level of indirect vibration acceleration. Based on the results of experimental studies, it was determined that the magnetic vibration expressed in decibels at the tooth frequency in the radial direction of the body of an induction motor is practically consistent with the level of magnetic noise emitted by the motor at this frequency. It was also confirmed by the closeness of the correlation coefficient of the induction motor that there is a close correlation between magnetic vibration and sound at the tooth frequency. When diagnosing faults in an induction motor according to the noise level, as well as for indirect determination of the noise level in test processes, it may be convenient to use the values of magnetic vibration acceleration measured at the tooth frequency.

Daxilolma tarixi:	Ilkin variant	13.04.2021
	Son variant	28.05.2021

## МОНИТОРИНГ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ, ОСНОВАННЫЙ НА ТЕМПЕРАТУРЕ ПРОВОДОВ

АГАХАНОВА КАМАЛЯ АБЫШ гызы

Сумгaitский государственный университет, ассистент

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

**Ключевые слова:** линия электропередачи, температура воздуха, интенсивность солнечного излучения, прозрачность атмосферы, средняя температура, сопротивление, потери мощности, пропускная способность линии

На линию электропередачи (ЛЭП) постоянно оказывают воздействие погодные условия. Температура окружающей среды, осадки, атмосферное давление, влажность, а также скорость и направление ветра являются важными параметрами, измерение которых необходимо для мониторинга погодных условий для ЛЭП. Знание текущей погодной ситуации вдоль линии электропередачи позволяет уменьшить количество отключений электроэнергии. Датчики и системы слежения за погодными условиями должны располагаться вдоль ЛЭП. Надежное и бесперебойное электроснабжение потребителей возможно лишь при внедрении эффективных мероприятий по мониторингу **погодных условий вдоль линий электропередачи**. Предлагается алгоритм моделирования температуры провода и параметров ЛЭП с учетом солнечного излучения путем деления на эквивалентные участки по высоте над уровнем моря и интенсивности радиации. Приведена блок-схема программы моделирования температуры провода. Для учета влияния реального состояния солнечного излучения, погодных условий и их влияния на ее параметры ЛЭП делится на участки по высоте над уровнем моря, интенсивности тепла солнечного излучения и ее направления, скорости и направления ветра. Приведены экранные формы разработанных программ. Результаты расчета демонстрируются на примерах.

**Введение.** ВЛ электропередачи в осенне-зимний период для предотвращения гололедных аварий и в летний период для более полного использования нагрузочной способности ВЛ. Использование аппаратуры мониторинга в летний период при высоких температурах воздуха и солнечной радиации может позволить более полно использовать нагрузочную способность ВЛ электропередачи, избежать или значительно уменьшить объем ограничения потребителей при больших токовых нагрузках на линии за счет контроля температуры провода и определения предельных токовых нагрузок для конкретных климатических условий. Возможны два основных способа: непосредственный и косвенный (расчетный).

**Мониторинг и нагрузочная способность ВЛ электропередачи в экстремальных погодных условиях.** При отсутствии данных о температуре провода она может быть рассчитана с помощью программы мониторинга ВЛ. Программа, кроме того, позволяет рассчитывать значения токовой нагрузки по условию механической прочности провода и не нарушения допустимых габаритов ВЛ при различных погодных условиях в том числе с учетом солнечной радиации. Программа позволяет рассчитывать изменение температуры провода и стрел провеса в динамике и определять допустимое время работы ВЛ при возникновении перегрузки проводов.

Системы мониторинга воздушных электросетей ЛЭП обеспечивают дополнительные функции, позволяя повысить эффективность передачи электроэнергии и уменьшить потери. Мониторинг не только обеспечивает повышение надежности транспорта электроэнергии, но

и способствует уменьшению расходов на обслуживание линий электропередачи за счет более оперативных и точных данных при локализации аварийных сегментов, а также прогнозирования проблемных ситуаций на трассе. Использование перспективных систем мониторинга воздушных электросетей в последнее время стало особенно актуальным в сечении ЛЭП 220-330-500кВ Азербайджанской ЭЭС, поскольку, во-первых, существенно возросла стоимость ущерба при крупных авариях, а во-вторых - в связи с уменьшением надежности энергосистем вследствие сильного износа как используемого оборудования, так и проводных линий.

В июне-августе месяцев года в связи с жаркой погодой и большой токовой нагрузкой на ВЛ 220-330-500кВ сечении Азербайджанской ЭЭС требуется ввод ограничений на нагрузки. Были проведены замеры фактических значений токовых нагрузок, температуры провода и воздуха и габаритов ВЛ в нескольких участках.

