



SUMQAYIT DÖVLƏT UNIVERSİTETİ
СУМГАИТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SUMGAYIT STATE UNIVERSITY

ELMI XƏBƏRLƏR

НАУЧНЫЕ ИЗВЕСТИЯ

SCIENTIFIC NEWS

ISSN 1680 - 1245 **Print**

ISSN 2706 - 719X **Online**

TƏBİƏT VƏ TEXNİKİ ELMLƏR BÖLMƏSİ

СЕРИЯ: ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

SERIES FOR NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES



Cild
Tom
Volume **25 № 4**

Sumqayıt

2025

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



SUMQAYIT DÖVLƏT UNIVERSİTETİ
СУМГАИТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SUMGAIT STATE UNIVERSITY

ELMİ XƏBƏRLƏR

НАУЧНЫЕ ИЗВЕСТИЯ

SCIENTIFIC NEWS

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

Cild 25

2025

№ 4

Sumqayıt – 2025

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

Baş redaktor Əminəğa Sadıqov, AMEA-nın müxbir üzvü, professor, rektor v.i.e.
Baş redaktorun müavini Elşad Abdullayev, dosent, elm və innovasiyalar üzrə prorektor

REDAKSİYA HEYƏTİNİN ÜZVLƏRİ

Fizika Albert Qilmutdinov, akad. (Rusiya), Seong-Cho Yu, prof. (Cənubi Koreya),
Riyaziyyat Süleyman Özçelik, prof. (Türkiyə), Kazimir Yanuşkeviç, prof. (Belarus),
Kamil Sabitov, prof. (Rusiya), Həmidulla Aslanov, prof. (Azərbaycan),
Məmməd Yaqubov, prof. (Azərbaycan), Vaqif Salmanov, prof. (Azərbaycan),
Rəşid Əliyev, r.e.d. (Azərbaycan), Tamella Əhmədova, dos. (Azərbaycan),
Zəfər Hüseynov, dos. (Azərbaycan), Xəlida Həsənova, dos. (Azərbaycan),
Samir Orucov, dos. (Azərbaycan), Gülnarə Quliyeva, dos. (məsul redaktor,
Azərbaycan), Xəyalə Seyfullayeva, dos. (Azərbaycan), Vüsalə Babacanova, dos.
(Azərbaycan), Coşqun Bayramov, dos. (Azərbaycan), Sevil Lətifova, dos.
(Azərbaycan)
Kimya elmləri Ramil Baxtizin, akad.(Rusiya), Vaqif Abbasov, akad.(Azərbaycan), Dilqəm Tağıyev,
akad. (Azərbaycan), Məhəmməd Babanlı, AMEA-nın müxbir üzvü, prof. (Azərbaycan),
Tatyana Prosoçkina, prof. (Rusiya), Eldar Əhmədov, prof. (Azərbaycan),
Muxtar Səmədov, prof. (Azərbaycan), Musa Mustafayev, dos. (məsul redaktor,
Azərbaycan), Vəliyəddin Əhmədov, dos. (Azərbaycan), Mətləb Hətəmov, dos.
(Azərbaycan)
Biologiya elmləri Elşad Qurbanov, AMEA-nın müxbir üzvü, prof. (Azərbaycan), Pənah Muradov, AMEA-
nın müxbir üzvü, prof. (Azərbaycan), Vladimir Prokofyev, prof. (Rusiya), Ulduz Həşimova,
prof. (Azərbaycan), Selia Bell, dos.(İngiltərə), Arzu Baxşalıyev, dos. (məsul redaktor,
Azərbaycan).
Coğrafiya elmləri Vladimir Kozodyorov, prof. (Rusiya), Anatoliy Yamaşkin, prof. (Rusiya), Niyaz Valiyev,
prof. (Rusiya), Yaqub Qəribov, prof. (Azərbaycan), Məhəmməd Abduev, dos.
(Azərbaycan), İlham Mərdanov, dos. (məsul redaktor, Azərbaycan), Zoya Abdullayeva,
dos. (Azərbaycan)
Texnika elmləri Telman Əliyev, akad. (Azərbaycan), Ağası Məlikov, AMEA-nın müxbir üzvü, prof.
(Azərbaycan), Nail Kaşapov, REA-nın müxbir üzvü, prof. (Rusiya), İtalo Trivizan, prof.
(İtaliya), Yevgeniy Moşev, prof.(Rusiya), Aleksandr Qolenişev-Kutuzov, prof. (Rusiya),
Mixail Verxoturov, prof. (Rusiya), Leonid Ponomarenko, prof. (Ukrayna),
Vladimir Qvozdev, prof. (Rusiya), Aqil Hüseynov, prof. (Azərbaycan), Cavanşir
Məmmədov, prof. (Azərbaycan), Nikola Nikolov, dos. (Bolqarıstan), İqor Korşunov, dos.
(Rusiya), Georgios Dafoulas, dos.(İngiltərə), Ulduz Ağayev, dos. (Azərbaycan), Şəhla
Hüseynzadə, t.e.d., dos. (məsul redaktor, Azərbaycan), Turqay Hüseynov, dos.
(Azərbaycan)

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

Главный редактор Аминага Садыгов, член-корр. НАНА, профессор, и.о. ректора
Зам. главного редактора Эльшад Абдуллаев, доцент, проректор по науке и инновациям

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

Физика Альберт Гильмутдинов, akad. (Россия), Сеонг-Чу Ю, проф. (Южная Корея),
Математика Сулейман Озчелик, проф. (Турция), Казимир Янушкевич, проф. (Белоруссия),
Камиль Сабитов, проф. (Россия), Гамидулла Асланов, проф. (Азербайджан),
Мамед Ягубов, проф. (Азербайджан), Вагиф Салманов, проф. (Азербайджан),
Рашид Алиев, к.м.н. (Азербайджан), Тамелла Ахмедова, доц. (Азербайджан),
Зафар Гусейнов, доц. (Азербайджан), Халида Гасанова, доц. (Азербайджан),
Самир Оруджев, доц. (Азербайджан), Гюльнара Кулиева, доц. (отв. ред.,
Азербайджан), Хаяля Сейфуллаева, доц. (Азербайджан), Вюсалья Бабаджанова,
доц. (Азербайджан), Джошгун Байрамов, доц. (Азербайджан), Севиль
Латифова, доц. (Азербайджан)
Химия. Рамиль Бахтизин, akad. (Россия), Вагиф Аббасов, akad. (Азербайджан),
Дильгам Тагиев, akad. (Азербайджан), Махаммад Бабанлы, член-корр.НАНА, проф.
(Азербайджан), Татьяна Просочкина, проф. (Россия), Эльдар Ахмедов,

	<i>проф. (Азербайджан), Мухтар Самедов, проф. (Азербайджан), Муса Мустафаев, доц. (отв. ред., Азербайджан), Валияддин Ахмедов, доц. (Азербайджан), Матлаб Гатамов, доц. (Азербайджан)</i>
Биология	<i>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).</i>
География	<i>Владимир Козодёров, проф. (Россия), Анатолий Ямашкин, проф. (Россия), Нияз Валиев, проф. (Россия), Ягуб Гарибов, проф. (Азербайджан), Магомед Абдуев, доц. (Азербайджан), Ильхам Марданов, доц. (Азербайджан), Зоя Абдуллаева, доц. (Азербайджан)</i>
Технические науки	<i>Тельман Алиев, акад. (Азербайджан), Агаси Меликов, член-корр. НАНА, проф. (Азербайджан), Наиль Кашапов, член корр. РАН, проф. (Россия), Итало Тривизан, проф. (Италия), Евгений Мошев, проф. (Россия), Александр Голенищев-Кутузов, проф. (Россия), Михаил Верхотуров, проф. (Россия), Леонид Понаморенко, проф. (Украина), Владимир Гвоздев, проф. (Россия), Агиль Гусейнов, проф. (Азербайджан), Джаваншир Мамедов, проф. (Азербайджан), Никола Николов, доц. (Болгария), Игорь Коршунов, доц. (Россия), Георгиус Дафоулас, доц. (Англия), Улдуз Агаев, доц. (Азербайджан), Шахла Гусейнзаде, д.т.н., доц. (отв. ред., Азербайджан), Тургай Гусейнов, доц. (Азербайджан)</i>

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

Editor in Chief	Aminagha Sadigov , <i>corresponding member ANAS, professor, acting Rector</i>
Deputy of Editor in Chief	Elshad Abdullayev , <i>ass.prof., Vice-Rector for Science and Innovations</i>

MEMBERS OF EDITORIAL STAFF

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

Silindrik mühitdə termodinamik dalğaların yayılması məsələsinin araşdırılması**Babacanova Vüsalə Həmzə qızı** [ORCID](#)

Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, dosent

yusala.babacanova@sdu.edu.az

MƏQALƏ HAQQINDA MƏLUMAT	XÜLASƏ
Məqalənin tarixçəsi Daxilolma tarixi: 16.07.2025 Düzəliş tarixi: 17.10.2025 Qəbul olunma tarixi: 14.11.2025	Baxılan məqalədə silindrik mühitdə termodinamik dalğaların yayılması prosesi araşdırılmışdır, belə ki, dalğaların davranışını təsvir edən əsas tənliklər silindrik koordinatlarda qurulmuş və analitik üsulla həll göstərilmişdir. Dalğaların sürəti, amplitudası və enerji yayılması kimi fiziki parametrlər müxtəlif başlanğıc və sərhəd şərtləri üçün qiymətləndirilmişdir.
Açar sözlər silindr, termodinamika, dalğa, amplituda, başlanğıc şərt, modelləşdirmə, mühit, parametrlər	Əldə olunan nəticələr, silindrik sistemlərdə termodinamik proseslərin daha dəqiq modelləşdirilməsinə və mühəndislik tətbiqlərində optimallaşdırmaya imkan yaratmışdır

Giriş

Termodinamik dalğalar müxtəlif fiziki sistemlərdə istilik və mexaniki enerjinin yayılma proseslərini təsvir edən əsas hadisələrdəndir. Bu dalğalar elastiklik nəzəriyyəsi, istilik ötürülməsi və akustik proseslərlə sıx bağlıdır. Xüsusilə, silindrik mühitlərdə dalğaların yayılması məsələləri boru formalı sistemlərdə, plazma kanallarında, elastik silindrlərdə və istilik borularında geniş tətbiq olunur.

Belə mühitlərdə dalğaların tənlikləri silindrik koordinat sistemində ifadə edilir və adətən istilik keçiriciliyi, elastiklik modulu, sıxlıq kimi parametrlərdən asılı olur. Termoelastiklik nəzəriyyəsində bu cür proseslər həm temperatur sahəsinin dəyişməsi, həm də deformasiya dalğalarının qarşılıqlı təsiri ilə xarakterizə olunur.

Məqalənin məqsədi — silindrik mühitdə termodinamik dalğaların yayılma məsələsini riyazi baxımdan tədqiq etmək, bu proses üçün diferensial tənliklər sistemini qurmaq və təqribi həll üsullarını tətbiq etməklə dalğa xarakteristikalarını müəyyən etməkdir.

1. Riyazi modelin qurulması

Silindrik koordinat sistemində (r, φ, z) dəyişənləri üzrə istilik və deformasiya prosesləri aşağıdakı bərabərliklərlə ifadə olunur:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) - \beta \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) - \gamma \frac{\partial u}{\partial t}$$

Burada $u(r, t)$ – radial istiqamətdə deformasiya, $T(r, t)$ – temperaturun dəyişməsi, c – elastik dalğanın yayılma sürəti, k – istilik keçiricilik əmsali, β və γ – termoelastik qarşılıqlı təsir sabitləridir.

2. Sərhəd və başlanğıc şərtlər

Silindrik mühit üçün sərhəd şərtləri $u(0, t)$ müntəzəmdir, $T(R, t) = 0$ şəklində verilir. Burada R – silindrin xarici radiusudur.

Başlanğıc şərtlər isə aşağıdakı kimidir:

$$u(r, 0) = f(r), \quad \frac{\partial u}{\partial t}(r, 0) = g(r), \quad T(r, 0) = h(r)$$

Bu şərtlər mühitin ilkin temperatur paylanması və başlanğıc deformasiya vəziyyətini ifadə edir.

3. Təqribi həll üsulu

Bu cür birləşmiş sistemlər adətən ayrılma üsulu, yaxud sonlu fərqlər üsulu ilə təqribi həll olunur.

Məsələn, $u(r, t) = R(r)T(t)$ şəklində ayrılma aparılsa, radial hissə üçün Bessel tipli tənlik alınır:

$$r^2 R''(r) + rR'(r) + (\lambda^2 r^2)R(r) = 0$$

onun həlli isə $R(r) = J_0(\lambda r)$ formasındadır, burada J_0 – sıfır dərəcəli Bessel funksiyasıdır. Bu üsul vasitəsilə temperatur və deformasiya sahələri üçün ayrılıqlı həll formaları tapılır, nəticədə mühidə dalğaların yayılma sürəti və sönmə əmsalları müəyyən edilir.

4. Nəticələr və fiziki təhlil

Aparılan analiz göstərir ki:

- Termodinamik dalğaların sürəti mühitin istilik keçiriciliyindən və elastiklik modulundan asılıdır.

- Yüksək istilik keçiricilikli mühitlərdə dalğalar daha sürətlə sönür.

- Termoelastik sabitlər artdıqca mexaniki və istilik dalğalarının qarşılıqlı təsiri güclənir.

- Silindrik mühitin radiusu artdıqca dalğanın amplitudası mərkəzdən periferiyaya doğru azalır.

Nəticə

Silindrik mühidə termodinamik dalğaların yayılması məsələsi riyazi fizikanın mühüm problemlərindən biridir. Bu məqalədə verilən model termoelastiklik nəzəriyyəsinə əsaslanır və mexaniki deformasiya ilə istilik sahəsi arasında qarşılıqlı əlaqəni əks etdirir. Təqribi üsullarla aparılan analizlər göstərir ki, dalğa proseslərinin xarakteri mühitin fiziki parametrləri və sərhəd şəraitindən asılı olaraq dəyişir. Öldə olunan nəticələr boru sistemlərinin istilik rejimlərinin hesablanması, enerji ötürmə kanallarının modelləşdirilməsində və material elminin termo-mexaniki analizlərində tətbiq oluna bilər.

Aşağıdakı bəzi nümunələrə baxaq:

1. Başlanğıc temperatur paylanmasına aid nümunə:

$$h(r) = T_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right)$$

$r(m)$	$T(r, 0) (^{\circ}C)$
0	100
0.02	96
0.05	75
0.08	36
0.1	0

Bu nümunə silindrin mərkəzində maksimum temperatur, periferiyada (yəni $r = R$) isə sıfıra yaxın olduğunu göstərir.

2. Radial deformasiya paylanması Bessel funksiyası ilə:

$$u(r, T) = A_1 J_0(2.4048 \frac{r}{R}) e^{-0.1t}$$

$r(m)$	$T(r, 0) (^{\circ}C)$
0	1.0
0.02	0.95
0.05	0.77
0.08	0.35
0.1	0.0

3. Dalğanın zamanla sönmə nümunəsi:

$$u_1(r, T) = A_1 J_0(2.4048 \, r/R) e^{-0.1t}$$

$t(s)$	$u_1(0, t)(nisbi)$
0	1.0
1	0.905
2	0.819
5	0.606
10	0.368

4. Termodinamik qarşılıqlı təsir nümunəsi:

İstilik və deformasiya fərqli sönmə əmsalları ilə verilir, belə ki,

$$T(r, T) = T_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) e^{-0.05t}, \quad u(r, t) = A_1 J_0(2.4048 \, r/R) e^{-0.1t}$$

Burada $u(r, t)$ deformasiya daha sürətlə sönür, $T(r, t)$ temperaturu daha yavaş azalır

Ədədiyyat

- [1]. Гималтинов, И.К. Динамика давления в цилиндрическом канале / И.К.Гималтинов, М.Н.Галимзянов, Е.Ю.Кочанова // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2023. – Т. 96. – С. 1008–1016.
- [2]. Еремеев В.А. Поверхностные волны в цилиндрических упругих оболочках // Journal of Sound and Vibration. – 2020. – Т. 469. – С. 115–122.
- [3]. Карташов Э.М. Обобщённая модель теплового удара в динамической термоэластичности // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2023. – Т. 96. – С. 1017–1025.
- [4]. Чумаков Ю.А. Режимы горения газа в пористой среде // –Springer, –2009. – 250 с.
- [5]. Althobaiti S. Wave propagation in an elastic coaxial hollow cylinder exposed to thermal heating // Journal of Thermal Stresses, –2022. 45(3), –pp.287–305
- [6]. Sharifi H. Analytical solution for thermoelastic stress wave propagation in a hollow cylinder // European Journal of Computational Mechanics, –2022, 31(3), –pp.147–160

Summary

Investigation of thermodynamic wave propagation in a cylindrical medium

Babajanova V.H.

Keywords: cylinder, thermodynamics, wave, amplitude, initial condition, modeling.

This paper investigates the propagation of thermodynamic waves in a cylindrical medium. The governing equations describing wave behavior were formulated in cylindrical coordinates and solved using analytical or numerical methods. Physical parameters such as wave speed, amplitude, and energy propagation were evaluated under various initial and boundary conditions. The obtained results enable more accurate modeling of thermodynamic processes in cylindrical systems and facilitate optimization in engineering applications.

Резюме

Исследование распространения термодинамических волн в цилиндрической среде

Бабаджанова В.Г.

Ключевые слова: цилиндр, термодинамика, волна, амплитуда, начальное условие, моделирование.

В данной статье исследован процесс распространения термодинамических волн в цилиндрической среде. Основные уравнения, описывающие поведение волн, были сформулированы в цилиндрических координатах и решены с использованием аналитических или численных методов. Физические параметры, такие как скорость волн, амплитуда и распространение энергии, оценивались для различных начальных и граничных условий. Полученные результаты позволяют более точно моделировать термодинамические процессы в цилиндрических системах и способствуют оптимизации инженерных приложений.

Numerical solution of a problem of determining the right handside for a string vibration equation

Nasibzadeh Vusala Nazim [ORCID](#)

Sumgait State University, Sumgait, Azerbaijan, PhD, senior lecturer
vusala.nasibzada@sdu.edu.az

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article history: Received 23.07.2025 Received in revised form 28.09.2025 Accepted 03.11.2025	The paper considers the inverse problem of determining the right-hand side of the string vibration equation. This problem reduces to the problem of minimizing a functional constructed using additional information. The problem is solved numerically using the gradient projection method.
Keywords inverse problem, vibration equation, minimization of functional, optimality condition, gradient projection method	

1. Problem statement

Let us consider a problem of finding of the pair $(u(x, t), v(t))$ from the following relations:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + v(t), \quad (x, t) \in Q = (0, \ell) \times (0, T), \quad (1)$$

$$u(x, 0) = u_0(x), \quad \frac{\partial u(x, 0)}{\partial t} = u_1(x), \quad 0 \leq x \leq \ell, \quad (2)$$

$$u(0, t) = u(\ell, t) = 0, \quad 0 \leq t \leq T, \quad (3)$$

$$u(x_0, t) = p(t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (4)$$

here $u_0(x), u_1(x), p(t)$ —are the given functions, $0 < x_0 < \ell$.

Let us reduce this inverse problem to the following optimal control problem:

Find the minimum of the functions

$$J_\beta(v) = \frac{1}{2} \int_0^T [u(x_0, t; v) - p(t)]^2 dt + \frac{\beta}{2} \int_0^T [v(t) - \omega(t)]^2 dt \quad (5)$$

at within the constraints (1)-(3) and for

$$v(t) \in V = \left\{ v(t) / \int_0^T v^2(t) dt \leq r^2 \right\} \quad (6)$$

where $\omega(t)$ —is a given function, $r > 0$ —is a given number.

It is assumed that all the data of the problem are rather regular.

For numerical solution at this problem we can use various minimization methods, for example, the method of gradient projection, the method of conditional gradient.

In brief, we stop on the gradient projection method. For the problem (1)-(3), (5), (6) the gradient projection method is reduced to constructing the minimization sequence $\{v_k(t)\}$ by the rule

$$v_{k+1}(t) = \begin{cases} v_k(t) - \alpha_k J'_\beta(v_k), \\ \int_0^T [v_k(t) - \alpha_k J'_\beta(v_k)]^2 dt \leq r^2 \text{ for,} \\ r(v_k(t) - \alpha_k J'_\beta(v_k)) \\ \left(\int_0^T [v_k(t) - \alpha_k J'_\beta(v_k)]^2 dt \right)^{\frac{1}{2}}, \\ \int_0^T [v_k(t) - \alpha_k J'_\beta(v_k)]^2 dt > r^2 \text{ for,} \end{cases}$$

where $\alpha_k > 0$ is chosen by one of the rules described in [1] §4, p.2 $J'_\beta(v)$ – is the gradient of the functional (5) and determines

$$J'_\beta(v) = \psi(x, t; v) + \beta[v(t) - \omega(t)]$$

$\psi(x, t; v)$ – is determines as the solution of the problems (1)-(3), (5), (6)

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + (u(x, t; v) - p(t))\delta(x - x_0)(x, t) \in (0, \ell) \times (0, T), \quad (7)$$

$$\psi(x, T) = 0, \frac{\partial \psi(x, T)}{\partial t} = 0, 0 \leq x \leq \ell, \quad (8)$$

$$\psi(0, t) = 0, \psi(1, t) = 0, \quad 0 \leq t \leq T \quad (9)$$

being the adjoint of (1)-(3), (5), (6).

2. Numerical solution of the problem

For numerical solution of boundary value problems (1)-(3) in the set $[0, l] \times [0, T]$ we introduce the network domain

$$\omega = \{(x_i, t_j) : x_i = ih, t_j = j\tau, i = \overline{0, n_x}, j = \overline{0, n_t}\}, \quad (10)$$

$$n_x = [l/h], n_t = [T/\tau]$$

where h, τ – are the given numbers are the steps of the network, $[a]$ – is an entire part of the number a .

Let us denote the network functions as $y_{ij} = u(x_i, t_j)$.

Let us approximate the differential equations, initial and boundary conditions as follows [79]:

$$\frac{y_i^{j+1} - 2y_i^j + y_i^{j-1}}{\tau^2} = \frac{y_{i+1}^{j+1} - 2y_i^{j+1} + y_{i-1}^{j+1}}{h^2} + v^j, \quad (11)$$

$$i = 1, \dots, n_x - 1, j = 1, \dots, n_t$$

$$y_i^0 = u_{0i}, y_i^1 = u_{0i} + \tau u_{1i}, i = 0, \dots, n_x, \quad (12)$$

$$y_0^j = y_1^j, y_{n_x}^j = y_{n_x-1}^j, \quad (13)$$

where $u_{0i} = u_0(x_i)$, $u_{1i} = u_1(x_i)$, $v^j = v(t^j)$, $i = \overline{0, n_x}$, $j = \overline{0, n_t}$ are network functions.

After simple calculations, instead of (11), we obtain the following system of three-diagonal algebraic equations:

$$A_i y_{i+1}^{j+1} - C_i y_i^{j+1} + B_i y_{i-1}^{j+1} = -F_i^j. \quad (14)$$

Here we accepted the following denotations:

$$A_i = \frac{\tau^2}{h^2}, B_i = \frac{\tau^2}{h^2}, C_i = 1 + 2\frac{\tau^2}{h^2}, F_i^j = 2y_i^j - y_i^{j-1} + \tau^2 v^j.$$

It is clear that (12)-(14) is a system of three-diagonal equations, for its numerically, we will use the sweep method suggested in [2].

Similar to the direct problem, the adjoint problem is approximated as follows:

$$\begin{aligned} \frac{\psi_i^{j+1} - 2\psi_i^j + \psi_i^{j-1}}{\tau^2} &= \frac{\psi_{i+1}^{j+1} - 2\psi_i^{j+1} + \psi_{i-1}^{j+1}}{h^2} + \\ &+ (y_i^j - p^j) \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{0.5(x_i - x_0)^2}{\sigma^2}}, \end{aligned} \quad (15)$$

$$\psi_i^{n_t} = 0, \psi_i^{n_t-1} = 0, i = 0, \dots, n_x, \quad (16)$$

$$\psi_0^j = \psi_1^j, \psi_{n_x}^j = \psi_{n_x-1}^j. \quad (17)$$

After simple transformations, instead of (15), we obtain a system of three-diagonal algebraic equations of the form (14), but in this case the constants are determined as follows:

$$\begin{aligned} A_i &= \frac{\tau^2}{h^2}, B_i = \frac{\tau^2}{h^2}, C_i = 1 + 2\frac{\tau^2}{h^2}, \\ F_i^j &= 2\psi_i^j - \psi_i^{j-1} + (y_i^j - p^j) \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{0.5(x_i - x_0)^2}{\sigma^2}}. \end{aligned}$$

To approximate a certain integral, we use a rectangular method with the step $h = 0.01$.

3. The results of numerical experiments

To solve the boundary value problem numerically in the set $[0,1] \times [0,1]$ we introduce the regular network (1)-(3) domain with the step $h = 0.01, \tau = 0.01$.

In order to set the inverse problem, we assume that $x_0 = 0.7, v(t) = 2t, \omega^* = 2t$. Assume that, $u(x, t) = -tx(x-1)$ is the exact solution of the following boundary value problem

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + v(t), (x, t) \in Q \equiv (0,1) \times (0,1), \\ u(x, 0) &= 0, \frac{\partial u(x, 0)}{\partial t} = -x(x-1), 0 \leq x \leq 1, \\ \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=0} &= 0, \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=1} = 0, 0 \leq t \leq 1 \end{aligned}$$

and

$$J_\beta(v) = \frac{1}{2} \int_0^1 [u(0.7, t; v) - 0.21t]^2 dx + \frac{\beta}{2} \int_0^1 [v(t) - \omega^*(t)]^2 dt. \quad (18)$$

We use the gradient projection method for solving the optimal control problem. In table 1, for $\beta = 0.0001, \sigma^2 = 5$ the results obtained from the minimization of the functional (18) was given.

Exact and obtained graphs of optimal controls for various initial approximations are given in figure 1.

Table 1.

Results of minimization of the functional (18).

№	ν_0	J_0	$J_{\min}$	Number of iterations
1.	5	0,1465	$2,80 \cdot 10^{-8}$	6
2.	-5	0,2577	$4,61 \cdot 10^{-8}$	2
3.	t^2	0,0024	$3,46 \cdot 10^{-8}$	4
4.	$t^2 + 5$	0,1579	$1,92 \cdot 10^{-8}$	4
5.	$t - 6$	0,3193	$5,063 \cdot 10^{-8}$	3
6.	10	0,6845	$6,79 \cdot 10^{-9}$	4

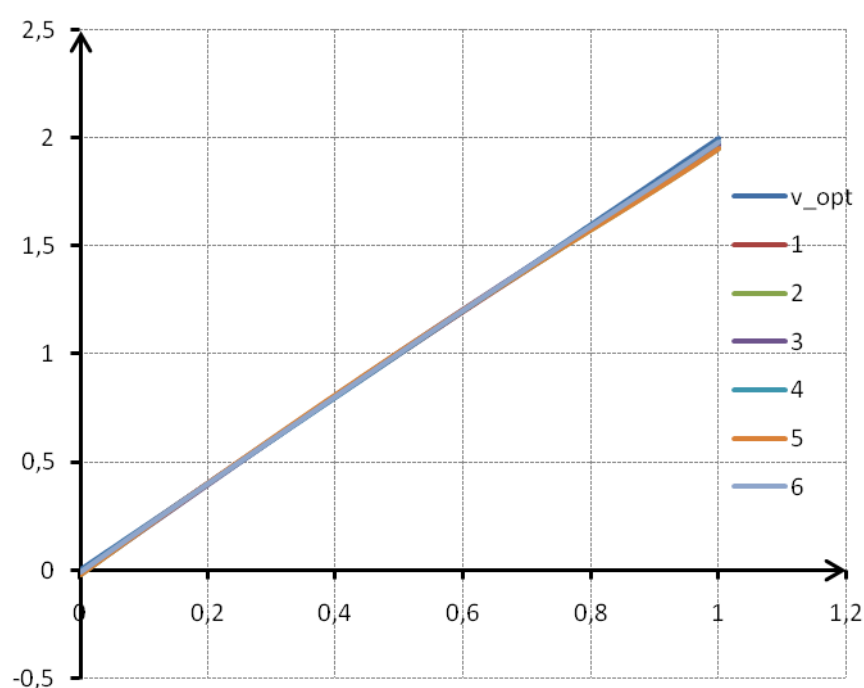


Fig. 1. The graphs of the exact and obtained optimal controls

Table 2.

Results of minimization of the functional (18) under the constraints on the controls

№	ν_0	J_0	$J_{\min}$	Number of iteration
1.	5	0,1465	$2,80 \cdot 10^{-8}$	2
2.	-5	0,2577	$5,51 \cdot 10^{-8}$	3
3.	t^2	0,0024	$5,9 \cdot 10^{-7}$	2
4.	$t^2 + 5$	0,1579	$3,62 \cdot 10^{-8}$	2
5.	$t - 6$	0,3193	$5,83 \cdot 10^{-8}$	3
6.	10	0,6845	$2,2 \cdot 10^{-8}$	2

Table 2 gives the results obtained from the minimization of the functional (18) for $r = 1.34$ allowing for a constraints. Exact and obtained graphs of the optimal controls for various initial approximations are given in figure 2.

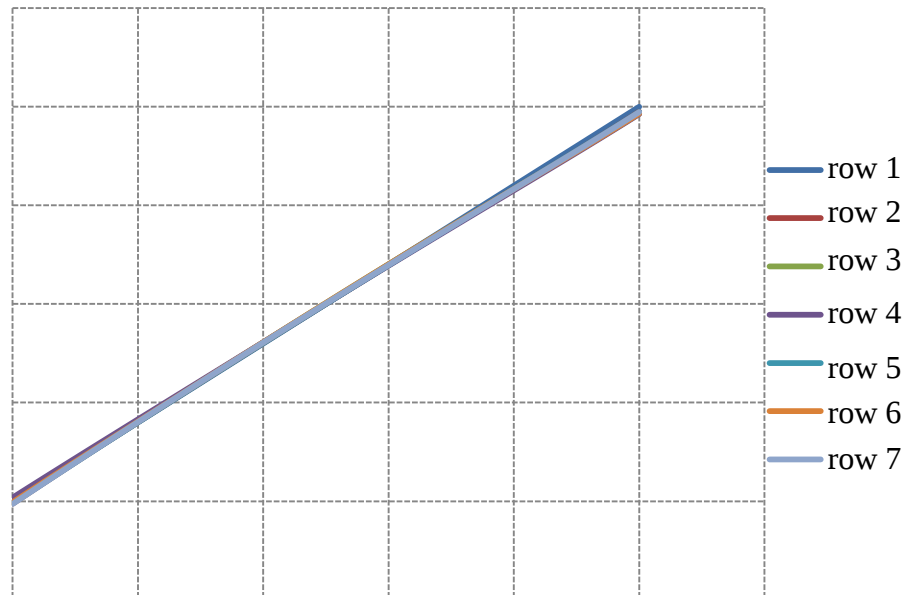


Fig. 2. Exact and obtained graphs of optimal controls

References

- [1]. Vasil'ev, F.P. Methods for solving extremum problems / F.P.Vasil'ev. –Moscow: Nauka , –1981. –400 p.
- [2]. Samarsky, A.A. Difference schemes for differential equations with generalized solutions / A.A.Samarsky, R.D.Lazarov, V.L.Makarov. – Moscow: Vysshaya Shkola, –1987, –296 p.

Xülasə

Simin rəqsləri tənliyi üçün sağ tərəfin təyin olunması məsələsinin ədədi həlli

Nəbibzadə V.N.

Açar sözlər: *tərs məsələ, rəqslər tənliyi, funksionalın minimallaşdırılması, optimallıq şərti, qradientin proyeksiya üsulu*

İşdə simin rəqsləri tənliyinin sağ tərəfinin tapılmasının tərs məsələsinə baxılır. Bu məsələ əlavə informasiyanın köməyiylə qurulmuş funksionalın minimallaşdırılmasına gətirilir. Qradientin proyeksiya üsulundan istifadə edilərək məsələ ədədi həll olunur.

Резюме

Численное решение задачи определения правой стороны уравнения колебания струны

Насибзаде В.Н.

Ключевые слова: *обратная задача, уравнение колебаний, минимизация функционала, условие оптимальности, метод градиентной проекции*

В работе рассматривается обратная задача определения правой части уравнения колебаний струны. Эта задача сводится к задаче минимизации функционала, построенного с помощью дополнительной информации. Задача решена численно с использованием метода проекции градиента.

UOT 101.01

DOI 10.54758/16801245_2025_25_4_12

Продукционная модель управления мехатронных устройств функционирующих в условиях неопределенности

¹Алиева Конуль Ризван гызы [ORCID](#)²Руфуллаева Рена Агабала гызы³Курбанова Сабина Ильгар гызы [ORCID](#)

Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан, 1,3-baş müəllim
Средняя общеобразовательная школа № 17, Сумгаит, Азербайджан, 2-директор
konul.aliyeva1@sdu.edu.az

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ	РЕЗЮМЕ
История статьи Получено: 07.07.2025 Исправлено: 16.09.2025 Принято: 22.10.2025	Разработана продукционная модель управления мехатронными устройствами функционирующими в условиях неопределенности. Создана база правил и реализована процедура фаззификации всех под условия входных и выходных лингвистических переменных. Реализованы процедуры агрегации, аккумуляции, активизации и в результате дефаззификации определены количественные значения выходных лингвистических переменных.
Ключевые слова правила продукции, база правил, нечеткое множество, функции принадлежности, мехатронные устройства	

Введение

Образование канала алюминиевых испарителей является одним из самых ответственных и трудоемких процессов на линии изготовления испарителей, что объясняется следующими факторами. Обслуживающий персонал [1,2] выполняет монотонно повторяющиеся операции в агрессивных условиях под постоянным нервным напряжением, что часто приводит к несчастным случаям. Участок отличается большим количеством брака по вине обслуживающего персонала. Работа прессовщика является наиболее трудоемкой. Учитывая изложенное, а также отсутствие гибкости при переходе на выпуск других типоразмеров испарителей и всевозрастающие требования к культуре производства вызвали необходимость роботизации данного технологического процесса. Создание автоматизированного образования канала алюминиевых испарителей позволит: значительно уменьшить брак производства и следовательно, сэкономить цветной металл; улучшить качество выпускаемой продукции; высвободить рабочих от монотонного, малоквалифицированного труда во вредных для здоровья производственных условиях; повысить производительность труда путем оперативного программного переналаживания участка на выпуск других типоразмеров испарителей.

В действующем производстве образование канала алюминиевых испарителей выполняют по следующей технологии: полуфабрикат алюминиевого испарителя из предыдущей позиции автоматической транспортной системой (АТС) перемещают к позиции подъемно-позиционирующего манипулятора (ППМ) промышленного робота (ПР); после позиционирования полуфабриката его с помощью ПР перемещают к позиции ППМ устройства вскрытия цилиндрического отверстия (УВЦО); включают УВЦО и на специальном приспособлении выполняют операции вскрытия цилиндрического отверстия; по окончании операции с помощью ПР захватывают полуфабрикат и перемещают к позиции

АТС для последующей доставки к позиции гидропресса, снабженного специальными штампами, где выполняют операцию образования канала. Процесс повторяют в циклическом режиме по мере поступления полуфабриката из предыдущей позиции.

В неопределённой среде моделирование динамически взаимодействующих мехатронных устройств применяются различные математические и эвристические методы, в частности: теория конечных автоматов, модели параллельно функционирующих асинхронных процессов, сетевые и производственные модели. При более сложных взаимодействиях активных элементов применение перечисленных подходов не даёт желаемого эффекта. Системы основанные на применении новых принципов обработки информации с использованием методов искусственного интеллекта [3], которые оперируют со знаниями, воспринятых от человека-эксперта в определенной предметной области позволяют решать подобные задачи в реальном масштабе времени. Основная проблема при этом заключается в создании базы знаний и разработке эффективных методов представления знаний и систем логического вывода.

В связи с этим в представленной работе рассматривается разработка модели управления мехатронными устройствами функционирующими в условиях неопределенности в автоматизированном производстве алюминиевых испарителей.

Модель принятия решений управления мехатронными устройствами

Для формирования базы правил нечеткого вывода определяются следующие лингвистические переменные: входная лингвистическая переменная A – “высота цилиндрического отверстия” и в качестве терм множества для этой переменной использованы множества $T_A = \{\text{нуль, близко к нулю; ниже допустимых значений; чуть ниже допустимых значений; соответствует допуску; чуть выше допустимых значений; выше допустимых значений; существенно выше допустимых значений}\}$. Входная лингвистическая переменная B – “диаметр поперечного сечения цилиндрического отверстия” и в качестве терм множества для этой переменной использовано $T_B = \{\text{нуль, близко к нулю; ниже допустимых значений; чуть ниже допустимых значений; соответствует допуску; чуть выше допустимых значений; выше допустимых значений; существенно выше допустимых значений}\}$. Выходная лингвистическая переменная C – “полуфабрикат” и в качестве терм множества для этой переменной используется множества $C = \{\text{бракованный; нормальной, близко к нормальному; нормальной; полуфабрикат принимают в систему контроля}\}$

База нечетких продукций для управления мехатронными устройствами функционирующими в условиях неопределенности представляется в виде [4]:

ПРАВИЛО «#»: ЕСЛИ A есть α И B есть β ТО C есть γ ;

где A, B, C – название лингвистической переменной; α, β, γ – их значение.

При фазификации входных переменных «высота цилиндрического отверстия», «диаметр поперечного сечения цилиндрического отверстия» и выходных переменных «полуфабрикат» использована трапециевидная функция принадлежности [5]:

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

где a, b, c, d – модальные числа удовлетворяющие условию $a \leq b \leq c \leq d$

Ниже создаётся база нечетких продукционных правил для управления модулем вскрытия цилиндрического отверстия автоматизированного участка образования канала алюминиевых испарителей.

По технологии, известно, что высота цилиндрического отверстия должна быть в пределах (10 ± 2) мм, а диаметр его поперечного сечения (4 ± 0.5) мм. Создана нечеткая производственная система контроля вскрытия цилиндрического отверстия в полуфабрикате алюминиевых испарителей.

База производственных правил системы нечеткого вывода выглядит следующим образом:

Правило 1: Если высота цилиндрического отверстия соответствует допускам, и диаметр поперечного сечения цилиндрического отверстия соответствует допускам, то полуфабрикат считают нормальным.

Правило 2: Если высота цилиндрического отверстия чуть ниже допустимых значений, и диаметр поперечного сечения цилиндрического отверстия чуть ниже допустимых значений, то полуфабрикат считают нормальным, близко к нормальному.

Правило 3: Если высота цилиндрического отверстия чуть выше допустимых значений, и диаметр поперечного сечения цилиндрического отверстия чуть выше допустимых значений, то полуфабрикат считают нормальным, близко к нормальному.

Правило 4: Если высота цилиндрического отверстия выше допустимых значений, и диаметр поперечного сечения цилиндрического отверстия выше допустимых значений, то полуфабрикат принимают в систему контроля.

Правило 5: Если высота цилиндрического отверстия ниже допустимых значений, и диаметр поперечного сечения цилиндрического отверстия ниже допустимых значений, то полуфабрикат принимают в систему контроля.

Правило 6: Если высота цилиндрического отверстия существенно выше допустимых значений, и диаметр поперечного сечения цилиндрического отверстия существенно выше допустимых значений, то полуфабрикат считают бракованным.

Правило 7: Если высота цилиндрического отверстия нуль, близко к нулю, и диаметр поперечного сечения цилиндрического отверстия нуль, близко к нулю, то полуфабрикат считают бракованным.

Для фаззификации термов лингвистической переменной [6] А выбраны функции принадлежности (рис.1) в универсуме $X_1 = [0, 20]$ и определены следующие нечёткие множества: $A_1 = [0, 0, 1, 3]$ – нуль, близко к нулю; $A_2 = [0, 1, 2, 4]$ – ниже допустимых значений; $A_3 = [2.5, 3.5, 6, 7]$ – чуть ниже допустимых значений; $A_4 = [7, 8, 11, 12]$ – соответствует допускам; $A_5 = [11, 13, 14, 15.5]$ – чуть выше допустимых значений; $A_6 = [14.5, 16, 17, 18]$ – выше допустимых значений; $A_7 = [17.5, 19, 20, 20]$ – существенно выше допустимых значений.

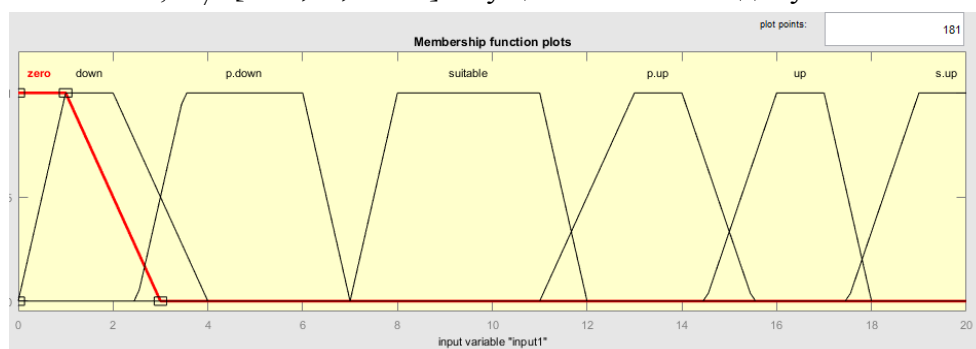


Рисунок1. Графики функций принадлежности термов лингвистической переменной “высота цилиндрического отверстия”

Для фаззификации термов лингвистической переменной В выбраны функции принадлежности (рис.2) в универсуме $X_2 = [0, 20]$ и определены следующие нечёткие

множества: $B_1=[0,0,1,2]$ – нуль, близко к нулю; $B_2=[0,0.5, 2,3]$ – ниже допустимых значений; $B_3=[2,3,5,7]$ – чуть ниже допустимых значений; $B_4=[6,8,10,12]$ – соответствует допускам; $B_5=[11,12, 14, 15]$ – чуть выше допустимых значений; $B_6=[14.5,16,17,18]$ – выше допустимых значений; $B_7=[17,19,20,20]$ – существенно выше допустимых значений.

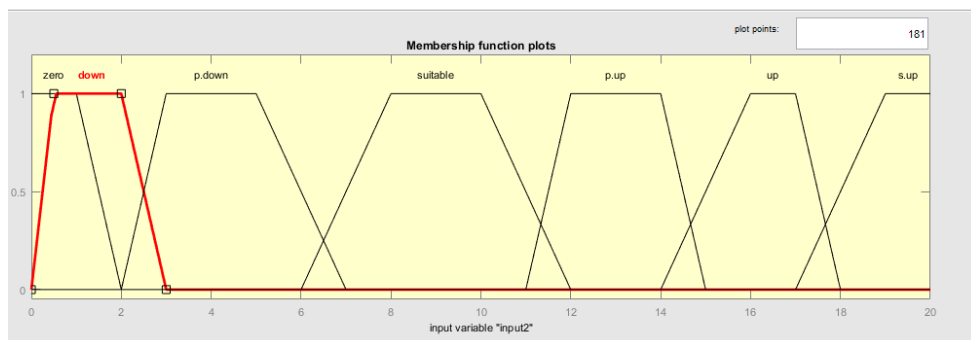


Рисунок 2. Графики функций принадлежности термов лингвистической переменной “диаметр поперечного сечения цилиндрического отверстия”

Для фаззификации термов лингвистической выходит переменной С выбраны функции принадлежности (рис.3) в универсуме $X_3=[0,20]$ и определены следующие нечёткие множества: $C_1=[0,0,2,3]$ – бракованный; $C_2=[2, 5,6,7]$ – близко к нормальной; $C_3=[6,8,10,12]$ – нормальный; $C_4=[10,11, 13,15]$ – близко к нормальной; $C_5=[14,15,17,18]$ – полуфабрикат принимают в систему контроля; $C_6=[17,19,20,20]$ – бракованный.

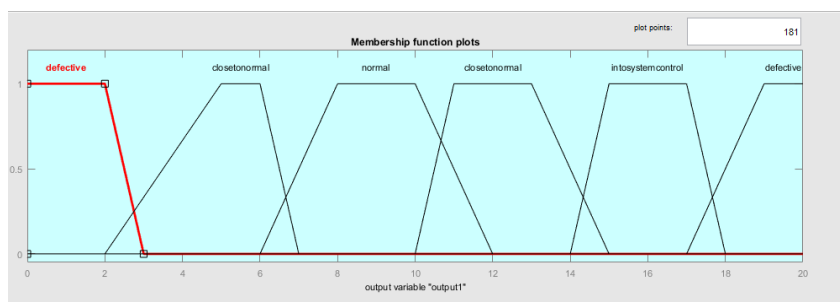


Рисунок 3. Графики функций принадлежности термов лингвистической переменной – “полуфабрикат”

Нечеткие множества, соответствующие элементам множества термов входной лингвистической переменной А можно представит в виде:

$$\begin{aligned} \check{A}_1(x) &= \{(1/0), (1/0.5), (1/1), (0.75/1.5), (0.5/2), (0.25/2.5), (0/3)\}; \\ \check{A}_2(x) &= \{(0/0), (0.5), (1/1), (1/1.5), (1/2), (0.75/2.5), (0.5/3), (0.25/3.5)(0/4)\}; \\ \check{A}_3(x) &= \{(0/2.5), (0.5/3), (1/3.5), (1/4)(1/4.5), (1/5), (1/5.5), (1/6), (0.5/6.5), (0/7)\}; \\ \check{A}_4(x) &= \{(0/7), (0.5/7.5), (1/8), (1/8.5), (1/9), (1/9.5), (1/10), (1/8.5), (1/11), (0.5/11.5), (0/12)\}; \\ \check{A}_5(x) &= \{(0/11), (0.25/11.5), (0.5/12), (0.75/12.5), (1/13), (1/13.5), (1/14), (0.67/14.5), \\ &\quad /15.5)\}; \\ \check{A}_6(x) &= \{(0/14.5), (0.33/15), (0.67/15.5), (1/16), (1/16.5), (1/17), (0.5/17.5), (0/18)\}; \end{aligned}$$

$$\check{A}_7(x) = \{(0/17.5), (0.33/18), (0.67/18.5), (1/19), (1/19.5), (0/20)\};$$

Нечеткие множества, соответствующие элементам множества термов выходной лингвистической переменной В можно представить в виде:

$$\check{B}_1(x) = \{(1/0), (1/1), (0/2)\};$$

$$\check{B}_2(x) = \{(0/0), (1/1), (1/2), (0/3)\};$$

$$\check{B}_3(x) = \{(0/2), (1/3), (1/4), (1/5)(0.5/6), (0/7)\};$$

$$\check{B}_4(x) = \{(0/6), (0.5/7), (1/8), (1/9), (1/10), (0.5/11), (0/12)\};$$

$$\check{B}_5(x) = \{(0/11), (1/12), (1/113), (1/14), (0/15)\}$$

$$\check{B}_6(x) = \{(0/14), (0.5/15), (1/16), (1/17), (0/18)\};$$

$$\check{B}_7(x) = \{(1/17), (0/18), (0/19), (0/20)\};$$

Нечеткие множества, соответствующие элементам множества термов выходной лингвистической переменной С можно представить в виде:

$$\check{C}_1(x) = \{(1/0), (1/1), (1/2), (0/3), \};$$

$$\check{C}_2(x) = \{(0/2), (0.33/3), (0.67/4), (1/5), (1/6), (0/7)\};$$

$$\check{C}_3(x) = \{(0/6), (0.5/7), (1/8), (1/9)(1/10), (0.5/11), (0/12)\};$$

$$\check{C}_4(x) = \{(0/10), (1/11), (1/12), (1/13), (0.5/14), (0/15)\};$$

$$C_5(x) = \{(0/14), (1/15), (1/16), (1/17), (1/17)(0/18)\};$$

$$\check{C}_6(x) = \{(0/17), (0.5/18), (1/19), (0/20)\};$$

Этап фаззификации – является установление соответствия конкретным численным значением отдельной входной переменной системы нечеткого вывода и значением функции принадлежности соответствующего ей терма входной лингвистической переменной. После завершения этапа фаззификации для всех входных переменных определяются конкретные значения функций принадлежности по каждому из лингвистических термов, входящие в подусловия базы правил системы нечеткого вывода.