Превышение температуры проводов над температурой окружающего воздуха может быть существенным вследствие одновременного воздействия протекающих токов и солнечного излучения. При этом увеличиваются провисание проводов и их активное сопротивление, вызывают увеличение потерь мощности, электроэнергии в дальних электропередачах и сетях. Тем самым заметно ухудшаются экономические показатели режимов работы.

В результате повышенного нагрева могут нарушаться нормируемые по условиям безопасности расстояния от проводов до поверхности земли, а также до естественных препятствий и инженерных сооружений, пересекаемых линиями. Поэтому нагрев проводов рассматривается как фактор, ограничивающий передаваемую мощность или токовую нагрузку проводов.

Поскольку трасса ВЛ не прямая, а скорость и направление ветра непостоянны, определить участок ВЛ с наихудшими условиями теплоотдачи не представляется возможным. Если при расчётом определении температуры провода и допустимого значения тока неконтролируемые параметры внешней среды следует принимать по их наиболее тяжёлым значениям[1,2], это приводит к существенному недоиспользованию пропускной способности ВЛ.

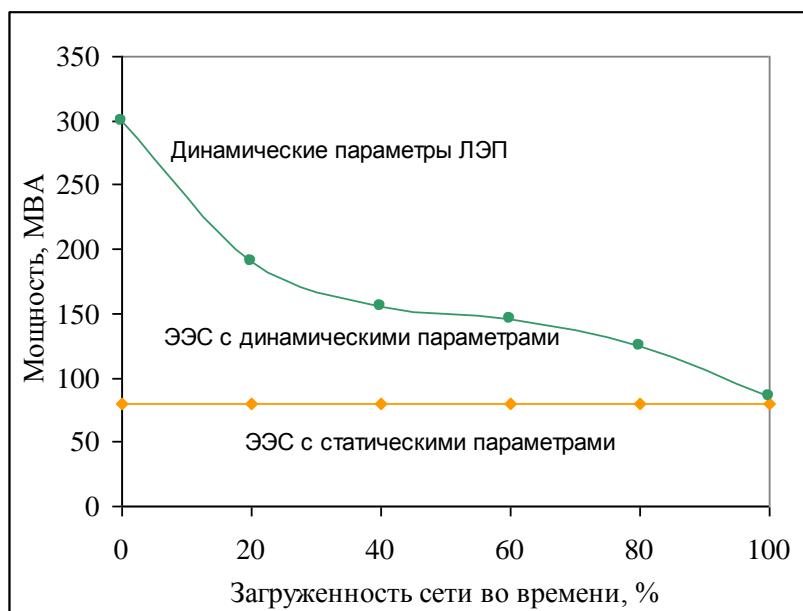


Рис.1. Повышение эффективности передачи мощности по ЛЭП

Система мониторинга состоит из сети измерительных блоков, связанных через канал связи с оборудованием на диспетчерском пункте. Измерительные блоки распределены вдоль трассы ЛЭП и монтируются на опорах либо непосредственно на высоковольтных проводах. В диспетчерских пунктах, как правило, используются системы SCADA, обеспечивающие обработку и интерпретацию полученных от измерительных блоков данных. В зависимости от функционального назначения в системах мониторинга могут использоваться различные типы датчиков: для измерения тока в проводе; температуры провода в пролете; механического напряжения провода в точках подвеса; для измерения затухания фазного провода; для измерения критических стрел провеса; климатических условий; вибрационных характеристик проводов. Для измерения тока используются датчики на основе эффекта Холла или катушки Роговского.



*Рис 2. Система мониторинга провода ЛЭП*

**Бесконтактные измерители тока и температуры провода.** В настоящее время получила широкое распространение и другая концепция реализации измерительного модуля для систем мониторинга OTLM (Over head Transmision Line Monitoring), т. е. мониторинг пропускной способности ВЛ.

**Лазерная картография ЛЭП.** Достигнутые в последние годы технологические успехи позволяют использовать принципиально новые подходы для топографического мониторинга ЛЭП. С помощью лазерного аэрокартографического сканирования в настоящий момент можно получать точные карты расположения всех объектов ЛЭП, в том числе опор и проводов с привязкой к 3D-рельефу местности. При лазерном сканировании вдоль трассы ЛЭП можно параллельно проводить тепловизионную съемку. Классическими примерами являются обнаружение дефектов изоляции и измерение температуры проводов при съемке ЛЭП и термоконтроль состояния тепловых коммуникаций и ограждающих конструкций зданий на предмет сверхнормативных потерь энергии.