Применяя в качестве алгоритма нечеткого вывода Мамдани определяются конкретные значения функций принадлежности по каждому из входных лингвистических переменных. Вычисляются все значения функций принадлежности $\mu_{\check{A}_i}(x)$ и $\mu_{\check{B}_i}(y)$ термов лингвистических переменной в подусловиях базы правил с учетом значения $x=6.6$ и $y=6.3$ и приводит к следующим значениям:

$$\mu_{\check{A}_1}(x) = 0.07; \mu_{\check{A}_2}(x) = 0.4; \mu_{\check{A}_3}(x) = 0; \mu_{\check{A}_4}(x)=0;$$

$$\mu_{\check{A}_5}(x) = 0; \mu_{\check{A}_6}(x) = 0; \mu_{\check{A}_7}(x)=0; \mu_{\check{B}_1}(y) = 0.15; \mu_{\check{B}_2}(y)=0.35; \mu_{\check{B}_3}(y)=0.$$

Агрегирование условий по каждому из правил системы нечеткого вывода выполняется с применением нечеткой импликации. Степени истинности условий для каждого правила продукции отражена в таблица 1.

Таблица 1.

Результаты этапа агрегирования

Продукции	Степень истинности под условия переменной А	Степень истинности под условия переменной В	Степень истинности условий по каждому из правил
Правило 1	0.070	0.150	0.070
Правило 2	0.400	0.350	0.350
Правило 3	0.000	0.000	0.000
Правило 4	0.000	0.000	0.000
Правило 5	0.000	0.000	0.000
Правило 6	0.000	0.000	0.000
Правило 7	0.000	0.000	0.000

Процедура активации представляет процесс нахождения степени истинности q_i ($i=1,7$) каждого из подзаключений правил нечетких продукций. Для этого выполняется

алгебраическое произведение степени истинности подзаклучений на весовой коэффициент соответствующего правила. Весовые коэффициенты F_i для каждого правила считаются равными единице. Результаты активации отображена в таблице 2.

Таблица 2.

Степени истинности подзаклучений продукций

Продукции	Степень истинности подзаклучений
Правило 1	0.070
Правило 2	0.350
Правило 3	0.000
Правило 4	0.000
Правило 5	0.000
Правило 6	0.000
Правило 7	0.000

После нахождения множества q_i ($i = \overline{1,7}$), функции принадлежности каждого из подзаклучений продукционных правил p_i находятся с методом нечеткой композиции $\mu(p_i) = \min\{q_i, \mu_{\tilde{C}}(x_i)\}$, $i = \overline{1,7}$, где $\mu_{\tilde{C}}(x_i)$ и q_i – соответственно функция принадлежности термов выходных лингвистических переменных и степень истинности подзаклучений правила нечеткой продукции p_i :

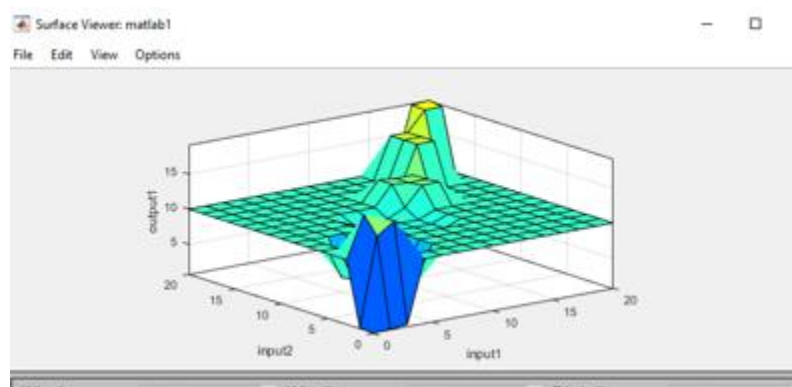
$$\mu(p_1) = \min\{q_1, \mu_{\tilde{C}_3}(6.4)\} = \min\{0.07; 0.6\} = 0.07;$$

$$\mu(p_2) = \min\{q_2, \mu_{\tilde{C}_4}(11.5)\} = \min\{0.35; 1\} = 0.35.$$

Дефаззификация – это процесс перехода от функции принадлежности выходной лингвистической переменной к ее количественному значению. Дефаззификация выходной лингвистической переменной **“полуфабрикат”** с применением метода центра тяжести приводит к следующему значению:

$$x = (6.4 \cdot 0.07 + 11.5 \cdot 1) / (0.07 + 1) = 11.166$$

Для общего анализа разработанного нечеткого вывода **“полуфабрикат”** выполнена визуализация поверхности нечеткого вывода (рис. 4) и это позволяет установить зависимость между входными и выходными переменными нечеткого вывода.

Рисунок 4. Визуализация поверхности нечёткого вывода **“полуфабрикат”**

Заключение

Разработана модель принятия решений управления устройства вскрытия цилиндрического отверстия в автоматизированном производстве алюминиевых испарителей. Создана база нечетких продукционных правил для контроля вскрытия цилиндрического отверстия в полуфабрикате. Реализована процедура фаззификации всех подусловий входных

и выходных лингвистических переменных. Осуществлены процедуры агрегации, аккумуляции, активизации и в результате дефаззификации определены количественные значения выходных лингвистических переменных. Использование автоматического нечеткого управления позволяет с помощью значений элементов терм множеств описывать поведение системы, сформулировать в лингвистической форме правила управления приводящие к премлемому результату.

Литература

- [1]. Мустафаев, В.А. Анализ производственных моделей динамических взаимодействующих процессов с применением модифицированных нечетких сетей Петри / В.А.Мустафаев, Ш.С.Гусейнзаде, Ш.М.Джафарова // Вестник компьютерных и информационных технологий, –М., –2017, –с. 21-25
- [2]. Mustafayev, V.A., Ruffullaeva, R.A. A decision-making model for control of the temperature of a lamp furnace under uncertainty // Proceedings of the 8th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA 2022), –Baku, –24-26 August, – 2022, – p. 342-344
- [3]. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. / А.В.Леоненков. –Санкт-Петербург: БХВ- Петербург, –2005. –717 с.
- [4]. Kolesov, Yu.B., Modeling Systems. Dynamic and hybrid Systems / Yu.B.Kolesov, Yu.B.Senichenkov // BHV, –Petersburg, –2006, –284 p. [in Russian Language]
- [5]. Mustafayev, V.A., Salmanova, M.N. Decision making model for controls of complex parallel functioning distributed systems // The 7th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA 2020), Volume I, – Baku: –26-28 August, – 2020, – p. 293-295
- [6]. Перельмутер, В.М. Пакеты расширения MATLAB. Control System Toolbox и Robust Control Toolbox / В.М. Перельмутер, –М.: Солон-пресс, –2012. –224 с.

Xülasə

Mexatron qurğuların qeyri səlissə produksiya modelinin işlənməsi

Əliyeva K.R., Ruffullaeva R.A., Qurbanova S.İ.

Açar sözlər: istehsal qaydaları, qaydalar bazası, qeyri-səlissə çoxluq, üzvlük funksiyaları, mexatronik cihazlar

Qeyri-müəyyənlik şəraitində işləyən mexatronik cihazları idarə etmək üçün istehsal modeli hazırlanmışdır. Qayda bazası yaradılmış və şərtlər altında bütün giriş və çıxış lingvistik dəyişənləri üçün qeyri-səlisləşdirmə proseduru həyata keçirilmişdir. Aqreqasiya, akkumulyasiya və aktivləşdirmə prosedurları həyata keçirilmiş, defazifikasiya nəticəsində çıxış lingvistik dəyişənlərinin kəmiyyət qiymətləri müəyyən edilmişdir.

Summary

Production model of control of mechatronic devices functioning under uncertainty

Aliyeva K.R., Ruffullaeva R.A., Gurbanova S.I.

Keywords: production rules, rule base, fuzzy set, MEMBERSHIP functions, mechatronic devices

A production model for controlling mechatronic devices operating under uncertainty has been developed. A rule base has been created and a fuzzification procedure for all input and output linguistic variables under conditions has been implemented. Aggregation, accumulation, and activation procedures have been implemented, and as a result of defuzzification, quantitative values of output linguistic variables have been determined.

On the oscillation of eigenfunctions of some eigenvalue problem with a boundary condition depending on a spectral parameter

Abdullayeva Konul Fail [ORCID](#)

Sumgait State University, Sumgait, Azerbaijan, baş müəllim
konul.abdullayeva@sdu.edu.az

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article history: Received: 14.08.2025 Received in revised form: 28.09.2025 Accepted 03.11.2025	<i>In this paper we consider a spectral problem for ordinary differential equations of fourth order with a spectral parameter in one of the boundary conditions. This problem arises when describing small bending vibrations of a homogeneous elastic cantilever beam in cross-sections of which longitudinal force acts, the left end of which is fixed and to the right end is attached a load with a weightless rod and held in equilibrium by an elastic spring. The structures of root subspaces, the general characteristic of the location of eigenvalues on the real axis and the oscillatory properties of eigenfunctions of the considered problem are studied...</i>
Keywords spectral problem, eigenvalue, eigenvector, oscillatory property of eigenfunctions	

1. Introduction

We consider the following spectral problem

$$\ell(y)(x) \equiv y^{(4)}(x) - (q(x)y'(x))' = \lambda y(x), \quad x \in (0, 1), \quad (1)$$

$$y(0) = y'(0) = y(1) = 0, \quad (2)$$

$$y''(1) = a\lambda y'(1), \quad (3)$$

where $\lambda \in \mathbb{C}$ is a spectral parameter, $Ty \equiv y''' - qy'$, q is a positive absolutely continuous function on $[0, 1]$, a is a negative constant.

Problem (1)-(3) arises when describing small bending vibrations of a homogeneous elastic cantilever beam in cross-sections of which longitudinal force acts, the left end of which is fixed and to the right end is attached a load with a weightless rod and held in equilibrium by an elastic spring (see, e.g., [1, p. 152–154] and [2, p. 1153]).

Problem (1)-(3) under more general boundary conditions was considered in [2] (see also [3]) where this problem is reduced to a self-adjoint operator in the Hilbert space $H = L_2(0, 1) \oplus \mathbb{C}$ with corresponding scalar product. There it was proved that the eigenvalues of considered problem are real and simple and forms an infinitely increasing sequence. Moreover, the oscillatory properties of eigenfunctions and the location of eigenvalues on the real axis are investigated, the basis property in the space $L_p(0, 1)$, $1 < p < \infty$, of the system of eigenfunctions after removing of one arbitrary function is proved, and sufficient conditions for the uniform convergence of spectral expansions in these systems are established.

Since $a < 0$ the operator corresponding to problem (3) is not self-adjoint in the Hilbert space H , but is J -self-adjoint in the Pontryagin space $\Pi_1 = L_2(0, 1) \oplus \mathbb{C}$ with the corresponding inner product. Therefore, problem (1)-(3) can have a real multiple or non-real eigenvalues.

In this paper it is shown that all eigenvalues of this problem are real and simple. Moreover, we study the oscillation properties of eigenfunctions and the location of eigenvalues on the real axis.

2. Operator formulation of problem (1)-(3)

Let $H = L_2(0, 1) \oplus C$ be the Hilbert space with the following scalar product

$$(\hat{y}, \hat{g})_H = (\{y, m\}, \{g, s\})_H = \int_0^1 y(x) \overline{g(x)} dx + |a|^{-1} m \bar{s}. \quad (4)$$

We define the operator $L : D(L) \subset H \rightarrow H$ as follows

$$L\hat{y} = L\{y, m\} = \{\ell(y), y''(1)\}, \quad (5)$$

where $D(L) = \{\hat{y} = \{y, m\} \in H : y \in W_2^2(0, 1), \ell(y) \in L_2(0, 1), y(0) = y'(0) = y(1) = 0, m = ay'(1)\}$ which is dense everywhere in H [2, 3]. It is obvious that the operator L is well defined in H . Then problem (1)-(3) is reduced the following spectral problem

$$L\hat{y} = \lambda \hat{y}, \quad \hat{y} \in D(L), \quad (6)$$

i.e., the eigenvalues $\lambda_k, k \in \mathbb{N}$, of problem (1)-(3) and problem (6) coincide taking into account their multiplicities, and there is a one-to-one correspondence between the root functions $y_k \leftrightarrow \hat{y}_k = \{y_k, m_k\}, m_k = ay_k(1), k \in \mathbb{N}$.

Since $a < 0$ the operator L is not self-adjoint in H . Hence we consider the operator $J : H \rightarrow H$ given by $J\{y, m\} \rightarrow \{y, -m\}$, which generates the Pontryagin space $\Pi_1 = L_2(0, 1) \oplus C$ with the following inner product

$$(\hat{y}, \hat{g})_{\Pi_1} = (\{y, m\}, \{g, s\})_{\Pi_1} = \int_0^1 y(x) \overline{g(x)} dx + am\bar{s}. \quad (7)$$

By [4, Theorem 2.2] the operator JL is self-adjoint, bounded below and has compact resolvent in H . Therefore, L is a J -self-adjoint operator in Π_1 .

We consider the following boundary condition

$$y'(1) \cos \gamma + y''(1) \sin \gamma = 0, \quad \gamma \in [0, \pi/2]. \quad (8)$$

Theorem 1 [5, Theorems 5.4 and 5.5]. *The eigenvalues of problem (1), (2), (8) are positive and simple and form an infinitely increasing sequence $\{\lambda_k(\gamma)\}_{k=1}^\infty$. The corresponding eigenfunction $y_{k,\gamma}(x), k \in \mathbb{N}$, has exactly $k-1$ simple zeros in $(0, 1)$.*

By [5, Proposition 1] we have the following relation:

$$0 < \lambda_1(\pi/2) < \lambda_1(0) < \lambda_2(\pi/2) < \lambda_2(0) < \dots \quad (9)$$

Lemma 1. *For each $\lambda \in C$ there exists a unique nontrivial solution $y(x, \lambda)$ of problem (1), (2) up to a constant factor.*

The proof of this theorem is similar to that of [6, Lemma 2].

Remark 1. Without loss of generality, we can suppose that the function $y(x, \lambda)$ for each $x \in [0, 1]$ is an entire function of λ .

We consider the meromorphic function $F(\lambda) = y''(1, \lambda)/y'(1, \lambda)$ which defined in the set $B = (C \setminus R) \cup \bigcup_{k=1}^\infty (\lambda_{k-1}(0), \lambda_k(0))$, where $\lambda_0(0) = -\infty$. It is obvious that $\lambda_k(\pi/2)$ and $\lambda_k(0), k \in \mathbb{N}$, are the zeros and poles of this function, respectively.

By [2, Lemma 2 and Lemma 3] and [7, Proposition 4] we can show that

$$F'(\lambda) = -\frac{1}{y'^2(1, \lambda)} \int_0^1 y^2(x, \lambda) dx, \quad \lambda \in B, \quad \text{and} \quad \lim_{\lambda \rightarrow -\infty} F(\lambda) = +\infty. \quad (10)$$

$$F(\lambda) = F(0) + \sum_{k=1}^\infty \frac{\lambda c_k}{\lambda_k(0)(\lambda - \lambda_k(0))}, \quad (11)$$

where $c_k = \operatorname{res}_{\lambda=\lambda_k(0)} F(\lambda) > 0, k \in \mathbb{N}$. From (12) we get the following relation

$$F''(\lambda) = 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{c_k}{(\lambda - \lambda_k(0))^3}. \quad (12)$$

Then it follows from (12) that $F''(\lambda) < 0$ for $\lambda \in (-\infty, \lambda_1(0))$, i.e., the function $F(\lambda)$ is concave in the interval $\lambda \in (-\infty, \lambda_1(0))$.

Lemma 2. Let $\lambda > 0$. If $y(\tilde{x}, \lambda) = 0$ or $y''(\tilde{x}, \lambda) = 0$ for some $\tilde{x} \in (0, 1)$, then $y'(\tilde{x}, \lambda)Ty(\tilde{x}, \lambda) < 0$ in a neighborhood of $\tilde{x}$. If $y'(\tilde{x}, \lambda) = 0$ or $Ty(\tilde{x}, \lambda) = 0$ for some $\tilde{x} \in (0, 1)$, then $y(\tilde{x}, \lambda)y''(\tilde{x}, \lambda) < 0$ in a neighborhood of $\tilde{x}$.

The proof of this lemma is similar to that of [5, Lemma 2.2].

Lemma 3. The zeros of the function $y(x, \lambda)$ contained in the interval $(0, 1)$ are simple and continuously differentiable functions of λ .

Proof. The simplicity of the zeros contained in $(0, 1)$ of the functions $y(x, \lambda)$ and $y'(x, \lambda)$ for $\lambda > 0$ follows directly from Lemma 2.

Let $y(x_0, \lambda_0) = y'(x_0, \lambda_0) = 0$ for some $x_0 \in (0, 1)$ and $\lambda_0 \leq 0$. Then λ_0 is an eigenvalue of the problem generated by equation (1) in $(0, x_0)$ and boundary conditions $y(0) = y'(0) = y(x_0) = y'(x_0) = 0$, the eigenvalues of which are positive (see [5, Theorem 5.4]), in contradiction with the condition $\lambda_0 \leq 0$.

Let $y'(x_0, \lambda_0) = y''(x_0, \lambda_0) = 0$ for some $x_0 \in (0, 1)$ and $\lambda_0 \leq 0$. Following the above argument we can show that $Ty(x_0, \lambda_0) \neq 0$. Now we can assume that $y'(x, \lambda) > 0$ in some punctured neighborhood of x_0 . By $y'(0, \lambda_0) = 0$ there exists $x_1 \in (0, x_0)$ such that $y''(x_1, \lambda_0) = 0$, $y'(x, \lambda_0) > 0$ for $x \in [x_1, x_0)$ and $y''(x, \lambda_0) < 0$ for $x \in (x_1, x_0)$. Then we have $Ty(x_1, \lambda_0) < 0$ and $Ty(x_0, \lambda_0) > 0$. Hence there exists $x_2 \in (x_1, x_0)$ such that $Ty(x_2, \lambda_0) = 0$. Therefore, λ_0 is an eigenvalue of the problem generated by equation (1) in $(0, x_2)$ and boundary conditions $y(0) = y'(0) = y'(x_2) \cos \gamma_0 + y''(x_2) \sin \gamma_0 = Ty(x_2) = 0$, where $\gamma_0 = -\tan^{-1} y'(x_2, \lambda_0)/y''(x_2, \lambda_0) \in (0, \pi/2)$, the eigenvalues of which by [4, Theorem 5.4] are positive, in contradiction with the condition $\lambda_0 \leq 0$.

Next, the smoothness of zeros of functions $y(x, \lambda)$ and $y'(x, \lambda)$ follows from the implicit function theorem. The proof of this lemma is complete.

Corollary 1. As $\lambda > 0$ ($\lambda < 0$) varies, the function $y(x, \lambda)$ and $y'(x, \lambda)$ can lose or gain zeros only due to these zeros leaving the interval $[0, 1]$ or entering it through its endpoint $x = 1$ ($x = 0$).

Let $\tau(\lambda)$ and $\chi(\lambda)$ are the number of zeros contained in $(0, 1)$ of functions $y(x, \lambda)$ and $y'(x, \lambda)$, respectively.

Remark 2. By [5, transformation (1.4), Theorem 3.3, Theorem 3.4, Theorem 6.1, Theorem 6.3 and Lemma 6.1], Lemma 3, Remark 2 and Corollary 1 we have $\tau(\lambda) = \chi(\lambda) = 0$ for $\lambda \in [0, \lambda_1(0)]$, $\tau(\lambda) = \chi(\lambda) = k - 1$ for $\lambda \in (\lambda_{k-1}(0), \lambda_k(0)]$, $k \geq 2$.

For $\lambda < 0$ we consider the following eigenvalue problem

$$\begin{cases} \ell(y)(x) = \lambda y(x), & x \in (0, 1), \\ y(0) = y'(0) = y''(0) = y(1) = 0. \end{cases} \quad (13)$$

By [5, Lemma 2.1] the eigenvalues of problem (13) are negative. The oscillation index of the eigenvalue μ of problem (13) is defined as the difference between the number of zeros of the

function $y(x, \lambda)$ at $\lambda = \mu - 0$ contained in the interval $(0, 1)$ and the number of the same zeros at $\lambda = \mu + 0$ [7].

Lemma 4. *There exists $\rho < 0$ such that all the eigenvalues $\eta_k, k = 1, 2, \dots$, of problem (13) lie on the ray $(-\infty, \rho)$ are simple, form an infinitely decreasing sequence and have oscillation index 1.*

The proof of this lemma is similar to that of [7, Theorem 4.1].

Let $i(\eta_k), k \in \mathbb{N}$, be the oscillation index of the eigenvalue η_k of problem (13). Then, according to the above reasoning, by Remark 2 and Lemma 4, we get

$$\tau(\lambda) = \sum_{\eta_k \in (\lambda, 0)} i(\eta_k) \text{ and } \chi(\lambda) = \sum_{\eta_k \in (\lambda, 0)} i(\eta_k) \text{ for } \lambda \in (-\infty, 0). \quad (14)$$

3. Properties of eigenvalues and eigenfunctions to problem (1)-(3)

Lemma 5. *The eigenvalues of the eigenvalue problem (1)-(3) are real and form at most a countable set without a finite limit point.*

Proof. If $\lambda \in \mathbb{C}$ and $\lambda \notin \mathbb{R}$ is an eigenvalue of the operator L , with eigenvector $\hat{y} = \{y, ay'(1)\}$. Since $q(x)$ is a real function, and the number a is also real, it follows from (5)-(7) that $\bar{\lambda} \in \mathbb{C} \setminus \mathbb{R}$ is also eigenvalue of the operator L , with eigenvector $\bar{\hat{y}} = \{\bar{y}, a \overline{y'(1)}\}$. Then by (7) we have

$$L\hat{y} = \lambda \hat{y}, \quad L\bar{\hat{y}} = \bar{\lambda} \bar{\hat{y}}. \quad (15)$$

Multiplying the first equation by $\bar{\hat{y}}$ in II_1 with respect to inner product (7), the second by $\hat{y}$ and subtracting the second from the first and taking into account the J -self-adjointness of the operator L in II_1 we obtain $(\bar{\lambda} - \lambda) (\bar{\hat{y}}, \hat{y})_{II_1} = 0$, whence, by condition $\bar{\lambda} \neq \lambda$, we get $(\bar{\hat{y}}, \hat{y})_{II_1} = 0$. Then it follows from (15) that

$$(L\hat{y}, \bar{\hat{y}})_{II_1} = 0. \quad (16)$$

In view of (7), by (16) we get

$$(L\hat{y}, \bar{\hat{y}})_{II_1} = \int_0^1 \{|y''(x, \lambda)|^2 + q(x) |y'(x, \lambda)|^2\} dx = 0. \quad (17)$$

Then it follows from relation (17) that $y'(x, \lambda) \equiv 0$. Hence by condition $y(0, \lambda) = 0$ we have $y(x, \lambda) \equiv 0$, which contradicts the fact that $y(x, \lambda)$ is a nontrivial solution to problem (1)-(3). The proof of this lemma is complete.

Remark 3. If λ is an eigenvalue of problem (1)-(3), then $y'(1, \lambda) \neq 0$. Indeed, if $y'(1, \lambda) = 0$, then we have $y''(1, \lambda) = 0$, which contradicts relation (9).

Lemma 6. *The eigenvalues of problem (1)-(3) are simple and form at most a countable set without a finite limit point.*

Proof. It is obvious that the eigenvalues of problem (1)-(3) are the roots, taking into account their multiplicities, of the following equation

$$y''(1, \lambda) - a\lambda y'(1, \lambda) = 0. \quad (18)$$

The entire function $y''(1, \lambda) - a\lambda y'(1, \lambda)$ does not vanish for $\lambda \in \mathbb{C} \setminus \mathbb{R}$ in view of Lemma 5. Then it does not vanish identically. Therefore, the zeros of equation (18) form at most a countable set without a finite limit point.

Let λ is a double eigenvalue of problem (1)-(3). Then we have

$$L\hat{y} = \lambda \hat{y}, \quad L\hat{\mathcal{G}} = \bar{\lambda} \hat{\mathcal{G}} + \hat{y}, \quad (19)$$

where $\hat{\mathcal{G}}$ is the vector associated with the eigenvector $\hat{y}$.

By the above arguments from (19) we get $[\hat{y}, \hat{y}] = 0$, and consequently, we obtain $(L\hat{y}, \hat{y})_{H_1} = 0$, whence, according to (19), implies that

$$(L\hat{y}, \hat{y})_{H_1} = \int_0^1 \{y''^2(x, \lambda) + q(x)y'^2(x, \lambda)\} dx = 0. \quad (20)$$

It follows from (20) that $y'(x, \lambda) \equiv 0$. Then by condition $y(0, \lambda) = 0$ we have $y(x, \lambda) \equiv 0$. We obtain a contradiction, which completes the proof of the lemma.

By Remark 3 we can rewrite equation (19) in the following form

$$F(\lambda) = a\lambda. \quad (21)$$

Remark 4. By relations (9) and (10) and relation we have $F(0) > 0$. Then $\lambda = 0$ is not zero an eigenvalue of problem (1)-(3).

Lemma 7. The following relations hold:

$$\lim_{\lambda \rightarrow \lambda_k(0)-0} F(\lambda) = -\infty, \quad \lim_{\lambda \rightarrow \lambda_k(0)+0} F(\lambda) = +\infty. \quad (22)$$

The proof of this lemma follows from (11) in view of Theorem 1 and (10).

If λ is an eigenvalue of p (1)-(3), then by (7) and (20) it follows from (19) that

$$\int_0^1 \{y''^2(x, \lambda) + q(x)y'^2(x, \lambda)\} dx = \lambda \left\{ \int_0^1 y^2(x, \lambda) dx + a y'^2(1, \lambda) \right\}. \quad (23)$$

Since $\int_0^1 \{y''^2(x, \lambda) + q(x)y'^2(x, \lambda)\} dx > 0$, by Remark 4, from (23) we obtain

$$\lambda \left\{ \int_0^1 y^2(x, \lambda) dx + a y'^2(1, \lambda) \right\} > 0. \quad (24)$$

By Remark 3 and first relation of (10), it follows from (24) that

$$\lambda \{F'(\lambda) - a\} > 0. \quad (25)$$

Lemma 8. Equation (21) can has exactly one root in each of intervals

$$(-\infty, 0), (0, \lambda_1(0)) \text{ and } (\lambda_{k-1}(0), \lambda_k(0)), k \geq 2.$$

The proof of this lemma follows from relation (25) using (22).

Main result of this paper is the following theorem.

Theorem 2. There exists an unboundedly increasing sequence $\{\lambda_k\}_{k=1}^{\infty}$ of eigenvalues of problem (1)-(3) such that

$$\lambda_1 \in (-\infty, 0), \lambda_2 \in (\lambda_1(\pi/2), \lambda_1(0)) \text{ and } \lambda_k \in (\lambda_{k-1}(\pi/2), \lambda_{k-1}(0)) \text{ for } k \geq 3.$$

Moreover, the corresponding eigenfunctions $y_k(x)$, $k=1, 2, \dots$, and its derivatives $y'_k(x)$, $k=1, 2, \dots$, have the following oscillation properties: (i) the function $y_1(x)$ has $\tau(\lambda_1) = \sum_{\eta_k \in (\lambda_1, 0)} i(\eta_k)$ simple zeros, the function $y_k(x)$, $k=2, 3, \dots$, has exactly $k-2$ simple zeros in $(0, 1)$; (ii) the function $y'_1(x)$ has $\chi(\lambda_1) = \sum_{\eta_k \in (\lambda_1, 0)} i(\eta_k)$ simple zeros and $y'_k(x)$, $k=2, 3, \dots$, has exactly $k-2$ simple zeros in the interval $(0, 1)$.

Proof. It is obvious that $F(\lambda_k(\pi/2)) = 0$, $k \in \mathbb{N}$, and by Remark 4 we have $F(0) > 0$. In view of relations (10)-(12) and (22) the function $F(\lambda)$ in the interval $(-\infty, \lambda_1(0))$ is concave and decreasing takes values from $+\infty$ to $-\infty$. Since $a < 0$ the function $\Phi(\lambda) = a\lambda$ is decreasing in $(-\infty, +\infty)$ and the following relations hold:

$$\lim_{\lambda \rightarrow -\infty} \Phi(\lambda) = +\infty, \quad \lim_{\lambda \rightarrow +\infty} \Phi(\lambda) = -\infty. \quad (26)$$

Then by Lemma 8 equation (22) has two simple roots λ_1 and λ_2 in $(-\infty, \lambda_1(0))$ such that $\lambda_1 \in (-\infty, 0)$ and $\lambda_2 \in (\lambda_1(\pi/2), \lambda_1(0))$.

Next, by relations (10), (22), (26) and Lemma 8 equation (21) in each of intervals $(\lambda_{k-1}(0), \lambda_k(0))$, $k \geq 2$, has unique simple root λ_{k+1} such that $\lambda_{k+1} \in (\lambda_k(\pi/2), \lambda_k(0))$.

The oscillation properties of eigenfunctions of (1)-(3) and their derivatives follows from Remark 2 and relations (14). The proof of the theorem is complete.

References

- [1]. Bolotin, B.B. Vibrations in technique: handbook in 6 volumes, The vibrations of linear systems. I. / Engineering Industry, –M., –1978 (in Russian).
- [2]. Aliev, Z.S. Uniform convergence of spectral expansions for a problem with a boundary condition depending on a spectral parameter / Z.S. Aliev, K.F. Abdullaeva, // Differ. Equ., – 2022, –v. 58, no. 9, –p. 1153–1174.
- [3]. Aliev, Z.S. Basis properties of a fourth order differential operator with spectral parameter in the boundary condition // Cent. Eur. J. Math., –2010, –v. 8, no. 2, –p. 378–388.
- [4]. Binding, P.A. Application of two parameter eigencurves to Sturm-Liouville problems with eigenparameter dependent boundary conditions / P.A.Binding, P.J.Browne, // Proc. R. Soc. Edinburgh Sect. A, –1995, –v. 125, no. 6, –p. 1205-1218.
- [5]. Banks, D.O. Prüfer transformation for the equation of a vibrating beam subject to axial forces / D.O.Banks, G.J.Kurowski, // J. Differential Equations, –1977, –v. 24, no. 1, –p. 57–74.
- [6]. Kerimov, N.B. On oscillation properties of the eigenfunctions of a fourth order differential operator / N.B.Kerimov, Z.S.Aliev, // Trans. Natl. Acad. Sci. Azerb. Ser. Phys.- Tech. Math. Sci., –2005, –v. 25, no. 4, –p. 63–76.
- [7]. Amara, J.B. On oscillation of eigenfunctions of a fourth-order problem with spectral parameters in the boundary conditions / J.B. Amara, A.A. Vladimirov, // J. Math. Sci., –2008, –v. 150, no. 5, –p. 2317–2325.

Xülasə

Sərhəd şərti spektral parametrdən asılı olan bir məxsusi qiymət məsələsinin məxsusi funksiyalarının osillyasiyası haqqında

Abdullayeva K.F.

Açar sözlər: spektral məsələ, məxsusi ədəd, məxsusi vektor, məxsusi funksiyaların osillyasiya xassələri.

Məqalədə sərhəd şərtlərindən birinə spektral parameter daxil olan dördüncü dərəcəli adi diferensial tənliklər üçün spektral məsələyə baxılır. Bu məsələ en kəsiklərində uzununa qüvvə təsir edən, sol ucu bərkidilmiş, sağ ucunda isə çəkisiz çubuq vasitəsilə yük bağlanmış, elastik yay vasitəsilə tarazlıqda saxlanılan elastik konsol bircins çubuğun kiçik əyilmə rəqslərini təsvir edərkən yaranır. Baxılan məsələnin kök alt fəzalarının strukturları, məxsusi ədədlərinin həqiqi oxda yerləməsinin ümumi xarakteristikası və məxsusi funksiyalarının osillyasiya xassələri öyrənilir.

Резюме

Об осцилляции собственных функций некоторой задачи на собственные значения с граничным условием, зависящим от спектрального параметра

Абдуллаева К.Ф.

Ключевые слова: спектральная задача, собственное значение, собственный вектор, осцилляционные свойства собственных функций.

В работе рассматривается спектральная задача для обыкновенных дифференциальных уравнений четвертого порядка со спектральным параметром в одном из граничных условий. Эта задача возникает при описании малых изгибных колебаний упругой консольной однородной балки, в поперечных сечениях которой действует продольная сила, левый конец которой заделан, а к правому концу посредством невесомого стержня прикреплен груз, удерживающийся в равновесии при помощи упругой пружины. Изучены структуры корневых подпространств, общая характеристика расположения собственных значений на вещественной оси и осцилляционные свойства собственных функций рассматриваемой задачи.

УДК 547.541:542.913

DOI 10.54758/16801245_2025_25_4_25

Синтез нового термостойкого полиэфирсульфоимида¹Асланова Эльнара Тельман гызы [ORCID](#)²Рашидова Мехрибан Нариман гызы [ORCID](#)³Гараева Айбениз Ахмедага гызы [ORCID](#)⁴Атакишиева Вюсала Октай гызы*Институт полимерных материалов, Сумгаит, Азербайджан**1-к.х.н., доц., Зав. лаб., 2- научн.сотр., 3- научн.сотр., 4- инженер**ipoma@science.az, elnara-aslanova@rambler.ru***ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ****РЕЗЮМЕ****История статьи***Получено: 16.10.2025**Исправлено: 14.11.2025**Принято: 02.12.2025***Ключевые слова***N-α-карбоксиметилимид сахарин-6-карбоновой кислоты, полиэфирсульфоимид, синтез*

С целью создания новых термостойких полимеров, синтезирован поли-N-α-карбоксиметилимид сахарин-6-карбоновой кислоты. Процесс получения целевого продукта проводился в несколько этапов. На первом этапе, был разработан метод синтеза новой сахариндикарбоновой кислоты - N-α-карбоксиметилимида сахарин-6-карбоновой кислоты. На основе диалкилового эфира полученного соединения синтезирован новый гидроксилсодержащий полиэфирсульфоимид - поли-N-α-карбоксиметилимид сахарин-6-карбоновой кислоты. Состав и структура синтезированных соединений подтверждены данными элементного анализа и инфракрасной спектроскопии. Методами дифференциально-термического анализа определены термические свойства полученного полиэфирсульфоимида. Показано, что поли-N-α-карбоксиметилимид сахарин-6-карбоновой кислоты характеризуется достаточно высокими термическими показателями по сравнению с промышленным полиэфиром Zellamid 1000.

Введение

Известно, что полиэфиримиды (ПЭИ) представляют собой высокотермостойкие аморфные полимеры, обладающие уникальным сочетанием механических, термических и электрических свойств. Эти материалы находят широкое применение в различных отраслях промышленности, включая электронику, авиацию, медицину и машиностроение. Разработка и совершенствование методов их синтеза и переработки открывают новые возможности для их применения в различных областях промышленности.

ПЭИ относятся к группе поликонденсационных полимеров с гетероциклической структурой, характеризующейся регулярным чередованием повторяющихся эфирных и имидных циклов. Это придает им высокую термостойкость, химическую стойкость и отличные электрические свойства. Одной из особенностей ПЭИ является их способность сохранять стабильность размеров при высоких температурах, что делает их идеальными для использования в условиях экстремальных температурных режимов [1,2].

По сравнению с ароматическими ПЭИ, ароматические полиэфирсульфоимиды (ПЭСИ) обладают улучшенной растворимостью, огне-, термо- и радиационностойкостью [3,4]. ПЭСИ представляют собой перспективный класс полимерных материалов с уникальным сочетанием свойств, что делает их незаменимыми в ряде высокотехнологичных отраслей. Развитие методов их синтеза и переработки открывает новые возможности для их применения в различных областях промышленности.

В последние десятилетия разработаны методы, позволяющие получать ПЭСИ с улучшенными технологическими свойствами, такими как способность к переработке из расплава и растворов в органических растворителях [5]. Также ПЭСИ синтезируются путем поликонденсации с алифатическими и ароматическими аминами, диолами и дихлорорганическими соединениями. В качестве мономеров используются хлорангидриды дисахариндикарбоновой кислоты, диэфиросульфоимиды, диалкиловые эфиры N-карбоксиметилсахарин-6-карбоновой кислоты и диимиды дисахариндикарбоновой кислоты [6].

В связи с вышеизложенным, целью работы является синтез новых термостойких полимеров на основе сульфоимидсодержащих мономеров.

Экспериментальная часть

Синтез N- α -карбоксиметилимида сахарин-6-карбоновой кислоты. К раствору 11,36 г (0,05 моль) сахарин-6-карбоновой кислоты (7) в 130 мл ДМАА добавляли 7 г (~0,05 моль) карбоната калия в порошкообразном виде, 4,75 г (~0,05 моль) монохлоруксусной кислоты и 50 г йодида калия. Смесь кипятили в течение 8 ч. По окончании реакции смесь охлаждали до комнатной температуры, выпавшие кристаллы отфильтровывали, дважды промывали ДМАА. Фильтрат выпаривали досуха, а затем сушили в вакууме до постоянного веса.

Синтез диметилового эфира N- α -карбоксиметилимида сахарин-6-карбоновой кислоты. К раствору 10 мл концентрированной H_2SO_4 в 250 мл метанола добавляли 14,25 г (0,05 моль) N- α -карбоксиметилимида сахарин-6-карбоновой кислоты и кипятили до получения гомогенного раствора. Затем реакционную массу выливали в 500 мл холодной дистиллированной воды и образовавшийся желтоватый осадок отфильтровывали на фильтре Шотта. Полученный продукт промывали дистиллированной водой, сушили на воздухе и в вакууме до постоянной массы.

Синтез поли- N- α -карбоксиметилимида сахарин-6-карбоновой кислоты. В стеклянный реактор, снабженный механической мешалкой, термометром, капиларом и трубкой для ввода азота, загружали 6,26 г (0,02 моль) диметилового эфира N- α -карбоксиметилимида сахарин-6-карбоновой, 0,1 г PbO , предварительно растворенного в 1,84 г (0,02 моль) глицерина и в потоке азота реакционную массу нагревали до 175-183 °С. В результате переэтерификации выделяется метанол. Далее, температуру поднимали до 220 °С и под вакуумом выделяли оставшийся метанол. Полученное продукт промывается дистиллированной водой, сушится сначала на воздухе, затем под вакуумом до получения стабильной массы.

Материалы и методы исследования

Инфракрасные спектры снимали на ИК-Фурье-спектрометре LUMOS (фирма BRUKER, Германия) в диапазоне волновых частот 600-4000 cm^{-1} , с использованием приставки НРВО с кристаллом $ZnSe$. Диаметр кристалла – 1 см. Число сканов пробы – 24, длительность измерения – 30 с.

Элементный анализ был произведен по методике [8,9], основанной на пиролитическом сжигании органического вещества в потоке кислорода с применением аппарата Прегля.

Процесс отверждения изучали методом дифференциально-термического анализа (ДТА) на дериватографе «Паулик-Паулик-Эрдей» Q-1500 D (Венгерский Оптический Завод, Будапешт, Венгрия). Навеска образца 200 мг, чувствительность каналов ТГ-200, ДТА-250 μV , ДТГ-1 mV , скорость подъема температуры 5° С/мин в токе воздуха [10,11].

Физико-химические свойства растворителей соответствовали литературным данным [12,13].

Для измерения характеристической вязкости применяли стеклянные вискозиметры Освальда. Время течения растворителя составляло от 46 до 120 сек. Строили

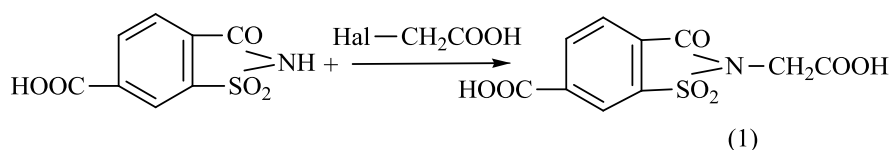
концентрационные зависимости приведенной вязкости $\eta_{sp}/c = (t/t_0 - 1)/c$ для ряда образцов. По наклону экспериментальных прямых определяли значения константы Хаггинса:

$$\eta_{sp}/c = [\eta] + k [\eta]^2 c,$$

где k' – константа Хаггинса, которая характеризует термодинамическое взаимодействие растворителя и полимера, а также гидродинамическое поведение раствора. Погрешность определения значения $[\eta]$ не превышает 5 процентов.

Результаты и их обсуждение

Продолжая исследования в области синтеза мономеров для получения ароматических гетероциклоцепных полимеров, нами разработан метод синтеза сахариндикарбоновой кислоты для ее использования при получении полимеров. Синтез производился по нижеуказанной схеме [7]:



где Hal = Cl, Br

При использовании в данной реакции апротонного растворителя (ДМАА) был получен N- α -карбоксиметилимид сахарин-6-карбоновой кислоты (1) с высоким выходом (70%). Состав и структура полученного соединения подтверждены данными элементного анализа и ИК-спектроскопией [8,9,14].

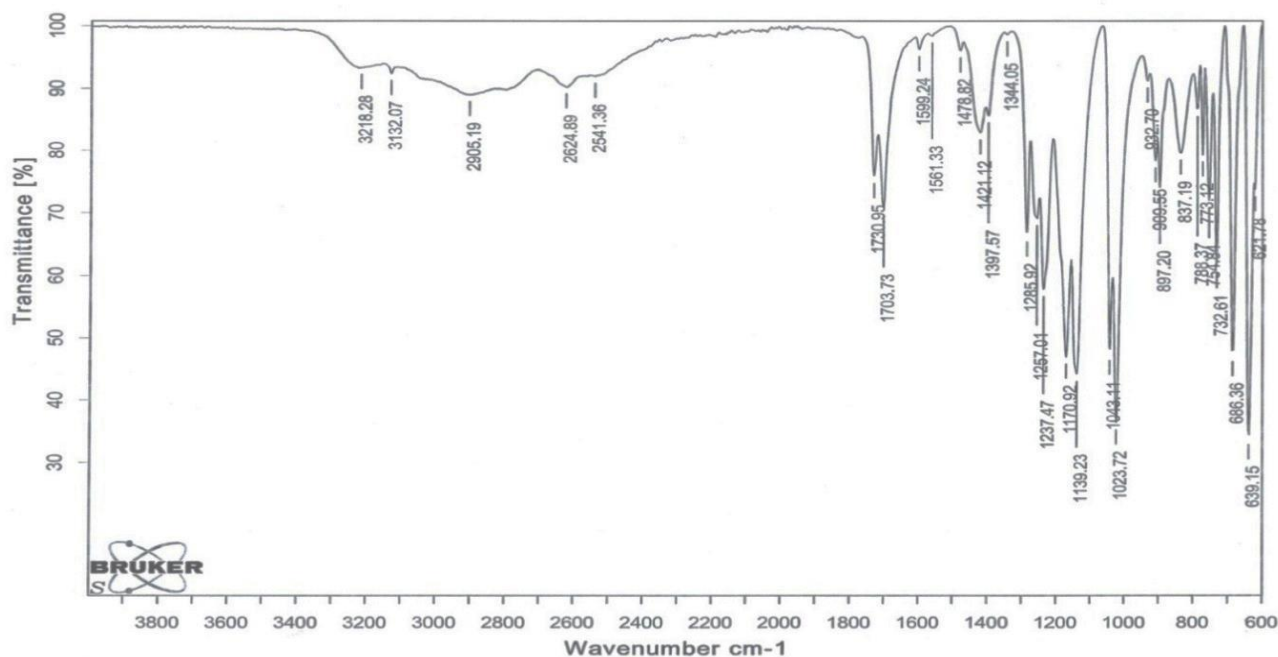
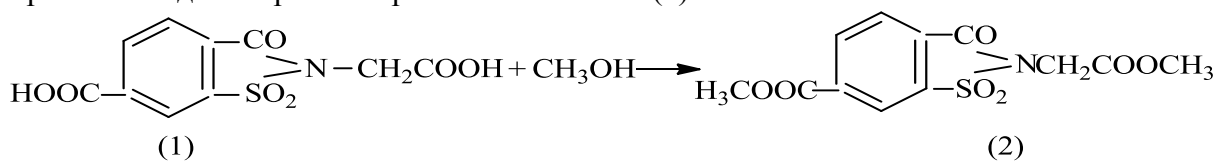


Рис. 1. ИК-спектр N- α -карбоксиметилимида сахарин-6-карбоновой кислоты

В ИК-спектрах (рис.1) указанного соединения присутствуют полосы поглощения в области 1418 см^{-1} деформационных и в 2905 см^{-1} валентных колебаний C–H связи группы CH_2 ; валентные колебания C=O-связи кислотных групп в области 1703 см^{-1} ; валентные колебания C=O-связи сахаринового цикла в области 1730 см^{-1} ; валентные колебания C–N-связи; валентные колебания SO_2 -связи в области $1232, 1257 \text{ см}^{-1}$; валентные колебания C–C-связи бензольного кольца в области 1599 см^{-1} ; деформационные колебания C–H-связи ($621, 639, 732, 754 \text{ см}^{-1}$) замещенного бензольного кольца.

Путем этерификации синтезированной дикислоты (1) получен диметилловый эфир N-

α -карбоксиимида сахарин-6-карбоновой кислоты (2) по схеме:



Следует отметить, что по приведенной выше схеме можно получить различные диалкиловые эфиры N- α -карбоксиметилимида сахарин-6-карбоновой кислоты.

Синтезированное соединение (2) представляет собой кристаллическое вещество с $T_{\text{пл.}}$ (184°C), растворимое в апротонных растворителях.

Характеристика (1 и 2) приведена в таблице 1.

Таблица 1.

Характеристика N- α -карбоксиимида сахарин-6-дикарбоновой кислоты (1), ее диэфира (2)

Соед.	Выход, %	$T_{\text{пл.}}, ^\circ\text{C}$	Формула	Элементный анализ, % вычислено / найдено					М.М.
				C	H	N	S	Cl	
1	70	330	$\text{C}_{10}\text{H}_7\text{O}_6\text{NS}$	$\frac{42,10}{41,75}$	$\frac{2,46}{2,50}$	$\frac{4,81}{4,98}$	$\frac{11,23}{11,13}$	—	285
2	80	184	$\text{C}_{12}\text{H}_{11}\text{O}_7\text{NS}$	$\frac{46,00}{46,85}$	$\frac{3,51}{3,43}$	$\frac{4,47}{4,57}$	$\frac{10,22}{11,03}$	—	313

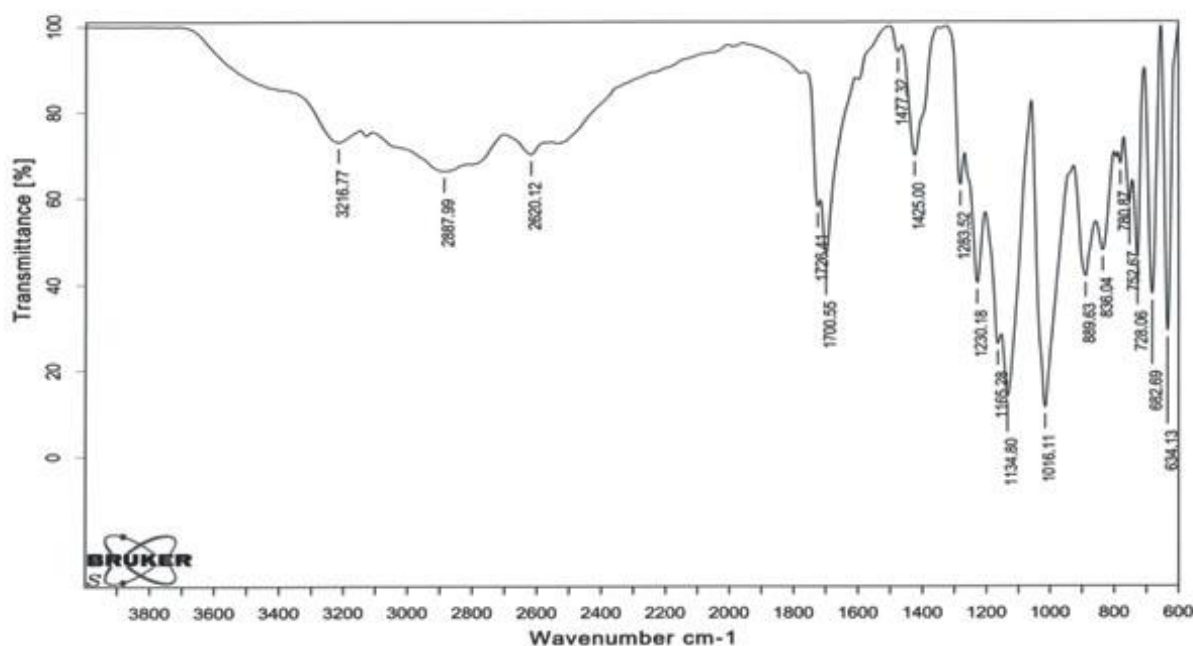


Рис. 2. ИК-спектр диметилового эфира N- α -карбоксиимида сахарин-6-карбоновой кислоты

В ИК-спектрах (рис.2) синтезированного соединения присутствуют полосы поглощения в области $1382, 1477\text{ см}^{-1}$ деформационных и в 2887 см^{-1} валентных колебаний C-H связи группы CH_2 и CH_3 ; валентные колебания C=O-связи кислотных групп в области 1700 см^{-1} ; валентные колебания в $1134, 1165\text{ см}^{-1}$ C-O-связи и C=O-связи сложноэфирной группы в области 1726 см^{-1} ; валентные колебания в области 1283 см^{-1} C-N-связи и в области $1134, 1165\text{ см}^{-1}$ C-O-связи; валентные колебания SO_2 -связи в области 1230 см^{-1} ; деформационные колебания C-H-связи ($634, 682, 728\text{ см}^{-1}$) замещенного бензольного кольца.

Как было отмечено выше, целью наших исследований является получение новых термостойких полимеров. На основе этого на следующем этапе, в результате взаимодействия полученного диметилового эфира N- α -карбоксиметилимида сахарин-6-карбоновой кислоты с глицерином синтезирован новый гидроксилсодержащий полиэфирсульфоимид (полигидроксиэфир) по следующей схеме:

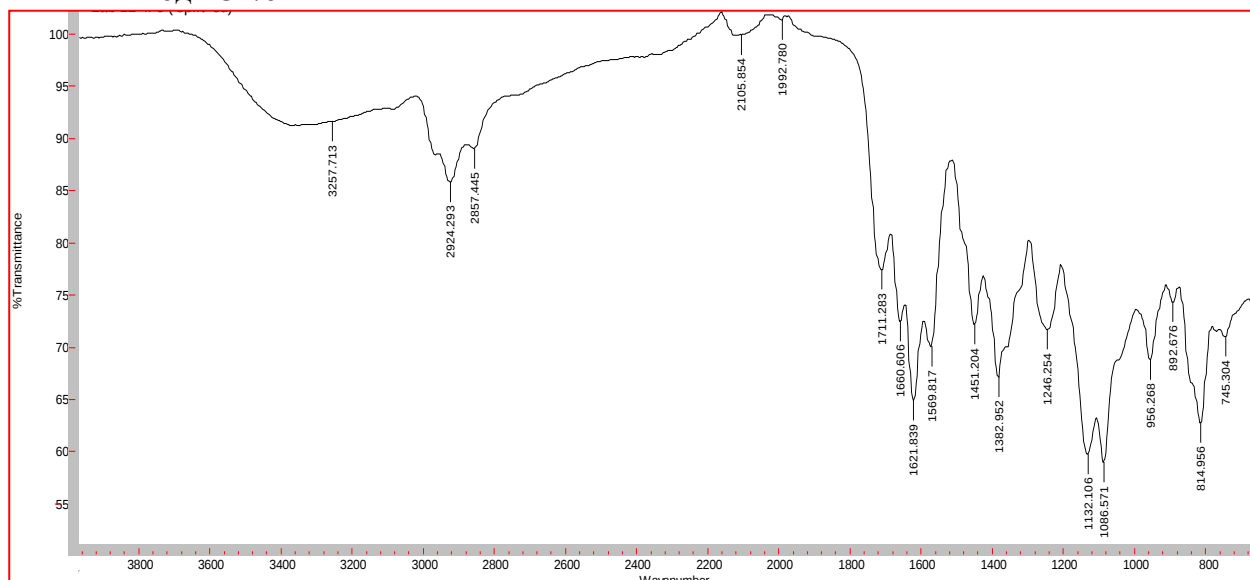
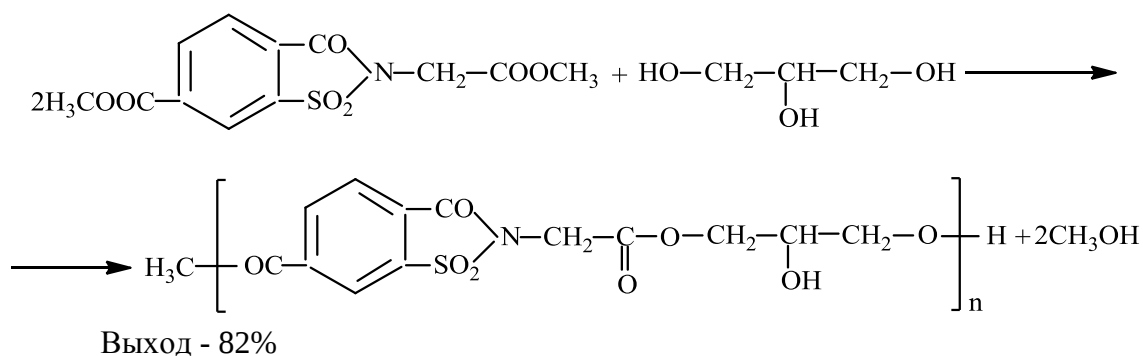


Рис. 3. ИК-спектр поли-N- α -карбоксиметилимида сахарин-6-карбоновой кислоты

В ИК-спектрах (рис.3) указанного соединения присутствуют полосы поглощения в области 1382, 1451 см^{-1} деформационных и в 2851, 2921 см^{-1} валентных колебаний C-H связи группы CH_2 ; валентные колебания в 1132 см^{-1} C-O-связи и C=O-связи сложноэфирной группы в области 1711 см^{-1} ; валентные колебания C=O-связи амида в области 1621 см^{-1} ; валентные колебания в области 1086 см^{-1} C-O-связи и в 3251 см^{-1} O-H-связи спирта; валентные колебания SO_2 -связи в области 1232 см^{-1} ; деформационные колебания C-H-связи (715, 811 см^{-1}) замещенного бензольного кольца.

В результате исследований выяснено, что вязкость полиэфирсульфоимида - поли-N- α -карбоксиметилимида сахарин-6-карбоновой кислоты (поли-N- α -КМИ С-6-КК), синтезированного данным методом: $[\eta]=0,66$ дл/г.

Термогравиметрическим анализом (ТГА) установлено, что полученное вещество устойчиво до 242 $^{\circ}\text{C}$, температура начала термического разложения составляет 295 $^{\circ}\text{C}$, а также он хорошо растворяется в полярных апротонных растворителях.

Для сравнительной оценки термических характеристик поли-N- α -КМИ С-6-КК в табл. 2 также приведены соответствующие характеристики промышленного полиэфиримида Zellamid 1000.

Некоторые свойства полученных соединений приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Некоторые свойства поли-N-α-карбоксиметилимида сахарин-6-карбоновой кислоты

Полимер	Выход, %	$[\eta]^*$, дл/г	T _{разм.} , °C	T _{разл.} , °C
Поли-N-α- КМИ С-6-КК	82	0,66	242	295
Zellamid1000	—	0,20	170	197

**0,5 г полимера в 100 мл ДМФА при 40 °C*

Таким образом, как видно из таблицы, синтезированный полиэфиримид по термическим показателям превосходит Zellamid 1000 и может заменить ее в тех областях, где необходимы термостойкие полимеры.

Синтезированный полимер представляет интерес при производстве клеев, термостойких покрытий, а также полимерных композиционных материалов.

Литература

- [1]. Бородулин, А.С. Полиэфиримиды для создания термостойких полимерных композиционных материалов с высокими физико-механическими свойствами / А.С.Бородулин, А.Н.Калинников, А.Г.Терешков [и др.] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. –2019, №11, –с. 94–100. DOI:10.34031/2071-7318-2019-4-11-94-100
- [2]. Чайка, А.А. Синтез полиэфиримидов серии Ultem / А.А.Чайка, Н.С.Шаглаева, Г.В.Боженков [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. –2023, Вып. 13, –№3, –с.325-332.
<https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-3-325-332>. EDN: TAGABT
- [3]. Сторожук, И.П. Полиэфирсульфоны, полиэфиримиды и композиционные материалы на их основе / Сторожук И.П., Булкатов Д.П. // Полимерные материалы. –2024, Вып. 302, №7, –с. 21–23.
- [4]. Райимов, З.Х. Синтез ароматических полиэфирсульфонкетонов на основе олигосульфокетона различного состава и строения / З.Х.Райимов, С.Б.Усмонов // Science and Education. –2023, Volume 4, Issue 4, –pp. 496-502. www.openscience.uz / ISSN 2181- 0842495
- [5]. Сопотов, Р.И. Влияние модификаторов полисульфона и полиэфирсульфона на термомеханические свойства эпоксиаминного связующего / Сопотов Р.И., Горбунова И.Ю., Онуцин Д.В., [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. –2015, Т. XXIX, №10, –с. 62-64
- [6]. Aslanova, E.T. Synthesis of new thermostable polyhydroxy-ester on the basis of 2-hydroxypropyl-1,3-bis-carboxymethylesterosulfoimide of saccharin-6-carboxylic acid / Aslanova E.T., Mammedov E.T., Rashidova M.N., [et al.] // Chemical problems. –2023, Vol. 21, №2, –pp. 140-145
- [7]. Тагиев, Б.А. Синтез сахаринмонокарбоновых кислот и их некоторых алкиловых эфиров / Б.А.Тагиев, Т.А.Асланов // Азерб. Химический. Журнал. –1997, №1-4, –с. 62-66.
- [8]. Баландина, В.А., Анализ полимеризационных пластмасс / В.А.Баландина, Д.Б.Гурвич, М.С.Клещева [и др.] –М.–Ташкент: Химия, 1965. –512 с.
- [9]. Фадеева, В.П. Количественный элементный анализ органических веществ и материалов / В.П.Фадеева, В.Д.Тихова. Учеб. пособ. (Новосиб. гос. ун-т, фак. естеств. наук, каф. аналит. химии). –Новосибирск: НГУ. –2014. –89 с.
- [10]. Новоженков, В.А. Термический анализ / В.А.Новоженков, Н.Е.Стручева. –М.: Юрайт, 2025. –440 с.
- [11]. Александрова, И.В. Практикум по химии и физике полимеров / И.В.Александрова. –Тюмень: Тюменский индустриальный университет, –2020. –82 с.

- [12]. Войтов, И.В. Большой физико-химический справочник / И.В.Войтов, А.И.Волков, С.М.Турабджанов. –Минск: Современная школа, –2022. –Т.1. –450 с.
- [13]. Аржаков, М.С. Химия и физика полимеров. Краткий словарь. / –Санкт-Петербург: Лань, 2020. –344 с.
- [14]. Сапунов, В.Н. Спектральные методы исследования / В.Н.Сапунов, М.С.Воронов, Д.В.Староверов [и др.] –М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, –2020. –124 с.

Xülasə

Yeni termiki davamlı poliefirsulfoimidin sintezi

Aslanova E.T., Rəşidova M.N., Garayeva A.A., Atakışiyeva V.O.

Açar sözlər: *saxarin-6-karbon turşusunun N-α-karboksimetilimidi, poliefirsulfoimid, sintez*

Yeni termiki davamlı polimerlərin yaradılması məqsədilə saxarin-6-karbon turşusunun N-α-karboksimetilimidi sintez edilmişdir. Hədəf məhsulun alınma prosesi bir neçə mərhələ üzrə aparılmışdır. Birinci mərhələdə yeni saxarindikarbon turşusu - saxarin-6-karbon turşusunun N-α-karboksimetilimidinin sintez üsulu işlənib hazırlanmışdır. Alınmış birləşmənin dialkil efiri əsasında yeni, hidroksil tərkibli poliefirsulfoimid - saxarin-6-karbon turşusunun poli-N-α-karboksimetilimidi sintez edilmişdir. Sintez edilmiş birləşmələrin tərkib və quruluşu element analizi və infraqırmızı spektroskopiya məlumatları ilə təsdiq edilmişdir. Alınmış poliefirsulfoimidin termiki xassələri differensial-termiki analiz üsulları ilə təyin edilmişdir. Göstərilmişdir ki, saxarin-6-karbon turşusunun poli-N-α-karboksimetilimidi sənaye poliefirimidi olan Zellamid 1000 ilə müqayisədə kifayət qədər daha yüksək termiki göstəricilərlə xarakterizə olunur.

Summary

Synthesis of a new heat-resistant polyestersulphoimide

Aslanova E.T., Rashidova M.N., Garayeva A.A., Atakishiyeva V.O.

Key words: *N-α-carboxymethylimide of saccharin-6-carboxylic acid, polyestersulfonimide, synthesis*

In order to create new heat-resistant polymers, poly-N-α-carboxymethylimide of saccharin-6-carboxylic acid have been synthesized. The process of obtaining the target product was carried out in several stages. At the first stage, a method for synthesizing a new saccharin dicarboxylic acid - N-α- carboxymethylimide of saccharin-6-carboxylic acid was developed. Based on the dialkyl ester of the obtained compound, a new hydroxyl-containing polyestersulfonimide - poly-N-α-carboxymethylimide of saccharin-6-carboxylic acid - was synthesized. The composition and structure of the synthesized compound have been confirmed by data elemental analysis and IR- spectroscopy. The thermal properties of the obtained polyethersulfonimide were determined by differential thermal analysis methods. It was shown that poly-N-α-carboxymethylimide of saccharin-6-carboxylic acid is characterized by sufficiently high thermal indices in comparison with the industrial polyester Zellamid 1000.

UOT 547.

DOI 10.54758/16801245_2025_25_4_32

Oksid katalizatoru iştirakında 2-propil-4-metilfenolun katalitik dehidrogenləşməsi və alınan allilkrezolun xassələrinin öyrənilməsi

¹Qarayeva İradə Eyvaz qızı [ORCID](#)²Muradov Mahal Mayıl oğlu [ORCID](#)³Nəzərova Müşkünaz Kiçmirzə qızı [ORCID](#)⁴Süleymanova Pərvanə Vaqif qızı [ORCID](#)⁵Arixov Elmir Nazim oğlu

Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, 1,2,3-dosent, 4- baş müəllim, 5-müəllim
irada.qarayeva@sdu.edu.az

MƏQALƏ HAQQINDA MƏLUMAT	XÜLASƏ
Məqalənin tarixəsi Daxilolma tarixi: 29.09.2024 Düzəliş tarixi: 02.11.2025 Qəbulolunma tarixi: 20.11.2025 Açar sözlər allilkrezol, dimer, trimer, alkenilfenol, katalizator, metilfenol.	Seçilmiş oksid katalizatorları ilə metilfenolların dehidrogenləşmə reaksiyaları ətraflı tədqiq edilmişdir və nəticələr müzakirə olunmuşdur. Allilkrezolun sintezi zamanı xammal kimi 2-propil-4-metilfenoldan istifadə edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, dehidrogenləşmə prosesində ikili sistemlərdə $\text{CoO-Cr}_2\text{O}_3$, üçlü sistemlərdə isə $\text{NiO-Cr}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ katalizatoru daha aktivdir və bu zaman məqsədli məhsulun çıxımı daha çox artır. Seçilmiş oksid katalizatoru və onun kalium karbonatla modifikasiyasının nümunəsi iştirakında çevrilmiş propilkrezola görə 2-allil-4-metilfenolun hesablanmış çıxımları müvafiq olaraq 87.8 və 30.6 % təşkil edir.

Üzvi sintez sənayesində qiymətli yarım məhsullardan sayılan metilfenollar geniş tətbiq sahəsinə malikdir. Təbii mənşəli fenol törəmələri içərisində daha geniş tətbiq olunan 2-allil-4-metilfenoldur. Özünəməxsus ədviyyat qoxulu, açıq sarımtıl və ya rəngsiz olan bu maye tibb və farmakologiyada müxtəlif infeksiya xəstəliklərinə qarşı mübarizədə, qida sənayesində dad və aromatlaşdırıcı kimi, kosmetika və ətriyyat istehsalında, kənd təsərrüfatı və baytarlıqda ziyanvericilərə qarşı mübarizədə, əsasən də nanotexnologiyada karvakrol əsaslı antibakterial nanomateriallər hazırlanmasında geniş istifadə olunur.

Bu qiymətli məhsulun alınması üçün əsas xammal 2-propil-4-metilfenoldur ki, əsasən daş kömür qatranından və neft məhsullarından alınır. Propen isə Azərbaycanda neft-kimya sənayesində istehsal olunur və kifayət qədər mövcuddur.

Allilfenolların sintezində xammal kimi istifadə olunan propilfenolların dehidrogenləşməsi seçilmiş şəraitdə [1] allilkrezolun alınmasında istifadə edilməmişdir. Bu haqda elmi araşdırmalara az rast gəlinir.

Dehidrogenləşmə reaksiyasının tədqiqi zamanı əldə olunan nəticələr məqalədə öz əksini tapmışdır.

Dehidrogenləşmə məhsulları içərisində 2-allil-4-metilfenolun miqdarı daha çoxdur. Bu halda selektivlik 87.8%, çıxım isə 26.9% təşkil edir. 2-propil-4-metilfenolun dehidrogenləşmə reaksiyası axın növlü reaktordan ibarət laboratoriya qurğusunda yerinə yetirilmişdir. Reaksiya zamanı qarışıqda əlavə yan məhsulların əmələ gəlməməsi üçün qurğuya stabilləşdirici kimi az miqdarda mononitroarenlər əlavə edilmişdir. 2-propil-4-metilfenolun dehidrogenləşmə reaksiyası ikili və üçlü oksid katalizatorlarının iştirakı ilə araşdırılmışdır. Əldə olunan nəticələr 1 sayılı cədvəldə verilmişdir. Nəticələrin müqayisəsindən görünür ki, götürülmüş katalizatorlardan asılı olmayaraq

alınan katalizatorların kimyəvi tərkibi oxşardır. Katalizatorun tərkibindən asılı olmayaraq əmələ gələn karbohidrogenlərinin miqdarı eynidir.

Cədvəl 1.

2-propil-4-metilfenolun müxtəlif katalizatorlar iştirakında dehidrogenləşməsindən əldə olunan nəticələrin təhlili

Reaksiyanın şəraiti: $T=540^{\circ}\text{C}$, $\vartheta=1,0\text{ st}^{-1}$, 2-propil-4-metilfenolun suya olan mol nisbəti=1:8

Göstəricinin adı	Katalizatorun kimyəvi tərkibi, kütlə% ilə			
	CoO-27,5 Cr ₂ O ₃ -72,5	CoO-27,5 Cr ₂ O ₃ -72,5 K ₂ O-0,2	NiO-11,0 Cr ₂ O ₃ -29,0 Al ₂ O ₃ -60,0	NiO-11,0 Cr ₂ O ₃ -29,0 Al ₂ O ₃ -59,8 K ₂ O-0,2
Alınmışdır kütlə % ilə,o cümlədən				
Fenol	0,9	-	0,7	0,3
Krezollar	0,8	1,1	0,9	0,8
Ksilenollar	-	-	0,5	-
2-propil-4-metilfenol	69,1	70,6	64,6	68,6
2-allil-4-metilfenol	24,4	25,2	28,8	26,6
Dimer	1,1	0,61	1,22	1,11
Trimer	0,42	0,42	0,21	-
identifikasiya olunmamış maddələr	1,23	1,11	1,2	0,9
qaz+itki	1,62	1,23	1,72	1,22
2-propil-4-metilfenolun konversiyası,%	30,1	28,6	34,6	30,6
2-allil-4-metilfenola görə reaksiyanın selektivliyi	81,6	86,6	85,1	87,8

NiO-Cr₂O₃-Al₂O₃ katalizatoru iştirakında 2-propil-4-metilfenolun konversiyası CoO-Cr₂O₃ katalizatoru ilə müqayisədə 4.4% yüksəkdir və 28.8% təşkil edir. Məqsədli reaksiya məhsulu olan 2-allil-4-metilfenolun çevrilmiş xammala görə hesablanmış çıxımı 85,1% olur. Bu nəticə üçlü oksid katalizatoru götürüldükdə alınır və ikili sistem katalizatoru iştirakında əldə olunan məqsədli məhsul ilə müqayisədə 3.5% çoxdur. Cədvəldən göründüyü kimi ikili oksid katalizatoru iştirakında dehidrogenləşmə prosesində reaksiya məhsulları içərisində ksilenollara rast gəlinir.

Katalizatorların katalitik və istismar xassələrinin effektivliyini artırmaq məqsədi ilə onlar modifikasiya edilmişdir. Modifikatorun katalitik sistemlərə qismən əlavə olunması, onların quruluşunun cüzi dəyişməsinə gətirib çıxarır. Nəticədə katalizatorların xassələri tənzimlənir. Modifikasiya zamanı kalium birləşmələrindən istifadə edilir. Həmçinin xromitlərin alkanların və arenlərin dehidrogenləşmə reaksiyası zamanı aktivliyinin xüsusən də selektivliyinin artdığı müşahidə olunur.

İkili və üçlü oksid sistemlərin modifikasiyası zamanı modifikator kimi kalium karbonat götürülmüş və onun katalitik sistemdəki qatılığının prosesə təsiri öyrənilmişdir. Modifikatorun katalizatordakı qatılığı 0,3-0,34 kütlə % aralığında dəyişdirilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, 2-propil-4-metilfenolun dehidrogenləşmə reaksiyasına hər iki katalizatorla promotorun təsiri oxşardır. Yəni CoO-Cr₂O₃ katalizatoru iştirakında əmələ gələn məqsədli məhsula görə selektivlik 81,6%-dir. Qeyd olunan göstərici promotorlu katalizatorların iştirakında 85,1% (0,1% K₂O) olur. Sonra bu göstərici artaraq 86,6% (0,2% K₂O)-ə çatır. Onu da qeyd etmək olar ki, qatılığın sonrakı artması (0,3-0,35% K₂O) məqsədli məhsulun selektivliyinə təsir göstərmir.

Promotorun CoO-Cr₂O₃ katalizatoruna daxil edilməsi ilə xammalın konversiyası əvvəlcə 1,5%-ə qədər azalır (0,2% K₂O), sonra isə kalium oksidin katalizatordakı qatılığının 0,35%-ə qaldırılması konversiyanı daha 2.2 % aşağı salır.

Nəticə etibarı ilə üçlü katalitik sistemdə promotorun iştirakı onun xassələrinə öz təsirini göstərir. Üçlü katalitik sistemə promotor daxil etmədikdə prosesin məqsədli məhsula görə

selektivliyi 85,1%, qatılığın kütlə faizi 0,2 olduqda isə selektivlik 87,8%-ə qədər artmış olur. Promotorun qatılığını 0,3-0,35 kütlə %-ə qədər artırıqda isə 2-allil-4-metilfenola görə selektivliyin cəmi 1,2 % artımı müşahidə olunur. Son olaraq 2-propil-4-metilfenolun kon-versiyası 30,6 % -ə bərabər olur. Promotorun qatılığının kütlə faizi 0,2 olduqda isə bu göstərici 2 %-ə qədər aşağı düşür. Promotorun qatılığının 0,2%-dən 0,3÷ 0,35 % -ə qaldırılması üçlü oksid sistemində selektivliyi qismən artsa da, nəticə etibarilə çıxımın azaldığını müşahidə etmiş oluruq. Əldə olunan nəticələr digər sistemin iştirakı ilə aparılmış dehidrogenləşmə prosesində müşahidə olunur. Tədqiqatın digər mərhələsində tərkibində 0,2 kütlə% modifikator olan üçlü oksid katalizatoru iştirakında götürülmüş xammalın dehidrogenləşmə reaksiyasına təsir edən amillərin təsiri öyrənilmiş və əldə olunan nəticələr 2 sayılı cədvəldə göstərilmişdir.

Nəticələrin təhlilindən görünür ki, bu amillərin prosesə təsiri fərqli olsa da, bir sıra ümumi qanunauyğunluqlara da tabe olurlar.

Cədvəl 2.

Modifikasiya olunmuş $\text{NiO-Cr}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ iştirakında ilkin xammala görə müxtəlif başlanğıc parametrlərinin təsirinə təhlili

Reaksiyanın şəraiti			2-propil-4-metilfenolun konversiyası	Çevrilmiş 2-propil-4-metilfenola görə hesablanmış reaksiya məhsullarının çıxımı		
T ⁰ C	ϑ , st ⁻¹	Allilfenolun suya olan mol nisbəti		2A4MF	Dimer	Fenol+ Metilfenollar
500	1,0	1:8	18,1	90,6	5,1	2,6
540	1,0	1:8	30,6	88,2	6,6	3,1
580	1,0	1:8	44,1	78,5	5,6	13,6
540	0,5	1:8	36,1	81,1	11,1	5,4
540	2,0	1:8	24,4	90,4	4,6	2,2
540	1,0	1:6	34,6	81,6	8,1	6,1
540	1,0	1:10	28,6	89,1	6,1	2,1

Məsələn, temperaturun artması ilə komponentlərin həcmi sürətinin azalması və götürülən xammalda suyun qatılığının aşağı düşməsi müşahidə edilir ki, bu zaman 2-propil-4-metilfenolun konversiyası da azalır. Belə ki, temperaturun 500 °C-dən 540 °C-yə qaldırılması zamanı sintez olunan məhsulun selektivliyinin 90,6%-dən 88,2%-ə düşməsi müşahidə edilir.

Temperaturu 580 °C-yə qədər qaldırıqda isə selektivlik daha 12,1 %-ə azalır. Temperaturun belə artımı məqsədli məhsul olan allilkrezolun dimerinin alınmasına gətirib çıxarır ki, nəticədə propilkrezolun dealkilləşməsinin də artması müşahidə olunur. Aydın olur ki, 500 °C-də reaksiyanın selektivliyi alınan fenol və krezollara görə 2,6 % olduğu halda, 580 °C-də bu göstərici 13,6 %-ə qədər artır.

Ümumiyyətlə dehidrogenləşmə reaksiyası 540 °C temperatur, 1,0 st⁻¹ həcmi sürət və xammaldakı 2-propil-4-metilfenolun suya olan mol nisbəti 1:8 olduğu halda yerinə yetirildikdə daha yaxşı nəticələr əldə olunur. Tədqiqat modifikasiya olunmuş $\text{NiO-Cr}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ katalitik sistemi iştirakında yerinə yetirilib. Çevrilmiş və ilkin götürülmüş 2-propil-4-metilfenola görə hesablanmış 2-allil-4-metilfenolun çıxımları müvafiq olaraq 87,8 və 30,6 % təşkil edir.

Ədəbiyyat

[1]. Магерамов, А.М. Химия алкенилфенолов / А.М.Магерамов, М.Р. Байрамов. –Баку.: Нурлар, –2015, –399 с.

- [2]. Bo, Wang. Identification and influence of acidity on alkylation of phenol with propylene over ZSN-5 / Bo Wang, Chul Wee Lee, Tian Xi Cai [et al.] // *Catalysis Letters*. 2001, vol 76, no. 3-4, pp.219-224.

Summary

Catalytic dehydrogenation of 2-propyl-4-methylphenol in the action of oxide catalyst and study of properties of obtained allylcresol

Qarayeva I.E., Muradov M.M., Nəzərova M.K., Suleymanova P.V., Arixov E.N.

Key words: *cresol, dimer, trimer, alkenylphenol, catalyst, methylphenol*

The dehydrogenation reactions of methylphenols with selected oxide catalysts were studied in detail and the results were discussed. It was found that 2-propyl-4-methylphenol was used as a raw material during the synthesis of allylcresol. The presence of $\text{CoO-Cr}_2\text{O}_3$ in binary systems and $\text{NiO-Cr}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ in ternary systems in the dehydrogenation process increases the calculated yields of the target product more.

The calculated yields of 2-allyl-4-methylphenol based on the converted propylcresol in the presence of the selected oxide catalyst and an example of its modification with potassium carbonate are 87.8% and 30.6%

Резюме

Каталитическое дегидрирование 2-пропил-4-метилфенола в действии оксидного катализатора и изучение свойств полученного аллилкрезола

Гараева И.Э., Мурадов М.М., Назарова М.К., Сулейманова Р.В., Арихов Э.Н.

Ключевые слова: *крезол, димер, тример, алкенилфенол, катализатор, метил-фенол*

Подробно изучены реакции дегидрирования метилфенолов с выбранными оксидными катализаторами и обсуждены полученные результаты. Установлено, что 2-пропил-4-метилфенол используется в качестве исходного сырья при синтезе аллилкрезола. Присутствие $\text{CoO-Cr}_2\text{O}_3$ в бинарных системах и $\text{NiO-Cr}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ в тройных системах в процессе дегидрирования ещё больше увеличивает расчётные выходы целевого продукта. Расчётные выходы 2-аллил-4-метилфенола в пересчёте на конверсию пропилкрезола в присутствии выбранного оксидного катализатора и на примере его модификации карбонатом калия составляют 87,8% и 30,6%.

2-metilfenolun metanolla alkilləşmə prosesində modifikasiya olunmuş katalizatorun stabil iş rejiminin öyrənilməsi

Mürşüdlü Nərmən Afiq qızı [ORCID](#)

Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, k.f.d., müəllim
narmin.murshudlu@sdu.edu.az

MƏQALƏ HAQQINDA MƏLUMAT	XÜLASƏ
Məqalənin tarixçəsi Daxilolma tarixi: 30.10.2025 Düzəliş tarixi: 19.11.2025 Qəbul olunma tarixi: 15.12.2025	<i>Təqdim olunan elmi araşdırma, 2-metilfenolun metanolla alkilləşməsi prosesinin yerinə yetirilməsində istifadə edilən modifikasiya olunmuş MMOKF katalizatorunun iş rejiminin tədqiq edilməsinə həsr olunmuşdur. Təcrübələrin nəticələrinə əsaslanaraq müəyyən edilmişdir ki, alkilləşmə reaksiyasında MMOKF katalizatoru ən azı 1200 saat və daha artıq fasiləsiz rejim üzrə işləyə bilər. Prosesin optimal rejimi 370 °C, xüsusi yükləmə 0.8 st⁻¹, reagentlərin mol nisbəti isə uyğun olaraq 1:0.75 təşkil edir.</i>
Açar sözlər alkilləşmə, 2-metilfenol, metanol, MMOKF katalizatoru, 2,6-dimetilfenol, kokslaşma məhsulları	

Müasir dövrdə tullantısız, xüsusən də fasiləsiz kimyəvi prosesin və texnologiyanın yaradılması, “yaşıl kimya”nın prinsiplərinə əməl olunması sözsüz ki, prosesin daha səmərəli həyata keçirilməsinə bilavasitə təsir edir. Xüsusən də, heterogen katalitik kimyəvi proseslərdə belə texnologiyaların öz tətbiqini tapması əsas amillərdən sayılır. Məlumdur ki, katalitik kimyəvi prosesdə əsas texnoloji əməliyyat reaktorda aparılan kimyəvi çevrilmədir, yəni katalitik kimyəvi prosesin effektivliyi reaktorda aparılan katalitik çevrilmənin texnoloji göstəricilərindən, alınan katalizatın tərkibindən, katalizatorun sabit iş rejimindən, regenerasiyalararası vaxtın sabit qalmasından, regenerasiya şəraiti, onun katalitik sistemin tərkibi və fiziki-kimyəvi xassələrinə təsirindən və istifadə edilən katalitik sistemin sabit iş müddətindən asılıdır [1]. Məhz yuxarıda diqqətə çatdırılan amillərin araşdırılması baxımından, fasiləsiz və tullantısız texnologiyaların yaradılması, heterogen katalitik sistemlərdə istifadə olunan katalizatorların işləmə müddətinin artırılması yollarının axtarılması istiqamətində atılan addımlar və onun öz həllini tapması bu gün də aktual məsələlərdən hesab olunur.

Təklif edilən işin məqsədi, 2-metilfenolun metanolla alkilləşmə reaksiyasında istifadə olunan MMOKF (manqanla modifikasiya olunmuş kobalt ferrit) katalizatorunun uzunmüddətli iş rejiminin tədqiq edilməsindən ibarətdir.

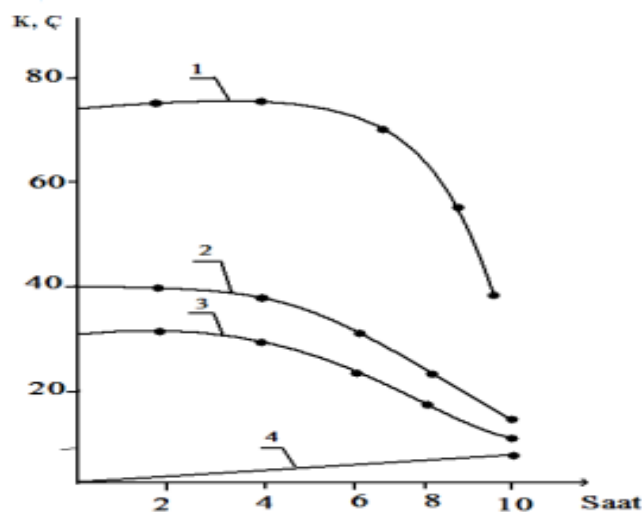
Təcrübələrin aparılması: İlkin olaraq yerinə yetirilən bu təcrübə, müxtəlif durulaşdırıcıların iştirakında aparılmışdır. Reaksiya mühitində durulaşdırıcı kimi müxtəlif parsial təzyiqə malik azot qazından, azot və su buxarı qarışıqından, su buxarından və hidrogendən istifadə edilmişdir. Təcrübələr 370 °C-də, xüsusi yükləmənin 0.8 st⁻¹ qiymətində aparılmış və 2-metilfenolun metanola olan mol nisbəti uyğun olaraq 1:0.75 götürülmüşdür.

Alınan nəticələrin müzakirəsi: Nəticələrin təhlili göstərir ki, azotun aşağı parsial təzyiqində 2-metilfenol və metanolun konversiyası MMOKF katalizatoru iştirakında daha dərin baş verir və ilkin olaraq əmələ gələn 2,6-dimetilfenola görə selektivlik 78.5%, çıxım isə 33.1% təşkil edir (şəkilə bax), 5 saatdan sonra selektivlik və çıxımın qismən azaldığı müşahidə olunur. Katalizatorun işlədiyi 6 saat ərzində uyğun olaraq bu göstəricilərin 74.0, 26.4%-ə çatması müşahidə edilir.

Katalizatorun stasionar rejimdə 6 saat istifadə olunması onun səthində yaranmış koksun kütləsini 3.5%-ə çatdırır. 8 saatlıq iş müddətində 2,6-dimetilfenolun selektivliyi 65.5%-ə, 10 saatlıq

iş müddətində isə 35.5%-ə qədər aşağı düşür. Bu zaman 2.6-dimetilfenolun çıxımı əvvəlcə 17.0% (8 saat) daha sonra isə 7.5% (10 saat) olur. Təbii ki, bu göstəricilərin azalması 2-metilfenolun konversiyasının azalması ilə müşayiət olunur. Uzunmüddətli iş rejimində (10 saat) MMOKF katalizatorunun səthində 8.0%-ə qədər koks əmələ gəlir ki, bu da katalitik sistemin aktiv mərkəzlərinin fəaliyyətini azaltmaqla onun katalitik xassələrini zəiflədir.

Alkilləşmə reaksiyasında MMOKF katalizatorunun azotun aşağı miqdarındakı istifadəsi və 5 saatdan sonra dezaktivasiyaya məruz qalması nəzərə alınaraq, onun bərpası yerinə yetirilmişdir. Katalizatorun regenerasiyası 450 °C temperaturda, 1 litr katalizatora görə verilən havanın 550 litr sərfiyyatında və 3 saat müddətində həyata keçirilmişdir. Regenerasiya olunmuş ferrit katalizatoru tərkibini dəyişməyərək öz aktivliyini və selektivliyini yenidən bərpa edir. Dəfələrlə bərpa edilən bu katalizator nəinki xassələrini dəyişmir, eləcə də texniki davamlılığını qoruyub saxlayır.



Şəkil. MMOKF katalizatorunun iş müddətinin 2-metilfenolun metanolla alkilləşmə reaksiyasının göstəricilərinə təsiri. : $T=370^{\circ}\text{C}$, $\theta=1:0.75\text{mol/mol}$, $v=0.8\text{st}^{-1}$

1. Çevrilmiş 2-metilfenola görə hesablanmış 2.6-dimetilfenolun çıxımı, % 2. 2-metilfenolun konversiyası, %
3. Başlanğıc 2-metilfenola görə hesablanmış 2.6-dimetilfenolun çıxımı, % 4. Koksun miqdarı, kütlə %.

2-metilfenol və metanol əsasında 2.6-dimetilfenolun selektiv alınma prosesində MMOKF katalizatorunun sabit iş rejimini 300 saata qədər artıran əsas amil azot mühitində inert qazın parsial təzyiqinin artırılmasıdır. Onun həcmi 600 litrə qədər artırıqda xammal komponentlərinin parsial təzyiqinin gözə çarpacaq dərəcədə azaldılması, kontakt vaxtının və katalitik prosesdə baş verən diffuziyanı və kinetik mərhələlərin tənzimlənməsi, koksun əmələ gəlməsinin məhdudlaşdırılması baş verir. 300 saat fasiləsiz olaraq aparılan prosesdə əmələ gələn 2.6-dimetilfenola görə selektivlik (92.0-91.0%). çıxım isə (32.8- 32.0%) qiymətləri alır. 2.6-dimetilfenolun alınması prosesinin belə şəraitdə aparılması və MMOKF katalizatoru iştirakı ilə davam etdirilməsi məqsədəuyğun sayılır. Odur ki, məhz müəyyən edilmiş bu şəraitdə katalizatorun regenerasiyası yerinə yetirilir [2].

Prosesdə regenerasiya müddəti 5 saat ərzində aparılır və katalizatorun aktivliyi və selektivliyi tam bərpa olunur, bu isə, məsələli –quruluşlu səthdə adsorbsiya olunmuş yüksək molekul, əsasən də karbon tərkibli birləşmələrin mövcudluğu ilə şərtləndirilir.

Azot və su buxarı durulaşdırıcıları iştirakında aparılan alkilləşmə prosesində istifadə olunan MMOKF katalizatorunun xassələri nəzərə çarpacaq dərəcədə pisləşir. Bu ferrit katalizatoru iştirakında 2-metilfenolun konversiyasının 24.5% təşkil etməsi ilə özünü büruzə verir. Güman edilir ki, katalizator səthində adsorbsiya olunan su onun əmələ gəlməsi ilə baş verən alkilləşmə prosesinin sürətini azaldır və tarazlığın sola yönəlməsinə səbəb olur. Orta sürətlə baş verən

alkilləşmə prosesində sintez edilən 2.6-dimetilfenol və 2.6-, 2.4-dimetilfenollar qarışığına görə selektivlik uyğun olaraq 81.0 və 85.7% təşkil edir. Digər tərəfdən su buxarının katalizator səthindəki qatılığının bir qədər çox olması kokslaşma məhsullarının əmələ gəlməsini qismən yavaşdır. Nəticədə MMOKF katalizatorunun sabit iş müddətini 50 saata qədər artırmaq mümkündür. [3]

MMOKF katalizatoru iştirakında 2-metilfenol və 4- metilfenolun metanolla alkilləşmə reaksiyasında alınan alkilat məhsullarında cüzi də olsa 2.5-dimetilfenol da alınır. Qeyd edək ki, bu izomer daha yüksək çıxım və selektivliklə 3-metilfenolun metanolla qarşılıqlı təsirindən də alınır və 2.3-dimetilfenolla birlikdə 2.3.6-trimetilfenolun sintezi prosesində istifadəsi mümkündür. Lakin az miqdarda əmələ gələn 2.5- dimetilfenolun digər istifadə sahəsi onun 3.5-dimetilfenola izomerləşməsidir.

Nəticələr. Yerinə yetirilən elmi araşdırmalar əsasında müəyyən edilmişdir ki, prosesin gedişində MMOKF katalizatoru daha yüksək selektivlik və aktivlik nümayiş etdirir. Fenol və krezolların C₁-C₃ spirtlərlə selektiv orto- alkilləşdirilməsi üçün hazırlanmış MMOKF katalizatoru fenolun metanol, etanol, propanol və izopropanolla alkilləşməsini, krezolların metanol və etanolla qarşılıqlı təsirini, 2.5- və 2.3- dimetilfenolların metanolla reaksiyasından 2.3.6-trimetilfenollara çevrilmələrini həyata keçirməyə imkan verir [4].

Alınan alkilatdan çevrilməyən 2-metilfenolun və məqsədli məhsul olan 2.6-dimetilfenolun ayrılması həyata keçirilir və bu proses rektifikasiya kalonunda baş verir. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, 2-metilfenolun və 2.6-dimetilfenolun izomerləşmə və disproporsionlaşma kimi çevrilmələrə məruz qalmaması sayəsində alınan alkilatların tərkibinin sadələşməsinə gətirir. Əks halda alınan alkilatlarda m- və p-krezollara və ksilenolların digər izomerlərinə rast gəlinərdi. 3- və 4-metilfenolların qaynama temperaturlarının cüzi fərqlənməsi, 2.6-dimetilfenol ilə p-krezolun da yaxın temperaturlarda qaynaması alkilatın sonrakı emalını xeyli çətinləşdirə bilərdi. Belə ki, sonuncu halda dietilenqlikol tətbiq etməklə ekstraktiv rektifikasiya vasitəsi ilə 4-metilfenolu 2.6-dimetilfenoldan ayırır, m- və p-krezolların donma temperaturları arasındakı fərqdən, yaxud digər üsullardan istifadə edilir [2,5].

Beləliklə, aparılmış tədqiqatların nəticələrinin təhlili göstərir ki, rektifikasiya, kristallaşma və digər fiziki proseslərin birgə istifadə olunması nəticəsində fenol və onun müxtəlif metil homoloqlarını fərdi izomerlər şəklində yüksək təmizliklə almaq mümkündür.