Нагрузки растут довольно высокими темпами, а сетевое строительство пока явно отстает. Максимальное использование пропускной способности воздушных линий может быть достигнуто при наличии достоверной информации о состоянии линии, а также актуальных данных о температуре проводов и плотности протекающего тока.

Одним из направлений повышения точности расчета переменных потерь электроэнергии в воздушных линиях электропередачи является определение активных сопротивлений проводов с учетом протекающего по линиям рабочего тока, температуры окружающего воздуха, скорости ветра и теплота солнечного излучения.

В Аз НИ и ПИ ИЭ разработан алгоритм реализованный в виде программы моделирования температуры провода с учетом тока нагрузки ВЛ и влияния атмосферных факторов[3-8]. Программы расчета позволяют моделирование влияния тока нагрузки и атмосферных факторов на температуру провода:

1. Влияние температуры на сопротивление провода.
2. Влияние тока нагрузки.
3. Влияние скорости ветра.
4. Влияние интенсивности солнечной радиации.
5. Моделирования изменения температуры провода от времени при скачкообразном изменении (забросе и отбросе) нагрузки.

Таким образом, определить пропускную способность ВЛ и в зависимости от текущей температуры ВЛ с учетом тока и влияние атмосферных факторов.

**Определение допустимой температуры провода.** В настоящее время длительно допустимая температура провода для нормального режима принята равной  $70^{\circ}\text{C}$ . Зависимость температуры провода от скорости ветра и тока провода AC150 при  $t_{\text{в}}=20^{\circ}\text{C}$  и  $t_{\text{рад}}=0^{\circ}\text{C}$  показана на рис.3.

Для провода АС 330/39 погрешности расчета сопротивлений линий электропередачи могут быть достаточно большими и составлять от минус 8 до 24% и более.

Выполнено моделирование температуры провода ВЛ с учетом тока, температуры воздуха и скорости ветра. Результаты моделирования температуры провода АС-185 от тока нагрузки при температуре воздуха  $t_{\text{возд}}=20^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{рад}}=0^{\circ}\text{C}$  от скорости ветра  $V$  м/с и тока нагрузки в проводе приведены в [3-5].

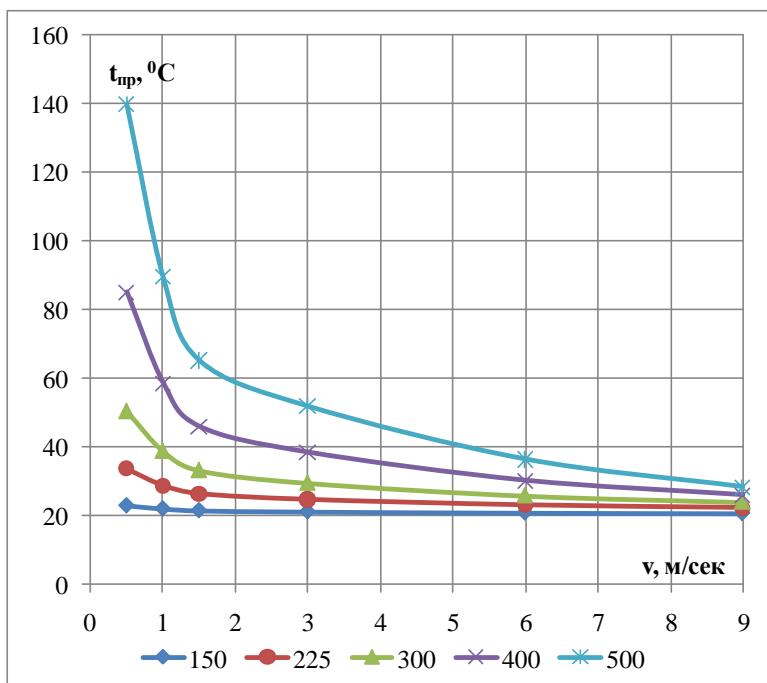


Рис. 3. Зависимость температуры провода от скорости ветра и тока провода

Возможность повышения токовой нагрузки ВЛ 110 кВ при допустимой температуре провода  $80^{\circ}\text{C}$ , с учетом солнечной радиации  $t_{\text{рад}}=18.5^{\circ}\text{C}$  в зависимости от температуры воздуха показана на рис.4. Результаты расчета получены по разработанной программе влияние температуры окружающей среды, тока нагрузки, скорости ветра интенсивности солнечной радиации на сопротивление провода. Экранная форма программы моделирования температуры, сопротивления провода приведен на рис.5.

К числу важных элементов указанных информационных ресурсов следует отнести данные о минимальных габаритах проводов до земли и пересекаемых объектов. Использование методов математического моделирования позволяет выявить нагрузки и температуры нагрева проводов, при которых возникает опасность нарушения минимально

допустимых габаритов. На основе подобного анализа выявляются те критические участки ВЛ, которые ограничивают повышение пропускной способности.

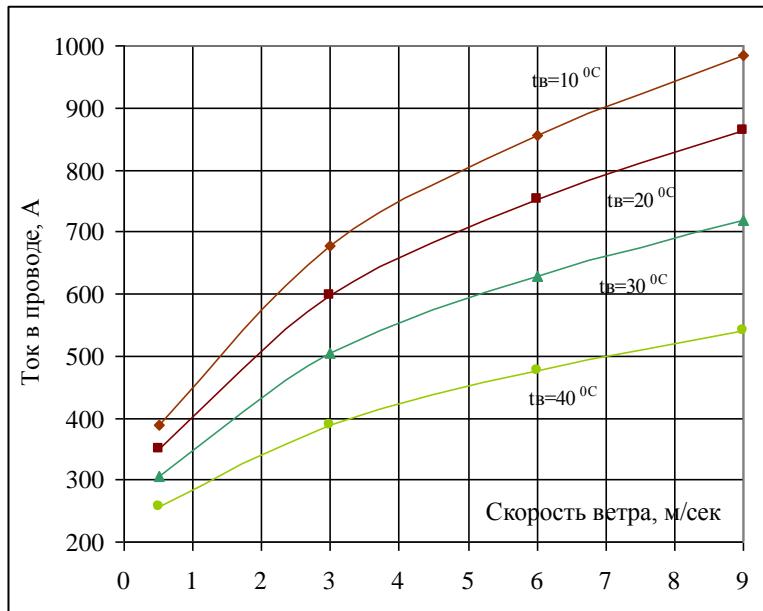


Рис. 4. Зависимость допустимой токовой нагрузки провода AC-185 от скорости ветра

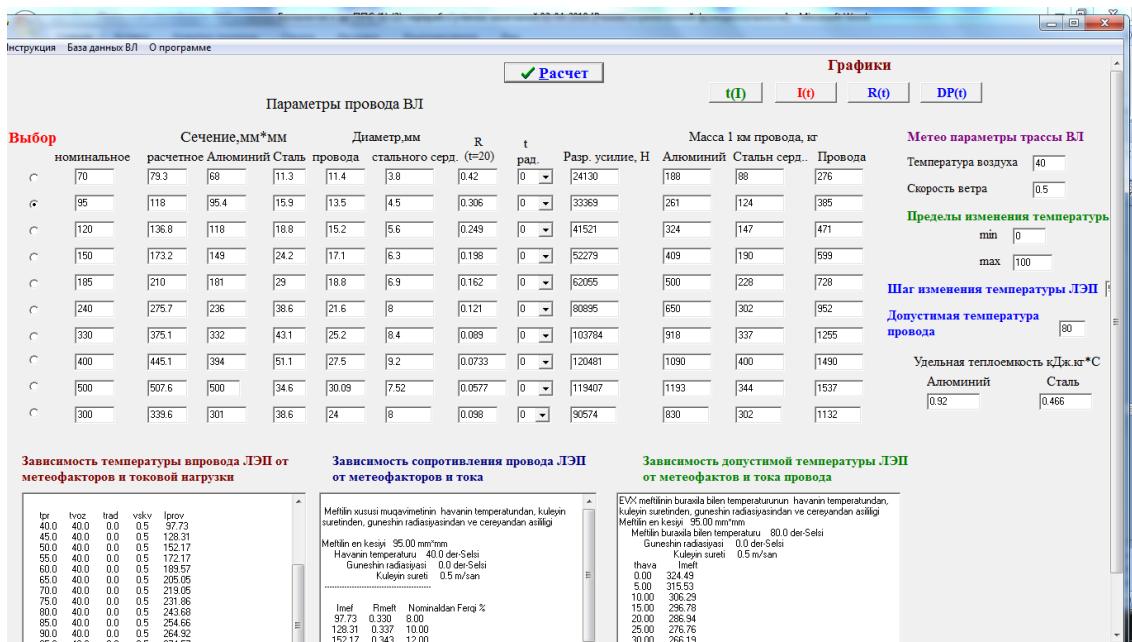


Рис.5 Экранная форма программы моделирования температуры провода

График зависимости допустимого тока провода АС 240/39 при температуре воздуха -40°C, 0°C и 40°C и скорости ветра  $v = 0,5 \text{ м/с}$  приведен на рис. 6.