Ədəbiyyat

- [1]. Mürşüdlü, N.A. Fenolların spirtlərlə alkilləşməsilə C₂-C₃ alkilfenolların alınma üsulunun işlənib hazırlanması: / kimya üzrə fəlsəfə doktoru dis. / –Sumqayıt, –2021, – s. 25-30.
- [2]. Mürşudlu, N.A. 2-metilfenolun metanolla alkilləşməsi ilə 2.6-dimetilfenolun alınma prosesinin kinetik modeli // –Sumqayıt: SDU Elmi xəbərlər, Təbiət və texniki elmlər bölməsi, –2019, – c.19, № 3, –s.40-44.
- [3]. Муршудлу, Н.А. Алкилирование 2-метилфенола метанолом над ферритовом катализаторе // Polish journal Science. –Warshava, –2019, 1(2), – с. 24-26.
- [4]. Mürşudlu N.A., Muradov M.M. Ağayev Ə.Ə. Fenolu C₂-C₃ spirtlərlə orto alkilləşdirici katalizator // AMEA akademik Y.H.Məmmədəliyev adına Neft-Kimya Prosesləri İnstitutunun 90 illik yubileyinə həsr olunmuş “Müasir kimyanın aktual problemləri” mövzusunda beynəlxalq elmi konfransının tezisləri, –Bakı, –2-4 oktyabr, –2019, –s.173.
- [5]. Магерамов, А.М. Химия алкенилфенолов / А.М.Магерамов, М.Р.Байрамов. –Баку: Nurlar, –2015, –399 с.

Summary

Study of the stable operation of a modified catalyst in the alkylation process of 2-methylphenol with methanol
Murshudlu N.A.

Keywords: alkylation, 2-methylphenol, methanol, MMOKF catalyst, 2,6-dimethylphenol, coking products.

The presented scientific research is devoted to the study of the operating mode of the modified MMOKF catalyst and PdCaY zeolite used in the alkylation process of 2-methylphenol with methanol. Based on the results of the experiments, it was determined that the MMOKF catalyst and PdCaY zeolite in the alkylation reaction can operate continuously for at least 1200 and 750 hours, respectively, and more. The optimal mode of the process is 3700C, specific loading is 0.8 st-1, and the molar ratio of the reagents is 1:0.75, respectively.

Резюме

Изучение стабильной работы модифицированного катализатора в процессе алкилирования
2-метилфенола метанолом
Мурушудлу Н.А.

Ключевые слова: алкилирование, 2-метилфенол, метанол, катализатор ММФК, 2,6-диметилфенол, продукты коксования

Представленное научное исследование посвящено изучению режима работы модифицированного катализатора ММФК, используемого в процессе алкилирования 2-метилфенола метанолом. На основании результатов проводимых опытов установлено, что катализатор ММФК в реакции алкилирования может работать непрерывно не менее 1200 часов и более. Оптимальный режим процесса – 370⁰ С, удельная загрузка – 0,8 ст⁻¹, мольное соотношение реагентов – 1:0,75 соответственно.

Meteoroloji stansiyaların və marşrut qarölçmənin məlumatlarına əsasən qar örtüyünün parametrlərinin qiymətləndirilməsi

Musayeva Mətanət Ağayar qızı [ORCID](#)

Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, dosent
matanat.musaeva@sdu.edu.az

MƏQALƏ HAQQINDA MƏLUMAT	XÜLASƏ
Məqalənin tarixçəsi Daxilolma tarixi: 14.09.2025 Düzəliş tarixi: 20.10.2025 Qəbul olunma tarixi: 17.11.2025	Təhlillər göstərir ki, ərazidə qarın hündürlüyünün artım tendensiyası müşahidə edilir, onun maksimal qalınlığının orta tendensiyası isə 10 il ərzində 0.8 sm təşkil edir. Qar qalınlığının artım tendensiyası fonunda qar örtüyünün yaranma müddəti, sıxlığı, sululuğu və qar örtüyünün tutduğu ərazi ardıcıl olaraq azalır. Qlobal iqlim dəyişməsi fonunda havanın temperaturunun artması nəticəsində orta hesabla, qar örtüyü olan günlərin sayında (-1,02 gün/10 il), həmçinin meşə ərazisi marşrutlarında da qar ehtiyatlarının davamlı olaraq (-1,17 mm/10 il) azalmasının baş verməsi müəyyən edilmişdir.
Açar sözlər meteoroloji stansiyalar, qar örtüyünün hündürlüyü, qlobal istiləşmə, Qusarçay hövzəsi, iqlim xüsusiyyətləri, marşrut qarölçmə məlumatları	

Giriş

Son onilliklərdə müşahidə olunan qlobal istiləşmə fonunda bütün iqlim xüsusiyyətlərində dəyişikliklər baş verir. Qlobal istiləşmə dövründə havanın temperaturu artdıqca hava kütlələrinin rütubətinin nisbətən çoxalması ilə əlaqədar olaraq bəzi soyuq ərazilərdə qarın miqdarı artır. Bu, qar örtüyünün atmosferin tərkibində və onun sirkulyasiyasında hər hansı dəyişikliyə yüksək həssaslığından xəbər verir. Qar örtüyü qış dövrünün təbii mühitinin mühüm tərkib hissəsidir.

Dağlarda qar örtüyü dağ çaylarında su axımı, həmçinin xizək kurortlarının inkişafı üçün mühüm resursdur. Dağ buzlaqlarına, dağətəyi ərazilərin iqliminə və frontal proseslərin hərəkət xüsusiyyətlərinə əhəmiyyətli təsir göstərir. Qlobal və regional iqlim dəyişiklikləri hazırda ümumiyyətlə qəbul edilir. Bu dəyişikliklərin nəticəsi orta illik temperaturun artmasıdır ki, bu da qarın yığılma rejiminə mənfi təsir göstərir [2,3].

Hazırda Şahdağ bölgəsi rekreasiya məqsədləri üçün intensiv şəkildə inkişaf etdirilir. Bu ərazidə bir neçə kanat yolu və xizək yolu var. Onların səmərəli istifadəsi üçün əsas amil qar örtüyü və onun başvermə müddətidir. Son onilliklərdə müşahidə olunan, dağlarda qarın yığılma rejiminə təsir edən iqlim xüsusiyyətlərindəki nəzərəcərpacaq dəyişikliklər bu bölgənin rekreasiya inkişafına əsas maneədir. Havanın orta illik temperaturu artdıqca dağlarda (dəniz səviyyəsindən 3600–3700 m yüksəklikdə) sıfır izotermədən yuxarı orta illik qar yığılması azalır ki, bu da dağların buzlanmasına mənfi təsir göstərir.

Azərbaycan ərazisində “İqlimin Xüsusiyyətləri Haqqında Hesabatlar”da iqlim dəyişikliyi və qarın yığılma rejiminin reallığını təsdiqləyən kifayət qədər uzun müddət ərzində instrumental müşahidələrə (səth havasının temperaturu, yağıntının miqdarı, qar örtüyünün hündürlüyü və s.) əsaslanan tədqiqatların nəticələri təqdim olunur.

Materiallar və tədqiqat metodları. Məqalədə, tədqiqat ərazisində olan və dəniz səviyyəsindən müxtəlif yüksəkliklərdə yerləşən 6 meteoroloji stansiyaların məlumatları (1961-2018-ci illər) əsasında qar örtüyü hündürlüyündəki uzunmüddətli dəyişikliklərin dinamikasını öyrənmək üçün meteoroloji stansiyalarda əldə edilmiş qar örtüyünün xüsusiyyətlərindən, ilin soyuq dövründə yağıntının miqdarından və marşrut qarölçmə məlumatlarından istifadə edilmişdir.

Ərazidə bərk yağıntı əsasən noyabrdan aprel ayına qədər olan müddətdə düşür ki, bu da bəzən uçuqun təhlükəsinin mümkün vaxtını müəyyən edir. May ayından oktyabra qədər isə yağıntılar maye halında düşür. Bununla belə, 3000 m yüksəklikdə sentyabrın sonundan etibarən yağıntı adətən qar kimi düşür.

İstənilən ərazidə qar örtüyünün formalaşması, davamiyyəti, ərimə şiddətliyi, paylanma xüsusiyyəti və ümumiyyətlə çayların qidalanmasında rolu kompleks fiziki-coğrafi amillərdən, o cümlədən ərazinin orografik xüsusiyyətindən çox asılıdır. Bunu nəzərə alaraq tədqiq olunan ərazidə qar örtüyünün şaquli zonallıqdan asılı olaraq onun ayrı-ayrı yüksəkliklər üzrə formalaşma xüsusiyyəti öyrənilmiş, stasionar və xüsusi marşrut qarölçmə məlumatlarının statistik təhlilləri aparılmışdır.

Əsas hissə. Dağ yamaclarının səmtindən, hündürlüyündən asılı olaraq qar örtüyünün yaranma tarixi fərqlənir. Şimal-şərq yamacda (2000 m) qar örtüyü Qırızda 1990-cı ilə qədərki dövrdə oktyabrın 15-dən, 1991-2009-cu illərdə isə Qırızda qar örtüyü oktyabrın 20-dən sonra yaranır. Buna müvafiq olaraq cənubda (Əlibəydə) eyni hündürlükdə 1990-cı ilə qədərki dövrdə oktyabrın 21-də, 1991-2009-cu illərdə isə Əlibəydə oktyabrın 27-də yaranır. Ə.Əyyubovun, Ş.Ağayevin, M.Musayevanın tədqiqatlarına görə qar örtüyünün davamiyyəti də səmtdən asılı olaraq dəyişir [1,4]. Şimal-şərq yamacında qar örtüyünün davamiyyəti 1000 m hündürlükdə - 70, 1600 m - 95, 2000 m - 110, 2600 m - 150, 3200 m - 230 gün olduğu halda, cənub yamacda buna uyğun olaraq 60, 112, 140, 190, 240 günə çatır. Lakin iqlim dəyişmələri ilə bağlı qar örtüyünün davamiyyətində də dəyişkənlik yaranır. Qar örtüyünün davamiyyətində də hündürlük və səmtdən asılılıq özünü göstərir. Qarın əriməsi ərazinin hündürlüyündən asılı olaraq ləngiyir, yüksək dağlıq hissədə isə ən gec qar ərimə prosesi baş verir. Yüksək sutoplayıcı çaylardan olan Qusarçay, Qudyalçay hövzələrində bəzi illərdə qar tam əriyib qurtarmır və növbəti ilə qalır.

Müasir iqlim dəyişikliyi şəraitində mövsümi qar örtüyünün xüsusiyyətləri əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir. Son onilliklərdə keçid mövsümlərində Azərbaycanda da qar örtüyünün sahələri və onun yaranma dövrləri azalmaqdadır. Bununla belə, müşahidə olunan tendensiya çox vaxt çoxistiqamətli və ərazi baxımından bircinsli olur. Bundan əlavə, son tədqiqatlara əsasən həm zaman, həm də məkan bircinsliliyi öyrənilərkən qar örtüyü məlumatlarının əsas mənbələri arasındakı uyğunsuzluqlar yüksək olaraq qalır. Apardığımız tədqiqatlar göstərir ki, ərazidə qarın hündürlüyünün artım tendensiyası müşahidə edilir, onun maksimal qalınlığının orta tendensiyası isə 10 il ərzində 0.8 sm təşkil edir. Qar qalınlığının artım tendensiyası fonunda qar örtüyünün yaranma müddəti, sıxlığı, sululuğu və qar örtüyünün tutduğu ərazi ardıcıl olaraq azalır. Orta hesabla, qar örtüyü olan günlərin sayında azalma -1,02 gün/10 ildir.

Trendlərin istiqamətində ən əhəmiyyətli fərqlər meteoroloji stansiyaların yaxınlığında, açıq və meşəlik ərazilərdə qarölçmə marşrutları üzrə ölçmələr arasında müşahidə olunur. Meşə ərazisi marşrutlarında da qar ehtiyatları davamlı olaraq azalır (-1,17 mm/10 il). Qar yığılma əmsalları da azalır, beləki, meşəlik və açıq ərazilərdə qar ehtiyatları arasındakı nisbət, qismən “qar sürüşməsinin” (külək sovrulması hesabına) miqdarının azalması ilə izah olunur.

HMS-in marşrut üzrə qarölçmə məlumatları, qar ünsürlərinin uzun dövr ərzindəki dəyişmələrini öyrənmək və qar örtüyü məlumatlarının digər mənbələrini (model, məsafədən zondlama) yoxlamaq üçün ən vacib məlumat mənbəyidir. Müxtəlif mənbələrdən istifadə çox vaxt uzunmüddətli məlumatların təhlilinin tamamilə fərqli nəticələrini göstərir. HMS-də qar örtüyünün müşahidələri yalnız müəyyən bir ərazini təmsil edən və bilinməyən hansısa bir nöqtədə aparılan ölçmələrdir. Müəyyən bir nöqtədə aparılan müşahidələr hətta kiçik çay hövzələrində ölçülən orta qiymətlərdən əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənə bilər.

Qar örtüyünün əsas parametrlərinə təsir edən amillər müxtəlif məkan və zaman miqyasında dəyişir. Relyef və bitki örtüyünün xüsusiyyətlərinin birləşməsi qar örtüyünün parametrlərinin onlarla metrədən bir neçə on kilometrə qədər miqyasda fəza fərqi müəyyənləşdirir. Yağıntıların, temperaturun və külək şəraitindəki illərarası fərqləri, spesifik qış fəslinn meteoroloji şəraitindən asılı olaraq, qar örtüyünün xüsusiyyətlərinin müvəqqəti dəyişkənliyini müəyyən edir [2]. Qeyd edək

ki, bu proseslər üst-üstə düşür və məsələn, ayrı-ayrı sinoptik dövrlərin və günlərin meteoroloji şəraitinin spesifikliyi, hətta nisbətən kiçik məkan miqyasında da əhəmiyyətli birincinsliliyi müəyyən edə bilər.

Aparılan təhlillərin məqsədi müəyyən fəza mühitində marşrut qarölçmə məlumatları ilə müqayisədə HMS-də qar örtüyünün müşahidələrinin düzgünlüyünü və iqlim dəyişmələri fonunda bu ünsürlərdəki dəyişkənliyi qiymətləndirməkdir. Qar örtüyü məlumatlarının bu iki mənbəyi arasındakı nisbətən dəyişməsinin araşdırılmasına əsasən, qışda qar örtüyünün illərarası dəyişkənliyi, qış dövrlərinin meteoroloji şəraitdəki fərqləri qiymətləndirilmişdir. Müqayisəli təhlil üçün ərazi vahidləri HMS-in yerləşdiyi çay hövzələri olub və qar ölçmə müşahidələri aparılıb. Tədqiqat zamanı müşahidələrin düzgünlüyünün qiymətləndirilməsinin aparılması, təkcə HMS-dən alınan məlumatlarla çay hövzələrindəki marşrut qarölçmə müşahidələrinin nəticələrinin müqayisəsi kimi deyil, həmçinin bu iki məlumat mənbəyi arasındakı nisbətlərin müəyyən fiziki əsaslılığı kimi qəbul edilir. Beləliklə, “açıq sahələrdə” (meşəsiz ərazilərdə, HMS-in məlumatlarına əsasən) ölçülmüş qar ehtiyatlarının qiymətləri potensial olaraq çay hövzəsindəki açıq ərazilərdə (marşrut üzrə) qar ehtiyatlarının orta qiymətlərinə yaxındır və onların orta qiymətlərin nisbi xətalrı 10%-dən az olmaqla reprezentativ hesab edilmişdir.

Çay hövzələrin ərazi yerləşməsi – Qusarçay, Babaçay, Derkçay və s. mənbələrini əhatə etmişdir. Tədqiqat sahəsi 1500-dən 2900 m-ə qədər olan mütləq yüksəkliklər diapazonunu əhatə edir ki, bu da qar örtüyü hündürlüyünün 22 sm-dən 42 sm-ə qədər dəyişməsinə uyğundur.

Orta dağlıq qurşaqla 1000-1200 m yüksəklikdə yerləşən meteoroloji stansiyada bütün qış zamanı 10-12 sm hündürlükdə olan qar örtüyü üstünlük təşkil edir. 1900-2000 m yüksəklikdə çoxillik dövrdə qar örtüyünün hündürlüyü çox az artmaqla 15-20sm arasında dəyişir [1].

Şimal-şərq yamacda qar örtüyü hündürlüyünün az olmasına baxmayaraq, ayrı-ayrı ekstremal illərdə onun hündürlüyü əhəmiyyətli dərəcədə arta bilər. Şimal-şərq yamacda qarın maksimal hündürlüyü dekabrın axırı yanvarın əvvəllərində qeyd edilir. Ərazidə qar örtüyünün orta ortalıq maksimal hündürlüyü cənub yamaca nisbətən təxminən 2 ay tez əmələ gəlir. Bunu şimal-şərq yamacın şimaldan gələn soyuq hava kütləsinin təsirinə daha çox məruz qalması ilə izah etmək olar.

Qar örtüyünün əmələ gəlmə və ərimə vaxtı yüksəklikdən asılı olaraq dəyişir. 3600-4000 m yüksəklikdə dayanıqlı qar örtüyü sentyabrın ortalarında, 1900-2500 m yüksəklikdə oktyabrın axırı, 1500-1600 m-də noyabrın ortalarında müşahidə edilir. Göstərilən yüksəkliklərdə dayanıqlı qar örtüyünün əriməsi iyunun axırı, iyulun əvvəli və fevral-mart aylarında baş verir.

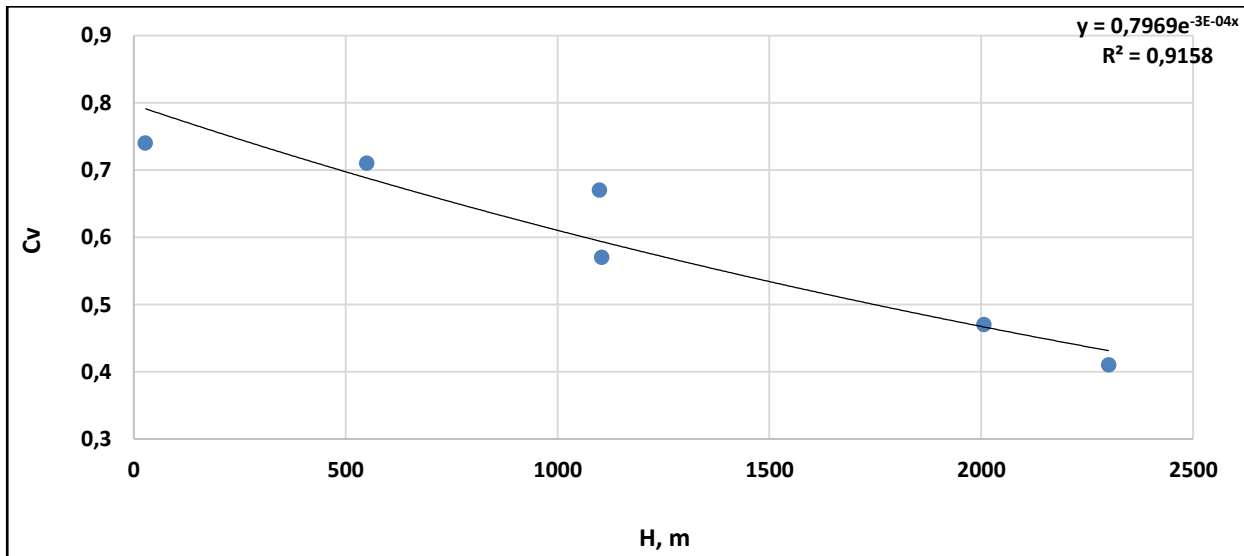
Tədqiqat ərazisində qar örtüyü ünsürlərinin dəyişkənliyi fiziki-coğrafi, əsasən meteoroloji amillərin dəyişməsi ilə izah edilir. Atmosfer elementlərinin, xüsusən də havanın temperaturu və yağıntının xarakterinin dəyişməsi nəticəsində qar örtüyü xüsusiyyətləri ildən-ilə müxtəlif dəyişkənliyə məruz qalır. Bu dəyişkənliyin kəmiyyət ifadəsini vermək üçün həm marşrut üzrə, həm də stasionar qar ölçü işlərinin məlumatlarından istifadə edərək, baxılan ərazi üzrə qar örtüyü xüsusiyyətlərinin statistik parametrləri hesablanmışdır.

Ərazidə qar örtüyünün variasiya əmsalı (0.40-0.73) arasında dəyişir. Yüksəklikdən asılı olaraq C_v -nin dəyişmə xarakterini müəyyən etmək və onun kəmiyyət ifadəsini vermək üçün $C_v=f(H)$ əlaqəsi qurulmuşdur (Şəkil).

$C_v=f(H)$ əlaqəsindən göründüyü kimi yüksəkliyin artması ilə C_v qanunauyğun surətdə azalır. Nisbətən alçaq sahələrdə C_v -nin dəyişməsi intensiv, yüksək sahələrdə isə tədricən gedir. Dağətəyi zonaya qədər sahədə variasiya əmsalının qiyməti 0.57-0.71 arasında dəyişirsə, davamlı qar örtüyü zonasında 0.47-0.41 qədər azalır. C_v -nin belə azalmasına səbəb - yüksəkliyin artması ilə qar örtüyü hündürlüyünün əmələ gəlməsi zamanı həmin istiqamətdə müsbət temperaturun təsirinin zəifləməsindən irəli gəlir və buna görə də az yüksəkliyə malik olan sahələrdə variasiya əmsalının qiyməti böyük intervalda dəyişir.

Marşrut qarölçmə məlumatları əsasında qurulmuş əlaqə ayrılıqları da həmin xüsusiyyəti tam şəkildə əks etdirir. Marşrut qarölçmə məlumatları əsasında olan qar örtüyünün sululuğunun variasiya əmsalı (C_{v_w}) hesablanmışdır. Qar örtüyü sululuğunun variasiya əmsalı yüksəklikdən asılı

olaraq eyni qayda ilə dəyişir. Lakin əksər hallarda (C_{v_w}) qiyməti qar örtüyü hündürlüyünün C_v -dən kiçik olur [1].



Şəkil. Qar örtüyünün variasiya əmsalının yüksəklikdən asılılığı

Qar örtüyü sululuğunun variasiya əmsalının ekstremal qiyməti isə hündürlüyün variasiya əmsalından çoxdur. Belə ki, qarın sululuğu C_v -si 0.34-0.92 arasında dəyişir. Qar sıxlığının C_v -si hündürlüyün və sululuğun C_v -dən kiçik qiymətə malikdir və 0.27-0.57 arasında dəyişir.

Nəticə. Tədqiqatda, meteoroloji stansiyalarda qarölçmə müşahidələrinin dəqiqliyi ərazidəki marşrut qarölçmə məlumatları ilə müqayisədə təhlil edilir. Müqayisə, üç fəza-zaman dəyişkənliyi: illərarası (yağıntılarda illərarası dəyişkənliyinin təsiri), hövzədaxili (relyefin və bitki örtüyünün təsiri), illik (məüyyən bir qış dövrünün meteoroloji şəraitinin təsiri) səviyyəsində aparılmışdır. Ölçmə xətlərinin dəyişməsi də qar örtüyünün illərarası dəyişkənliyi və çay hövzələrinin landşaft bircinsliliyi nəzərə alınmaqla qiymətləndirilir. Nəticələr göstərdi ki, meteoroloji stansiyalarda qarın ölçülməsinin dəqiqliyi düzənliklərə nisbətən alçaq dağlıq su hövzələrində daha yüksəkdir. Külək sovrulması ilə birlikdə yağıntılarda miqdarının illik fərqləri Qusarçay hövzəsinə ən çox təsir göstərmişdir (qarölçən cihazda qarın qalınlığının müəyyən edilməsində nisbi səhv 31,1%, daimi çay yatağı boyunca cənub-qərbə doğru isə 19,6%-dir). Kiçik çay hövzəsində qarölçmə cihazı ilə qarın qalınlığının ölçülməsinin nisbi xətası 6,8% təşkil edib. Daimi qar ölçmə marşrutlarından alınan məlumatlar qar örtüyünün parametrlərinin dəyişkənliyini daha yaxşı təsvir edir, həm də marşrutun xüsusiyyətlərindən əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır.

Ədəbiyyat

- [1]. Мусаева, М.А. Особенности распределения снежного покрова на северо-восточном склоне Большого Кавказа на территории Азербайджана // –Bakı, Azərbaycan Coğrafiya Cəmiyyətinin Əsərləri. İnsan və ətraf mühit münasibətləri, –2017, c. XX, –s.325-328
- [2]. Мусаева, М.А. Взаимосвязи климатических факторов и речного стока в бассейне реки Белоканчай / М.А. Мусаева, И.И. Марданов // Известия ТулГУ. Науки о Земле. –Тула, – 2022. –С.30-40
- [3]. Цомая, В.Ш. К методике расчета плотности снега в горном бассейне // Тр. Тбил. НИГМИ, вып.1, –Л., –1956. –с. 46.

Summary

Assessment of snow cover parameters based on data from meteorological stations and route snow surveys

Musayeva M.A.

Key words: *meteorological stations, snow depth, global warming, Gusarchay river basin, climate characteristics, route snow survey data.*

The analysis shows that the region is experiencing a trend towards increasing snow cover depth, with the average trend of its maximum thickness being 0.8 cm per 10 years. Against the background of the tendency to increase the thickness of the snow cover, the duration of the formation of the snow cover, its density, water content and the area occupied by the snow cover are consistently decreasing. As a result of rising air temperatures against the backdrop of global climate change, it has been established that there is a continuous decrease in the average number of days with snow cover (-1.02 days/10 years), as well as snow reserves on forest routes (-1.17 mm/10 years).

Аннотация

Оценка параметров снежного покрова по данным метеорологических станций и маршрутных снегосъемок

Мусаева М.А.

Ключевые слова: *метеорологические станции, высота снежного покрова, глобальное потепление, бассейн Гусарчая, климатические характеристики, данные маршрутных снегосъемок.*

Анализ показывает, что в регионе наблюдается тенденция к увеличению высоты снежного покрова, а средняя тенденция его максимальной толщины составляет 0,8 см за 10 лет. На фоне тенденции к увеличению толщины снежного покрова последовательно уменьшается продолжительность формирования снежного покрова, его плотность, водность и площадь занимаемая снежным покровом. В результате повышения температуры воздуха на фоне глобального изменения климата установлено, что наблюдается непрерывное снижение среднего числа дней со снежным покровом (-1,02 дня/10 лет), а также запасов снега на лесных маршрутах (-1,17 мм/10 лет).

Azərbaycan Respublikasının Kiçik Qafqaza aid meşə, alp, subalp və subnival landşaftlarının fitomüxtəlifliyi və mühitə uyğunlaşması

Yusifova Səbinə Nizami qızı [ORCID](#)

Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, c.f.d., baş müəllim
sabina.yusifova@sdu.edu.az

MƏQALƏ HAQQINDA MƏLUMAT	XÜLASƏ
Məqalənin tarixəsi Daxilolma tarixi: 14.09.2025 Düzəliş tarixi: 05.11.2025 Qəbulolunma tarixi: 10.12.2025	<i>Tədqiqat zamanı Azərbaycan Respublikasının Kiçik Qafqaza aid ərazilərində yayılmış bitki növlərinin zəif antropogen təsirlərə məruz qalmış meşə, alp, subalp və subnival landşaftlarının fitomüxtəlifliyinin taksonomik analizi aparılaraq 1021 ali bitki növü müəyyən edilmişdir. Onlardan da 841 növün nisbətən geniş areallı, qalan 180 növün isə endemik növlər olmuşdur. Bunlardan 7-nin məhz Azərbaycan endemi olduğu müəyyən olunmuşdur. Eyni zamanda ərazinin tədqiq olunan hər bir landşaftının torpaq örtüyü və onların spesifik parametrləri, bu landşaftlarda bitən aparıcı fəsilələrin taksonomik təhlili və həyati formaları aparılmışdır. Əldə edilmiş nəticələr Azərbaycan Respublikasının Kiçik Qafqaza aid ərazilərinin florasının inventarizasiyası, buradakı bitki ehtiyatlarının qiymətləndirilməsində, areallarının, endemizminin, kateqoriya və statusunun, müəyyən edilməsində vacib əhəmiyyət daşıyır</i>
Açar sözlər landşaft, biomüxtəliflik, ekosistem, ekoton, endemizm, antropogen faktorlar, hipsometrik	

Mövzunun aktuallığı. Ümumiyyətlə, Böyük və Kiçik Qafqaz kimi yüksək dağlıq ərazilərin landşaftlarının biomüxtəlifliyi istər bioloji, istərsə də ekoloji və fizioloji baxımdan həmişə xüsusi maraq kəsb etmişdir. Çünki buradakı biomüxtəlifliyi təmin edən növlərin fərdləri sərtiqlimli ərazilərdə həyat sürdüklərindən, onların arealları nisbətən dar, populyasiyalarının ölçüləri kiçik olur.

Biomüxtəliflik hadisəsi ekosistemlərin struktur-funksional təşkilində vacib rol oynayan, üzvi aləmin unikal təzahür formasıdır. Hansı ki, biomüxtəliflikdən ifrat istifadə, təbii və antropogen faktorların təsirlərindən törəyən dəyişikliklər və s. bu cür ekosistemlərin stabilliyinə və davamlılığına neqativ təsir edir. Ona görə də, hər hansı bir ərazidə biomüxtəlifliyin normal inkişafı üçün onu təşkil edən canlı növlərinin yaşayış yerləri və ya biotası olan təbii ərazi kompleksləri və ya landşaftlar da elmi şəkildə mühafizə olunmalıdır. Hər bir landşaftın başlıca komponentlərindən olan ərazinin torpaq örtüyünün fiziki-kimyəvi xüsusiyyətləri, onun degradasiyası və səhrələşməyə uğraması, eləcə də buradakı otlarlardan tənzimlənməyən otarmalar və biçənekler kimi istifadə də biomüxtəlifliyə təsir edən əsas risklərdəndir [1, 2, 5].

Təəssüf ki, qlobal iqlim dəyişikliyi şəraitində Azərbaycan Respublikasının Kiçik Qafqaza aid meşə, alp, subalp və subnival landşaftlarının biomüxtəlifliyi, xüsusən də soyuq mühitə uyğunlaşmış və qısa vegetasiya dövrünə malik flora aləmi də hələlək lazımı səviyyədə öyrənilməmişdir. İndiyə qədər aparılmış elmi tədqiqatlar isə əsasən hipsometrik parametrlərə uyğun olaraq qurşaq və konkret ekosistemin araşdırılmasından ibarət ekosistem xarakterli olmuşdur [6, 7]. Təbiidir ki, Kiçik Qafqazın eyni hündürlüyə malik şimal yamacı ilə cənub yamacının iqlim şəraiti eyni ola bilməz. Çünki, bu yamacların temperatur rejimi, torpağının rütubətliyi, onların məruz qaldığı günəş radiasiyası, buradakı küləyin sürəti heç də hər tərəfdə eyni olmur. Bu da həmin ərazilərdə fərqli xarakterli bitki formasiyalarının formalaşmasına gətirib çıxarır. Ekosistem yavaşmasında isə ərazinin konkret ekosistemi tədqiqi olunduğundan ekosistemlərin kəsişdiyi

ekotonlar da çox vaxt diqqətdən kənarda qalır. Elə tərəfimizdən həyata keçirilmiş tədqiqat işinin bizə qədərki işlərdən başlıca fərqi də o olmuşdur ki, burada biomüxtəlifliyin biocoğrafiyası və dinamikası, eləcə də endemizm və onu törədən səbəblər yüksəklik faktoruna uyğun olaraq iqlim dəyişmələri ilə bərabər, həm də ekotonlar kontekstində araşdırılmışdır [3, 4].

Tədqiqatın obyekti, predmeti və məqsədi. Tədqiqat obyekti kimi Azərbaycan Respublikasının Kiçik Qafqaza aid, nisbətən zəif antropogen təsirlərə məruz qalmış meşə, alp, subalp və subnival landşaftlarının flora növləri götürülmüşdür. Tədqiqatın predmeti isə bu ərazilərin flora aləminin növmüxtəlifliyinin qlobal iqlim dəyişmələri kontekstində ekoloji qiymətləndirilməsi və endemizmin genezisinin öyrənilməsindən ibarətdir. Odur ki, elə tədqiqatımızın başlıca məqsədi də, Azərbaycan Respublikasının Kiçik Qafqaza aid ərazilərinin florasının iqlim dəyişmələri kontekstində landşaftlar üzrə biocoğrafiyasını öyrənmək və ekoloji skrininqini aparmaq olmuşdur. Bunun üçün də, müvafiq olaraq qeyd olunan ərazilərin yüksəkdağlıq landşaftlarının flora aləminin növmüxtəlifliyinin taksonomik strukturu iqlim dəyişmələri kontekstində analiz edilmiş və torpaq amilindən asılı olaraq ekoloji qiymətləndirilməsi həyata keçirilmişdir. Nəticədə bu ərazinin flora növmüxtəlifliyinin davamlı inkişafı üçün bəzi təkliflər hazırlanmışdır.

Metod və materiallar. Tədqiqat üçün seçilən material nümunələri 2024-2025-ci illərdə Azərbaycan Respublikasının Kiçik Qafqaza aid ərazilərinə təşkil olunmuş ekspedisiyalar zamanı planlı marşrut və stasionar sahələrin seçilməsi ekoloji metodları əsasında toplanmış və təhlil edilmişdir. Qeyd edilən ərazilərin landşaftların fitomüxtəlifliyinin qiymətləndirilməsi zamanı bir sıra statistik məlumatlardan, bu sahədə olan bir sıra elmi məqalələr və monoqrafiya nəticələrindən də istifadə edilmişdir.

Tədqiqatın elmi yeniliyi, nəzəri və praktik əhəmiyyəti. Tədqiqat zamanı Azərbaycan Respublikasının Kiçik Qafqaza aid ərazilərində yayılmış bitki növlərinin zəif antropogen təsirlərə məruz qalmış meşə, alp, subalp və subnival landşaftlarının fitomüxtəlifliyinin taksonomik analizi aparılaraq 1021 ali bitki növü müəyyən edilmişdir ki, onlardan da 841 növün nisbətən geniş areallı, qalan 180 növün isə endemik növlər olduğu təsbit edilmişdir. Bu endemik növlərdən 7-nin məhz Azərbaycan endemi olduğu da müəyyən olunmuşdur.

Eyni zamanda ərazinin tədqiq olunan hər bir landşaftının torpaq örtüyü və onların spesifik parametrləri, bu landşaftlarda bitən aparıcı fəsilələrin taksonomik təhlili və həyati formaları araşdırılmışdır.

Əldə edilmiş nəticələr Azərbaycan Respublikasının Kiçik Qafqaza aid ərazilərinin florasının inventarizasiyası, buradakı bitki ehtiyatlarının qiymətləndirilməsi, areallarının, endemizminin, kateqoriya və statusunun, müəyyən edilməsində vacib əhəmiyyət daşıyır ki, bu da Azərbaycanın Respublikasının "Qırmızı Kitabı"nın gələcək cildinin hazırlanmasında əhəmiyyətli məlumat bazası ola bilər. Həmçinin, ərazinin tədqiq olunan landşaftları üzrə bitki taksonlarının həssas, stabil və inkişafda olan kateqoriyalar üzrə sabillik dərəcəsi təyin edilmişdir.

Nəticələr. 1. Kiçik Qafqazın Azərbaycan hüduqlarındakı Murovdağ ərazisinin Kiçik Qafqaz ekoregionu üzrə növyaranma mərkəzi olduğu sübut edilmişdir. Burada endemizmə təsir edən relyef və ona uyğun mikroiqlim, litologiya, torpaq, qrunt və səth suları kimi əsas faktorlar olduğu müəyyən edilmişdir.

2. Tədqiqat ərazilərində yayılmış bitkilərinin botaniki-coğrafi rayonlar üzrə ilk Qırmızı Siyahısı tərtib edilmişdir. Belə ki, ərazidə rast gəlinən və yaşı yüzdən yuxarı olan "veteran ağac" bitkilərinin siyahısı, bitdiyi ərazi və dendroxronoloji parametrləri verilmişdir.

Təvsiyələr. 1. Kiçik Qafqazın Azərbaycan hüduqlarındakı botaniki-coğrafi ərazilərinin regional qırmızı siyahılarının tərtib edilərək yayılması ekoloji maarifləndirmə işi ilə yanaşı, bitki növlərinin davamlı inkişafına da əhəmiyyətli kömək ola bilər.

2. Buradakı yaşı yüz illərlə ölçülən qocaman ağacların qiymətli genofondunu və ekoturizm əhəmiyyətini nəzərə alaraq onların təbiət abidələri kimi tanınması və mühafizəsi üçün kataloqunun hazırlanması yaxşı olardı.

Ədəbiyyat

- [1]. Pan-European Biological and Landscape Diversity Strategy Implementation: Set the Basis for National Ecological Network of Ukraine / – Kyiv : National Ecological Centre of Ukraine, – 2003. – 80 p.
- [2]. Azərbaycan Respublikasının Bioloji Müxtəliflik üzrə Ölkə Tədqiqatları. Bioloji Müxtəliflik üzrə Birinci Milli Məruzə. // – Bakı: Əlfərül, – 2004, – s.109.
- [3]. Hacıyev, V.C. Azərbaycanın yüksək dağlıq bitkililiyinin ekosistemi / V.C. Hacıyev. – Bakı: Elm, – 2004. – 130 s.
- [4]. Əsgərov, A.M. Azərbaycan florasının endemizminin analizi // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Məruzələri, Botanika. – 2014, c. LXX, №1. – s. 1-6.
- [5]. İbadullayeva, S.C., An overview of the plant diversity of Azerbaijan. Biodiversity, Conservation and Sustainability in Asia. Prospects and Challenges in West Asia and Caucasus / S.C. İbadullayeva, I.M. Huseynova // Springer, 1: – 2021, – p. 431-499.
- [6]. Məmmədov Q., Xəlilov M. Azərbaycanın meşələri / Q. Məmmədov, M. Xəlilov. – Bakı: Region Press, – 2022. – 624 s.
- [7]. Qurbanov, E.M. Azərbaycanın bitki örtüyü / E.M. Qurbanov. – Bakı: Elm, – 2024. – 536 s.

Summary

Phytodiversity and ecological adaptation of forest, alpine, subalpine and subnival landscapes related to the Lesser Caucasus of the Republic of Azerbaijan
Yusifova S.N.

Key words: *landscape, biodiversity, ecosystem, ecotone, endemism, anthropogenic factors, hypsometry.*

During the study, a taxonomic analysis of the phytodiversity of forest, alpine, subalpine and subnival landscapes of the Lesser Caucasus regions of the Republic of Azerbaijan was carried out and 1021 species of higher plants were identified. Of these, 841 species have a relatively wide range, and the remaining 180 species are endemic. Of these, 7 species are identified as endemic to Azerbaijan.

In this case, the soil cover of each landscape of the studied territory and their specific parameters and their specific parameters, taxonomic analysis of the leading genera growing in these landscapes and life forms were explored.

The results obtained included an inventory of the flora of the Lesser Caucasus territories of the Republic of Azerbaijan, when assessing plant resources, it is of great importance for determining the range, endemism, category and status of a species.

Резюме

Фиторазнообразие и экологическая адаптация лесных, альпийских, субальпийских и субнивальных ландшафтов относящиеся к Малому Кавказу Республики Азербайджан
Юсифова С.Н.

Ключевые слова: *ландшафт, биоразнообразие, экосистема, экотон, эндемизм, антропогенные факторы, гипсометрия*

В ходе исследования был проведен таксономический анализ фиторазнообразия лесных, альпийских, субальпийских и субнивальных ландшафтов регионов Малого Кавказа Азербайджанской Республики и был идентифицирован 1021 вид высших растений. Из них 841 вид имеет относительно широкий ареал, а остальные 180 видов являются эндемиками. Из них 7 видов определены как эндемичные для Азербайджана.

При этом почвенный покров каждого ландшафта исследуемой территории и их конкретные параметры, таксономический анализ ведущих родов, произрастающих в этих ландшафтах и формы жизни были исследованы.

Полученные результаты включали инвентаризацию флоры территорий Малого Кавказа Азербайджанской Республики, при оценке растительных ресурсов, имеют большое значение для определения ареала, эндемизма, категории и статуса вида.

Şabran rayonunda heksaploid sintetik buğda hibridlərinin (AABBDD) bioloji qiymətləndirilməsi

Əhmədova Aynur Barat qızı [ORCID](#)

Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, b.ü.f.d., müəllim
aynur.ahmedova@sdu.edu.az

MƏQALƏ HAQQINDA MƏLUMAT	XÜLASƏ
Məqalənin tarixçəsi Daxilolma tarixi: 14.09.2025 Düzəliş tarixi: 05.11.2025 Qəbul olunma tarixi: 10.12.2025	<i>Tədqiqatın məqsədi sintetik buğda xətlərini (aabbdd genomu) və ən yaxşı taxıl nümunələrini seleksiya üçün başlanğıc material, bioloji keyfiyyət qiymətləndirməsi kimi müəyyən etməkdir. Müəyyən edilmiş birləşmələr Şabran rayonunda seleksiya üçün taxıl parametrləri və 1000 taxıl kütləsi üçün cavabdeh olan qiymətli mənbələr kimi xidmət edə bilər. Azərbaycan Respublikasında kənd təsərrüfatının inkişafı üçün əsas qida mənbəyi olan taxıl bitkilərinin keyfiyyətinin innovativ üsullarla artırılması çox vacib məsələdir</i>
Açar sözlər sintetik buğda, taxıl, morfogenetik xassələr, toxum, SNP	

Tədqiqatın məqsədi sintetik buğda xətlərinin (AABBDD genomu) və seleksiya üçün başlanğıc material kimi ən yaxşı taxıl nümunələrinin müəyyən edilməsi, fenotipik və genotipik qiymətləndirmədir. Müəyyən edilmiş kombinasiyalar Şabran rayonunda yetişdirilmə üçün taxıl ölçüsü və 1000 ədəd taxıl dəninin çəkisi üçün cavabdeh olan gen kombinasiyalarının qiymətli mənbələri kimi xidmət edə bilər. Buğda Azərbaycan Respublikasında əsas ərzaq məhsulu və iqtisadi əhəmiyyətli bitkidir. Yeni genlər və allellər daşıyan yabanı buğda sortlarından istifadə yüksək və sabit məhsul əldə etmək üçün sortların genetik müxtəlifliyini genişləndirir. Tədqiqat işində taxıl dənəsinin morfometrik parametrləri və 47 SNP (tək nukleotid polimorfizmləri), o cümlədən taxıl ölçüsünə və çəkisinə nəzarət edən genlərlə əlaqəli 13 marker üçün genotipləşdirmənin öyrənilməsinin nəticələri təqdim edilir. Bu məlumatlar Şabran rayonunda ilk dəfə sintetik hexaploid buğda genotipləri toplusu (AABBDD genomu) üçün əldə edilir ki, burada D genomu bu növün genetik müxtəlifliyi ən yüksək olan ərəzilərdən yaranan *Aegilops tauschii* birləşmələrindən köçürülür. 2022-2024-cü illərdə 47 sintetik hexaploid buğda xəttinin tədqiqi aparılacaq. CIMMYT sintetik seleksiya xətləri Seleksiya və Genetika İnstitutunda yetişdirilmiş bərk buğda sortları ilə Pandur sortunun *Triticum durum* Desf., AB genomu *Aegilops tauschii* Coss., sin. ilə çarpazlaşdırılması yolu ilə yaradılmışdır. Germaplazma Bankından (CIMMYT) *Aegilops squarrosa*, D genomu birləşmələri. Lenqdon bərk buğda sortunun müxtəlif ekoloji mənşəli *Aegilops tauschii* birləşmələri ilə hibridləşdirilməsi yolu ilə sintetik xətləri alınmışdır. Məhsul yığıldıqdan sonra laboratoriyada bitki məhsuldarlığının komponentlərinin struktur təhlili aparılmışdır: hər bitkidə məhsuldar gövdələrin sayı, hər sünbüldə məhsuldar sünbülcüklərin sayı, əsas sünbüldəki dənələrin sayı, sünbülcüklərdəki dənələrin sayı, bitki başına taxılların sayı, əsas sünbül başına taxılların çəkisi, bitkilərin çəkisi 10 və dəninin çəkisi. Sintetik xətlərin genotiplənməsi 47 SNP markerindən istifadə etməklə aparılmışdır (Şək. 1). Sintetik xətlər dəninin parametrlərinin aşağı dəyişkənliyi ($C_v = 3.3-6.5\%$) və daha yüksək orta uzunluq (7.58 mm), sahəsi (21.1 mm²), perimetri (19.7 mm) və standartdan 1000 dənə (34.9-46.7 q) çəkisi ilə xarakterizə olunur.

1000 ədəd ləpənin çəkisi buğda məhsuldarlığının ən sabit komponentlərindən biridir, onun yaxşılaşdırılması bitkiçilikdə əsas məqsədlərdən hesab olunur. Taxıl ölçüsü və forması məhsuldarlıq və ögütmə xüsusiyyətləri ilə sıx bağlıdır [1]. Müasir buğda sortları yabanı fomalarına nisbətən daha

böyük en və daha qısa uzunluğa malikdir, bu da taxıl ölçüsü və formasının daha çox dəyişkənliyi ilə xarakterizə olunur.



Şəkil 1. Tədqiqat sahəsi (Şabran rayonu) və məhsul yığımından sonra buğda sortları üzərində tədqiqatlar

Bu onunla izah olunur ki, buğdanın mədəniləşdirilməsi və seleksiyası zamanı ləpənin forması daha yuvarlaqlaşmış, nəticədə un məhsuldarlığı yüksək olmuşdur [2]. Böyük ləpələr də daha çox cücərmə enerjisinə malikdir, bu da məhsuldarlığın artmasına müsbət təsir göstərir. Adi buğda (*Triticum aestivum* L.) A, B və D altgenomları olan təbii alloheksaploiddir, sonuncusu *Aegilops tauschii* Coss. təqdim edilmişdir. Çox güman ki, yalnız ayrı-ayrı *Ae tauschii* nümunələri tetraploid buğda (*Triticum turgidum* L., AABB) ilə çarpazlaşdırılıb, bu da becərilən buğdada mövcud olan D genomunun məhdud polimorfizmi ilə nəticələnib. Buğda seleksiyasında D subgenomunun genetik potensialından istifadə sintetik hexaploidlərin yaradılması və ya *Ae tauschii* və kommersiya sortları arasında birbaşa hibridləşmə yolu ilə mümkündür. Bir çox müəlliflər becərilən buğdanın yüksək taxıl çəkisi, sünbül məhsuldarlığı və vahid sahəyə düşən məhsuldar bitkilərin sayı kimi qiymətli selektiv xüsusiyyətləri ilə zənginləşdirilməsi üçün sintetik hexaploid buğdanı perspektivli mənbə kimi qəbul etmişlər.

1000 dən çəkisinin poligenik nəzarət altında olduğu göstərilmişdir: bu əlamətin ifadəsinə cavabdeh olan QTL-lər (Quantitative Trait Loci) faktiki olaraq bütün buğda xromosomlarına uyğunlaşdırılmışdır. 1000 dən çəkisi yüksək irsiyyət əmsalına malikdir və taxılın uzunluğu, eni, sahəsi və perimetri ilə sıx bağlıdır. Buğda məhsuldarlığını artırmaq üçün genetik yanaşmalara buğda dənələrinin (ləpə) ölçüsünü və çəkisini idarə edən genləri müəyyən etmək üçün molekulyar üsullardan istifadə edilir. Onların identifikasiyası ümumi buğda genomunun mürəkkəb quruluşu və böyük ölçüsü ilə çətinləşir. Nüvə ölçüsünə, formasına və çəkisinə nəzarət edən bir çox genlər, artıq digər taxıl bitkilərində - düyü, arpa və sorqoda müəyyən edilmiş gen seriyasına ortolojidir [3,4]. Buğdada belə genlərin müqayisəli axtarışı məhsuldarlıq əlamətləri üçün polimorfizmlərin genişlənməsini asanlaşdırır. Məsələn, buğdanın ləpə ölçüsünü və 1000 ləpə çəkisini təyin edən *TaGW2*, *TaCwi-A1*, *TaGaSR7-A1* və *TaTGW6* genləri ilk dəfə düyü genomunda müəyyən edilmişdir. Adi buğda ilə *Ae tauschii* nümunələrinin müqayisəsi zamanı taxıl ölçüsü və çəkisində əhəmiyyətli genetik və fenotipik dəyişkənlik nümayiş etdirilmişdir [5,6]. Taxıl ölçüsünə, formasına və çəkisinə nəzarət edən lokuslarda daha geniş polimorfizm müxtəlif *Ae tauschii* nümunələrində D genomuna malik sintetik hexaploid buğdada da müşahidə olunur. Sintetik buğda heksaploidlərində QTL-lər 2DL və 7DS xromosomları nüvənin uzunluğuna, eninə, sahəsinə və perimetrinə pleiotrop təsir göstərir. Sintetik buğda xətlərinin ITMI kolleksiyası Şabran rayonunun müxtəlif ekoloji

aqrosenozlarında tədqiq olunur. Azərbaycan Respublikasının müxtəlif iqtisadi rayonlarında tədqiq edilən sintetik buğda xətlərinin ITMI kolleksiyasında 1000 dən çəkisi əlaməti üçün QTL-lər müəyyən edilmiş və 4A, 1B, 3B, 1D və 2D xromosomlarında lokallaşdırılmışdır. Bu kolleksiyanın tədqiqi zamanı 1000 dən çəkisinə nəzarət edən QTL 6A xromosomuna uyğunlaşdırılıb. Son illərdə buğda məhsuldarlığına töhfə verən genlər üçün funksional markerlər işlənib hazırlanmışdır: *TaSus2-2B*, *TaCwi-A1*, *TaGW2*, *TaGW2-6B*, *TaCKX6-D1*, *TaGS-A1*, *TaSAP1-A1*, *TaGASR7-A1*, *TaGSD1* və *TaTGW6*. Taxıl ölçüsünə və çəkisinə nəzarət edən genlərin mənbələrinin, eləcə də yaxından əlaqəli DNT markerlərinin müəyyən edilməsi, Azərbaycan Respublikasının iqlim şəraitində məhsuldarlığın artmasına kömək edəcək, genetik cəhətdən müəyyən edilmiş əlamətlərə malik kommersiya sortlarının inkişafına imkan verəcəkdir. Təqdim olunan elmi tədqiqat işində Quba-Xaçmaz iqtisadi rayonunun iqlim şəraitində (Şabran rayonu təmsalında) ilk dəfə olaraq sintetik hexaploid buğda xətlərini tədqiq etdik və taxılın morfometriyası və məhsulun struktur elementlərinin təhlili əsasında, həmçinin 47 SNP (tək nukleotid polimorfizmləri) üçün genotipləşdirmə, müxtəlif ölçülü və yumşaq çəki üçün qiymətli mənbələri müəyyən edilmişdir.

Tədqiqatın metodikası. 2022-2022-cü illərdə Şabran rayonu eksperimental sahəsində 47 sintetik hexaploid buğda xəttinin tədqiqi aparılmışdır. Sintetik CIMMYT xətləri *Triticum durum*, AB genomu yetişdirdiyi bərk buğda sortlarının *Aegilops tauschii* (*Aegilops squarrosa*, D genomundan D genomu) ilə çarpazlaşdırılması yolu ilə yaradılmışdır. F1 hibridlərinin kolxikizasiyasından sonra sitoloji nəzarətin olmaması səbəbindən F4 hibrid populyasiyalarında yaxşı aqrotexniki əlamətlərə malik məhsuldar bitkilərin fərdi seleksiyası aparılıb, sonra isə onların F7-yə qədər yayılması aparılıb. Yetiştirilmiş sintetik bərk buğda sortunun müxtəlif ekoloji mənşəli *Aegilops tauschii* nümunələri ilə hibridləşdirilməsi yolu ilə əldə edilmişdir. 2022-ci ildə hər bir xətt 1 metr uzunluğunda bir sıra əkilmişdir, orta erkən və orta gec standartları növbə ilə hər 5 cərgədə yerləşdirilmişdir. Toxum norması xətti metrə 25-30 dənə idi. 2022-ci ildən 2024-cü ilə qədər hər bir xətt 1.4 m² sahədə səpilmiş, hər bir sahəyə 25 q taxıl toxumu səpilmişdir. Standartlar növbə ilə hər 10 cərgədə yerləşdirildi. Sıralar arası məsafə 15 sm olub, sınaq dörd dəfə təkrarlandı, süjet yerləşdirilməsi randomizə edildi. Məhsul yığımından sonra bitki məhsuldarlığının komponentlərinin struktur təhlili aparılmışdır (bir bitkidə məhsuldar gövdələrin sayı, hər sünbüldə məhsuldar sünbülcüklərin sayı, əsas sünbüldə olan taxılların sayı, bir sünbüldə olan dənələrin sayı, bir bitkidə taxıl sayı, əsas sünbüldə taxıl çəkisi, taxıl çəkisi 1.00). 1000 dənənin çəkisi hesablama yolu ilə müəyyən edilib: bir bitkidə olan taxılların sayı hesablanır, çəkilir və 1000 taxıl dənəsinə çevrilir. 2022-ci ildə hər bir xətt və standart üzrə 20 bitki, 2022-2024-cü illərdə isə hər sahədən 10 ədəd orta cərgə bitkisi dörd təkrarla təhlil edilib (Cədv. 1). Taxıl dənəsinin morfometrik xarakteristikaları (sahə, uzunluq, en, perimetr, sirkulyasiya) Smart Grain v. 1.2 proqram təminatı ilə öyrənilmişdir. 2022-ci ildə hər xəttin 40 dənəsi, 2022-2024-cü illərdə isə 400 ədəd taxıl çəyirdəyi analiz edilib. 47 SNP markerindən, o cümlədən taxıl ölçüsünə və çəkisinə nəzarət edən genlərlə əlaqəli 13 markerdən istifadə edərək sintetik xətlərin genotiplənməsi KASP™ texnologiyasından istifadə edilməklə həyata keçirilib. Eksperimental məlumatların statistik emalına vasitələrin müəyyən edilməsi (M), vasitələrin standart səhvləri ($\pm SEM$) və dispersiya təhlili daxildir. Fərqlərin əhəmiyyəti Microsoft Excel statistik proqram paketindən istifadə etməklə 5% LSD (Least Significant Difference) əhəmiyyətlik səviyyəsində ən az əhəmiyyətli fərq ilə qiymətləndirilmişdir. İki tərəfli dispersiya təhlili STATISTICA v. 6.0 (StatSoft, Inc., ABŞ) istifadə edərək iki illik tədqiqat (2017-2018) ərzində aparılmışdır. Artan mövsüm şəraitindən və genotipdən asılı olaraq əlamətlərin dəyişkənliyi Fisher F-testindən istifadə etməklə qiymətləndirilmişdir. Əsas komponent təhlili (PCA) Microsoft R Open 3.3.3 (<https://mran.microsoft.com/download>) istifadə edərək həyata keçirilib (Cədv. 2).

Tədqiqatın nəticələrinin müzakirəsi. Tədqiqatda istifadə olunan yazlıq sintetik buğda xətlərinin siyahısı Cədvəl 1-də, SNP markerlərinin təsviri cədvəldə verilmişdir.

Cədvəl 1.

İstifadə olunan hexaploid sintetik buğda xətlərinin (AABBDD) tədqiqi

Hibrid kombinasiyaları	Xətlərin ədədlə miqdarı	<i>Aegilops tauschii</i> y/tip
Aisberg/ <i>Ae. squarrosa</i> (369)	5	<i>tauschii</i>
Aisberg/ <i>Ae. squarrosa</i> (511)	5	məlum deyil
Leuc. 84693/ <i>Ae. squarrosa</i> (409)	1	<i>tauschii</i>
Ukr.-Od.952.92/ <i>Ae. squarrosa</i> (1031)	4	<i>tauschii</i>
Ukr.-Od.1530.94/ <i>Ae. squarrosa</i> (310)	3	<i>strangulata</i>
Az.-Şm.1530.94/ <i>Ae. squarrosa</i> (392)	2	məlum deyil
Ukr.-Od.1530.94/ <i>Ae. squarrosa</i> (458)	3	məlum deyil
Az.-Şm.1530.94/ <i>Ae. squarrosa</i> (629)	3	<i>strangulata</i>
Ukr.-Od.1530.94/ <i>Ae. squarrosa</i> (1027)	10	<i>tauschii</i>
Pandur/ <i>Ae. squarrosa</i> (223)	1	<i>tauschii</i>
Pandur/ <i>Ae. squarrosa</i> (409)	1	<i>tauschii</i>
Langdon/Ku-20-9	1	<i>strangulata</i>
Langdon/Ku-2075	1	<i>strangulata</i>
Langdon/Ku-2088	1	<i>strangulata</i>
Langdon/Ku-2092	1	<i>strangulata</i>
Langdon/Ku-2093	1	<i>strangulata</i>
Langdon/Ku-2097	1	<i>typica</i>
Langdon/Ku-2105	1	<i>typica</i>
Langdon/IG 48042	1	məlum deyil
Langdon/IG 126387	1	məlum deyil

Qeyd: KU - Plant Germ-Plasm Institute, Faculty of Agriculture, IG - International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA)

2022-cı ilin vegetasiya mövsümündə hava şəraiti may ayında yüksək temperatur və yağıntıların olmaması ilə səciyyələnir və bu, erkən yaz quraqlığına səbəb olur. Mövsümün ikinci yarısında hava mülayim isti olub, bol yağıntılar (hidrotermal əmsalı (HTƏ) = 1,8) olub, nəticədə yarpaq və gövdə pasının yüksək yoluxması sürətli baş verib, nəticədə taxıl daha kiçik, büzülmüş yetişib. 2023-cü ildə bitki vegetasiya mövsümünün birinci yarısında şimal meşə-çöl üçün xarakterik olan erkən yay quraqlığı müşahidə olunub (HTƏ = 0,5). Vegetasiya dövründə taxılın doldurulması və yetişməsi üçün əlverişli rütubət şəraiti yaranmışdır. 2024-cü ildə generativ orqanların formalaşması (HTƏ = 1.2) zamanı bol yağıntılı sərin hava iri, tam gövdəli taxılların əmələ gəlməsinə müsbət təsir göstərmişdir.

Cədvəl 2.

Taxılın əsas morfo-metrik xüsusiyyətləri və müxtəlif illərdə hexaploid buğdanın (AABBDD) sintetik xəttinin 1000 ədəd dəninin çəkisi (Şabran rayonu 41°12'02" 48°59'00")

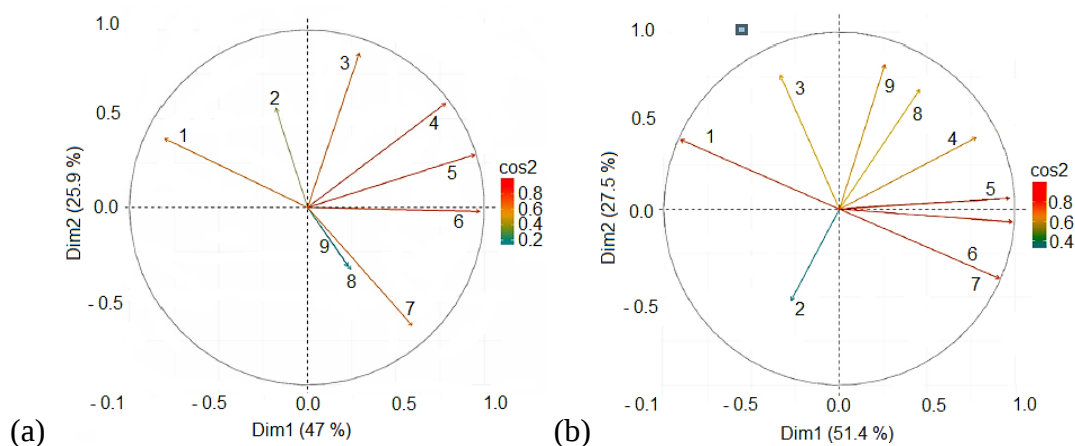
Əlamət	Tədqiqat ili	$M \pm SEM$	Min-max	$M \pm SEM$ (standart)	Cv, %	F_{test} (Fişer kriteriyası)	
						genotip	il
Taxıl dəninin hündürlüyü, mm	2022	7.07±0.07	5.66-8.50	6.45±0.04	7.4	4.29**	203.30**
	2023	7.31±0.06	6.48-8.59	6.48±0.03	6.5		
	2024	8.37±0.07	7.43-9.44	7.68±0.02	5.7		
	2022-2024	7.58±0.06	6.74-8.51	6.87±0.03	5.4		
Taxıl dəninin eni, mm	2022	2.93±0.03	2.10-3.30	3.29±0.03	8.1	1.47	264.90**
	2023	3.42±0.02	3.10-3.66	3.29±0.02	3.8		
	2024	3.79±0.02	3.48-4.05	3.83±0.01	3.1		
	2022-2024	3.38±0.02	3.04-3.60	3.47±0.02	3.3		

Taxıl dəninin sahəsi, m ²	2022	18.80±0.35	15.90-22.50	15.9±0.17	7.8	2.35**	142.80**
	2023	20.50±0.21	14.20-25.50	15.90±0.14	12.1		
	2024	23.90±0.21	21,00-28,20	22.10±0.14	6.0		
	2022-2024	21.10±0.19	17,90-23,60	18.00±0.15	6,5		
Taxıl dəninin perimetri, mm	2022	18.60±0.15	16,80-21,40	16.60±0.17	3.5	5.87**	53.10**
	2023	19.20±0.15	18,20-20,50	16.80±0.13	5.6		
	2024	20.90±0.13	19,00-22,90	19.50±0.16	4.4		
	2022-2024	19.70±0.14	18,20-21,80	17.70±0.15	4.9		
Dənin sirkulyasiyası	2022	0.680±0.004	0,63-0,69	0.730±0.005	2.7	0.27	0.56
	2023	0,690±0,003	0,63-0,75	0.720±0.003	4.1		
	2024	0.690±0.003	0,60-0,75	0.730±0.001	3.8		
	2022-2024	0.690±0.004	0.63-0.75	0.730±0.003	3.8		
1000 ədədin çəkisi, qr.	2022	34.90±2.10	23.30-44.50	33.20±0.59	14.5	1.68*	146.50**
	2023	45.70±2.37	33.00-57.40	42.10±0.91	11.6		
	2024	46.70±1.66	37.60-53.70	44.70±0.66	8.4		
	2022-2024	42.40±1.39	35.70-51.30	39.40±0.72	7.7		

Qeyd: *, ** Variasiya, müvafiq olaraq, $p < 0.05$ -də statistik əhəmiyyətlidir; $p < 0.01$

Altı ədəd bərk buğda sortunun və müxtəlif *Ae. tauschii* kombinasiyalarının kəsişməsi nəticəsində əldə edilən sintetik selektiv xətləri taxılın ölçüsü və çəkisi baxımından əhəmiyyətli polimorfizmlə səciyyələnir ki, bu da yüksək məhsuldarlıq üçün seleksiya üçün əhəmiyyətli dərəcədə istifadə olunmamış potensialı təmsil edir. Vegetasiya dövründə meteoroloji şərait taxılın morfometrik parametrlərinin inkişafına əhəmiyyətli dərəcədə təsir etmişdir. 2022-2024-cü illərdə sintetik xətlər aşağı pas xəstəliyinin inkişafı ilə standartla müqayisə edilə bilən nüvə eninə malik idi. Əsas komponent təhlili (PCA) sintetik xətlərin məhsuldarlığı ilə nüvənin morfometrik parametrləri arasındakı əlaqəni korrelyasiya matrisindən istifadə edərək qiymətləndirməyə imkan verdi (Şək. 1).

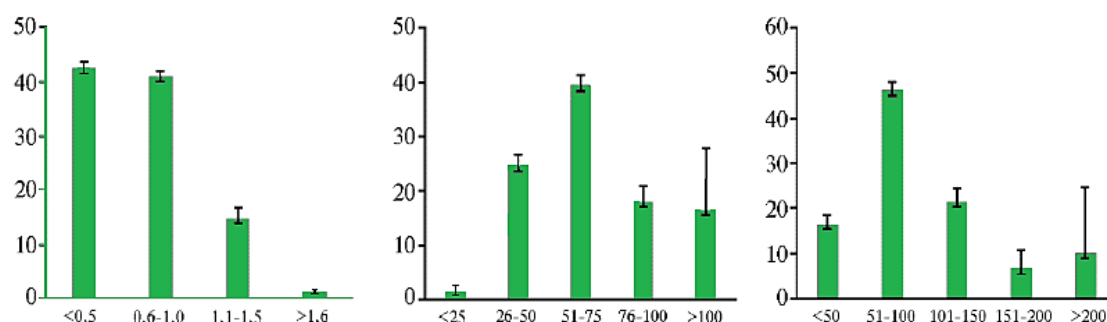
Sintetik xətlərin məhsuldarlığı ilə tədqiq edilmiş dən (ləpə) parametrləri arasında müəyyən edilmiş müsbət korrelyasiya daha geniş, yuvarlaq ləpələri daha böyük endosperm həcminə və nəticədə daha böyük çəkiyə malik nümunələrin seçilməsi potensialını göstərir ki, bu da digər tədqiqatların məlumatları ilə təsdiqlənir. Kommersiya sortları ilə hibridləşmə zamanı sintetik buğda sortlarından qiymətli introqresiyanın müvəffəqiyyətlə tətbiqi üçün seleksiya öncəsi tədqiqatlar vacibdir. 1000 dən çəkisi ilə bitki başına məhsuldar sünbüllərin sayı və hər qulaqdakı ləpələrin sayı arasındakı mənfi korrelyasiya sintetik heksaploidlərdən həm dən ölçüsünə nəzarət edən lokuslar, həm də müxtəlif ümumi buğda genotiplərində məhsul və onun komponentlərinə təsiri baxımından qiymətli introqresiyanın öyrənilməsinin zəruriliyini göstərir.



Qeyd: 1 - sirkulyasiyalılıq, 2 - məhsuldarlıq, q/m^2 , 3 - dənin eni, mm, 4 - dənin ümumi sahəsi, mm^2 , 5 - dənin perimetri, mm, 6 - dənin uzunluğu, mm, 7 - dənin uzunluğu ilə eninin nisbəti, 8 - yapışqan maddə miqdarı, %, 9 - zülal tərkibi, %; $\cos^2$ - müşahidələr üçün əsas komponentin əhəmiyyətini göstərən ilkin dəyişənlərin vektoru (Şabran rayonu)

Şəkil 2. Məhsuldarlıq, taxılda zülal və qlüten tərkibi arasındakı əlaqəni göstərən 47 sintetik hexaploid buğda xəttinin (AABBDD) əsas komponent analizinin (PCA) nəticələri; (a) 2022; (b) 2024.

Kök sisteminin əsas parametrlərində əhəmiyyətli polimorfizm müxtəlif *Ae. tauschii* istifadə etməklə əldə edilmiş xətlərdə qeyd edilmişdir (Şək. 3).



Qeyd: Soldan sağa: kök biokütləsi, ümumi kök uzunluğu; kök uclarının sayı üzrə paylanmasının faizlə pay göstəricilərindən asılılıq (yaşıl rəng orta göstəricinin standart xətasını göstərir).

Şəkil 3. 47 sintetik buğda xəttinin bioloji parametrləri

Nəticə. Belə ki, heksaploid sintetik buğda xətlərinin karyopsis parametrlərinə görə fenotipik və genotipik qiymətləndirilməsi əsasında onların damazlıq əhəmiyyəti karopsisin ölçüsünə və 1000 dən çəkisinə cavabdeh olan genlərin birləşməsinin mənbəyi kimi, yüksək və sabit məhsuldarlığı təmin edən kommersiya sortlarının inkişafında nümayiş etdirilmişdir. Sintetik xətlərdə karyopsisin əsas morfometrik parametrlərinin ifadə dərəcəsi, xarici mühitin təsiri altında onların dəyişmə səviyyəsi, əlamətlərin məhsuldarlıqla əlaqəsi öyrənilmişdir. Standartla müqayisədə karyopsis parametrlərinin aşağı dəyişkənliyi ($C_v = 3.3-6.5\%$) və uzunluğunun (7.58 mm), sahəsinin (21.1 mm^2), perimetrinin (19.7 mm) və 1000 dən çəkisinin (34.9-46.7 q) daha yüksək orta qiymətləri aşkar edilmişdir. Sintetik xətlərdə nüvə ölçüsünə və 1000 dən çəkisinə nəzarət edən doqquz lokus müəyyən edilmişdir: *TaTTP6A*, *TaTGW2-6A*, *TaGASR-A1*, *TaGS5-3A*, *TaTGW6*, *TaTGW-7A*, *TaCwi-A1*, *TaGS-D1* və *TaCKX-D1*. Azərbaycan Respublikasında kənd təsərrüfatının inkişafı üçün əsas qida mənvəyi olan taxıl bitkisinin innovativ metodlarla keyfiyyətinin artırılması olduqca vacib məsələdir.

Ədəbiyyat

- [1]. Rasheed, A. Development and validation of KASP assays for genes under pibnning key economic traits in bread wheat / A.Rasheed, W.Wen, F.Gao, [et al.] // Theoretical and Applied Genetics, –2016, 129(10): –p.1843-1860. DOI: 10.1007/s00122-016-2743-x
- [2]. Jiang, Q. The wheat (*T. aestivum*) sucrose synthase 2 gene (*TaSus2*) active in endosperm development is associated with yield traits / Q Jiang., J.Hou, C.Hao, [et al.] // Functional and Integrative Genomics, –2011, 11(1): –p.49-61. DOI: 10.1007/s10142-010-0188-x
- [3]. Zhang, P. Cloning of *TaTPP-6AL1* associated with grain weight in bread wheat and development of functional marker / Zhang P., Z.He, X.Tian, [et al.] // Molecular Breeding, – 2017, 37(6): –78. DOI: 10.1007/s11032-017-0676-y
- [4]. Hou, J. Global selection on sucrose synthase haplotypes during a century of wheat breeding / J.Hou, Q.Jiang, C.Hao, [et al.] // Plant Physiology, –014, 164(4): –p.1918-1929. DOI: 10.1104/pp.113.232454
- [5]. Eldarov, M. Distribution and ecological diversity of *Aegilops* L. in the Greater and Lesser Caucasus Regions of Azerbaijan / M.Eldarov, N.Aminov, M. van Slageren // Genetic Resources and Crop Evolution, –2015, 62(2): –p.265-273. DOI: 10.1007/s10722-014-0151-0
- [6]. Kalia, B. Adult plant resistance to *Puccinia triticina* in ageographically diverse collection of *Aegilops tauschii* / B.Kalia, D.L.Wilson, R.L.Bowden, [et al.] // Genetic Resources and Crop Evolution, –2017, 64(5): –p.913-926. DOI: 10.1007/s10722-016-0411-2

Summary

Biological evaluation of hexaploid synthetic wheat hybrids (AABBDD) in the shabran region

Akhmedova A.B.

Keywords: synthetic wheat, grain, morphogenetic properties, seeds, single-nucleotide polymorphism (SNP)

The aim of this study is to identify synthetic wheat lines (AABBDD genome) and the best grain samples as source material for breeding and biological quality assessment. The identified combinations can serve as valuable sources for breeding in the Shabran region, responsible for grain parameters and 1.000-kernel weight. Improving the quality of grain crops, which are the main food source for agricultural development in the Republic of Azerbaijan, through innovative methods is a highly important issue.

Резюме

Биологическая оценка гексаплоидных синтетических гибридов пшеницы (AABBDD) в шабранском районе

Ахмедова А.Б.

Ключевые слова: синтетическая пшеница, зерно, морфогенетические свойства, семена, однонуклеотидный полиморфизм (SNP)

Целью исследования является выявление синтетических линий пшеницы (геном AABBDD) и лучших образцов зерна в качестве исходного материала для селекции, биологической оценки качества. Выявленные комбинации могут служить ценными источниками, отвечающих за параметры зерна и массу 1000 зерен, для селекции в Шабранском районе. Повышение качества зерновых культур, являющихся основным источником продовольствия для развития сельского хозяйства в Азербайджанской Республике, посредством инновационных методов является весьма важным вопросом.

УДК 616.981.13

DOI 10.54758/16801245_2025_25_4_55

Зоонозные инфекции (Сибирская язва)

Мансурова Джамиля Агаси гызы [ORCID](#)

Бакинский славянский университет, Баку, Азербайджан, старший преподаватель
djama1972@mail.ru

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ	РЕЗЮМЕ
История статьи Получено: 01.05.2025 Исправлено: 16.07.2025 Принято: 22.10.2025	Сибирская язва-острое инфекционное заболевание, вызываемое спорообразующей бактерией <i>Bacillus anthracis</i> . Болезнь поражает как людей, так и животных, особенно травоядных. Передача возможна при контакте с инфицированными животными, продуктами их жизнедеятельности или спорами бактерий из окружающей среды.
Ключевые слова сибирская язва, кожная форма сибирской язвы, карбункул, некротические очаги. легочная форма, алиментарная инфекция	Сибирская язва может проявляться в кожной, легочной или кишечной формах, каждая из которых имеет разные симптомы и осложнения. При отсутствии своевременного лечения болезнь может привести к летальному исходу. Благодаря развитию ветеринарно-санитарных мер в настоящее время заражение происходит редко, но болезнь сохраняет свое эпидемиологическое и биологическое значение

Введение

Сибирская язва — зоонозное инфекционное заболевание, проявляющееся тяжелой интоксикацией, серозно-геморрагическим и некротическим воспалением кожи и внутренних органов. В трудах Гиппократ, Гомера и Галена сибирская язва была описана под названиями «священный огонь» (*ignis sacer*), «персидский огонь» (*ignis persicus*), и было показано, что она передается овцами. Марат (1732) и Турнье (1769) сообщили о *Pustula maligna* у человека. Поллендер (1849) обнаружил возбудителя заболевания, а П. Кох (1876) получил чистую культуру микроба. Л. Пастер (1881) получил сибиреязвенную вакцину, открыл ее способность образовывать споры и впервые предложил живую вакцину для специфической профилактики сибиреязвенной инфекции.

Сибирская язва

Этиология. Возбудитель заболевания — *Bacillus anthracis*, крупный, неподвижный, палочковидный, грамположительный микроб, выделяет белковый экзотоксин, чувствителен к анилиновым красителям, закрыт. Палочки сибирской язвы — факультативные бактерии. *Bacillus Anthracis* погибает в течение 30 минут при нагревании до 50°C, через 60 секунд при 75-80°C, через несколько минут. Вегетативные формы встречаются в организме человека или животных, в искусственных пищевых средах. Во внешних условиях, в почве и в кислородосодержащих местах, при температуре 15-40°C переходит в спорую форму. Микробы быстро размножаются в белковой среде, образуют на агаре колонии, напоминающие “львиные головы”, и в виде хлопьев в бульоне. Споры разрушаются при 120-140°C в течение 2-3 часов, а при кипячении в течение 10-60 минут. Чрезвычайно устойчивы к низким температурам. Сохраняют жизнеспособность в воде несколько лет, в почве - 10 лет. Споры устойчивы к дезинфицирующим средствам [1, s.43].

Эпидемиология. Определены сельскохозяйственные, промышленные и бытовые очаги заболевания. Сибирской язвой заражаются различные сельскохозяйственные и дикие животные. Человек также восприимчив к этому заболеванию. Поскольку спорная форма микроба сохраняется в почве в течение 10 лет, болезнь может длительно укореняться в

определенных местах. В таких очагах животные легко заражаются. Источником заражения являются: лошади, ослы, овцы, козы, верблюды, олени, свиньи. Человек заражается контактным, иногда алиментарным, воздушно-пылевым и трансмиссивным путями. Чаще заболевают кожевники, работники скотобоен и мясокомбинатов, расчесывающие шерсть, а также те, кто ухаживает за больными животными. Большую роль в распространении инфекции играют убой и снятие шкур с больных животных. В сельскохозяйственных очагах заболевание встречается в летние и осенние месяцы. Микроб проникает через микроразрывы и ссадины на коже. Поэтому у 99% больных наблюдается кожная форма. Иногда сибирская язва передается трансмиссивным путем кровососущими насекомыми. Естественная восприимчивость людей к заражению сибирской язвой сравнительно высока. Сибирская язва используется как бактериологическое оружие. 50 кг спор, распыленных с самолета, способны вызвать заболевание у всех жителей региона, проживающего на площади 20 км². В США используются новые, более патогенные штаммы [2, s.32]

Патогенез и патологическая анатомия. Палочка сибирской язвы попадает в организм через небольшие ранки на коже. В редких случаях палочка попадает в организм через слизистую оболочку органов дыхания и желудочно-кишечного тракта. На месте проникновения микроба в организм образуется черный раневой карбункул. Возникает серозно-геморрагическое, а затем некротическое воспаление кожи, возникает острый отек окружающих тканей, увеличиваются регионарные лимфатические узлы, то есть образуется черный раневой бубон. Показанные изменения зависят от местного действия экзотоксина. Токсин оказывает и общее действие на организм. Высоковирулентный микроб бесследно переходит в кровь, вызывая первичный сепсис. В большинстве случаев причиной генерализованного процесса является лимфогенное попадание палочки в кровь по лимфатическим сосудам в области карбункула. При этом микроб быстро размножается в лимфатическом узле, вызывая его специфическое воспаление. В зависимости от того, в каком органе микроб скапливается больше всего при сепсисе, иногда определяют «легочную» или «кишечную» формы. Сепсис развивается при попадании микроба в организм через слизистую оболочку дыхательных путей — трахеи, бронхов, глотки и пищевода. К заболеванию восприимчивы люди всех возрастов. После перенесенного заболевания формируется стойкий иммунитет, но возможны и случаи рецидива. Иммунизация людей проводится вакциной ST1 сибирской язвы. При тяжелой форме сибирской язвы, у перенесших заболевание людей формируется стойкий иммунитет, при легком течении человек может заразиться повторно. При кожной форме летальность не превышает 2–3%, а при генерализованной форме достигает 100%. Сезонность заболевания у людей в какой-то степени повторяет летне-осеннюю заболеваемость животных. Во внутренних органах трупа отмечается застой крови, гиперемия, кровь становится темно-красной и прозрачной. Печень и селезенка увеличены, в миокарде и эпикарде, в слизистой оболочке желудочно-кишечного тракта определяются многочисленные очаги кровоизлияний. Обнаруживаются поражения головного мозга и очаги кровоизлияний [5, s. 46].

Клиника. Инкубационный период может длиться всего несколько часов, иногда он удлиняется до 8-10 дней, обычно он составляет 2-3 дня. Принято выделять две основные клинические формы сибирской язвы: кожную и диссеминированную, или септическую. Кожная форма сибирской язвы встречается в 98-99% случаев. Чаще всего встречается ее карбункулезная форма. По степени тяжести кожная форма бывает легкой, средней тяжести и тяжелой. Кожная форма – карбункулез, отечный, буллезный и рожистый варианты, сходные с краснухой свиней, среди которых наиболее распространен карбункулезный вариант. Поражаются преимущественно открытые участки тела, причем болезнь протекает тяжелее, когда карбункулы располагаются на голове, шее, слизистых оболочках рта и носа. Обычно образуется один карбункул, но иногда их может быть 10-20 и более [4, s.27]. Черный раневой

карбункул развивается постепенно, на месте заражения возникает зуд, затверждение и утолщение кожи (папула), а на этом месте образуется гной (злокачественная пустула), заполненный серозно-геморрагической, а затем геморрагической жидкостью. Гной в результате зуда прорывается и превращается в язву. Дно язвы становится твердым, ее края утолщаются, она покрывается темно-коричневой коркой. По мере прогрессирования корка чернеет. Мягкие ткани, окружающие карбункул, становятся значительно отечными. Иногда отек достигает больших размеров, и при постукивании молоточком область вибрирует — симптом Зифена. При расположении карбункула на лице, носу, губе или щеке отек может распространиться на верхние дыхательные пути и вызвать афиксацию и смерть. По мере нарастания отека изменяется внешний вид больного, закрываются глаза, затрудняется жевание. В периферической крови возникает нейтрофильный лейкоцитоз, увеличивается СОЭ. Корочка, покрывающая карбункул, тесно сочетается с воспалительным инфильтратом под ней. Нередко вокруг корочки образуются вторичные, дочерние пиявки (жемчужные зерна). Они повторяют стадии основных пиявок и в конечном итоге корчатся, увеличивая размеры карбункула. Область карбункула безболезненна. После образования карбункула он имеет три цветовых признака: черную корку в центре, желтовато-белый участок жировой ткани вокруг него и, наконец, красное кольцо, образованное утолщением кожи. Обычно черный язвенный бубон безболезнен, медленно рассасывается и не нагнаивается. По мере развития карбункула состояние больного ухудшается: повышается температура, возникает головная боль, общая слабость, недомогание, иногда рвота, потеря аппетита. В тяжелых случаях возникают нарушения со стороны сердечно-сосудистой системы и судороги. Характер периферической крови не изменяется. Заживление карбункула начинается с краев язвы. По мере усиления регенерации к центру гнойник поднимается выше, через 2-4 недели отрывается, оставляя на своем месте рубец [2, s.17]. Золотистогрибый - рожистый вариант проявляется белесыми, тонкостенными пиявками на лице и руках. Кожа становится красной и утолщенной, но безболезненной. Через несколько дней пиявки лопаются, превращаясь в язвы с темным дном. Поверхность ее покрывается коркой, вытекает много серозной жидкости. Язва неглубокая, и после отрыва корки рубец не образуется. Иногда в остром периоде заболевания некрозу подвергаются ткани, далекие от карбункула. Такие вторичные очаги некроза обнаруживаются в местах, богатых подкожной клетчаткой, — на веках, на передней и боковых поверхностях шеи и груди, на яичках. Перед некрозом образуется заполненная гноем геморрагическая жидкость, которая быстро разрастается, сливается между собой или прорывается, превращаясь в небольшие язвы. Процесс некроза заканчивается в течение 5-7 дней, омертвевшие участки кожи и других тканей темнеют. Такая язва имеет четкую границу. Иногда область некроза охватывает и карбункул. После отрыва корки, покрывающей карбункул, или области вторичного некроза, на коже появляется широкий и глубокий дефект. В результате рубцевания язвы лицо больного обезображивается, веки заворачиваются, в суставах развиваются контрактуры [1, s.37]. Иногда кожная форма гангрены становится более тяжелой и переходит во вторичную гангренозную септицемию. В редких случаях встречается и первично-септическая форма заболевания. В отличие от начального периода, который при распространенной форме гангренозной инфекции проявляется многообразием клинических признаков, клиника заболевания в терминальной стадии заболевания однотипна. Она сопровождается проникновением в периферическую кровь микробов, количество которых составляет 100 000 и 1 000 000 бактериальных клеток в 1 мм³ крови, что считается гангренозным сепсисом и рассматривается как клиника инфекционно-токсического шока. Заболевание начинается с резкого озноба и дрожи, повышения температуры тела до 39-40°C. Наблюдаются острая тахикардия, одышка, боли в груди и кашель с пенистой кровавой мокротой. Определяются признаки пневмонии и плеврита. У некоторых больных появляются боли в животе, тошнота, кровавый понос. В дальнейшем развивается парез кишечника, появляется перитонит.

Выявляются симптомы менингоэнцефалита. Токсический шок, отек мозга, желудочно-кишечное кровотечение могут быть причиной летального исхода в первые дни. При заражении алиментарным путем возникает кишечная форма сибирской язвы. Заболевание начинается с озноба, лихорадки, появляются такие симптомы, как кровавый понос, парез кишечника.

Диагностика. Диагноз сибирской язвы ставится на основании клинико-эпидемиологических и лабораторных данных. С 3-го по 4-й день болезни проводится внутрикожная аллергическая проба. В переднюю поверхность щеки вводят 0,1 мл сибирской язвы - антигена, полученного из *Bacillus anthracis*. Диагноз подтверждается образованием на месте заражения через 24-48 часов гиперемии и инфильтрата размером 8-10 мм [3, s.28]. Для лабораторной диагностики исследуют содержимое везикулы, карбункула и язвы, мокроту, кал, кровь, соскобы с внутренних органов. Их исследуют как микроскопически, так и высеваяют на искусственную питательную среду. Иногда проводят биологическую пробу. Болезнь часто носит профессиональный характер. Г. П. Руднев выделяет 3 типа заболевания: профессионально-сельскохозяйственный, профессионально-производственный и случайно-бытовой. Болезнь может поражать людей всех возрастных групп. Однако заболеваемость наиболее высока в возрастной группе от 20 до 50 лет.

Дифференциальная диагностика. Сибирскую язву следует дифференцировать от многих заболеваний. Это обыкновенный стрептококк, стафилококковое воспаление, язвенно-бубонная форма чумы, туляремия. В отличие от черного раневого карбункула обычное стрепто-стафилококковое воспаление кожи довольно болезненно, гной выступает наверху, кожа вокруг него краснеет, отек менее заметен. Если на карбункуле образуется корочка, она буреет, легко сдирается из-за поверхностного расположения. У больного с первых дней повышается температура, ухудшается общее состояние, развивается нейтрофильный лейкоцитоз. При язвенно-бубонной форме чумы состояние больного гораздо тяжелее, больной принимает вынужденное положение, так как бубон очень болезнен, а движения конечностей ограничены. При язвенно-бубонной форме туляремии основным симптомом также является боль. Корочка на язве тонкая, бубон часто нагнаивается. Иногда приходится дифференцировать злокачественный отек сибирской язвы от золотистого стрептококка и опоясывающего лишая. Этиотропная терапия сибирской язвы проводится антибиотиками и иммуноглобулином. При легкой форме сибирской язвы, сопровождающейся слабыми общими симптомами, назначают только антибиотики. Наиболее эффективным препаратом является пенициллин, который вводят внутримышечно 6-8 раз по 0,5-1,0 г в течение 5-7 дней. Тетрациклин, окситетрациклин, обладающий сравнительно слабым эффектом, принимают по 0,3 г 4 раза в день или вводят 2-3 раза в день в дозе 0,05 - 0,1 г. Стрептомицин вводят 0,5 г 2 раза в день, левомицетин 0,5 г 4 раза в день, цефтриаксон-L 1,0 2 раза в день. При среднетяжелых формах внутривенно вводят трисоль, полиглюкин, реполиглюкин или гемодез. К этим растворам добавляют 60-90 мг преднизолона и 1 млн ЕД пенициллина. Остальные 7-12 млн ЕД пенициллина вводят внутримышечно несколько раз в день. При среднетяжелых формах черных язв вводят 40-50 мл глобулина.

Хирургическое вмешательство недопустимо при любой форме заболевания, так как может привести к распространению инфекции. Для патогенетического лечения используют коллоидные и кристаллоидные растворы, плазму альбумина [5; s.33].

Профилактика. Профилактические мероприятия при сибирской язве делятся на ветеринарные и медико-санитарные. Больного обязательно госпитализируют, помещают в отдельную палату, отделяют его посуду, одежду и т. п., дезинфицируют выделения, перевязочный материал обязательно сжигают. После отпадения корочек больного выписывают домой. Ветеринарные службы осуществляют: выявление, регистрацию, паспортизацию неблагополучных пунктов, плановую иммунизацию сельскохозяйственных животных, скотомогильников, дорог, по которым перевозят животных, пастбищ,

животноводческих помещений и т. д. контроль за состоянием здоровья, контроль за соблюдением ветеринарно-санитарных правил при заготовке, хранении, транспортировке и переработке сырья животного происхождения, своевременную диагностику у животных, их изоляцию и лечение, эпизоотологическое обследование, обезвреживание туш павших животных, текущую и заключительную дезинфекцию в хозяйстве, санитарно-ветеринарную пропаганду среди населения [4, s.36]. Туши животных и неиспользованное мясо сжигают. Шерсть, мех и кожу подвергают камерной дезинфекции парами формалина. Лица, контактировавшие с больными животными и их сырьем, находятся под наблюдением в течение 2 недель. После установления диагноза больному объявляется карантин и проводятся мероприятия в соответствии с действующими ветеринарными правилами. Вакцинации против сибирской язвы подлежат: лица, работающие с живыми культурами возбудителей сибирской язвы, инфицированными лабораторными животными или материалом для исследования, инфицированным возбудителями, – ветеринары или лица, осуществляющие уход за животными перед их убоем, а также лица, занятые по своей профессии их убоем, обработкой туш и снятием шкур, лица, занятые сбором, хранением, транспортировкой и первичной переработкой сырья животного происхождения. Вакцинация против сибирской язвы проводится двукратно сибирезязвенной вакциной СТ1 с интервалом 21 день. Ревакцинация проводится ежегодно с интервалом 1 год. Наиболее широко применяемыми вакцинами против сибирской язвы являются: вакцина американского производства аттенуированная, бескапсульная, на основе штамма *B. anthracis*, инактивированная, абсорбированная, содержащая протективный антиген экзотоксина сибирезязвенного микроба и очищенная от бактерий. Вакцина российского производства живая, приготовленная из спор на основе аттенуированных культур бацилл (СТИ-1). С начала января 2018 года в соответствии с планом эпизоотических мероприятий, утвержденным Министерством сельского хозяйства, на территории Азербайджанской Республики начаты мероприятия по вакцинации против сибирской язвы крупного рогатого скота и овец, парнокопытных животных, свиней и верблюдов. Вакцинация против сибирской язвы проводится вакциной, приготовленной на основе «Штамма 55». Коровы, овцы, козы, лошади и верблюды вакцинируются один раз в год, при ухудшении эпизоотической ситуации вакцинация должна проводиться всем клинически здоровым животным согласно инструкции. Животных, подозреваемых на заболевание, следует лечить сывороткой «Гепримун» или иммуноглобулином, наряду с антибиотиками и симптоматическим лечением. В случае язвы сыворотку также следует вводить вокруг нее. Гипериммунную сыворотку и иммуноглобулин следует использовать согласно инструкции.

Заключение

Источником зоонозных заболеваний являются животные. В частности, заражение людей чаще встречается среди лиц, работающих в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. Хотя в редких случаях встречается и среди других групп населения. Поскольку причиной является правильное выполнение гигиенических и профилактических мер, особое внимание следует уделять этому направлению. Специалисты считают абсолютно важным выполнение следующих мер:

- Оказание ветеринарных услуг животным (путем вакцинации).
- Вакцинация лиц, работающих в пищевой промышленности и сельском хозяйстве, от этих заболеваний.
- Необходимо осуществлять строгий контроль за производством мясной продукции животных и других продуктов животного происхождения (меховых, кожаных, шерстяных изделий).

С этой целью в 2018 году указом Президента Азербайджанской Республики было создано Агентство по безопасности пищевых продуктов. Это агентство осуществляет строгий контроль за производством и потреблением.

Литература

- [1]. Покровский, Б.У. Инфекционные болезни и эпидемиология / В.И.Покровский, С.Г.Пак, Брико Н.И. [и др.] –М.: ГЭОТАР-Медиа, –2009, –816 с.
- [2]. Белозеров, Е.С. Курс эпидемиологии. Учебное пособие для студентов / Е.С.Белозеров, – Элиста: АПП «Джангар». – 2005. – 255 с.
- [3]. Черкасский, Б.Л. Эпидемиологический надзор за зоонозами / Б.Л.Черкасский, С.А.Амиреев, А. Г. Кноп. – Алматы: Наука, –1988. –157 с.
- [4]. Шувалова Е.П. Инфекционные болезни / Е.П. Шувалова. –М.: Медицина, –1990. –558 с.
- [5]. Беляков, В.Д. Эпидемиология: Учебник / В.Д.Беляков, Р.Х.Яфаев. –М.: Медицина, – 1989. –416 с.

Xülasə

Zoonoz infeksiyalar (Sibir xorası)

Mansurova C.A.

Açar sözlər: *sibir xorası, sibir xorasının dəri forması, karbunkul, nekroz ocaqları, ağciyər forması, alimentar yoluxma.*

Sibir xorası spor yaradan bakteriya *Bacillus anthracis* tərəfindən törədilən kəskin yoluxucu xəstəlikdir. Xəstəlik həm insanlara, həm də heyvanlara, xüsusən də ot yeyən canlılara təsir göstərir. Yoluxmuş heyvanlar, onların tullantı məhsulları və ya ətraf mühitdən bakteriya sporları ilə təmasda olarkən yoluxma mümkündür. Sibir xorası dəri, ağciyər və ya bağırsaq formalarında baş verə bilər, hər birinin fərqli simptomları və ağırlaşmaları mövcuddur. Vaxtında müalicə olmadıqda xəstəlik ölümcül ola bilər. Baytarlıq və sanitariya tədbirlərinin inkişafı sayəsində hal-hazırda yoluxma nadir hallarda baş verir, lakin xəstəlik epidemioloji və bioloji əhəmiyyətini saxlayır.