**Время нарастания температуры провода.** Температурная характеристика переходного процесса может быть рассчитана в соответствии с методом описанным в [7]. Для нагрева провода от температуры провода от  $t_1$  с током  $I_1$  до  $t_2$  с током  $I_2$  требуется время определяемое минутами. Постоянная времени рассчитывается по формуле

$$\tau = \frac{(t_2 - t_1) \cdot m C_{np}}{R_t \cdot (t_2 - t_1) \cdot (I_2^2 - I_1^2)}$$

Характер нарастания температуры провода до установившейся температуры определяется переходным процессом по формуле

$$t_{np}(t) = t_1 + (t_2 - t_1) \cdot \left( 1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)} \right)$$

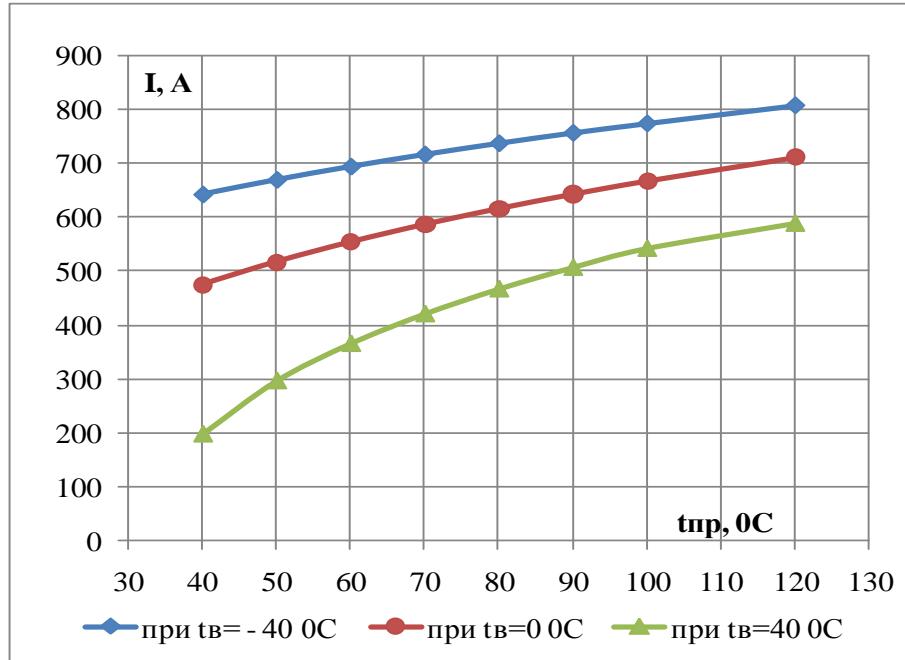


Рис.6. Графики допустимого тока провода AC 240/39

Экранные формы программы моделирования температуры провода на рис 6 и 7.

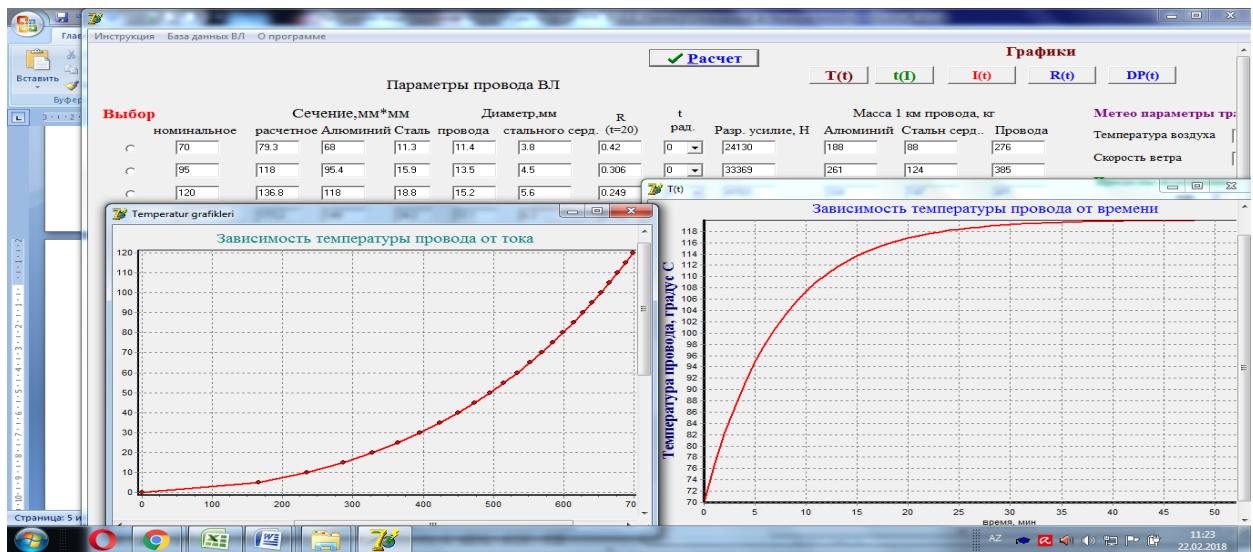


Рис. 7. Зависимость температуры провода от тока и нарастания температуры провода при включении ВЛ под нагрузки