Summary

Zoonotic infections (Black sore)

Mansurova J.A.

Key words: *Anthrax, skin anthrax, carbuncle, necrotic foci. pulmonary form, alimentary infection.*

Anthrax is an acute infectious disease caused by the spore-forming bacterium *Bacillus anthracis*. The disease affects both humans and animals, especially herbivores. Infection is possible when coming into contact with bacterial spores from infected animals, their waste products, or the environment. Anthrax can occur in cutaneous, pulmonary, or intestinal forms, each with different symptoms and severity. If not treated promptly, the disease can be fatal. Thanks to the development of veterinary and sanitary measures, cases of infection are now rare, but the disease retains epidemiological and bioterrorism significance.

Mexaniki emal istehsal mərkəzinin rəqəmsal prototipinin işlənməsi və təhlilinin yerinə yetirilməsi

Hüseynzadə Şəhla Surxay qızı [ORCID](#)

Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, professor
shahla.huseynzada@sdu.edu.az

MƏQALƏ HAQQINDA MƏLUMAT	XÜLASƏ
Məqalənin tarixçəsi Daxilolma tarixi: 08.07.2025 Düzəliş tarixi: 20.09.2025 Qəbulolunma tarixi: 12.11.2025	Məqalədə dinamik əlaqəli və paralel fəaliyyətli emaledici çevik istehsal (ÇİM) obyektinin rəqəmsal prototipinin yaradılması məsələsinə baxılmışdır. Rəqəmsal prototip – mürəkkəb istehsalat prosesinin strukturunu və idarəetmə prinsiplərini özündə əks etdirir. İdarəetmə prinsipləri ÇİM-in diskret-məlumat dövrüyyəsi üzərində müəyyən edilmiş produksiyalarla ifadə edilmişdir. Paralel fəaliyyətli emaledici istehsalın fiziki strukturu vizual qraf model şəklində təsvir edilmiş, qurğuların idarə edilməsi isə kompüter simulyasiyası şəklində işlənmişdir. Prototip üzərində simulyativ kompüter eksperimentləri aparılmış, nəticələr vizual izlənmiş və təhlil edilmişdir. Simulyasiya prosesinin riyazi interpretasiyası matrislər nəzəriyyəsinə əsasən verilmişdir
Açar sözlər rəqəmsal prototip, produksiya qaydaları, kompüter simulyasiyası, matrislər nəzəriyyəsi, çevik istehsal modulu	

Rəqəmsal prototipləşdirmə nəticədə gözlənilən məhsulun və ya sistemin ətraflı və real vizual təsviri olan məhsul və ya sistemin başlanğıc formasının virtual modelinin yaradılması prosesidir. Bu proses müəssisələrə və mühəndislərə məhsulu real istehsalata başlamazdan əvvəl onu qiymətləndirməyə kömək edir [1].

Müasir dövrdə texniki proseslərin idarə olunması və təhlili üçün rəqəmsal prototipin işlənməsi ən səmərəli üsullar hesab olunur. *rəqəmsal* kompüter prototip vasitələri idarəetmə obyektinin modelin qrafik formasından istifadə etməyə, aparılan təcrübələri vizual şəkildə görməyə və nəticələri izləməyə imkan verir. Bunun üçün qrafik sistemlərdən və ikiölçülü animasiyadan istifadə olunur. Bu isə öz növbəsində layihələndirilən sistemin strukturu və dinamikası haqqında vacib məlumatlar almağa kömək edir. Rəqəmsal prototip modelləşdirmə vasitələrinin köməyiylə idarəetmə obyektinin parametrlərini təyin etmək və modelləşdirmə prosesini proqramlaşdırmaq vəzifələrini yerinə yetirir.

CPN Tools idarəetmə obyektinin imitasiyasını yerinə yetirmək imkanına malik *proqram-instrumental sistemdir*. Burada bütün modelləşdirmə prosesi və xarakteristikaların təyini Rəng anlayışı ilə birlikdə aparılır. Bu anlayış müxtəlif struktur elementlərinə müəyyən atributların mənimsənilməsini ifadə edir. Bu kompüter modelləşdirilməsi sisteminin ilkin sistemotexniki layihələndirmə prosesində istifadəsi məqsəduyğun hesab olunur [2]. CPN Tools dinamik əlaqəli və paralel fəaliyyətli ÇİM-in modelləşdirilməsi üçün istifadə olunan, Petri şəbəkəsinin (PŞ) əsasında qurulmuş, onun terminlərindən və üsullarından istifadə edən biri kompüter sistemidir [3].

PŞ riyazi olaraq $N = (P, T, F, H, \mu^0)$, toplusu şəklində təyin olunur [4]. Burada $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, $n > 0$ – boş olmayan sonlu mövqələr coxluğu; $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$, $m > 0$ – boş olmayan sonlu kecidlər coxluğu; $F: P \times T \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$ və $H: T \times P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$ – uyğun olaraq mövqələr və kecidlər coxluğunun insidentlik funksiyaları; $\mu^0: P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$ – şəbəkənin başlanğıc markerləşməsidir.

PŞ-nin qraf şəkilli vizual təsviri mümkündür. Bu təsvir Mövqeləri əks etdirən dairə şəkilli təpələrdən, kecidləri əks etdirən düzbucaqlı şəkilli təpələrdən və onları birləşdirən tillərdən ibarətdir.

Baxılan idarəetmə obyektini bir sənaye robotundan (SR), bir fərdi giriş saxlayıcısından (GS), müxtəlif eynitipli detal pəstahları üzərində eyni əməliyyatı yerinə yetirən eynitipli iki qurğudan (Q1 və Q2) və bir fərdi çıxış saxlayıcısından (ÇS) ibarət olan tipik mexaniki emal mərkəzidir.

Xam məhsul fərdi giriş saxlayıcısına daxil olur və emalı gözləyir. Əgər, birinci qurğu əməliyyatın yerinə yetirilməsi üçün sərbəstdirsə və saxlayıcıya detal üçün xam məhsul daxil olursa, onda sənaye robotu tərəfindən xam məhsul üzərində əməliyyat yerinə yetirilməsi üçün sərbəst olan 1-ci, yaxud 2-ci qurğunun girişinə yerləşdirilir və əməliyyat bitdikdən sonra o detalı qurğunun çıxışından götürərək, çıxış saxlayıcısına yerləşdirir. Əgər hər iki qurğu məşğuldursa robot gözləmə rejiminə keçir. Əgər hər iki qurğu sərbəstdirsə onda onlar arasında konflikt situasiya yaranır. Qurğulardan birinin müvafiq parametrlər əsasında seçilməsi və qismən paralelləşdirilərək növbələşdirilməsi ilə konflikt həll olunur. Əməliyyat bitdikdən sonra SR detalı qurğunun çıxışından götürərək, çıxış saxlayıcısına yerləşdirir [5].

Təqdim olunan ÇİM-in işini mümkün vəziyyətlər və hadisələrin təyin edilməsi əsasında aşağıdakı produksiya qaydaları ilə təsvir edə bilərik:

Əgər SR sərbəstdirsə və GS-da detal pəstahları mövcuddursa, onda SR pəstahı GS-dan götürür;

Əgər SR detal pəstahını götürmüşdürsə və Q1 sərbəstdirsə, onda SR pəstahı Q1-ə yerləşdirir;

Əgər SR detal pəstahını götürmüşdürsə və Q2 sərbəstdirsə, onda SR pəstahı Q2-ya yerləşdirir;

Əgər detal pəstahı Q1-nun işçi zonasındadırsa, onda Q1-da pəstahın emalı başlayır;

Əgər detal pəstahı Q2-nin işçi zonasındadırsa, onda Q2-də pəstahın emalı başlayır;

Əgər Q1 pəstahı emal edirsə, onda Q1-də pəstahın emalı sona yetir;

Əgər Q2 pəstahı emal edirsə, onda Q2-də pəstahın emalı sona yetir;

Əgər Q1-də pəstah emal edilmişdirsə və SR sərbəstdirsə, onda SR Q1-dən hazır detalı götürür;

Əgər SR Q1-dən hazır detalı götürürsə, onda Q1 sərbəstdir;

Əgər Q2da pəstah emal edilmişdirsə və SR sərbəstdirsə, onda SR Q2dan hazır detalı götürür;

Əgər SR Q2-dən hazır detalı götürürsə, onda Q2 sərbəstdir;

Əgər SR detalı götürmüşdürsə, onda SR detalı ÇS-ina yerləşdirir;

Əgər SR detalı ÇS-na yerləşdirirsə, onda detal ÇS-ndadır və SR sərbəstdir.

Vəziyyətləri PŞ-nin mövqeləri, mümkün hadisələri isə PŞ-nin keçidləri kimi təsvir edə bilərik. Rəngli PŞ- nin köməyi ilə qurulmuş imitasiya modelində (şəkil 1.) emal mərkəzi modulunun vəziyyətləri aşağıdakı mövqələrlə təsvir edilir:

P_1 – SR sərbəstdir (RS); P_2 –GS-da pəstahlar mövcuddur; P_3 – SR pəstahı götürmüşdür; P_4 – Q1 sərbəstdir; P_5 – Q2 sərbəstdir; P_6 – pəstah Q1-nun işçi zonasındadır; P_7 – pəstah q2-nun işçi zonasındadır; P_8 – Q1 pəstahı emal edir; P_9 – Q2 pəstahı emal edir; P_{10} – Q1-da pəstah emal edilmişdir; P_{11} – Q2-də pəstah emal edilmişdir; P_{12} – SR detalı götürmüşdür; P_{13} –detal ÇS-ndadır.

Emal mərkəzi modulunda mümkün hadisələr aşağıdakı keçidlərlə təsvir edilir:

t_1 – SR pəstahı GS-ndan götürür; t_2 – SR pəstahı Q1-ə yerləşdirir; t_3 – SR pəstahı Q2-ya yerləşdirir; t_4 –Q1-də pəstahın emalı başlayır; t_5 – Q2-də pəstahın emalı başlayır; t_6 –Q1-də pəstahın emalı sona yetir; t_7 – Q2-də pəstahın emalı sona yetir; t_8 – SR Q1-dən hazır detalı götürür; t_9 – SR Q2-dən hazır detalı götürür; t_{10} – SR detalı ÇS-na yerləşdirir.

Yuxarıda verilmiş produksiya qaydaları əsasında kecidlərin giriş və çıxış mövqələrini təyin edə bilərik (cədvəl 1).

Cədvəl 1.

Giriş və çıxış əlaqələriləri

Kecidlər	Giriş mövqeləri	Çıxış mövqeləri
t_1	p_1, p_2	p_3
t_2	p_3, p_4	p_1, p_6
t_3	p_3, p_5	p_1, p_7
t_4	p_6	p_8
t_5	p_7	p_9
t_6	p_8	p_4, p_{10}
t_7	p_9	p_5, p_{11}
t_8	p_1, p_{10}	p_{12}
t_9	p_1, p_{11}	p_{12}
t_{10}	p_{12}	p_1, p_{13}

CPN Tools-da CPN ML unifikasiya olunmuş proqramlaşdırma dili vasitəsi ilə prototipin elementlərinin atributları təsvir edilir. Bu dil rənglər çoxluğunun, dəyişənlərin, sabitlərin, funksiya və prosedurların təsvir edilməsini təmin edir. Təqdim edilən imitasiya modelində rənglər çoxluqlarının və dəyişənlərin aşağıdakı təsvirləri istifadə olunur:

Declarations

Standart priorities

Standart Declarations

colset w1=unit with r;

colset w2=unit with u1;

colset w3=unit with u2;

colset w4=unit with z;

colset w5=unit with d;

var x1: w1;

var x2: w2;

var x3: w3;

var x4: w4;

var x5: w5;

colset INT

colset INTINF=intinf;

Modelin vizuallaşdırılması CPN Tools sistemində reallaşdırılmışdır (Şəkil 1.), bu CPN alətlərinin politrası və markerləşmə menyusu kimi qarşılıqlı əlaqə metodları vasitəsi ilə yerinə yetirilmişdir [6].

Rəngli PŞ ilə proqramlaşdırma dilinin birləşməsindən diskret hadisələrin interpretasiyası üçün xüsusişdirilmiş dil almış oluruq [7].

İşlənmiş modeldə beş rənglər çoxluğu vardır: r (robot) adlı markerlərlə w1, u1 (qurğu1) adlı markerlərlə w2, u2 (qurğu2) adlı markerlərlə w3, z (pəstah) adlı markerlərlə w4 və d (detal) adlı markerlərlə w5.

Başlanğıc markerləşmədə yalnız bir t_1 (robot pəstahı giriş saxlayıcısından götürür) keçidi icazəlidir və bu keçid işarələnmişdir. İkinci addımda t_2 və t_3 keçidləri arasında konflikt mövcuddur. t_2 və ya t_3 keçidlərindən birinin təsadüfi seçilməsi və növbələşdirilməsi ilə konflikt həll olunur. 1-ci və 2-ci qurğuların işi paralel hadisələrdir, onlar istənilən ardıcılıqla baş verə bilər.

Mövqələr və keçidlər çoxluğunun giriş insidentlik funksiyaları $F(13,10)$ и $H(10,13)$ matrisləri ilə təqdim olunur:

$$F(13,10) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

[illegible]

64

$$\varphi(10,5) = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad \psi(10,5) = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Rənglərin mövqelər üzrə paylanması $\lambda(13,5)$ matrisi ilə, başlanğıc markerləşmə isə $\mu(13,5)$ matrisi ilə təqdim olunur:

$$\lambda(13,5) = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad \mu(13,5) = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}.$$

Yuxarıda əldə olunan verilənlər əsasında kompüter simulyasiya eksperimentləri aparılmışdır. Hər bir simulyasiyadan sonra qrafın markerləşməsi dəyişilir. Markerləşmənin dəyişməsi modulun cari vəziyyətini təyin edir. Eksperiment nəticələri olaraq matrislər ardıcılığından ibarət vəziyyətlər fəzası alınmışdır:

$$\begin{matrix} t_1 \\ \Rightarrow \end{matrix} \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \begin{matrix} t_2 \\ \Rightarrow \end{matrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \begin{matrix} t_1 \\ \Rightarrow \end{matrix} \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\begin{array}{c}
\Rightarrow_{t_3} \left| \begin{array}{ccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right| \Rightarrow_{t_4} \left| \begin{array}{ccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right| \Rightarrow_{t_5} \left| \begin{array}{ccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right| \\
\\
\Rightarrow_{t_6} \left| \begin{array}{ccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right| \Rightarrow_{t_7} \left| \begin{array}{ccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right| \Rightarrow_{t_8} \left| \begin{array}{ccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right| \\
\\
\Rightarrow_{t_{10}} \left| \begin{array}{ccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right| \Rightarrow_{t_9} \left| \begin{array}{ccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right| \Rightarrow_{t_{10}} \left| \begin{array}{ccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \end{array} \right|
\end{array}$$

Görünür ki, baş verən hadisələr (keçidlər) ardıcılığı $\delta = (t_1, t_2, t_1, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_{10}, t_9, t_{10})$ şəklindədir.

ÇİS-də paralel fəaliyyət göstərən emal qurğularına xidmət edən sənaye robotunun mümkün trayektoriyaları təyin edilmişdir. Simulyasiya zamanı təsadüfi gecikmələri aradan götürən optimal trayektoriya seçilmişdir.

Şəbəkənin simulyasiyası zamanı alınan yetərli markerləşmələr ağacı sistemin analizi imkanını yaradır. Nəticələr əsasında layihələndirmə prosesində yol verilən səhvləri aşkarlamaq məqsədi ilə model PŞ-nin xassələrinə əsasən tədqiq edilir [8].

Təklif olunan RPŞ-da yetərlik və yaşarlılıq məsələləri həll olunmuşdur, belə ki, 12 addım daxilində bütün keçidlər aktiv olur, sonuncu addıma qədər detalın emalı prosesi yerinə yetirilir və şəbəkə öncəki vəziyyətə gəlir. Buradan alınır ki, şəbəkə yaşarlıdır, periodikdir və axtarılan markerləşmələr yetərlidirlər.

Markerləşmə matrislərinin ardıcılığı şəklində yetərlik ağacında baş verən dəyişikliklər aşağıdakı kimi təsvir edilmişdir.:

$$K=(5,4,4,3,3,3,3,4,6,4,5,4,5).$$

Bu məhdudluq vektorunun ən böyük elementi $k = 6$ – dır. Simulyasiyanın 8-ci addımında t_7 keçidinin yerinə yetirilməsində məhdudluq vektorunun maksimum qiyməti görünür:

$$\mu(1,1) + \mu(3,4) + \mu(4,2) + \mu(5,3) + \mu(10,5) + \mu(11,5)=1+1+1+1+1+1=6$$

Buna görə də PŞ – məhduddur. Uyğun olaraq, baxılan şəbəkə saxlanıqlıdır, bu da modelin təhlükəsizliyini təmin edir.

Nəticə olaraq demək olar ki, CPN Tools-da yaradılmış rəqəmsal prototip idarəetmə obyektinin davranışlarının hərtərəfli öyrənilməsinə imkan verən dəqiq rəqəmsal 2D prototiplərini təmsil edir. Layihələndirmənin ilkin mərhələlərində səhvləri müəyyən etmək imkanı məhsulun istehsal faktiki buraxılmasından əvvəl xeyli vaxta və xərclərə qənaət etməyə imkan verir.

Ədəbiyyat

- [1]. Прототипирование. Интерактивные digital-прототипы. <https://vk.com/@midisdesign-prototipirovanie-interaktivnye-digital-prototipy>
- [2]. Jensen K., L. M. Kristensen. Coloured Petri Nets: Modelling and Validation of Concurrent Systems // 1st Springer Publishing Company, Incorporated ©2009, –р.384.
- [3]. Карпов, Ю.Г. Model Cheking. Верификация параллельных и распределенных программных систем / Ю.Г.Карпов. –СПб.: БХВ–Петербург, –2010. –560 с.
- [4]. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж.Питерсон, –М.: Мир. – 1984, –264 с.
- [5]. Гусейнзаде, Ш.С. Моделирование модуля механообработки в гибкой производственной системе с применением обобщенных раскрашенных сетей Петри // Материалы XIV Международной конференции, приуроченной к 90-летию Дагестанского государственного университета «Фундаментальные и прикладные проблемы математики и информатики», –Махачкала, –16–19 сентября 2021, №3(165), –с.100-102. <https://elibrary.ru/item.asp?id=47154305>
- [6]. Beaudoin-Lafon, M., Maskay, U.E., Jensen M. et al. CPN Tools: A Tool for Editing and Simulating Colored Petri Net // LNCS20311, Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems, –2001, –pp. 574-580
- [7]. Гусейнзаде, Ш.С.. Разработка нечеткой модели управления насосным агрегатом с применением раскрашенной сети Петри // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии, –Воронеж, – 2020, №3, –с.77-86. DOI:10.17308/sait.2020.3/3042
- [8]. W.M.P. van der Aalst, C. Stahl, Modeling Business Processes –A Petri Net –Oriented Approach by, The MIT Press, 2011 (ISBN-13: 978-0-262-01538-7), 400 p.

Summary

Performing the development and analysis of a digital prototype of a manufacturing machining center

Huseyzadeh Sh.S.

Keywords: colored Petri nets, production rules, simulation of the model graph, incident matrix, flexible production module, network labeling, model visualization.

The article considers the issue of creating a digital prototype of a dynamically connected and parallel processing flexible manufacturing (FPM) facility. The digital prototype reflects the structure and control principles of a complex manufacturing process. The control principles are expressed in terms of productions determined on the

discrete-information cycle of the FPM. The physical structure of the parallel processing flexible manufacturing is described in the form of a visual graph model, and the control of the devices is worked out in the form of a computer simulation. Simulative computer experiments were conducted on the prototype, the results were visually monitored and analyzed. The mathematical interpretation of the simulation process is given based on matrix theory.

Резюме

Выполнение разработки и анализа цифрового прототипа производственного центра механической обработки Гусейнзаде Ш.С.

Ключевые слова: *цветные сети Петри, производственные правила, моделирование модельного графа, матрица инцидентов, гибкий производственный модуль, сетевая маркировка, визуализация модели*

В статье рассмотрен вопрос создания цифрового прототипа моего обрабатывающего гибкого производственного (газонного) объекта с динамически связанным и параллельным функционированием. Цифровой прототип – отражает структуру сложного производственного процесса и принципы управления. Принципы управления были сформулированы в продукции, установленной на дискретно-информационном цикле ЦМР. Физическая структура обрабатывающего производства параллельного действия изображается в виде наглядной графической модели, а управление установками обрабатывается в виде компьютерного моделирования. На прототипе проводились симуляционные компьютерные эксперименты, результаты визуально отслеживались и анализировались. Математическая интерпретация процесса моделирования дана на основе теории матриц.

Fərqli vasitələrlə modelləşdirilmiş çevik istehsal sistemlərinin Petri şəbəkəsi ilə kompleks tədqiqi

Nəsirova Elmira Əliş qızı [ORCID](#)

Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, tex.f.d., baş müəllim
elmira.nasirova@sdu.edu.az

MƏQALƏ HAQQINDA MƏLUMAT	XÜLASƏ
Məqalənin tarixçəsi Daxilolma tarixi: 17.06.2025 Düzəliş tarixi: 20.09.2025 Qəbul olunma tarixi: 25.11.2025	Məqalədə sistemotexniki layihələndirmə mərhələsində idarəetmə obyektin işlənməsinin kompüter modelləşdirilməsi metodlarının məqsədəuyğunluğunun qiymətləndirilməsi məsələsinə baxılmışdır. Göstərilir ki, mürəkkəb xarakterli sistemlər sinifinə aid edilən çevik istehsal sistemlərinin (ÇİS) layihələndirilməsində müxtəlif istiqamətli mütəxəssislər birgə fəaliyyət göstərir və çox zaman onların ilkin mərhələlərdəki yanaşmaları son nəticədə, xüsusən də sınaq və tətbiq mərhələsində, özlərini çox zaman doğrultmurlar. Odur ki, layihələndirmə prosedurlarında yer alan qüsur və çatışmazlıqların təkrarən layihələndirilməsi tələb edilir, əlavə resursların və layihələndirilməsinin məsrəflərinin artması ilə müşayiət olunur. Bu cür halların minimuma endirilməsi məqsədi ilə başlangıç layihələndirmə mərhələsində idarəetmə obyektinin ayrı-ayrı komponentlərinin uyğun modelləşdirmə riyazi aparatları ilə təsvirinin modelləşdirilməsi, universal aparat hesab edilən Petri şəbəkəsinə (PŞ) çevrilməsi və alınan kompüter modelinin sonuncunun əsas xassələrinin analizi ilə sınaqlarla tədqiqi ideyası irəli sürünür. Məqalədə konkret layihələndirmə obyektini olaraq seçilmiş mexaniki emal ÇİS-in əsasında kompüter modelinin sınaqlarla tədqiqini verən avtomatlaşdırılmış layihələndirmə alətinin (ALA) arxitekturası (strukturu) təklif olunur. Burada ÇİS-in real obyektə kompleks (PŞ) şəkildə ilə koordinasiyalı və sinxron olaraq fəaliyyət alqoritmində baxılmışdır
Açar sözlər ÇİS, ÇİM, produksiya qaydaları, Petri şəbəkəsi, sonlu avtomat, məntiqi-linqvistik model, mexatron qurğusu, manipulyator, verilənlər və biliklər bazaları.	

Giriş

Çevik istehsal sistemi (ÇİS) fərqli təyinatlı mexatron və digər texniki qurğulardan təşkil edilmiş, birgə əlaqədə fəaliyyət göstərən çevik istehsal modulları (ÇİM) toplusu olmaqla mürəkkəb xarakterli diskret sistemlər sinifinə aid edirlər. ÇİM-in elementləri sənaye və intellektual robotlardan, müxtəlif təyinatlı mövqeləşdirici manipulyator və nəqliyyat qurğularından, mövqeləşdiricilərdən və s. ibarətdir. Göstərilən qurğuların təyinatlarının vəziyyətindən asılı olaraq əvvəlcədən məlum olan və ya müxtəlif vəziyyətlərdə nisbətən qeyri-müəyyənlik mühitlərində aktivlik göstərilir.

ÇİM-in mexatron qurğuları üç ölçülü fəzada bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqədə, demək olar ki, ortaq işçi zonalarından istifadə etməklə işlərini yerinə yetirirlər. Odur ki, onların fiziki modelləri üzərində eksperimentlərin yerinə yetirilməsi müəyyən problemlərlə müşayiət olunur (ortaq işçi zonalarda toqquşma halı, qəza situasiyaları və s.).

Göstərilən hallar ÇİM-lərin idarə və qarşılıqlı əlaqə alqoritmlərinin fəaliyyətlərindəki qüsurların nəticəsində də baş verir. Buna görə ÇİS-nin ÇİM-lərinin hər hansı bir məqsədə çatmaq üçün koordinasiyalı, kompleks şəkildə idarə etmə alqoritmlərinin işlənməsi də tələb olunur.

Sınaqlarda situasiyaları apriori məlum olan diskret xarakterli əməliyyatların analitik modelləşdirmə üsulları kimi sonlu avtomatlar, paralel fəaliyyətli asinxron proseslər, semantik və şəbəkə modelləri, Freym və məntiqi modellər, produksiya qaydaları və s. geniş tətbiq edilir [1,3].

Bu üsulların hər birinin bir çox müsbət və mənfi cəhətləri və aktual tətbiq sahələri mövcuddur. Sadə prosesləri həm də Petri şəbəkəsi ilə bir dəfəlik modelləşdirmək və tədqiq etmək olur. Mürəkkəb prosesləri Petri şəbəkəsi ilə birdəfəlik modelləşdirilməsi müəyyən çətinliklər orta çıxarır.

Petri şəbəkəsinin əsas müsbət cəhəti ondadır ki, onunla modelləşdirilən obyektin tədqiqi obyektədən kənarda Petri şəbəkəsinin əsas xassələrini xarakterizə etməklə həyata keçirilir. Petri şəbəkəsinin məhz bu müsbət cəhətinə görə ondan ÇİS-in tədqiqi ilə məqsədəuyğunluğunun qiymətləndirilməsində əsas modelləşdirmə aləti kimi istifadəsi aktuallığı nəzərə alınır.

1. Məsələnin qoyuluşu. Mexaniki emal ÇİS-i dörd emal mərkəzində - proqramla fəaliyyət göstərən dəzgahlarda (torna, frez, radial burma və əymə) ardıcıl olaraq ilkin tərtibatın emalını yerinə yetirir. Emal mərkəzlərinin (EM) fəaliyyətlərini təmin etmək üçün ÇİS-in işçi zonasını tərtibatla yükləyən avtomatik nəqliyyat manipulyatoru (ANM1), hazır yarımfabrikatı avtomatik anbara göndərən ANM2 və emal mərkəzlərini xammal və yarımfabrikatla təmin edən kran manipulyator (KM) əlavə edilmişdir. Şərti olaraq ANM və emal mərkəzlərini aşağıdakı şəkildə formalaşdırılır: ÇİM1 – ANM1, ANM2 və MM; ÇİM2 – Torna dəzgahının (TD) EM; ÇİM3 – frez dəzgahının (FD) EM; ÇİM4 – radial burma dəzgahının (RBA) EM və ÇİM5 - əymə dəzgahının (ƏD) EM. Mexaniki emal ÇİS-nin fəaliyyəti aşağıdakı ardıcılıqla yerinə yetirilir [2].

ANM1 vasitəsilə ÇİS-in işçi sahəsinin mövqeləşdirici manipulyatoru (MM) üzərinə yerləşdirilmiş tərtibat mövqeləşdirildikdən sonra KM-un tutqacı tərəfindən götürülür və TD-nin işçi zonasına yerləşdirilir; TD-də mexaniki emal prosedurları yerinə yetirildikdən sonra alınmış yarımfabrikat KM tərəfindən FD-nin işçi zonasına yerləşdirilir; FD-də planlaşdırılmış əməliyyatlar yerinə yetirildikdən sonra yeni alınmış yarımfabrikat KM tərəfindən RBD-nin işçi zonasına yerləşdirilir və RBD-də planlaşdırılmış əməliyyatlar yerinə yetirildikdən sonra alınmış yeni yarımfabrikat KM tərəfindən ƏD-nin işçi zonasına nəql olunur və ƏD-dəki prosedurlar qurtardıqdan sonra hazır məhsul ƏD-nin işçi sahəsindən KM tərəfindən götürülərək ANM2-in işçi zonasına yüklənir və sonuncu tərəfindən anbarın uyğun yuvasına yerləşdirilir.

Məsələnin qoyuluşundan məlum olur ki, Mexaniki emal ÇİS-in kinematik – struktur sxeminin nəticəsi göstərir ki, onun özəyi standart (EM-in proqramla idarə olunan dəzgahlar) və qeyri standart (KM, ANM1, ANM2, MM) hissələrdən təşkil edilmişdir və onların ÇİS-in qarşısına qoyulan məqsədə çatması üçün tələb olunan səmərəliliyi müəyyən zaman müddətində gözləməklə, birgə əlaqədə idarəetməni həyata keçirən model və alqoritmlər işlənməlidir. Eyni zamanda layihə edənlərin (konstruktorlar, texnoloqlar, ekspertlər, idarəetmə üzrə mütəxəssislər və s.) ilkin layihəetmə ideyalarının düzgünlüyünü də kompüter modelləşdirilməsi üsulları ilə məqsədəuyğunluğunun qiymətləndirilməsi hallarına baxılmalıdır.

2. Fərqli vasitələrlə qurulmuş kompüter modelinin Petri şəbəkəsi ilə tədqiqi avtomatlaşdırılmış layihələndirmə alətinin işlənməsi

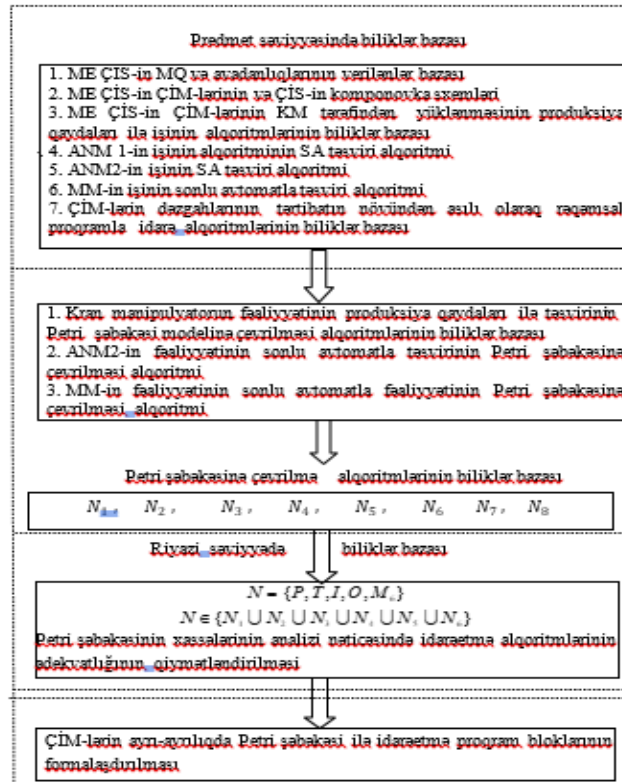
ME ÇİS-nin kompüter modelinin kompleks şəkildə tədqiqi avtomatik layihələndirmə alətinin (ALA) arxitekturası (strukturu) [4]-də təklif edilən struktura əsasən aşağıdakı kimi formalaşmışdır. Predmet səviyyəsində biliklər bazasına daxildir: mexaniki emal ÇİS-in MQ-rı və avadanlıqlarının VB; ÇİS-in və ÇİM-lərin komponentlərinin sxemləri; ANM1, ANM2 və MM-in işi alqoritmlərinin SA təsvirinin BB; Mexaniki emal ÇİS-in ÇİM-lərinin KM tərəfindən yüklənməsinin produksiya qaydaları ilə təsvirləri alqoritmlərinin BB; emal mərkəzlərinin dəzgahlarının tərtibatın növündən asılı olaraq rəqəmsal proqramla idarə alqoritmlərinin BB.

Çevrilmə cədvəli səviyyəsində alqoritmlərin BB daxildir: ANM1, ANM2 və MM -in sonlu avtomatlarla təsvirlərinin Petri şəbəkəsinə çevrilməsi alqoritmlərinin BB; KM-un fəaliyyətinin produksiya qaydaları ilə təsvirlərinin PŞ modellərinə çevrilməsi alqoritmlərinin biliklər bazası [5].

Riyazi səviyyədə biliklər bazasına daxildir: predmet səviyyəsində SA və produksiya qaydaları ilə təsvir edilmiş MQ və avadanlıqların PŞ modelləri və onların əsas cəhətlərinin analizi alqoritmləri.

Proqram səviyyəsində ÇİM-lərin ayrı-ayrılıqda və ÇİS-in kompleks şəkildə PŞ ilə tədqiqi proqram blokları.

Şəkil 1-də Mexaniki emal ÇİS-nin kompleks şəkildə modelləşdirilməsi və kompüter eksperimentləri ilə tədqiqinin təklif olunmuş və işlənmiş ALA-nın arxitekturası (strukturu) göstərilmişdir.



Şəkil 1. Mexaniki emal ÇİS-in kompleks şəkildə modelləşdirilməsi və kompüter eksperimentləri ilə tədqiqi ALA-nın arxitekturası (strukturu)

Mexaniki emal ÇİS-in ALA-nın arxitekturasından (strukturundan) göründüyü kimi ÇİS-in işinin ardıcılığı nəzərə alınmaqla onun hər bir hissəsinin idarəetmə alqritmi predmet səviyyəsində BB-dən seçilərək uyğun PŞ çevrilmə alqritmi ilə Petri şəbəkəsinə çevrilir və BB yaradılır. Bu ardıcılığı belə göstərmək olar [5,6].

Addım 1. ANM1-in sonlu avtomatla idarəetmə alqritminin Petri şəbəkəsi modelinə çevrilməsi və BB-də saxlanması (N_1).

Addım 2. ÇİM1-in (TDM) KM tərəfindən yüklənməsinin produksiya qaydaları alqritminin Petri şəbəkəsi modelinə çevrilməsi və BB-də saxlanması (N_2).

Addım 3. ÇİM2-nin (FDM) KM tərəfindən yüklənməsinin produksiya qaydaları alqritminin PŞ modelinə çevrilməsi və BB-də saxlanması (N_3).

Addım 4. ÇİM3-ün (RBD) KM tərəfindən yüklənməsinin produksiya qaydaları alqritminin PŞ modelinə çevrilməsi və BB-də saxlanması (N_4).

Addım 5. ÇİM4-ün (ƏD) KM tərəfindən yüklənməsinin produksiya qaydaları alqritminin PŞ modelinə çevrilməsi və BB-də saxlanması (N_5).

Addım 6. Hazır məhsulun KM tərəfindən ANM2-in işçi zonasına yüklənməsinin produksiya qaydaları alqritminin PŞ modelinə çevrilməsi və BB-də saxlanması (N_6).

Addım 7. ANM-2-in sonlu avtomatla idarəetmə alqritminin Petri şəbəkəsi modelinə çevrilməsi və BB-də saxlanması (N_7).

Addım 8. KM-in işçi zonalarındakı tərtibatın əməliyyat üçün hazırlayan MM-in SA idarəetmə alqoritminin Petri şəbəkəsi modelinə çevrilməsi və BB-də saxlanması (N_8).

Addım 9. Ardıcıl olaraq ($N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8$) hər bir Petri şəbəkəsinin əsas xassələrinin analizi nəticəsində kompüter eksperimentləri ilə tədqiq edərək fəaliyyət alqoritmlərinin tətbiqinin məqsədəuyğunluğunun qiymətləndirilməsi.

3. Mexaniki emal ÇİS-in kompleks şəkildə PŞ ilə koordinasiyalı və sinxronlaşdırılmış işinin alqoritminin işlənməsi

Mexaniki emal ÇİS-nin kompüter modelinin, Petri şəbəkəsi ilə tədqiqi göstərilmişdir ki, kompüter eksperimentləri ilə ilkin layihələndirmə mərhələsində layihə edənlərin ideyalarının məqsədəuyğunluğunu əsasən qiymətləndirmək olar[2].

Eyni zamanda bu eksperimentlərlə mexaniki emal ÇİS-nin kompleks şəkildə kinematik sxemdə göstərilən şəkildə işinin mümkünlüyü təsdiqlənərək, layihələndirmə əməliyyatlarının digər mərhələlərinin yerinə yetirilməsinin dəqiqliyini qiymətləndirmək olar[2,6].

ÇİS-in işinin birgə şəkildə Petri şəbəkəsi ilə layihələndirmə alqoritminə digər tələblər də qoyulur:

- ÇİS-nin MQ və avadanlıqları işinin fəaliyyəti zamanı ortaq işçi zonalarda rastlaşırlar və onların mexaniki hissələri işçi rejimlərdə qəza vəziyyətləri yarada bilərlər. Odur ki, mümkün olan belə vəziyyətlərdə qəzaların baş verməməsini təmin etmək lazımdır;

- ÇİM-lərin və MQ-nin bir-birinə mane olmadan, paralellik prinsipini yerinə yetirməklə, asinxron rejimlərdə işlərini təmin etmək və daha çox məhsuldarlığa malik olmaq tələbi ödənilməlidir;

- Hər hansı bir ÇİM-də qəza vəziyyəti baş verərsə, ondan sonrada son hala qədər davam etdirilməli və qəza halı signal verilməlidir.

ÇİS-in idarəedilməsində qərarların icrasını yerinə yetirən icra mexanizmlərinin təyinatları və ÇİS-in müxtəlif qovşaqlarında quraşdırılmış sensorların təyinatları cədvəl 1 və 2-də verilmişdir.

Cədvəl 1.

ÇİS-in qovşaqlarında quraşdırılmış sensorların təyinatları.

Sensorların çıxış signalının işarəsi	Vericilərin çıxış signalının təyinatı
X 0	ANM2 -in ilkin vəziyyəti
X 1	Xammalın mövqeləşdirici manipulyatorun üzərində olması
X 2	ANM1-nin son vəziyyəti
X 3	ANM1-nin işçi zonasında xammalın olması
X 4	ANM2-in işçi zonasında xammalın olması
X 5	MM-in ilkin vəziyyəti
Z 1	KM mövqeləşdirici manipulyatorun (MM) üzərindədir
K 1	KM-nin tutqacı yuxarı vəziyyətdədir.
K 2	KM-nin tutqacı açıqdır.
Y 1	TD-nin işçi zonasında xammalın olması
Y 2	FD-nin işçi zonasında yarımfabrikatın olması
Y 3	RBD-nin işçi zonasında yarımfabrikatın olması
Y 4	ƏD-nin işçi zonasında yarımfabrikatın olması
Y 5	Hazır məhsul anbarının yuvası boşdur.
Y 6	ÇİM1 emal əməliyyatlarını yerinə yetirir.
Y 7	ÇİM2 emal əməliyyatlarını yerinə yetirir.
Y 8	ÇİM3 emal əməliyyatlarını yerinə yetirir.
Y 9	ÇİM4 emal əməliyyatlarını yerinə yetirir.
Y 10	ANM işləyir
T_{TD}	TD-nin emal müddətinin taymeri

T_{FD}	FD-nin emal müddətinin taymeri
T_{RBD}	RBD-nin emal müddətinin taymeri
$T_{\Theta D}$	ƏD-nin emal müddətinin taymeri
T_{ANM1}	ANM1-nin emal müddətinin taymeri
T_{ANM2}	ANM2-in emal müddətinin taymeri
T_{MM}	MM-in emal müddətinin taymeri

Cədvəl 2.

ME ÇİS-in icra mexanizmlərinin təyinatları

İcra mexanizminin işarəsi	İcra mexanizminin təyinatı
$U1$	N1 Petri şəbəkəsinin idarəetmə proqram blokunun yerinə yetirilməsi
$U2$	N2 Petri şəbəkəsinin idarəetmə proqram blokunun yerinə yetirilməsi
$U3$	N3 Petri şəbəkəsinin idarəetmə proqram blokunun yerinə yetirilməsi
$U4$	N4 Petri şəbəkəsinin idarəetmə proqram blokunun yerinə yetirilməsi
$U5$	N5 PŞ idarəetmə proqram blokunun yerinə yetirilməsi
$UÇİS$	ME ÇİS-in ilkin başlanğıc vəziyyəti
$U6$	N6 PŞ idarəetmə proqram blokunun yerinə yetirilməsi
$U7$	N7 PŞ idarəetmə proqram blokunun yerinə yetirilməsi
$U8$	N7 PŞ idarəetmə proqram blokunun yerinə yetirilməsi

ME ÇİS-in VB təyinatlarından istifadə etməklə onun kompleks şəkildə koordinasiya və sinkronlaşdırılmış işinin algoritmi BB şəklində işlənmişdir.

Alqoritm

(P1) **Əgər** xammal mövqeləşdirici manipulyatorun (MM) üzərində deyilsə VƏ avtomatik nəqliyyat manipulyatorunun (ANM1) işçi zonasında hazır xammal varsa VƏ ANM1 son vəziyyətdədirsə

Onda ANM1-in N6 Petri şəbəkəsinin idarəetmə bloku qoşulsun VƏ ANM1-in işləmə müddətinin taymeri qoşulsun.

$$(P1) \neg X1 \& X3 \& X2 \Rightarrow U6 \& T_{ANM1} = r$$

(P2) **Əgər** MM-in üzərində məhsul varsa VƏ ANM son vəziyyətdədirsə (KM) işçi vəziyyətə hazırdırsa ($W = Z1 \& K1 \& K2$; $Z1 - KM$ MM-in üzərindədir, $K1$ tutqacı yuxarı vəziyyətdə olarsa və $K2$ -tutqacı açıqdır) VƏ torna dəzgahının (TD) işçi zonasında xammal yoxdursa VƏ çevik istehsal modulu 1 (ÇİM1) emal proseduru yerinə yetirilmirsə

Onda KM-un N1 Petri şəbəkəsi blokunun icra mexanizmi işə düşsün

$$(P2) X1 \& X2 \& Z1 \& K1 \& K2 \& \neg Y1 \& \neg Y6 \Rightarrow U1$$

(P3) **Əgər** TD-in işçi zonasında məhsul varsa VƏ KM N1 Petri şəbəkəsi-proqram blokunu yerinə yetirib VƏ ÇİM1-də emal proseduru yerinə yetirilmirsə VƏ KM işçi halına hazırdırsa

Onda ÇİM1-də emal əməliyyatı başlasın VƏ ÇİM1-in işləmə müddəti taymeri qoşulsun

$$(P3) Y1 \& \neg U1 \& \neg Y6 \& Z1 \& K1 \& K2 \Rightarrow Y6 \& T_{TD} = k$$

(P4) **Əgər** ÇİM 1-də emal əməliyyatı başa çatıbsa VƏ $T_{TD} = 0$ -sa VƏ TD-in işçi zonasında tərtibat varsa VƏ KM işçi vəziyyətindədirsə

Onda N2 Petri şəbəkəsinin proqram blokunun icra edilməsi

$$(P4) \neg Y6 \& T_{TD} = 0 \& Y2 \& Z1 \& K1 \& K2 \Rightarrow U2$$

(P5) **Əgər** N2 -nin icra mexanizmi işini sona çatdırıbsa VƏ FD-in işçi zonasında tərtibat varsa VƏ ÇİM 2-də emal proseduru yerinə yetirilmirsə VƏ KM işçi halındadırsa

Onda ÇİM 2 emal əməliyyatına başlasın VƏ ÇİM 2-in emal müddəti taymeri qoşulsun

(P5) $\neg U2 \& \neg Y2 \& \neg Y7 \& Z1 \& K1 \& K2 \Rightarrow Y7 \& T_{FD} = i$

(P6) **Əgər** ÇİM 2-də emal əməliyyatı başa çatıbsa VƏ $T_{FD}=0$ şərti ödənilirsə VƏ radial burma dəzgahının (RBD) işçi zonasında məhsul yoxdursa VƏ KM işçi halına hazırdısa

Onda N3-Petri şəbəkəsinin proqram blokunun icra mexanizmi işə yerinə yetirilsin

(P6) $\neg Y7 \& T_{FD} = 0 \& \neg Y3 \& Z1 \& K1 \& K2 \Rightarrow U3$.

(P7) **Əgər** N3-ün icra mexanizmi işini sona çatıbsa VƏ RDB -in işçi zonasında məhsul varsa VƏ ÇİM 3-də emal proseduru sonlarırsa VƏ KM işçi vəziyyətindədirsə

Onda ÇİM 3-də emal əməliyyatına başlasın VƏ ÇİM 3 -ün taymeri işə düşsün

(P7) $\neg U3 \& Y3 \& \neg Y8 \& Z1 \& K1 \& K2 \Rightarrow Y8 \& T_{RBD} = j$

(P8) **Əgər** ÇİM 3-də emal əməliyyatı sonlanıbsa VƏ $T_{RBD} = 0$ şərti ödənilirsə VƏ əymə dəzgahının (ƏD) işçi zonasında tərtibat yoxdursa VƏ KM işçi vəziyyətindədirsə

Onda N4 Petri şəbəkəsinin proqram blokunun icra mexanizmi işə düşsün

(P8) $\neg Y8 \& T_{RBD} = 0 \& \neg Y4 \& Z1 \& K1 \& K2 \Rightarrow U4$

(P9) **Əgər** N4-ün icra mexanizmi işini sonlarırsa VƏ ƏD-in işçi zonasında tərtibat varsa VƏ ÇİM4-də emal proseduru yerinə yetirilmirsə VƏ KM işçi vəziyyətindədirsə

Onda ÇİM4 – də emal əməliyyatı başlasın VƏ ÇİM4 – ün emal zamanı işə düşsün

(P9) $\neg U4 \& Y4 \& \neg Y9 \& Z1 \& K1 \& K2 \Rightarrow Y9 \& T_{ƏD} = m$

(P10) **Əgər** MM-in işçi zonasında xammal yoxdursa və ANM2 başlangıç vəziyyətdədirsə və işçi zonasında tərtibat varsa və MM ilkin haldadırsa və KM-in tutqacı yuxarı vəziyyətdədirsə

(P10) **Əgər** MM-in işçi zonası boşdursa və ANM2 başlangıç vəziyyətdədirsə və işçi sahəsində tərtibat varsa və MM başlangıç vəziyyətdədirsə və KM-in tutqacı yuxarı vəziyyətdədirsə

Onda ANM2-in N7 Petri şəbəkəsinin fəaliyyət bloku qoşulsun və ANM2-in işləmə taymeri qoşulsun

(P10) $\neg X1 \& X0 \& X4 \& X5 \& K1 \Rightarrow U7 \& T_{ANM2} = \ell$

(P11) **Əgər** MM-in işçi zonasında xammal varsa V ANM2 başlangıç vəziyyətdədirsə və KM-in tutqacı yuxarı yönəlibsə V ANM1 son vəziyyətdədirsə

Onda MM-in N8 Petri şəbəkəsinin idarəetmə bloku qoşulsun V T_{MM} işə düşsün.

(P11) $X1 \& X0 \& K1 \& X2 \Rightarrow N8 \& T_{MM} = q$

(P12) **Əgər** ÇİM4 – də emal əməliyyatı başa çatıbsa VƏ $T_{ƏD}=0$ şərti ödənsə VƏ ANM – in işçi sahəsində hazır xammal yoxdursa VƏ ANM son vəziyyətdədirsə

Onda (P1) produksiyasının proseduru yerinə yetirilsin

(P12) $\neg Y9 \& T_{ƏD} = 0 \& \neg X3 \& X2 \Rightarrow (P1)$.

Göründüyü kimi ME ÇİS-in fəaliyyəti produksiya qaydaları ilə formalaşdırılmış beş məntiqi-lingvistik model (MLM) vasitəsilə yerinə yetirilir:

1. ANM və MM-in P1, P10 və P11 produksiya qaydalarından ibarət MLM-i;

(P1) $\neg X1 \& X3 \& X2 \Rightarrow U6 \& T_{ANM} = r$

(P10) $\neg X1 \& X0 \& X4 \& X5 \& K1 \Rightarrow U7 \& T_{ANM2} = \ell$

(P11) $X1 \& X0 \& K1 \& X2 \Rightarrow N8 \& T_{MM} = q$

2. ÇİM1-in (TD) P2, P3 produksiya qaydalarından ibarət MLM-i;

(P2) $X1 \& X2 \& Z1 \& K1 \& K2 \& \neg Y1 \& \neg Y6 \Rightarrow U1$

$$(P3) \neg Y1 \& \neg U1 \& \neg Y6 \& Z1 \& K1 \& K2 \Rightarrow Y6 \& T_{TD} = k$$

3. ÇİM2-in (FD) P4, P5 produksiya qaydalarından ibarət MLM-i;

$$(P4) \neg Y6 \& \neg T_{TD} = 0 \& Y2 \& Z1 \& K1 \& K2 \Rightarrow U2$$

$$(P5) \neg U2 \& Y2 \& \neg Y7 \& Z1 \& K1 \& K2 \Rightarrow Y7 \& T_{FD} = i$$

4. ÇİM3-ün (RBD) P6, P7 produksiya qaydalarından ibarət MLM-i;

$$(P6) \neg Y7 \& \neg T_{FD} = 0 \& \neg Y3 \& Z1 \& K1 \& K2 \Rightarrow U3.$$

$$(P7) \neg U3 \& Y3 \& \neg Y8 \& Z1 \& K1 \& K2 \Rightarrow Y8 \& T_{RBD} = j$$

5. ÇİM4-ün (ƏD) P8, P9, P12 produksiya qaydalarından ibarət MLM-i;

$$(P8) \neg Y8 \& \neg T_{RBD} = 0 \& \neg Y4 \& Z1 \& K1 \& K2 \Rightarrow U4$$

$$(P9) \neg U4 \& Y4 \& \neg Y9 \& Z1 \& K1 \& K2 \Rightarrow Y9 \& T_{ƏD} = m$$

$$(P12) \neg Y9 \& \neg T_{ƏD} = 0 \& \neg X3 \& X2 \Rightarrow (P1).$$

Nəticə.

İşdə fərqli vasitələrlə diskret sistemlər kateqoriyasına aid edilən ÇİS-in başlangıç layihələndirmə etapında kompüter modelləşdirilməsi növləri ilə yaradılmasının məqsəduyğunluğunun qiymətləndirilməsi əsaslandırılmışdır. ÇİS-in bir çox konseptual modelinin analizi əsasında bloklarının sonlu avtomatlarla və produksiya qaydaları ilə təsvirlərinin Petri şəbəkəsi modelinə çevrilməsi və sonuncunun əsas xassələrini analiz etməklə kompüter eksperimentlərini təmin edən ALA-nın arxitekturası (strikturu) işlənmişdir.

Ədəbiyyat

- [1]. Əhmədov, M.A. Layihələndirilən obyektin idarə alqoritminin tədqiqinin avtomatlaşdırılmış layihələndirmə alətinin arxitekturasının işlənməsi / M.A.Əhmədov, E.Ə.Nəsirova // SDU Elmi xəbərlər, Təbiət və texniki elmlər bölməsi, C.16, №2, –2016, –s.71-75 https://sdu.edu.az/userfiles/file/scientific_publications/sp_14.pdf
- [2]. Huseynzade, Sh.S. Automation Model of the Adaptive Control on Petri nets // – Kyiv: Bulletin of the Taras Shevchenko National University of Kyiv, a series of physical and mathematical sciences, – 2018. №1, – p. 55-59
- [3]. Мамедов, Дж.Ф., Автоматизация этапов проектирования компоновочной схемы производственной линии для технопарка./ Дж.Ф.Мамедов, Г.С.Абдуллаев, Г.Г.Генжелиева, Е.А. Насирова // Национальный технический университет Украины. Системные исследования и информационные технологии, –Киев, –2018, № 3, –с.35-42
- [4]. Ахмедов, М.А., Насирова, Э.А. Инструмент автоматизированного проектирования компьютерной модели гибкого производственного модуля и её комплексное исследование компьютерными экспериментами // Международный научно-технический конгресс Интеллектуальные системы и информационные технологии, –Геленджик, – Дивноморское, Россия. – 2023, т.2, –с. 218-223
- [5]. Ахмедов, М.А., Гусейнзаде, Ш.С., Насирова, Э.А. Разработка алгоритма автоматизации преобразования конечного автомата в сеть Петри / Ахмедов, М.А., Гусейнзаде, Ш.С., Насирова, Э.А. // Автоматизация Современные технологии, –М., –2019, №3, –с.108-112, РИНЦ
- [6]. Гусейнзаде, Ш.С. Разработка программного обеспечения автоматизации преобразования конечного автомата в сеть Петри // СГУ Научные известия. Серия: Естественные и технические науки. – 2020. – Т.20, №3. –с.55-62. –EDN LMOKKI. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44219999>

Summary

Comprehensive study of flexible manufacturing systems modeled by different tools using Petri nets *Nasirova E.A.*

Keywords: *FMS, FMM, production rules, Petri net, finite automaton, logical-linguistic model, mechatronic device, manipulator, databases and knowledge bases*

The article addresses the issue of evaluating the appropriateness of computer modeling methods in the system-engineering design stage for the development of a control object. It is shown that, in the design of flexible manufacturing systems (FMS), which belong to the class of complex systems, specialists from various fields work together. However, their approaches at the initial stages often do not prove effective in the final stages, particularly during testing and implementation. Consequently, the design process frequently requires re-engineering due to the presence of flaws and deficiencies, leading to additional resource consumption and increased design costs.

To minimize such cases, the idea is proposed to model the individual components of the control object at the initial design stage using appropriate mathematical modeling tools, then convert them into Petri nets (PN), which are considered a universal modeling apparatus. The obtained computer model is further studied through tests analyzing its main properties. As a specific design object, the article proposes the architecture (structure) of an automated design tool (ADT) that enables the experimental study of a computer model based on a mechanical processing FMS. In this context, the coordinated and synchronized operation algorithm of the FMS in a real system is represented in the form of a complex Petri net.

Резюме

Комплексное исследование гибких производственных систем, моделированных различными средствами, с использованием сетей Петри *Насирова Э.А.*

Ключевые слова: *FMS, FMM, производственные правила, сеть Петри, конечный автомат, логико-лингвистическая модель, мехатронное устройство, манипулятор, базы данных и знаний.*

В статье рассматривается проблема оценки целесообразности применения методов компьютерного моделирования на этапе системотехнического проектирования объекта управления. Показано, что при проектировании гибких производственных систем (ГПС), относящихся к классу сложных систем, совместно работают специалисты различных направлений, однако их подходы на начальных этапах часто не оправдывают себя на последующих стадиях, особенно во время испытаний и внедрения. В результате этого выявленные ошибки и недостатки проектных процедур приводят к необходимости повторного проектирования, что сопровождается дополнительными затратами ресурсов и увеличением стоимости проекта.

С целью минимизации подобных недостатков предлагается на ранней стадии проектирования выполнять моделирование отдельных компонентов объекта управления с использованием соответствующих математических аппаратов, преобразовывая их в сети Петри (СП), которые рассматриваются как универсальный инструмент моделирования. Полученная компьютерная модель исследуется с помощью тестирования и анализа её основных свойств. В качестве конкретного примера предложена архитектура (структура) автоматизированного средства проектирования (АСП), обеспечивающего экспериментальные исследования компьютерной модели на основе механической обработки ГПС, где алгоритм согласованной и синхронной работы системы представлен в виде комплексной сети Петри.

Magistral boru kəmərlərində neft məhsullarının sıxlığının ölçülməsinə nəzarət cihazının tədqiqi

Əmiraslanov Bəhruz Qurban oğlu [ORCID](#)

Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, tex.f.d., baş müəllim
baxruz.amiraslanov@sdu.edu.az

MƏQALƏ HAQQINDA MƏLUMAT	XÜLASƏ
Məqalənin tarixçəsi Daxilolma tarixi: 11.04.2025 Düzəliş tarixi: 20.05.2025 Qəbul olunma tarixi: 04.06.2025	Məqalədə mikrokontroller, aerometr, piknometr, mexaniki rezonatorlu kamerton tipli vibrasiya-tezlik sıxlıqölçəni vasitəsilə neft məhsullarının sıxlığının ölçülməsi tədqiq olunmuşdur. Magistral kəmərlərlə neft məhsullarının nəqli zamanı borudan keçən neftlə birlikdə qaz qatışıqları olduğu şəraitdə sıxlığın ölçülməsi zamanı müxtəlif ölçmə metodları, o cümlədən gamma şüa sıxlıq ölçməsi üsulu ilə işləyən cihaz təhlil olunmuşdur.
Açar sözlər təkfazalı axın, aerometr, sıxlıqölçən, piknometr, sıxlığın ölçülməsi, mikrokontroller, nəzarət və monitorinq qurğuları	Takagi-Sugenoya əsaslanan Adaptiv Neyro Qeyri-səlis Nəticə Sistemi (ANFIS) arxitekturalı eksperimental qurğuda tədqiqatlar aparılmışdır. Qurğunun sxemi təsvir edilmişdir. Boruda neft və qaz olduğu tərzdə sıxlığın ölçülməsi üçün Süni Neyron Şəbəkəsi (ANN) modelindən istifadə edilmişdir. Nəticələr analiz olunmuşdur.

Giriş

Bir çox sənaye sahələrində o cümlədən, boru kəmərlərindən neftin və neft məhsullarının tərkibinin qatışıqlardan ibarət olmasına rəğmən neft məhsullarının sıxlığının təyin edilməsi, elə nəqliyət prosesində vacib olur. Bu magistral kəmərlərlə neftin axıdılması və onun texniki parametrlərinə nəzarət edilməsi səmərəliliyi artırmış və eləcə də, yaradılmış nəzarət sistemi onun təhlükəsizliyinə təminat vermiş olur. Sıxlığın ölçülməsi zamanı istismar şəraitindən asılı olaraq müxtəlif ölçmə metodları tətbiq olunur. Metodların tətbiq olunması hansı sənaye sahəsində ölçmələrin aparılması, ölçmə parametrlərinə nəzarətin həyata keçirilməsi, habelə istehsalatdan daxil olan məlumatların toplanması, emal edilməsi məqsədilə sistemə mikrokontrollerlər daxil edilir.

Mikrokontroller, bir integrasiya olunmuş dövrənin kompakt formasıdır ki, bu sistemdə müəyyən bir əməliyyatı idarə etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Mikrokontroller, bir çip üzərində prosessor, yaddaş və giriş-çıxış periferiya qurğularını özündə ehtiva edir. Ümumiyyətlə, mikrokontrollerlərdən bir çox sahələrdə, avtomobil mühərrikinin idarəetmə sistemlərində, robotlarda, tibbi cihazlarda, avtomatlarda və ev əşyalarında, digər cihazlarla birgə istifadə olunur. Onlar, daha böyük bir komponentin kiçik xüsusiyyətlərini idarə etmək üçün hazırlanmış sadə, miniatur cihazdır və mürəkkəb əməliyyat sistemi olmadan fəaliyyət göstərirlər.

Mikrokontrollerlərin işləmə prinsipini bir cihazda tək bir funksiyanı idarə etmək üçün bir sistemin içində yerləşdirilən, giriş-çıxış periferiyalarından aldığı məlumatları şərh edən, mərkəzi prosessorla istifadə edən qurğu kimi təsəvvür etmək olar. Mikrokontrollerə daxil olan məlumat müvəqqəti olaraq onun məlumat yaddaşında saxlanılır, daha sonra burada prosessorla əlaqəyə girir və prosessorun proqram yaddaşında saxlanılan təlimatlardan istifadə edərək daxil olan məlumatları aydınlaşdırır. Habelə müvafiq qərar qəbul etmək və ünsiyyət qurmaq məqsədilə giriş-çıxış periferiyalarından istifadə edir.

Nəzarət cihazlarını öyrənərkən mikrokontrollerlərdən müxtəlif, ayrı-ayrı sistemlərin işində və cihazlarında istifadə olunması xüsusi qeyd olunmalıdır. Sistemdə istifadə olunan cihazlar müvafiq vəzifələrini yerinə yetirməklə yanaşı bu nəzarət sistemində birlikdə fəaliyyət göstərən bir neçə mikrokontrollerdən eyni zamanda istifadə edə bilirlər. Buna misal olaraq bir avtomobildə quraşdırılmış bir neçə mikrokontroller ola bilər ki, bu kontrollerlər müxtəlif fərdi sistemlərə - əyləc sisteminə, yanacaq inyeksiyasına nəzarət edib, onların işini idarə edə bilər. Bu mikrokontroller digərləri ilə ünsiyyət quraraq avtomobilin hərəkətini və ölçmə cihazlarına nəzarəti həyata keçirə bilirlər.

Bəzi hallarda avtomobillərin daxilində quraşdırılmış, struktur baxımdan mürəkkəb olan mərkəzi kompüterlə əlaqə (ünsiyyət) qura bilirlər. Elə mikrokontrollerlər də olur ki, yalnız digər fəaliyyət göstərən mikrokontrollerlərlə interfeys qura bilirlər. Onlar sistemə daxil edilmiş giriş-çıxış periferiya qurgularından istifadə edərək məlumat taplayaraq göndərir və həmin məlumatları emal edərək, qarşıya qoyulmuş vəzifələri yerinə yetirirlər.

Baxdığımız məqalədə neft məhsullarının magistral kəmərləri ilə nəqli prosesində neftin sıxlığının təyini zamanı mikrokontrollerin əsas vəzifəsi sıxlıq vericisindən daxil olan siqnalı, nəzarət və emal prosesində rabitə kanallarına istiqamətləndirmək və magistral kanala ötürməkdir. Yaradılmış və fəaliyyət göstərən magistral kanal ölçmələrin həyata keçirilməsi zamanı signalların tez, kiçik zaman intervalında daxil olmasını və nəzarət-idarəetmə sistemində ölçmə keyfiyyət əmsalını yüksəltməyi təmin edir, bir sözlə sistemin etibarlılığını yüksəldir.

Belə cihazlar əsasında idarəetmə panelinə daxil olan siqnalı, sazlanaraq (kalibrləşdirərək), qrafiki asılılıqlara və məlum alqoritmlərə görə hesabat aparılır, borudan keçən neft məhsulunun və qatışıqların sıxlığı təyin edilir, nəzarət sisteminə təsir edən informativ və qeyri-informativ kəmiyyətlər riyazi düsturlar əsasında hesabatları aparılır.

Problemin aktuallığı. Neft məhsullarının sıxlığının ölçmə metodları və mövcud nəzarət ölçmə cihazlarının müqayisəli təhlilini aparmaq məqsədilə əvvəlcə qeyd etməliyik ki, neft məhsulları üçün sıxlıq standartlaşdırılmış mütləq parametr olub, sıxlığı ölçülən məhsulun bir vahid həcmdəki kütlə miqdarıdır. Kütlə miqdarı isə standartlaşdırılmış sistemdə kiloqramlarla, həcmi isə kub metr ilə ölçülür. Nəticədə, ölçülən mühitin sıxlığı kiloqram/kub metr ilə ölçülür. Bu göstərici neft məhsullarının kütləsi haqqında müəyyən bir anlayış verir. Neft məhsulları maye şəklində olsa da, onların miqdarını digər mayelərdə olduğu kimi təyin etmək (litrlərlə ölçmək) mümkün deyildir. Neftin saxlandığı qabın həcmi bilməklə və buna əsaslanaraq konkret neft məhsulunun miqdarının nə qədər olduğunu anlamaq mümkün olmur. Belə ki, neft məhsulları tərkibinin qatışıqlarla birlikdə məzmununun, həcmi ətraf mühitdə havanın temperaturunun dəyişməsi səbəbindən onunla adekvat olaraq dəyişməsinə fikir vermək lazımdır. Lakin bununla yanaşı ölçülən neft məhsullarının sıxlığının xarakteristikalarına istinad edərək, kütləni müəyyən etmək mümkündür.

Məqalədə tədqiqatlar nəticəsində, aşağıda, neft məhsullarının sıxlığını müəyyən etmək məqsədilə bir neçə metod araşdırılmış və metodika təklif edilmişdir ki, bu da sıxlığın dəqiq ölçmə aparılmasına nail olmağa imkan verir. Metod və metodologiyanın seçimi borudan keçən maye axınının və qatışıqların sıxlığı ölçülən mühitin axınına qarşı göstərilən müqavimət parametrindən, eləcə də analizin aparılması kiçik zaman anında aparılması, neft məhsullarının miqdarının təyin edilməsi, bu miqdarın tələb olunan ölçmənin yüksək dəqiqliklə aparılması parametrlərinin təyin edilməsi ilə müşayiət olunur.

1. Standartlaşdırılmış cihazlardan olan aerometr neft və neft məhsullarının sıxlığının ölçülməsi məqsədilə fəaliyyət göstərir. İstənilən maye qatışıqlarının substansiyalarının sıxlığının xüsusiyyətlərini ölçmək üçün hazırlanmış aerometr konstruktiv cəhətdən elə qurulmuşdur ki, həm neft məhsullarının temperaturunu və həm də mayenin nisbi sıxlığı təyin edilə bilər. Bu cür qurğu ilə ölçmələr silindrik formada götürülmüş qabdan ibarətdir. Bu qab ilə ölçmə aparmaq üçün qabın hündürlüyü elə götürülməlidir ki, götürülmüş qabın hündürlüyü ölçmə aparmaq üçün nəzərdə tutulan qabın uzunluğunun beşdə birindən çox olmasın. Ölçmələr belə aparılır: Ölçmələrin aparılması üçün neft məhsulları tökülmüş qabın onun sabit bir vəziyyətdə qərarlaşmasına kimi

gözləmək lazımdır. Bu zaman alətin şkalasındakı göstəricinə nəzərdə salaraq araşdırılan mayenin temperaturunu təyin edilir. Daha sonra aerometrə daxil edilən cədvəldən şaquli xəttə temperaturu, üfüqi xətdə isə aerometrin göstəricisini qeydə almaqla təyin edilir. Üfüqi və şaquli xətləri çəkməklə bu xətlərin kəsişməsində yerləşən yerdən axtarılan mayenin sıxlıq göstəricisi götürülür. Bütün bu ölçmələr, yəni sıxlığı ölçülən mayenin 20°C temperaturunda aparılır.

Özlülüğü çox olan mayelərin sıxlığını ölçmək üçün araşdırılan maye, əvvəlcədən sıxlığı məlum olan kerosin ilə eyni miqdarda götürülür. Ölçmə cihazının göstəriciləri oxunduqdan sonra, ilkin neft məhsulunun sıxlığını hesablamaq üçün tərtib olunmuş formul vasitəsilə təyin edilir. Qeyd edək ki, mayelərin sıxlıqları üçün aerometrin maksimum və minimum sərhədləri, qiymətləri qəbul olunmuşdur.

2. Piknometr vasitəsi ilə ölçmələrin aparılması. Piknometr, neft məhsullarının sıxlığını, neftin həcmi təyin etməyə imkan verir. Piknometr həm də temperaturun dəyişməsinə əsaslanan istiliyə davamlı şüşədən hazırlanmış rezervuardır və bu rezervuar, içindəki mayenin həcmi təyin etmək üçün ölçü xətləri ilə işarələnmişdir. Ölçmə prosesini yerinə yetirmək üçün əvvəlcə mayeni rezervuara tökmək lazımdır, bu zaman mayenin 20°C temperaturunda qərarlaşmasına diqqət vermək lazımdır, belə ki, mayenin temperaturu göstərilən temperaturdan yuxarı olması zamanı mayenin soyudulmasına, aşağı olduğu halda isə göstərilən temperatura kimi qızdırmaq lazım gəlir. Çəkinün ölçüsü rezervuarın yüksək ölçmə dəqiqlikli cihazı vasitəsilə təyin edilir. Alınan kütlədən rezervuarın kütləsini çıxmaqla konteynerin kütləsi alınır, daha sonra isə alınan kütləni rezervuardakı mayenin həcminə bölməklə mayenin sıxlığı hesablanır. Piknometrdən həm də neftin emalı zamanı neft məhsullarının sıxlığını hesablamaq məqsədilə distillə edilmiş su ilə ölçmə metodundan istifadə edilir. Bu tədqiqat metodundan istifadə edilməsi üçün distillə edilmiş su əldə etmək və suyu rezervuara işarə edilmiş yerə qədər doldurmaq lazımdır. Daha sonra rezervuarın çəkisini elektron çəki vasitəsilə ölçməli və su kütləsindən rezervuarın kütləsini çıxmaqla, alınan rəqəmi 1 ml distillə edilmiş suyun kütləsinə bərabər(0.99823) rəqəmə vurmaqla mayenin həcmi hesabını aparmaq olar. Bundan sonra araşdırılacaq mayeni işarə olunmuş yerə qədər doldurduqdan sonra, yuxarıda göstəriləndi kimi, 20°C temperatura kimi isitməklə, isidilmiş maye rezervuarını elektron çəkiddə ölçməklə, isidilmiş mayenin kütləsindən boş rezervuarının kütləsini çıxmaqla və əvvəlki həcmə bölməklə mayenin sıxlığının hesablanmasına nail olunur.

3. Sıxlıqölçən(densimetr) vasitəsilə ölçmə aparmaq maddələrin, neft məhsullarının sıxlığını müəyyən etmək deməkdir. Aerometrdən fərqli olaraq, sıxlıqölçənlərin konstruksiyasında yalnız bir ölçü göstəricisi var ki, bu da sıxlığın dəyərini göstərir. Sıxlıqölçənlərin iş prinsipi, yəni mayelərin sıxlığının təyin edilməsi kamerton tipli sıxlıqölçənlərin borusunun içindən axıdılan mayenin sıxlıqölçənin borusunun rezonans tezliyindən asılı olaraq dəyişməsinə əsaslanır ki, bu da maye mühitinin sıxlığının təyin edilməsi kimi başa düşülməlidir [1].

Hal-hazırda mexaniki rezonatorlu vibrasiya-tezlik sıxlıqölçənləri, onların elastik elementlərin parametrlərinin mexaniki qiymətlərini, təzyiqi, temperaturu və mayelərin özlülüyünü ölçmək üçün geniş yayılmışdır.

Sıxlıqölçən vasitəsilə ölçmə prosesində mayenin temperaturu boruya maye doldurulmamışdan əvvəl və maye doldurulduqdan sonra ölçülür, göstəricilər arasında fərqi təyin etməklə ölçmə prosesi həyata keçirilir. Bununla yanaşı aerometr üçün ayrıca ayrılmış cədvəldən istifadə edilərək temperaturun orta qiyməti təyin edilir. Mayenin sıxlığı 20°C temperaturda tapılır.

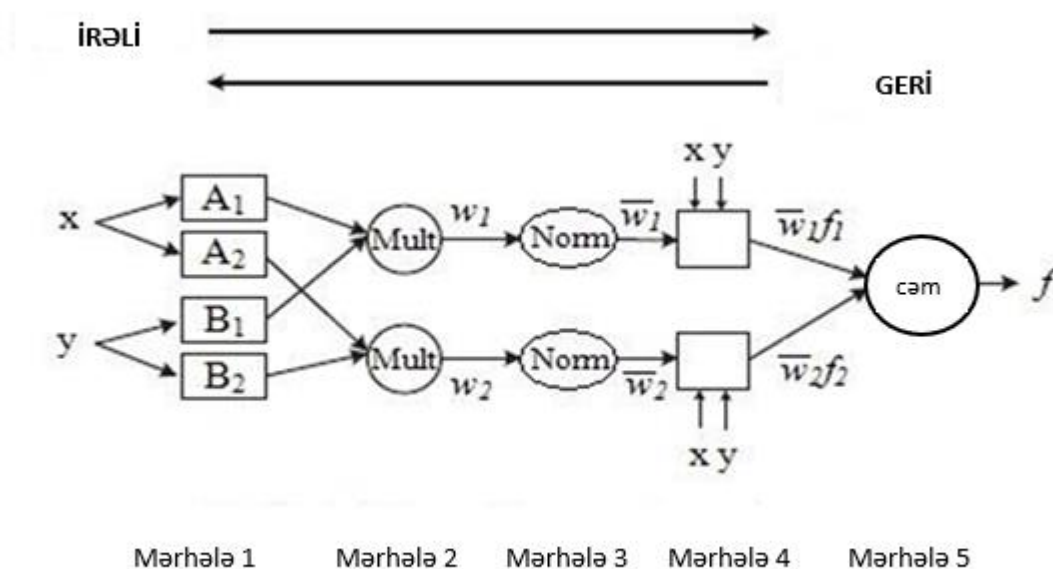
Sıxlıqölçən vasitəsilə mayelərin sıxlığını təyin edən zaman ola bilər ki, sıxlığın yüksək dəqiqliklə aparılması üçün mövcud ölçmə metodları özünü doğrultmasın. Ona görə sıxlığı yüksək dəqiqliklə ölçmə aparılması üçün rəqəmsal aerometr və sıxlıqölçənlərdən istifadə etmək tövsiyə olunur.

Problemin həlli və məqalənin praktiki əhəmiyyəti. Ölçmə dəqiqliyini yüksəltmək və effektivliyini, etibarlılığını artırmaq məqsədilə ənənəvi metodlardan istifadədən imtina edərək gamma sıxlıq ölçmə sistemi metodunu öz işlərində müxtəlif alimlər geniş işıqlandırmışlar [2]. Yüksək ölçmə dəqiqliyini almaq və məsafədən ölçmə aparmaq mümkün olduğundan sıxlığın gamma

şüa ölçmə metodu ilə aparılması magistral kəmərlərdə neftin və neft məhsullarının sıxlığının təyini zamanı geniş tətbiq edilir. Əgər neft boru kəmərlərində neft tək faza axını ilə axıdılırsa bu zaman sıxlığın ölçülməsi bir detektordan istifadə etməklə aparılır. Borudan keçən neftlə birlikdə qaz qatışıqları da olarsa, yəni iki fazalı axın təşkil edərsə bir mənbə və bir detektor adlanan gamma şüa sıxlıq ölçməsi üsulu ilə mayenin sıxlığını təyini məqsədəuyğun sayılır. Tək fazalı axınla müqayisədə, qaz-maye iki fazalı axında neftin birbaşa və dolayısı ilə parametrlərini dəqiq ölçmək çətinliklər yaradır.

M. Khorsandi, G.H. Roshani işlərində [3,4], qaz-maye iki fazalı axınların təbəqəli rejimində (horizontal borularda ən tipik axın rejimi) maye fazasının sıxlığını ikili modallıq sıxlıq ölçmə texnikası və süni neyron şəbəkəsi (ANN) kombinasiya edilərək ölçməyin mümkün olduğunu sübut etmişdir. Bu işlərdə, maye fazasının sıxlığını ölçmək üçün, müəliflərin əvvəlki işlərində istifadə olunduğu kimi, halqa rejimi tətbiq edilmişdir ki, bu da şaquli borularda ən tipik axın rejimlərindən biridir.

M. Khorsandi, G.H. Roshani [3,4] öz tədqiqatlarında, maye və qaz qatışığı üçün iki fazalı axınlarda dairəvi şəbəkədə maye və qazların məsafədən sıxlığını ölçmək təklif etmiş və süni neyron şəbəkəsinə (Artificial Neuron Network) əsaslanan metoddan istifadə etmişdir. Şəbəkənin yoxlanılması üçün ilkin giriş məlumatları daxil edilərək eksperiment qurğu təklif etmişdir. (Şəkil).



Şəkil. Takagi-Sugeno əsaslanan ANFIS arxitekturası əsasında eksperimental qurğunun sxemi.

Simulyasiya nəticələrinin qiymətləndirilməsi prosesində müxtəlif diametrli borulardakı maye sıxlığının təyin olunması mümkün olmuşdur. Eksperimentlər benzin və dizel yanacağı üzərində aparılmış və bu neft məhsullarının sıxlığı 0.1 g/cm^3 dəqiqliklə təyin olunmuşdur. [5] ədəbiyyatını təhlil edərək Adaptiv Neyro Qeyri-səlis Nəticə Sistemindən (ANFIS) istifadə edərək, ilkin giriş olaraq borunun diametri və detektorun sonunda qeydə alınmış fotonların sayı götürülmüş, çıxış kəmiyyəti isə mayenin sıxlığı olmuşdur. Monte Karlo simulyasiyasından istifadə edilərək məlumatları iki fazalı axın üçün ANFIS modelində test etmək mümkün olmuşdur. Müxtəlif diametrli borularda mayelərin sıxlığının ölçmə xətası 2.64%-dən çox olmamaqla təyin edilmişdir.

[6] ədəbiyyatını təhlil edərək ikili modallıq, yəni boruda neft və qaz olduğu tərzdə sıxlığın ölçülməsi üçün Süni Neyron Şəbəkəsi (ANN) modelindən istifadə edilmişdir və ilk dəfə olaraq axın rejiminin növünü ayırd etməklə qaz-maye üçün axında qiymətləndirməyi təklif olunmuşdur.

Bu metodologiyaya əsaslanaraq tədqiqatlar zamanı borudan neft məhsullarının axıdılması zamanı dairəvi, təbəqəli və homogen axın rejimlərini təyin etmək mümkündür. Hər bir neft məhsulunun fazasının fraksiyası 1.1%-dən az ölçmə xətası proqnozlaşdırılmışdır [7].

Məqalənin müəllifləri tərəfindən tədqiqatlar davam etdirilir və nəticələr proqram vasitəsilə dəqiqləşdirilir.

Nəticə

Neft məhsullarının sıxlığının ölçülməsinin təklif olunan nəzarət sistemi tədqiq edilərkən bir sıra nəticələr alınmışdır:

1. Neft məhsullarının sıxlığının ölçülməsi, onun effektivliyinin təminatı və təhlükəsizliyin artırılması üçün rəqəmsal sıxlıqölçənlərdən istifadə daha müasirdir. Rəqəmsal sıxlıqölçənlər müasir nəzarət sistemlərində əsasən insan faktorunun iştirakını minimuma endirmək, nəticədə neft məhsullarının sıxlığının ölçmə prosesini avtomatlaşdırmağa imkan vermişdir.

2. Avtomatlaşdırılmış ölçmə prosesində sıxlığın ultrasonik, tezliyə görə vibrasiya üsulu ilə sıxlığın dəqiq ölçülməsi metodlarından istifadə etməklə məlumatların toplanması müasirdir, mütərəqqidir.

3. Təklif olunan yeni metod və metodologiya əsasında neft məhsullarının sıxlığının ölçülməsi məlumatlarının toplanmasının mərkəzləşdirilməsi və xüsusi proqramlar əsasında analizlərin aparılması mütəmadi təmin edilir.

4. Nəticələr tərtib olunmuş proqram vasitəsilə yoxlanılmışdır və müxtəlif diametrlili borulardakı mayelərin sıxlığının təyin olunmasının təcrübə nəticələri kompüter simulyasiyası ilə qiymətləndirilmişdir.

Ədəbiyyat

- [1]. Амирасланов, Б.К. Новый подход к разработке датчика измерения плотности однотрубным трубчатым резонатором с электромагнитной компенсацией / Б.К.Амирасланов // СГУ Научные известия. Серия: Естественные и технические науки. – 2024. – Т. 24, № 3. – С. 84-88. – DOI 10.54758/16801245_2024_24_3_84. – EDN IGETYP. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80062193>
- [2]. Yu Zhao [et al.] Recognition and measurement in the flow pattern and void fraction of gaseliquid two-phase flow in vertical upward pipes using the gamma densitometer, Appl. Therm. Eng. –2013.
- [3]. Roshani G.H. [et al.] Design and construction of a prototype gammaray densitometer for petroleum products monitoring applications, Measurement, –2011
- [4]. Khorsandi M. [et al.] Application of adaptive neuro-fuzzy inference system in prediction of fluid density for a gamma ray densitometer in petroleum products monitoring Measurement, – 2013
- [5]. Radiation Meas. Developing a gamma ray fluid densitometer in petroleum products monitoring applications using Artificial Neural Network, –2013
- [6]. Roshani G.H. [et al.] Flow regime identification and void fraction prediction in two-phase flows based on gamma ray attenuation Measurement , –2015
- [7]. Nazemi E. [et al.] Optimization of a method for identifying the flow regime and measuring void fraction in a broad beam gamma-ray attenuation technique. <https://pipe-s.ru/izmereniye-plotnosti-nefteproduktov-v-truboprovodakh/>

Summary

Research on a control device for measuring the density of petroleum products in main oil pipelines

Amiraslanov B.G.

Key words: *single-phase flow, arimeter, densitometer, pycnometer, measurement of density, microcontroller, control and monitoring devices.*

The article is devoted to the study of a device that controls the determination of density in the process of transporting oil products through main pipelines. Various measurement methods used are compared and a new methodology for measuring density is proposed. For the purpose of the study, an experimental device was developed and the device scheme is given in the article. The results are analyzed.

Резюме

Исследование устройства контроля изменения плотности нефтепродуктов в магистральных трубопроводах

Амирасланов Б.Г.

Ключевые слова: *однофазный поток, аэрометр, плотномер, пикнометр, измерение плотности, микроконтроллер, устройства управления и контроля*

Статья посвящена исследованию устройства, контролирующего определение плотности в процессе транспортировки нефтепродуктов по магистральным трубопроводам. Был проведен сравнительный анализ различных методов измерения и предложена новая методология измерения плотности. Для проведения исследования была разработана экспериментальная установка, схема которой приведена в статье. Результаты были проанализированы.

Elektrik intiqal mühərriklərinin dolaqlarının hazırlanması və yerləşdirilməsi metodikasının tədqiqi

Balayeva Əfilə Həsənbala qızı [ORCID](#)

Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, tex.f.d., müəllim
afila.balayeva@sdu.edu.az

MƏQALƏ HAQQINDA MƏLUMAT	XÜLASƏ
Məqalənin tarixəsi Daxilolma tarixi: 18.07.2025 Düzəliş tarixi: 20.09.2025 Qəbul olunma tarixi: 04.12.2025	Məqalədə istehsalın, xalq təsərrüfatının və neft sənayesinin müxtəlif sahələrində istifadə olunan müasir elektrik mühərriklərindəki qüsurların səbəbləri, elektrik mühərriklərinin istismarı zamanı yüksək etibarlılığa və faydalı səmərəliliyə nail olmaq üçün əsaslı təmir zamanı mövcud elektrik mühərriklərinin sarımlarının və rulonlarının istehsal texnologiyası, sarımların təsnifatı müzakirə olunur. Eyni zamanda, bobinlərin statorun maqnit dövrəsi boyunca yivlərə yerləşdirilməsi, bobinlərin qütb bölgüsünün və fazasının müəyyənləşdirilməsi məsələləri nəzərdən keçirildi
Açar sözlər dolaq, qütb bölgüsü, stator yuvaları, asinxron mühərriki, dolaq addımı, stator nüvəsi	

Giriş

Elektrik maşınlarının etibarlılığının yüksəldilməsi problemi müxtəlif istehsal sənayesi, xalq təsərrüfatı və neft sənayesinin müasir inkişaf mərhələlərində əsas yer tutur. İstehsalatın bütün sahələrində elektrik maşınlarının istismar prosesində yüksək etibarlılığa, uzunömürlüyə malik olması əhəmiyyətli dərəcədə vacib məsələlərdən biridir. Mövcud ədəbiyyatlarda elektrik maşınlarının dolaqları haqqında məlumatlar verilmişdir [1-8]. Lakin, buna baxmayaraq elektrik maşınlarının təmiri və tədrisi üçün onların dolaqlarının kompleks halında təsnifatı və hazırlanmasının metodikasının işlənilib hazırlanması aktual məsələlərdəndir. Praktiki hesabatlar göstərir ki, elektrik maşınlarının xidmət müddətinin və onun etibarlılığının yüksəldilməsi xalq təsərrüfatının inkişafına böyük effekt verir. Bu da iqtisadi göstəricilərin, faydalı iş əmsalının, güc əmsalı və istifadə əmsalının yüksəlməsinə səbəb olur. Elektrik maşınları uzunmüddətli istismar müddətinə hesablanaraq hazırlanır. Bəzən generatorlar və mühərriklər nəzərdə tutulmuş müddətdə özünü doğrultmur, bunların bəziləri tez sıradan çıxır və nəticədə elektrik maşınlarının iş qabiliyyətinin pozulması imtinaya səbəb olur. Bütün imtinalar müxtəlif qüsurlardan asılı olaraq yaranır. Onları elektriki və mexaniki nasazlıqlara ayırmaq olar. Elektriki qüsurlar birbaşa elektrik maşınını imtinaya gətirib çıxardır və bunlar elektriki hissələrin sıradan çıxması, izolyasiyanın zədələnməsi, izolyasiyanın müqavimətinin azalması (izolyasiyanın köhnəlməsi), maşının daxili birləşməsində kontaktların vəziyyətinin pisləşməsi, kollektorda qığılcımların yüksəlməsi, həmçinin maqnit sisteminin sıxtələnməmiş vərəqələri arasındakı izolyasiyanın zədələnməsi, sarğılar arasındakı qısaqapanmaların yaranması, dolaqların qırılması, izolyasiya ilə korpus aralığının dəşilməsindən ibarətdir. Mexaniki qüsurlar da elektrik maşınlarının imtinalarına səbəb olur və bunlar yastıqların sıradan çıxması, kollektorun kontakt halqalarının, fırçaların yeyilməsi və sürtünmədən köhnəlməsi, valın deformasiyası, maqnit sisteminin preslənməmiş vərəqələrinin boşalması, həmçinin ventilyatorun zədələnməsi və ya ventilyasiya kanallarının tutulması bir başa dolaqlarda qızma temperaturunun təyin olunmuş həddlərdən yuxarı qalxmasına səbəb olur. Dolaqların temperaturunun həddən artıq yüksəlməsi mühərrikin düzgün olmayan istismarı və yüklənmələrin nominal göstəricilərinə uyğun olmadığı hallarda yaranır. Tez-tez imtinaların, mexaniki qüsurların baş verməsi elektrodinamiki qüvvələrin təsirindən, yüksək titrəmələrdən elektriki nasazlıqlara çevrilə bilər. Məsələn,

soyudulmanın pisləşməsi izolyasiyanın tez köhnəlməsinə gətirib çıxardır ki, onun elektrik möhkəmliyinin aşağı düşməsi sonda dolaqların öz aralarında, dolaqlarla gövdə və fazalar arasında qısa- qapanmalar ilə nəticələnir. Asinxron mühərriklərinin imtinasının böyük əksəriyyəti stator dolaqlarının düzgün yerləşdirilməməsindən irəli gəlir və bu səbəbdən təmir zamanı sarğıların yerləşdirilməsinin yüksək keyfiyyətlə aparılmasına diqqət yetirilməli, elektrik maşınlarının təmiri zamanı dolaqların hazırlanması, onların yuvalarda düzgün yerləşdirilməsi vacib məsələlərdəndir.

Qoyulmuş məsələnin təhlili. Bildiyimiz kimi stator və rotorun maqnit axınının keçdiyi hissələrinə onların maqnitkeçiriciləri və ya nüvələri, maqnit qüvvə xətlərinin keçdiyi bütün yola işə maşının maqnit dövrəsi deyilir. Elektrik maşınlarının rotorun fırlanması üçün stator dolaqlarında maqnit qüvvə xətləri kəşisir və onlarda e.h.q. yaranır. Elektrik maşınlarının dolaqlarında fırlanan maqnit sahəsini əldə etməklə yanaşı, onların bilavasitə iştirakı ilə enerji bir şəkildən başqa bir şəkllə çevrilir.

Dolaq sarğılarının konstruksiyası, onların yuvalarda yerləşdirilməsi və öz aralarında sxemlərinin birləşdirilməsinə görə maşınların tipindən, təyinatından asılı olaraq müxtəlif növlərə ayrılırlar. Elektrik maşınlarının konstruksiyasından, gücündən asılı olaraq dolaqlar müxtəlif quruluşa və xarakterik xüsusiyyətlərə malik olmaqla, onların tətbiq sahələri də müxtəlifdir. Elektrik maşınlarının dolaqları həmçinin naqillər sistemi adlanır və müəyyən sxemə əsasən öz aralarında maqnit sahəsini yaratmaq və yaxud induksiyaalan elektrik cərəyanını yaratmaq məqsədi ilə birləşdirilir və maşının tərpənməz və fırlanan (stator, rotor, lövbər) hissələrində yerləşdirilir[1]. Təsirlənmə dolağının sarğacı çox saylı sarğılardan hazırlanır[1]. Onlar polad nüvələrə geydirilir hansı ki, birlikdə maşının qütblərini təşkil edirlər. Bu dolaqlar **qütb dolaqları** adlanır.

Sinxron maşınların statorlarının, asinxron maşınların statorlarının, faz rotorlu asinxron maşınının və sabit cərəyan maşınlarının lövbər dolağı nisbətən az sayda sarğılardan ibarət olur. Dolaqlar nüvələrin yuvalarında bərabər paylanır, buna görə də belə dolaqlar **paylanmış dolaqlar** adlanır.

Dolaqların növündən asılı olaraq bir yuvada dolaqların yuvaya aid olan bir tərəfini və ya müxtəlif sarğacın iki tərəfini yerləşdirmək olur. Birinci halda sarğacın birinci tərəfi bütün yuvanı əhatə edir belə dolaqlar **birqatlı dolaqlar** adlanır. İkinci halda dolaqlar yuvada iki qatlı yerləşdirilir (alt qatda bir sarqac, üstdəki qatda işə digər sarqac yerləşdirilir) və bunlar **ikiqatlı dolaqlar** adlanır.

Dolaqların sarğacının konstruksiyası, dizaynı, elektrik maşınının istehsal texnologiyasından və yuvalara qoyulma üsulları işə onların hansı naqildən (dairəvi və ya düzbucaqlı) sarınmasından asılıdır. Dairəvi naqildən hazırlanmış sarğaclar yarıqapalı yuvalarda yerləşdirilir. Bu halda sarğı naqillər sanki yuvaya səpilir və ona görə də bu dolaqlar **səpələnən dolaqlar** adlandırılır. Yumşaq (səpələnmiş) dolaqlar əsasən 100 kVt gücə qədər olan asinxron mühərrikləri, həmçinin sabit cərəyan maşınlarının lövbəri və kiçik güclü sinxron maşınlarının statoru üçün nəzərdə tutulur[9;10].

Paylanmış dolaqlar bir, iki və ya bir neçə sarğıdan ibarət ola bilər. Bu növlü dolaqların birsarğılı sarğacı iki çubuğun yarısı kimi hazırlanır. Hər bir çubuq bir yuvadakı hissədən və alın hissəsinin iki yarısından ibarət olur. Belə dolaqlar **çubuqlu dolaqlar** adlanır. Çubuqlu dolaqları yuvalarda quraşdırdıqdan sonra başlıqları bir-biri ilə birləşdirilərək dolaq halına gətirilir. Alın hissəsinin əyilmə istiqamətinə görə onlar **dalğavarı və ilgakvarı dolaqlara** ayrılırlar.

Sarğacı düzbucaqlı naqillərdən hazırlanmış dolaqlar orta və böyük güclü maşınların statorunda yerləşdirilir, çubuqlu dolaqlar işə iri hidro və turbogeneratorların statorlarında, asinxron mühərriklərinin rotorunda, sabit cərəyan maşınlarının işə lövbərində yerləşdirilir.

Elektrik maşınlarında həmçinin gövdədən izolyasiya olunmayan dolaqlardan da (çubuq halında) istifadə olunur ki, bu dolaqlar qısa qapalı rotorlu asinxron mühərriklərinin (dələ qəfəsli) və sinxron maşınların dempfer (sakitləşdirici dolaq) dolaqlarıdır. Birləşli mühərriklərdə işə buraxma fazalarının müqavimətinin yüksəldilməsi məqsədi ilə çox saylı rezistorların quraşdırılmasının

aradan qaldırılması üçün yüksək işə buraxma cərəyanına hesablanmış işə buraxma dolağı ilə yerinə yetirilir və bu dolaq bifilyar dolaq adlanır.