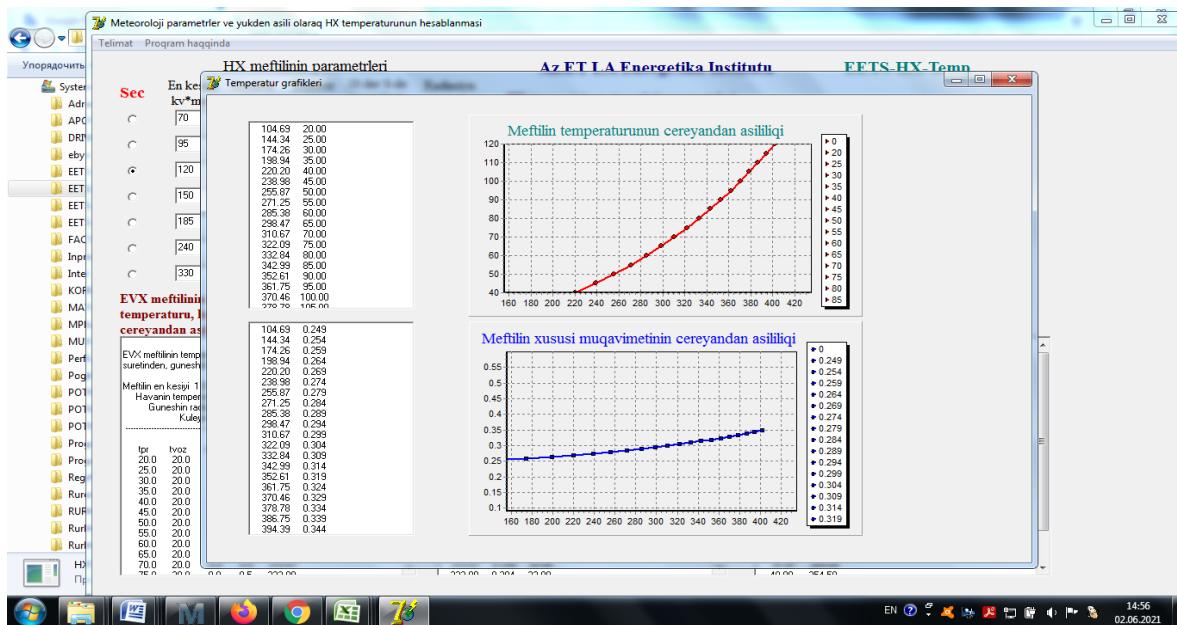


Рис. 8. Зависимость температуры провода и сопротивления от тока

### Выводы.

1. В современных условиях эксплуатации электрических сетей важное значение имеет программное обеспечение для мониторинга температуры провода с учетом погодных условий, реализовать возможность повышения пропускной способности линии и выполнение мероприятий по разгрузке для предотвращения перегрузки линий.

2. Разработаны алгоритм и программа расчета удельного активного сопротивления приводов ВЛ с учетом температуры воздуха, рабочего тока, скорости ветра и солнечной радиации. Проведена количественная оценка влияния тока нагрузки, температуры окружающей среды, солнечной радиации и скорости ветра на активное сопротивление проводов воздушных линий.

3. При расчете потерь электроэнергии для проводов без учета температурной зависимости сопротивления относительные погрешности могут достигать 26 % и более, что не допустимо.

4. Мониторинг технического состояния ВЛ, тока и температуры проводов и солнечной радиации, скорости ветра позволяет повышать пропускную способность ВЛ.

5. Современные технологии повышения эффективности использования ВЛ на основе мониторинга их состояния позволяют повысить эффективность и надежность передачи ЭЭ.

6. Установлено, что пропускная способность воздушной линии при учета режима, атмосферных факторов и солнечного излучения может быть увеличена более чем на 20 %.

### ЛИТЕРАТУРА

- Механошин Б.И., Шкапцов В.А., Васильев Ю.А. Повышение эффективности использования существующих ВЛ на основе анализа их технического состояния и данных мониторинга температуры проводов. - Электро, 2007, № 6.
- Баламетов Э.А. Новые технологии управления воздушными линиями электропередачи. Проблемы энергетики 2016, №4, с-35-41.
- Balametov Ə.B., İsləmov İ.Z., Ağaxanova K.A. Elektrik enerjisi itkilərinin qiymətləndirilməsi üçün CIGRE və IEEE standartlarının tətbiqi // Sumqayıt Dövlət Universiteti. Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi. Sumqayıt: SDU, C.18, №4, s. 89-94; <https://www.ssu-scientificnews.edu.az/pdf/T18-4.pdf>
- Balametov Ə.B., Bayramov M.P., Ağaxanova K.A. Elektrik verilişi xətti məftilinin buraxıla bilən yükünüñhesabatı metodikası // Sumqayıt Dövlət Universiteti. Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi. c. 18, №1. Sumqayıt: SDU, 2018, s. 80-86;

<https://www.ssu-scientificnews.edu.az/pdf/T18-1.pdf>

5. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Байрамов М.П., Агаханова К.А. Оперативное моделирование температуры провода для максимального использования пропускной способности воздушных линий // Журнал «Оперативное управление в электроэнергетике: подготовка персонала и поддержание его квалификации». №1 (76). М., 2019, с.16-24
6. Баламетов А.Б., Байрамов М. П. Моделирование температуры провода для расчета потерь электроэнергии воздушных линий // Проблемы энергетики № 2, 2013, с. 4-12
7. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Байрамов М.П., Агаханова К.А. Программа моделирования температуры провода и потерь мощности на основе учета режимных и атмосферных факторов // Международный научно-практический журнал. Программные продукты и системы. т. 31, № 2. 2018, с. 396-402
8. Агаханова, К. А. Анализ параметров воздушной линии с учетом атмосферных факторов и солнечного излучения по участкам трассы // Сумгaitский государственный университет. Научные известия. Серия: естественные и технические науки. т. 21. № 2. Сумгайт: СГУ, 2021, с. 89-96; <https://elibrary.ru/item.asp?id=46287069>

**XÜLASƏ**  
**HAVA XƏTTİNİN YÜK BURAXMA QABİLİYYƏTİNİN NAQİLLƏRİN**  
**TEMPERATURUNA ƏSASƏN MONİTORİNQİ**  
*Ağaxanova K.A.*

*Açar sözlər:* elektrik veriliş xətti, havanın temperaturu, günəş şüalanmasının intensivliyi, atmosferin şəffaflığı, orta temperatur, müqavimət, güc itkisi, yük buraxma qabiliyyəti

Elektrik verilişi xətti boyunca mövcud hava şəraitini bilmək elektrik enerjisində fasilələrin azaldılmasına imkan yaradır. Bunun üçün hava şəraitini haqqında məlumat almaq üçün sensorlar və nəzarət sistemləri elektrik verilişi xətləri boyunca yerləşdirilməlidir. İstehlakçılara etibarlı və fasiləsiz enerji təchizatı yalnız elektrik xətləri boyunca hava şəraitini izləmək üçün təsirli tədbirlərin tətbiqi ilə mümkündür. Günəş radiasiyasını nəzərə alıb, dəniz səviyyəsindən yüksəkliyə və radiasiya intensivliyinə görə ekvivalent hissələrə bölünərək məftilin istiliyi və elektrik ötürücü xətlərinin parametrlərinin modelləşdirilməsi üçün alqoritm təklif olunur. Məftilin temperaturunun modelləşdirilməsi programının blok sxemi təqdim olunur. Günəş radiasiyasının real vəziyyətinin, hava şəraitinin və onların parametrlərinə təsirini, dəniz səviyyəsindən hündürlüyü, günəş radiasiyasının istiliyi, küləyin sürəti və istiqamətini nəzərə almaq üçün elektrik veriliş xətti hissələrə bölünür. İslənmiş proqramların ekran formaları təqdim olunur. Hesablamaşların nəticələri nümunələrlə nümayiş etdirilir.

**SUMMARY**  
**THE TRANSMISSION LINE CAPACITY MONITORING BASED**  
**ON WIRING TEMPERATURE**  
*Aghakhanova K.A.*

*Key words:* power transmission line, air temperature, solar radiation intensity, atmospheric transparency, average temperature, resistance, power losses, line capacity

Knowing the current weather situation along the power line can help reduce power outages. Sensors and monitoring systems for weather conditions should be located along the power lines. Reliable and uninterrupted power supply to consumers is possible only with the introduction of effective measures to monitor weather conditions along power lines. An algorithm is proposed for modeling the temperature of the wire and the parameters of power transmission lines, taking into account solar radiation by dividing into equivalent sections by height above sea level and radiation intensity. The block diagram of the wire temperature simulation program is presented. To take into account the effect of the real state of solar radiation, weather conditions and their influence on its parameters, the intensity of solar radiation heat and its direction, wind speed and direction the power transmission line is divided into sections by height above sea level. Screen forms of the developed programs are presented. The calculation results are demonstrated by examples.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	14.07.2021
	Son variant	10.09.2021

MÜNDƏRİCAT \* СОДЕРЖАНИЕ \* CONTENTS

*Fizika və riyaziyyat*

- |    |   |    |
|----|---|----|
| 1. | <i>Курбанов Н.Т., Бабаджанова В.Г., Алиева У.С.</i> Исследование нестационарных волн в неоднородных реологических средах при малой вязкости                                 | 4  |
| 2. | <i>Фейзиев Ф.Г., Гасанлы Н.И.</i> Необходимое условие оптимальности управления в некоторых задачах оптимального управления двоичных линейных модулярных динамических систем | 10 |

*Kimya*

- |    |  |    |
|----|--|----|
| 3. | <i>Ağayev Ə.Ə., Fuad Bəxtiyar, Qarayeva İ.E., Mustafayev M.M.</i> 2-propil-5-metilfenolun katalitik dehidrogenləşməsi  | 20 |
| 4. | <i>Джафарова С.Т.</i> Влияние условий синтеза на характеристику наноразмерных Cu-Me-Al (Me-Co, Zn) окисных систем и их активность в реакции окисления Co в водородсодержащей среде | 25 |
| 5. | <i>Karimova S.S.</i> In the presence of ionic liquids synthesis and transformations of tetrabromdioxialkyl spirocyclopentadiene adducts  | 33 |
| 6. | <i>Hümbətova S.F.</i> Qummiarabik və polietilenqlikol mühitində alınmış gümüş nanohissəciklərinin bəzi fiziki xassələrinin öyrənilməsi   | 38 |
| 7. | <i>Пашаева С.М.</i> Исследование эффективности коррозионной защиты ингибитора МАРЗА-1 в средах H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> и H <sub>2</sub> S + CO <sub>2</sub>              | 42 |

*Ekologiya*

- |    |  |    |
|----|--|----|
| 8. | <i>Əhmədova R.R., Babayeva T.M., Aşurova N.D.</i> Sumqayıtçaydan götürülmüş su nümunələrində fiziki-kimyəvi parametrlərin təyini | 48 |
|----|--|----|

*Coğrafiya*

- |    |  |    |
|----|--|----|
| 9. | <i>Qocamanov M.H.</i> Xətti obyektlərin kombinə üsulları ilə geodezik təminatı | 51 |
|----|--|----|

*Texnika*

- |     |  |    |
|-----|--|----|
| 10. | <i>Cəfərov S.M., Əliyeva A.S., İsmailov E.Ş.</i> Pilotsuz üzən aparatın dərinliyə dalmasının avtonom rejimdə intellektual idarəetmə sisteminin işlənməsi                 | 56 |
| 11. | <i>Amaev G.N.</i> Программная реализация принятия решений для раздувки канала алюминиевых испарителей  | 61 |
| 12. | <i>Seydəliyev İ.M.</i> Keyfiyyət menecmenti sistemlərinin müəssisənin strateji məqsədlərinə uyğunlaşdırılması  | 67 |
| 13. | <i>Allahverdiyeva K.Ə.</i> Qeyri-müəyyən mühitdə neft məhsullarının sıxlığının təyin edilməsinin program təminatının realizasiyası                                       | 72 |
| 14. | <i>Zeynalabdiyeva I.S.</i> Fuzzy output control of the movement of the cassette conveyor in the production of mechanical processing                                      | 79 |
| 15. | <i>Əxmədov A.Ə., dissertant Əxmədov D.A., dos. Əbdulova N.A., injener Gəsənova U.Ə.</i> Диагностирование неисправностей асинхронного двигателя по уровню магнитного шума | 86 |
| 16. | <i>Agahanova K.A.</i> Мониторинг пропускной способности воздушной линии основанное на температуре проводов   | 91 |

---

Kompüter yığımı                    *S.Şahverdiyeva*  
Texniki redaktor                    *E.Həsrətova*  
Dil dəstəyi                         *Linqvistik Mərkəz*

Çapa imzalanmışdır: 28.09.2021-ci il  
Mətbəə kağızı, kağızin formatı: 70 \* 108 ¼  
Yüksək çap üsulu. Həcmi: 23,18 ş.ç.v.  
Sifariş 80. 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  
Faks: (0-18) 642-02-70

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

E-mail: [sdu.elmixeberler@mail.ru](mailto:sdu.elmixeberler@mail.ru)