Sarğı - bu iki uclu çıxışı olan və yaxud bir uc sonluğu növbəti sarğı ilə birləşən naqildir və sarğı bir neçə naqildən ibarət ola bilər. **Sarqac** - naqillər kompleksi adlanır və bir neçə sarğıdan ibarət olur. Sarqacları nüvənin yuvalarında yerləşdirmək üçün onların alın hissələrinə uyğun forma verilir. **Sarğac qrupu** - Dolaqlar sarğac qrupundan ibarət olur. Qütblü sarğaclı dolaqlar adətən sinxron maşının və sabit cərəyan maşınlarının nüvəsinin qütblərinə geydirilir.

Dolaq addımı - yuvalarda yerləşdirilən sarğacın tərəfləri arasındakı məsafəyə deyilir (şəkil1). O uzunluq vahidi ilə ifadə edilmir, sarğacın əhatə etdiyi yuvaların sayı ilə təyin olunur və kiril əlifbasının “y” hərfi ilə işarə olunur.

Məsələn, şəkil 1- də əgər $y = 7$ olarsa, sarğacın bir tərəfi birinci yuvada yerləşirsə, ikinci tərəfi isə 8 - ci yuvada olmalıdır: $1+7 = 8$. D

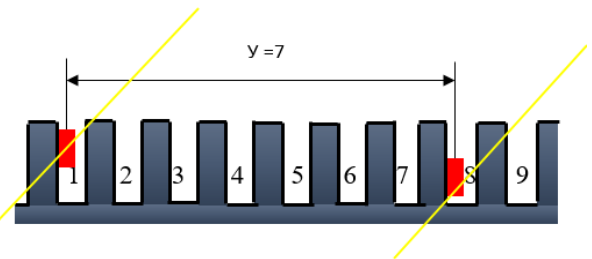
olaqların addımı yalnız tam ədəd kimi ifadə edilə bilər belə ki, dolaqların yuvaya aid hissəsələri mütləq yuvalarda yerləşməlidir. Dolaq addımı qütb bölgüsünə bərabər və yaxud ona yaxın olmalıdır. Əgər dolaq addımı qütb bölgüsünə bərabərdirsə, onda o **diametral addım** adlanır. Diametral addımlı dolaqlar nadir hallarda və yalnız kiçik güclü maşınlarda tətbiq edilir. Orta və yüksək güclü maşınlarda, dolaq addımı qütb bölgüsünə nəzərən bir az fərqli götürülür, yəni qısaldılır. Bu maşının xarakteristikalarını yaxşılaşdırır, buna görə də bütün maşınların dolaqlarının alın hissəsinin uzunluğunu bir qədər azaldılır [11;12]. Qısaldılmış addım

$$y = \beta \tau \quad (1)$$

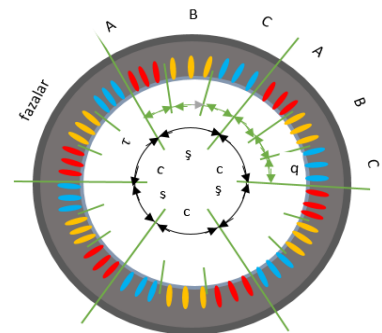
olur. Burada β - qısaldılma əmsalıdır. Dəyişən cərəyan maşınlarının əksəriyyətində qısaldılma əmsalı $\beta = 0,8$ nəzərdə tutulmuşdur. Deməli, **qısaldılmış addım** - yuvalara görə dolaq addımı olub (yuvaların sayına görə) nisbətən kiçik diametrlı olur. Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi elektrik maşınlarının dolaqları sarğacların yuvadan kənara çıxan hissələrinin (alın hissələrinin) əyilmə istiqamətinə görə ilgəkvəri, dalğavari və qarışıq (kombinə edilmiş) növlü quruluşa ayrılırlar:

İlgəkvəri dolaqlar əsasən dəyişən cərəyan maşınlarının stator dolaqlarının sarğısı kimi istifadə olunur; **dalğavari dolaqlar** əsasən faz rotorlu asinxron mühərriklərinin rotorunun sarğısı kimi istifadə olunur; **qarışıq dolaqlar** (kombinə edilmiş) ən çox sabit cərəyan maşınlarının lövbər dolaqlarında istifadə olunur. **Faza dolaqları** - sarğacların sayına görə təyin edilən dolaq hissəsidir. Üç fazlı maşınlarda onlar üç ayrı-ayrı hissədən (fazadan) ibarət olur hansı ki, onlar açıq ucları ilə və əlavə naqillərdən istifadə edilərək “ulduz” ($\times$) və yaxud “üçbucaq” (Δ) birləşdirilir. Üç fazlı maşınlarında faza dolaqları bir - birindən 120 elektrik dərəcəsi ilə sürüşdürülür. Elektrik maşınlarında faza dolaqlarının sayı m hərfi ilə işarə olunur. O, həmişə qida mənbəyinin fazalarının sayına bərabər olur. Hər bir faza dolağı bir neçə sarğac qrupundan ibarət olur, hansı ki, o da bir neçə sarğaclı olur. **Qütb bölgüsü** - qütb bölgüsü hər qütbə düşən yuvaların sayıdır. Qütb bölgüsü eyni zamanda hər qütb üçün stator nüvəsinin çevrəsinin qövs uzunluğunu təmsil edir və latın əlifbasının “ τ ” hərfi ilə işarə olunur (şəkil 2).

Nümunə olaraq şəkil 2- ə nəzər salaq: - bildiyimiz kimi, üç fazlı şəbəkədən qidalanan maşınlarla üç fazlı elektrik mühərrikləri deyilir. Onların dolaqlarının hər üç fazası eynidir, yəni eyni naqil ilə sarınır, eyni sayda ardıcılığa malikdirlər, sarğacların və sarğac qruplarının bir - biri ilə əlaqələndirilməsi, onların statorun maqnit dövrəsinə görə yuvalarda yerləşdirilməsi də eynidir [13;14]. Dolaq sarğılarının



Şəkil 1. Yuvalar üzrə dolaq addımı



Şəkil 2. Statorun $2p = 6$ qütb bölgüsü üçün yuvaların paylanması

yuvalarda düzgün yerləşdirmək üçün stator nüvəsinin çevrəsi şərti olaraq maşının qütblərinin sayına görə bərabər hissələrə bölünür. Qövs bölgüsü ilə dairəni bölərkən hər bir hissənin qövs uzunluğunu qütb bölgüsü adlandırma bilirik və

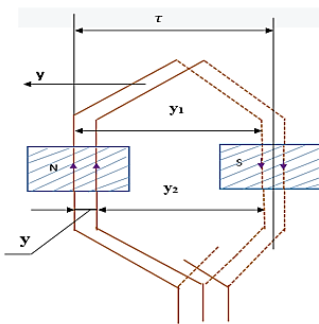
$$\tau = \pi D / (2p) \quad (2)$$

olur. Burada, D - statorun daxili diametri, $2p$ - maşının qütblər sayıdır.

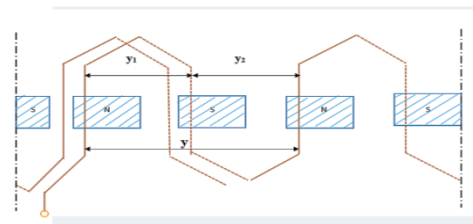
Bir qütb bölgüsündə $Z / (2p)$ - qədər yuva yerləşir. Simmetrik dolaqların yuvalarında hər bir qütb bölgüsü faza dolaqları arasında bərabər paylanır və hər fazada $Z / (2pm)$ - qədər yuva yerləşir [15]. Bu rəqəm qütblərdə və fazalarda yuvaların sayı adlanır və q hərfi ilə işarə olunur və aşağıdakı kimi hesablanır

$$q = Z / (2pm) \quad (3)$$

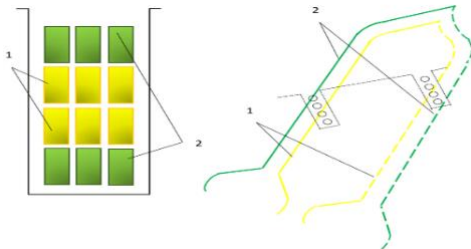
Aşağıda dolaqların təsnifatına uyğun olaraq müxtəlif sarğacılı və görünüşə malik olan dolaqların yuvalarda yerləşdirilmə təsviri verilmişdir (şəkil 3;4;5;6):



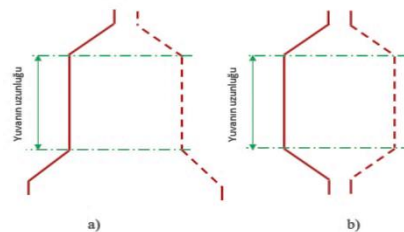
Şəkil 3. Sadə ilgəkvary dolağın birləşmə sxemi:
 τ - qütb bölgüsü; y_1 və y_2 - addım hissələri



Şəkil 4. Dalğavari dolağın sarğacı



Şəkil 5. Kombinə edilmiş dolaqlar
1-ilgəkvary dolağın sarğacı; 2-dalğavari dolağın sarğacı



Şəkil 6. Çubuqlu dolaqlar:
a - dalğavari, b - ilgəkvary

Dolaqların hazırlanması zamanı onlara qarşı qoyulan aşağıdakı tələblərə diqqət yetirilməlidir:

-dolaqlar elə hazırlanmalıdır ki, onun materialı həm çəkiyə görə, həm də f.i.ə. görə qənaətbəxş olub uzunmüddətli istifadə olunsun;

- dolaqlar maşının istismar xidməti müddətinə uyğun olaraq tələb olunan mexaniki, termiki və elektrik möhkəmliyini təmin etməlidir.

Nəticə

1. Məqalədə araşdırmalar nəticəsində yüngül sənaye, kimya müəssisələri, ağır metallurgiya, neft sənayesində və s. istifadə olunan müasir elektrik intiqal mühərriklərinin istismarında əsaslı təmir zamanı sarğı dolaqlarının quruluşu, dolaqların birləşmə sxeminin, qütb

bölgüsünün, faza dolağlarının düzgün təyin edilməsi ilə onların yüksək etibarlılıq və f.i.ə. - na nail olunur.

2.Məqalədə verilmiş məlumatlar sənaye müəssisələrində elektrik mühərriklərinin istismarında əsaslı təmir zamanı, ali məktəb tələbələri üçün “Elektrik intiqal mühərriklərinin istismarı və sazlanması” həmçinin “Elektrik maşınlarının etibarlılığı və diaqnostikası” fənlərinin mənimsənilməsində etibarlı mənbə hesab oluna bilər.

Ədəbiyyat

- [1]. Еремеев, А. Обмотки электрических машин / А.Еремеев, –М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, –2008, –с. 481. ISBN 978-5-4460-6977-4,
- [2]. Аникеенко, В.М. Обмоточные провода. Учебник / В.М.Аникеенко, А.В.Петросова, А.П.Пионов. –М.: Электроника, –2012, –312 с.
- [3]. Сергеев, П.С. Проектирование электрических маши / П.С.Сергеев, Н.В.Виноградов, Ф.А.Горлинов. –М.: Энергия, –1969. –450 с.
- [4]. Гусейнов, Р.А. Проектирование однофазных асинхронных и универсальных коллекторных двигателей. Учебное пособие по дисциплине Электрические машины / Р.А.Гусейнов. –Sumqayıt, –2011, –145 с.
- [5]. Капылов, И.П. Электрические машины. Учеб.для вузов / И.П. Капылов, - 3- е изд, испр. – М., –2002, –607 с.
- [6]. Кацман, М.М. Электрические машины. Справочник / М.М. Кацман. –М.: КноРус, –2015, – 288 с.
- [7]. Трещов, И.И. Методы исследования машин переменного тока / И.И.Трещов. –Л.: Энергия, –2000. –125 с.
- [8]. Orucov, Y.B. Elektrik maşınları / Y.B.Orucov. –Gəncə: ADAU, –2009, –s. 140.
- [9]. Balayeva, Ə.H. Dolaqları yanmış və texniki göstəriciləri məlim olmayan asinxron mühərrikinin sarğılarının və texniki göstəricilərinin bərpası // Azərbaycan Dillər Universiteti, Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XVIII Respublika Elmi Konfransı. –Bakı, –2013, –s. 276-278
- [10]. Balayeva, Ə.H., Use Of Mechanical Braking Energy In Vehicles As Electricity And Hydrogen Energy // International Association for Hydrogen Energy, Miami, Florida, United States of America, –2023, –C. 48, –s. 31023-31039
- [11]. Бабаев, А.Д., Ахмедов, А.Д., Джафаров Ш.О., Балаева, А.Г. Критерии оценки качества в сыпной обмотки статора асинхронного электродвигателя по завершению процесса // НАА, СГУ, АТУ, Материалы VII Международной научно-технической конференции, – Сумгаит, –2013, –с.117-119.
- [12]. Balayeva, Ə.H. Elektriki və qeyri elektriki qüsurların təyini və onların xarakteristikalarının göstəriciləri // SDU, Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış Energetika İnstitutu, Beynəlxalq konfrans, –Sumqayıt, –2015, –s.138-140.
- [13]. Əmrəliyev, A.B. Sinxronlaşdırılmış asinxron maşının bazasında uzununa – eninə universal təsirlənmə sistemi / A.B.Əmrəliyev, H.M.Nacıbalayev, Ə.H.Balayeva [və b.] //–Bakı, Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası, Elmi əsərlər, №1, –2015, –s.83-87.
- [14]. Иванов-Смоленский, А.В. Универсальный метод расчета электромагнитных процессов в электрических машинах / А.В.Иванов-Смоленский, Ю.В. Абрамкин, А.И. Власов, [и др.]. Под редакцией Иванова-Смоленского А.В. –М.: Энергоатомиздат, –2004, –245 с.
- [15]. Məmmədov, F.İ. Elektrik mühərriklərinin dolaqlarına texniki nəzarət, dolaqlarda zədə yerlərinin təyin olunma üsulları / F.İ.Məmmədov, Ə.H.Balayeva // SDU Elmi xəbərlər jurnalı, Təbiət və texniki elmlər bölməsi, –C.15, №1, –2015, –s.63-70

Summary

Research of methodology for preparation and placement of electric transmission motor windings

Balayeva A.H.

Key words: *winding, pole division, stator slots, asynchronous motor, winding pitch, stator core.*

The article examines the causes of defects in modern electric motors used in various industries, the national economy and the oil industry, the technology of manufacturing coils and windings of existing electric motors during major repairs to achieve their high reliability and useful efficiency, and the classification of coils. At the same time, the placement of coils in slots according to the magnetic circuit of the stator, the determination of pole division and phase windings are considered.

Резюме

Исследование методологии подготовки и размещения обмоток электродвигателя

Балаева А.Г.

Ключевые слова: *обмотка, полюсное деление, пазы статора, асинхронный двигатель, шаг обмотки, сердечник статора.*

В статье рассматриваются причины возникновения дефектов современных электродвигателей, используемых в различных областях производства, народного хозяйства и нефтяной промышленности, технология изготовления обмоток и катушек действующих электродвигателей при капитальном ремонте для достижения высокой надежности и полезного КПД при эксплуатации электродвигателей, классификация обмоток. При этом рассматривались вопросы размещения катушек в пазах по магнитной цепи статора, определения полюсного деления и фазности катушек.

Sistem modelləşdirmə və təhlilin layihə söylərinə təsiri¹Hüseynova Həyat Şahin qızı [ORCID](#)²Nağıyeva Mələhət Vahid qızı [ORCID](#)

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat universiteti, Bakı, Azərbaycan, 1,2-assistent
huseynovahayat59@gmail.com ; melahet.naqiyeva@gmail.com

MƏQALƏ HAQQINDA MƏLUMAT	XÜLASƏ
Məqalənin tarixçəsi Daxilolma tarixi: 25.05.2025 Düzəliş tarixi: 20.07.2025 Qəbul olunma tarixi: 04.12.2025	Bu tədqiqat sistemli təhlil və modelləşdirmənin problemləri və həll məkanının anlaşılmasında rolunu araşdırır. Əsas məqsəd, qarşılıqlı münasibətlərdə yanaşmaların modelləşdirilməsi və təhlilinin effektivliyini müəyyən etməkdir. Tədqiqat çərçivəsində qeyri-funksional tələblər, sistemin dizayn xüsusiyyətləri və kritik texnologiyalar arasındakı əlaqələr əsasında sistemin modelləşdirilməsi üçün addım-addım yanaşma tətbiq edilir. Layihənin yaradılması prosesində kontekst və sistem xüsusiyyətləri təhlil olunur. Nəticə olaraq, modelləşdirmənin memarlıq söylərini dəstəklədiyi və layihənin hədəflərinə çatmaq üçün düzgün spesifikasiya, dizayn və optimal qərar qəbul etmə prosesini təmin etdiyi müəyyən edilir
Açar sözlər modelləşdirmə, yanaşmalar, söylər, qeyri-funksional tələblər, təhlil, təsir	

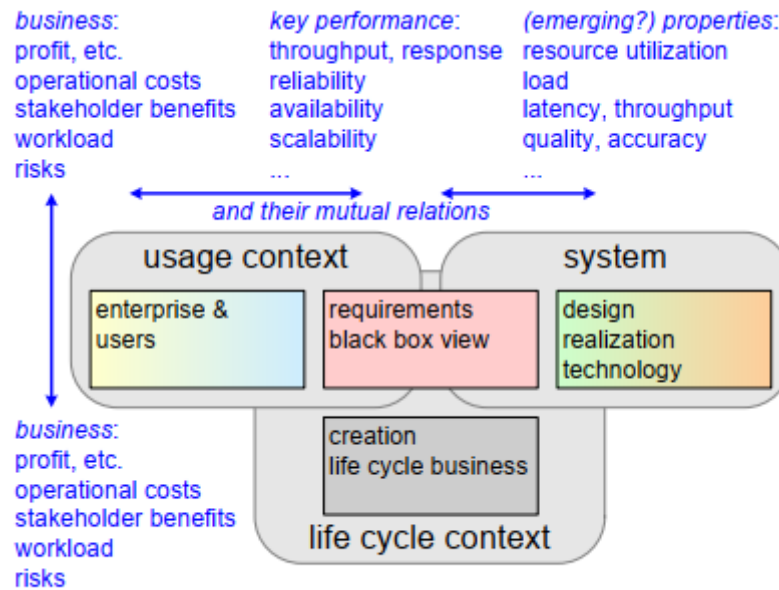
Giriş

Müasir dünyada informasiya sistemləri təşkilatların fəaliyyətini optimallaşdırmaq və qərar qəbul etmə prosesini dəstəkləmək üçün vacib alətlərdən biridir. Bu sistemlər verilənlərin toplanması, emalı və idarə olunmasını təmin edərək, müstəqil proseslərin təhlilinə kömək edir və sistemli iş fəaliyyətini dəstəkləyir. Dəqiq və düzgün biliklərin təmin olunması isə təşkilat daxilində strateji qərarların qəbulunda kritik rol oynayır.

İlkin modelləşdirmə və təhlil söyləri problemin və həll məkanının anlaşılmasına imkan yaradır. Layihə irəlilədikcə, modelləşdirmənin məqsədi spesifikasiyanın hazırlanmasına yönəlir və dizayn alternativlərinin müəyyənəşdirilməsinə fokuslanır. Reallaşdırma mərhələsinə keçid zamanı model və reallaşdırma yoxlama məqsədilə müqayisə edilə bilər. Modelin əsas funksiyası sistemin struktur arxitekturasını təsvir etməkdir [1,4].

Bu tədqiqatda modelləşdirmənin memarlıq söylərini necə dəstəklədiyi və layihə məqsədlərinə çatmaq üçün düzgün spesifikasiya, dizayn və optimal qərar qəbul etmə prosesinə necə töhfə verdiyi araşdırılır. Düzgün spesifikasiya və dizayn isə müştəri məmuniyyəti, risk səviyyəsi, layihə məhdudiyyətlərinə uyğunluq (xərc, say, vaxt) və biznesin davamlılığı (mənfəət marjası) baxımından qiymətləndirilir. Bu məqsədə nail olmaq üçün dəqiq məlumat, modelləşdirmə nəticələrinin düzgünlüyü, kifayət qədər dəqiqlik, işləmə diapazonu və etibarlılıq vacibdir.

Modelləşdirmə və təhlil yanaşmalarına ümumi baxış. Təklif olunan metodologiya sistemin sadə modelindən və onun kontekstindən istifadə etməklə həyata keçirilir. Bu yanaşma həm funksional, həm də davranış modellərinin tətbiqini nəzərdə tutur. Sistem daxilindəki komponentlər – dizayn, reallaşdırma, texnologiya seçimləri və onların nəticələri də modelləşdirilir. Modelləşdirmə və təhlil prosesi sistemin strukturunun və fəaliyyətinin daha dərinədən anlaşılmasına, həmçinin optimal qərarların qəbuluna şərait yaradır [2, 6].



Şəkil 1. Sistemin sadə modeli və konteksti

Modelləşdirmənin əsas məqsədi layihənin reallaşdırılması və inkişaf prosesinə dəstək verməkdir. Layihənin məqsədi isə həmişə müəyyən bir kontekstdə sistemi qurmaq və tətbiq etməkdən ibarətdir. Bu yanaşma istifadə və həyat dövrü kontekstlərinin necə modelləşdirilməli olduğunu müəyyənləşdirməyə kömək edir.

Sistemlərin inkişafında çox vaxt infrastrukturadan başlayaraq texniki xidmətlərə və daha yüksək səviyyəli tətbiq xidmətlərinin dəstəklənməsinə qədər sistemin həyat dövrünə diqqət yetirən bir xidmət təminatçısı maraqlı tərəf kimi iştirak edir.

Sistem və onun konteksti üçün müxtəlif modellər yaradıla bilər. Bu modellərdən bəzilərini yuxarıdakı sxemdə müşahidə etmək mümkündür. Bununla belə, modelləşdirmə prosesinin effektiv olması üçün əsas diqqət sistemin "qara qutu" görünüşünə, dizaynına və sistem ilə kontekst arasındakı qarşılıqlı əlaqələrə yönəlməlidir. Bir daha vurğulamaq lazımdır ki, modelləşdirmə özü əsas məqsəd deyil, layihənin reallaşdırılması və sistemin funksionallığını dəstəkləmək üçün bir vasitədir.

Modelləşdirmə və təhlil: sistem modelləri

Hansı faiz sisteminin modelinin hazırlanması vacibdir? Bu suala cavab olaraq, qeyri-funksional tələblər, sistemin dizayn xüsusiyyətləri və kritik texnologiyalar arasındakı əlaqələrə əsaslanaraq sistemin modelləşdirilməsinə addım-addım yanaşma təqdim ediləcəkdir. Modelləşdirmə prosesi bir neçə nümunə veb-mağazası vasitəsilə izah olunacaq.

Modelləşdirmə zamanı diqqətimizi performans, etibarlılıq, əlçatanlıq, miqyaslanma bilənlik və saxlama qabiliyyəti kimi qeyri-funksional tələblərə yönəldəcəyik. Burada funksional tələblər və sistemin dağılması, sistem memarlığı və dizayn fəaliyyətləri ilə əlaqələndirilir. Təcrübədə bir çox qeyri-funksional tələblər, əsasən zaman və diqqət çatışmazlığı səbəbindən, tez-tez göz ardı edilir.

Yüksək risk hesab edilən bəzi qeyri-funksional tələbləri modelləşdirib təhlil etməklə risklərin azaldılması tövsiyə olunur. Xarici görünüşdən asılı olaraq, sistemin xüsusiyyətləri resurs istifadəsi, yük, gecikmə, ötürmə qabiliyyəti, keyfiyyət, dəqiqlik və dəyişən girişlərə və ya dəyişikliklərə həssaslıq kimi dizayn aspektlərindən asılıdır.

Qeyd etmək lazımdır ki, bu xüsusiyyətlər də çox zaman vaxt və ya diqqət çatışmazlığı səbəbindən nəzərə alınmır. Bu xüsusiyyətlərin dizaynı yalnız sistemin xarici görünüşünü müəyyənləşdirmir, həm də seçilmiş texnologiyaların sistemin performansına və keyfiyyətinə göstərdiyi təsiri nəzərə almağı tələb edir. Buna görə də fərdiləşdirmə və konfigurasiya üçün mühüm

texnologiyalar — məsələn, keşləmə, yük balanslaşdırılması, təhlükəsizlik divarları, virtual şəbəkələr və XML kimi elementlər — diqqətlə nəzərdən keçirilməlidir [3].

Sistemin modelləşdirilməsinə addım-addım yanaşma

Sistemlərin ilkin tədqiq edildiyi yanaşmalar: nə aktualdır, nə vacibdir?

İlkin mərhələdə sistemlərin tədqiqi zamanı aktual və vacib məsələlərin müəyyən edilməsi ön plana çıxır. Daha sonra isə ən vacib məsələlər modelləşdirilir:

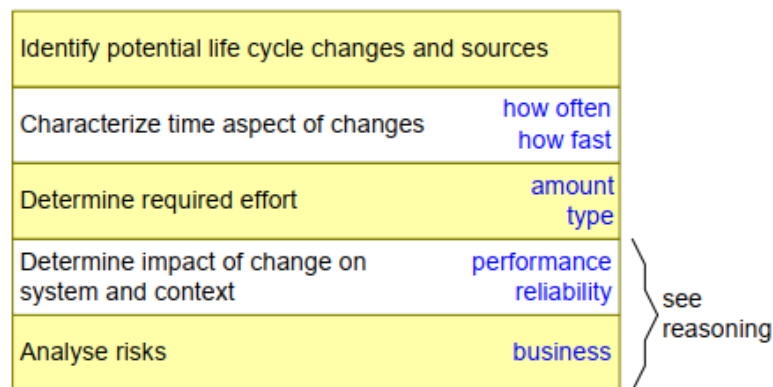
1. **Qeyri-funksional tələblərin (NFR) müəyyən edilməsi:** Uyğunluğun çox vaxt kontekstlə müəyyən edildiyi müvafiq qeyri-funksional tələbləri müəyyən edin. Bu zaman həm istifadə konteksti, həm də həyat dövrü konteksti nəzərə alınmalıdır.
2. **Sistem dizayn xüsusiyyətlərinin müəyyən edilməsi:** Qeyri-funksional tələblərə və ya dizaynın özünə baxaraq, müvafiq sistemin dizayn xüsusiyyətlərini müəyyən edin. Burada əsas sual budur: dizaynla bağlı ən böyük narahatlıqlar hansılardır?
3. **Kritik texnologiyaların müəyyən edilməsi:** Kritiklik müxtəlif səbəblərə əsaslanı bilər, məsələn:
 - Əməliyyat limitlərinə yaxın işləmə,
 - Yeni və sınaqdan keçirilməmiş komponentlərin istifadəsi,
 - Naməlum xüsusiyyətlərə malik mürəkkəb funksiyalar,
 - Dəyişikliklərə və ya ətraf mühit şəraitinə yüksək həssaslıq və s.
4. **Əlaqələr qrafikinə yaradılması:** Qeyri-funksional tələbləri əsas texnologiyalar və dizayn xüsusiyyətləri ilə əlaqələndirmək üçün əlaqələr qrafiki yaradın. Bu, tələblər, xüsusiyyətlər və texnologiyalar arasındakı qarşılıqlı təsiri vizuallaşdırmağa imkan verir.

Modelləşdirmə və təhlil - mühakimə

Layihənin yaradılması prosesində kontekst və sistem xüsusiyyətləri təhlil edilir. Modelləşdirmə, bir çox maraqlı tərəfin müzakirələri, təcrübəsi və biliklərinə əsaslanır. Lakin bəzi xüsusiyyətlər açıq şəkildə müəyyən edilə bilmir. Əhəmiyyətli, dəyərli və ya kritik xüsusiyyətlər modelləşdirmə vasitəsilə daha dəqiq təhlil oluna bilər.

Müasir sistemlərin ölçüsü və mürəkkəbliyi nəzərə alındıqda, kontekst əsaslı modul modelləşdirmə yanaşmasının tətbiqi daha məqsədəuyğun hesab edilir. Böyük və universal bir modelin qurulması mümkün deyil. Bunun əvəzinə, bir-biri ilə əlaqəli, lakin kiçik və sadə modellər yaradılır ki, bu da sistemin mürəkkəbliyinin daha yaxşı idarə olunmasına imkan verir.

İlkin layihələndirmə mərhələsində sərt faktlar, sorğular, maraqlı tərəflərin fikirləri və ölçmə məlumatları kimi müxtəlif fragmentar məlumatlar mövcud olur. Bu mərhələdə müəyyən dərəcədə xaos müşahidə olunsada, bu, təbii və zəruri bir prosesdir. Modelləşdirmə və təhlil vasitəsilə bu xaos strukturlaşdırılır və sistematik bir yanaşmaya çevrilir.



Şəkil 2. Həyat dövrü modelləşdirmə yanaşması

Yuxarıdakı rəqəm sistemin həyat dövrü modelinin qurulmasına istiqamətlənmiş addım-addım yanaşmanı təsvir edir. Bu proses aşağıdakı əsas mərhələləri əhatə edir:

- **Mümkün həyat dövrü dəyişikliklərinin və onların mənbələrinin müəyyən edilməsi** – Sistem daxilində baş verə biləcək dəyişikliklər və onların əsas səbəbləri analiz edilir.
- **Dəyişikliklərin zaman aspektinin təhlili** – Dəyişikliklərin nə qədər tez-tez baş verdiyi və onların həyata keçirilməsi üçün tələb olunan reaksiya müddəti qiymətləndirilir.
- **Tələb olunan resursların və səylərin müəyyən edilməsi** – Dəyişikliklərin reallaşdırılması üçün tələb olunan resursların və səylərin miqdarı və növü müəyyən edilir. Bu, vaxt, maliyyə və insan resursları kimi əsas amilləri əhatə edir.
- **Dəyişikliyin sistemə və kontekstə təsirinin təhlili** – Dəyişikliklərin sistemin əsas xüsusiyyətlərinə (məsələn, performans, etibarlılıq, təhlükəsizlik, xərc və s.) təsiri qiymətləndirilir.
- **Biznes üçün risklərin qiymətləndirilməsi** – Potensial risklər analiz edilir, o cümlədən bir neçə saat və ya gün gecikmənin maliyyə və əməliyyat aspektlərində yarada biləcəyi təsirlər müəyyən edilir.

business volume	www.homes4sale.com
product mix	www.apple.com/itunes/
product portfolio	www.amazon.com
product attributes (e.g. price)	www.ebay.com
customers	www.shell.com
personnel	www.stevens.edu
suppliers	www.nokia.com
application, business processes	stock market
et cetera	insurance company
	local Dutch cheese shop

Şəkil 3. Biznesin daxili amilləri

Həyat dövrü boyunca dəyişən elementlər və məlumat transformasiyası

Sistemlərin həyat dövrü ərzində bir sıra elementlər dəyişə bilər. Məsələn, biznesin həcmi və fəaliyyət sahəsi zamanla transformasiyaya uğraya bilər ki, bu da sistemə daxil olan və emal edilən məlumatların həcminə və xarakterinə birbaşa təsir göstərir. Dəyişikliklərin intensivliyi və miqyası isə biznesin növü və fəaliyyət sahəsi ilə sıx əlaqəlidir.

Məsələn, daşınmaz əmlak portalında hər bir obyekt unikal xüsusiyyətlərə malik olub, çoxsaylı atributlar vasitəsilə təsvir olunur və adətən yalnız bir dəfə satılır. Digər tərəfdən, iTunes kimi musiqi internet mağazalarında eyni məhsul (musiqi treki və ya albom) çoxsaylı istifadəçilərə dəfələrlə təqdim olunur. Bu fərqlər sistemlərin məlumat idarəetmə strategiyasına, arxitekturasına və infrastruktur dizaynına əhəmiyyətli təsir göstərir.

Yuxarıda təqdim olunan rəqəm veb-saytlarda əlavə funksional variantların və sistemin dəyişən amillərə uyğunlaşma mexanizmlərinin modelləşdirilməsini nümayiş etdirir. [2,5]

Məlumat transformasiyasının mənbə və təsirləri

Məlumat transformasiyasının mənbəyi, həmin transformasiyanın təsirini birbaşa müəyyən edən əsas amildir. Ön mühüm fərqlərdən biri avtomatlaşdırılmış sistemlərdən (məsələn, verilənlər bazaları) daxil edilən məlumatlarla, insanlar tərəfindən daxil edilən məlumatlar arasındakı fərqlə bağlıdır:

- **Avtomatlaşdırılmış mənbələr** – Verilənlər bazalarından və digər avtomatik sistemlərdən daxil edilən məlumatlar adətən daha dəqiq və sabit olur. Lakin, məlumatın səhv ehtimalı ilkin məlumatların keyfiyyətinə və sistemin işləmə mexanizmlərinə bağlıdır.

Автоматлашdırılmış sistemlərdə məlumatın düzgünlüyü, proqram təminatının düzgün işləməsi və məlumatın vaxtında yenilənməsi ilə əlaqəlidir.

- **İnsanlar tərəfindən daxil edilən məlumatlar** – İnsan girişləri təbii olaraq səhvlərə meyllidir. Tədqiqatlara əsasən, hər 100 insan hərəkətindən təxminən 3-ü səhv olur. Bununla yanaşı, insanlar çevik və adaptiv olduqları üçün, səhvləri tez bir zamanda düzəldə bilirlər. Ancaq, çoxsaylı insan girişləri səhvlərin sistemə sirayət etməsinə səbəb ola bilər və nəticədə verilənlərin keyfiyyətini pisləşdirə bilər.

Nəticə. Bu məqalədə sistem modelləşdirmə və təhlilin layihə söylərini dəstəkləməkdəki rolu araşdırılmışdır. Qeyri-funksional tələblər, kritik texnologiyalar və sistemin həyat dövrü ərzində baş verə biləcək dəyişikliklər modelləşdirmə prosesində əsas faktorlar kimi müəyyən edilmişdir. Modelləşdirmə, sistem dizaynının optimallaşdırılmasına, risklərin azaldılmasına və düzgün qərar qəbul edilməsinə müsbət təsir göstərir. İnsan və avtomatlaşdırılmış sistemlər tərəfindən daxil edilən məlumatların keyfiyyəti, sistem performansına birbaşa təsir edir və bu, layihənin uğurlu icrası üçün vacibdir. Gələcəkdə modelləşdirmə prosesinin təkmilləşdirilməsi üçün süni intellekt və avtomatik analiz alətlərinin istifadəsi tövsiyə olunur, çünki bu texnologiyalar daha yüksək dəqiqlik və səmərəlilik təmin edə bilər.

Ədəbiyyat

- [1]. Bass, L., Clements, P., & Kazman, R. (3rd ed.). Software Architecture in Practice // Addison-Wesley. –2012.
- [2]. Sommerville, I. Software Engineering (10th ed.) // Pearson. –2016.
- [3]. Garlan, D., & Shaw, M. An Introduction to Software Architecture // Advances in Software Engineering and Knowledge Engineering. –1993.
- [4]. IEEE Std 1471-2000. IEEE Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems.
- [5]. Boehm, B., & Turner, R. Balancing Agility and Discipline: A Guide for the Perplexed. Addison-Wesley. 2004
- [6]. ISO/IEC/IEEE 42010:2011. Systems and Software Engineering — Architecture Description.

Summary

The Impact of Systems Modeling and Analysis on Project Efforts

Huseynova H.Sh., Naghiyeva M.V

Keywords: modeling, approaches, efforts, non-functional requirements, analysis, impact.

This study investigates the role of systematic analysis and modeling in understanding problems and solution spaces. The primary objective is to assess the effectiveness of modeling and analysis approaches in managing interrelationships. A step-by-step methodology is applied to system modeling based on the relationships among non-functional requirements, system design characteristics, and critical technologies. Throughout the project development process, the context and system attributes are analyzed. The findings indicate that modeling supports architectural efforts by facilitating proper specification, design, and optimal decision-making processes to achieve project objectives.

Резюме

Влияние системного моделирования и анализа на проектные усилия

Гусейнова Х.Ш., Нагиева М.В.

Ключевые слова: моделирование, подходы, усилия, нефункциональные требования, анализ, воздействие.

В этом исследовании изучается роль систематического анализа и моделирования в понимании проблем и пространств решений. Основная цель — оценить эффективность подходов моделирования и анализа в управлении взаимосвязями. Пошаговая методология применяется к моделированию системы на основе взаимосвязей между нефункциональными требованиями, характеристиками проектирования системы и критическими технологиями. На протяжении всего процесса разработки проекта анализируются контекст и атрибуты системы. Результаты показывают, что моделирование поддерживает архитектурные усилия, способствуя правильному определению спецификации, проектированию и принятию оптимальных решений для достижения целей проекта.

Şəbəkə strukturu və alt şəbəkə topologiyası analizi¹Nuraliyev Camaləddin Ağabala oğlu [ORCID](#)²Məmmədli Məryam İqbal qızı [ORCID](#)

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Bakı, Azərbaycan, 1,2 - assistent
camal.nuraliyev@mail.ru ; maryammammadli@gmail.com

MƏQALƏ HAQQINDA MƏLUMAT	XÜLASƏ
Məqalənin tarixçəsi Daxilolma tarixi: 27.05.2025 Düzəliş tarixi: 03.07.2025 Qəbul olunma tarixi: 26.11.2025	Məqalədə “İnformasiya Texnologiyaları” üzrə fəaliyyət göstərən müəssisənin lokal kompüter şəbəkəsinin strukturu və informasiya təhlükəsizliyinin təmin olunması məsələləri təhlil olunur. Şəbəkə ulduz topologiyası əsasında qurulub və fiber optik kabellərlə birləşdirilən avadanlıqlardan – açar, router, konsentrator və s. – istifadə edilir. Məlumatların qorunması üçün giriş nəzarəti, MAC və IP ünvanlarına əsaslanan məhdudiyyətlər tətbiq edilir. Təhlükəsizlik siyasətinin hazırlanması, istifadəçi hüquqlarının düzgün bölüşdürülməsi və sistemə müdaxilələrin qarşısının alınması üzrə tövsiyələr verilir. Məqalə informasiya təhlükəsizliyinin təmin edilməsinə dair praktiki yanaşmaları təqdim edir. Lokal şəbəkə çərçivəsində informasiya təhlükəsizliyinin təmin edilməsi məqsədilə təşkilati və texniki tədbirlərin əhəmiyyəti vurğulanır, istifadəçilər üçün davranış qaydaları və təhlükəsizlik siyasətinin əsas istiqamətləri müəyyən edilir
Açar sözlər şəbəkə, fiber optik kabel, topologiya, açar, MAC ünvan	

Giriş

İnformasiya təhlükəsizliyi məsələsi insanlar yazdığı öyrənəndən bəri gündəmə gəlib. Hər kəsin bilməməli olduğu məlumatlar həmişə olub. Belə məlumatlara sahib olan insanlar onu qorumaq üçün müxtəlif üsullara əl atırdılar. Tanınmış nümunələrə gizli yazı və şifrələmə kimi üsullar daxildir. Universal kompüterləşmənin mövcud olduğu indiki dövrdə bir çox insanların rifahı və hətta həyatı informasiyanın emalı üçün bir çox kompüter sistemlərinin informasiya təhlükəsizliyinin təmin edilməsindən, həmçinin müxtəlif obyektlərin idarə edilməsindən və idarə olunmasından asılıdır. Belə obyektlərə telekommunikasiya sistemləri, bank sistemləri, atom elektrik stansiyaları, hava və yerüstü nəqliyyata nəzarət sistemləri, məxfi məlumatların emalı və saxlanması sistemləri daxildir. Müasir müəssisə şəbəkələrində təhlükəsizlik nəzarəti və monitoring sistemlərinin tətbiqi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. [1] Hazırda digər insanların məxfi məlumatlarına və ya sirlərinə icazəsiz şəkildə nüfuz etmək üçün aşağıdakı texniki vasitələrdən istifadə olunur:

- əvvəlcədən quraşdırılmış radio-casus qurğularından və ya səs-yazma cihazlarından istifadə etməklə qapalı məkanlarda və ya nəqliyyat vasitələrində aparılan söhbətlərin gizli dinlənilməsi;
- telefon rabitəsi, faks xətləri və radiostansiyalara nəzarət və onların vasitəsilə məlumat ötürülməsinə müdaxilə;
- müxtəlif texniki vasitələrdən, xüsusilə lokal kompüter şəbəkələri üzərindən, kompüter monitorları, printerlər və digər elektron cihazlardan məlumatların uzaqdan axtarışı və ələ keçirilməsi. “maraqlı söhbətlərin” getdiyi otaqda pəncərə şüşələrinin lazerlə şüalanması.
- Məlumat toplamaq üsullarının bolluğuna xüsusi mühafizə adlanan çoxlu sayda təşkilati və texniki üsullar qarşı çıxır. Xüsusi mühafizənin əsas sahələrindən biri dinləmə avadanlığının axtarışı və ya axtarış fəaliyyətidir.

Məsələnin qoyuluşu. Müasir müəssisələrdə şəbəkə infrastrukturunun təhlükəsiz və səmərəli təşkili mühüm əhəmiyyət daşıyır. “İnformasiya Texnologiyaları” üzrə fəaliyyət göstərən müəssisənin lokal şəbəkəsində məlumatların qorunması və idarə olunması üçün effektiv texnologiyaların və topologiyaların tətbiqi zəruridir. Məqalədə məqsəd, bu şəbəkənin texniki quruluşunu və informasiya təhlükəsizliyinin təmin olunması yollarını təhlil etməkdir.

Məsələnin həlli. Avtomatlaşdırılmış İdarəetmə Sistemi (AİS) şəbəsi ulduz formalı alt şəbəkə topologiyasına malikdir. Bütün kompüterlər fiber optik kabel vasitəsilə şlüzlə birləşdirilən bir keçidə qoşulur. Ulduz (Şəkil 1) şəbəkədəki bütün kompüterlərin fiziki şəbəkə seqmentini təşkil edən mərkəzi qovşaqla birləşdirildiyi əsas kompüter şəbəkəsi topologiyasıdır. Hublar və açarlar mərkəzi qovşaq kimi istifadə olunur. Şəbəkə seqmentləri mürəkkəb şəbəkə topologiyasının (“ağac”) bir hissəsi kimi fəaliyyət göstərir. Bütün məlumat mübadiləsi yalnız mərkəzi qovşaq vasitəsilə baş verir, bu şəkildə çox böyük bir yükə məruz qalır, buna görə də şəbəkədən başqa bir şey edə bilməz. Prinsipcə, ulduz topologiyası olan şəbəkədə hər hansı konflikt mümkün deyil, çünki idarəetmə tamamilə mərkəzləşdirilmişdir. [2]



Şəkil 1. Ulduz topologiyası



Şəkil 2. Cisco SRW2024-EU keçidi

Şəbəkə avadanlıqlarının əsas texniki xüsusiyyətləri aşağıdakılardır:

“İnformasiya Texnologiyaları” üzrə fəaliyyət göstərən müəssisənin LAN şəbəkəsində istifadə olunan avadanlıq:

- Açarlar (Şəkil 2);
- Konsentrator
- Router
- Fiber optik kabel
- UTP və SFTP

Texniki spesifikasiyalar:

- Cihaz Tipi: İş Qrupu Keçici;
- Mühafizə: Raka quraşdırıla bilən korpus;
- Şəbəkə növü: Gigabit Ethernet, Fast Ethernet;
- Əsas portların sayı: 24;
- MDI: 24 avtomatik keçid portu;
- Göstəricilər;
- aktiv əlaqə;
- enerji təchizatı.

Dəstəklənən standartlar aşağıda verilmişdir:

- IEEE 802.1p (Prioritetləşdirmə)
- IEEE 802.1Q (VLAN)

- IEEE 802.1X
- IEEE 802.3 (Ethernet)
- IEEE 802.3ab (TP Gigabit Ethernet)
- IEEE 802.3af (ethernet üzərindən güc)
- IEEE 802.3u (Fast Ethernet)
- IEEE 802.3x (Axına Nəzarət)

Sertifikatlar: CE Mark, EN 60950, UL-1950

İnterfeyslər:

- 24 x Ethernet 10/100/1000BaseT • RJ-45 (avtomatik MDI-II/MDI-X portu)
- 2 x GBIC • Mini-GBIC

Enerji təchizatı:

- daxili enerji təchizatı 100/240V (AC)

Ölçülər: (Hündürlük x Eni x Dərinlik), Çəki: 43 x 4,5 x 35 sm, 3,4 kq

Cisco Systems FastHub 200 Series kiçik işçi qrupları və server təsərrüfatları üçün ən aşağı qiymətə, idarə olunan 100BaseT konsentrator həllini təklif edir. Bu müstəqil hublar 100 Mbps performansını və Cisco IOS texnologiyası vasitəsilə integrasiya olunmuş idarəetmə imkanlarını çox aşağı qiymətli həldə birləşdirir.

Routerlərin, kommutatorlar və hublar üçün oxşar məqsədi var, lakin onunla fərqlənir ki, açarlar və mərkəzlər yerli şəbəkələr üçün alətdir, marşrutlaşdırıcı isə qlobal şəbəkə vasitəsidir. Onun vəzifəsi paketi müəyyən bir alt şəbəkəyə yönəltməkdir. Router, şəbəkə topologiyası və müəyyən qaydalar haqqında məlumat əsasında müxtəlif şəbəkə segmentləri arasında şəbəkə qatı paketlərinin (OSI modelinin 3-cü qatı) yönləndirilməsi ilə bağlı qərarlar qəbul edən şəbəkə cihazıdır. Router məlumat paketlərində göstərilən təyinat ünvanından istifadə edir və marşrutlaşdırma cədvəlindən verilənlərin ötürülməli olduğu yolu müəyyən edir. Əgər ünvan üçün marşrut cədvəlində təsvir edilmiş marşrut yoxdursa, paket atılır.

Fiber optik kabel ikili məlumatları ötürmək üçün işıq impulslarından istifadə edir. Fiber optik kabel elektrik əvəzinə işıqdan (fotonlardan) istifadə etdiyi üçün mis kabellə bağlı elektromaqnit müdaxiləsi, çarpazlaşma (kəsişmə) və torpaqlama ehtiyacı kimi demək olar ki, bütün problemlər tamamilə aradan qaldırılır. Bundan əlavə, spesifik zəifləmə əhəmiyyətli dərəcədə azaldılır, bu da 120 km-ə çatan daha böyük məsafələrdə siqnalın bərpası olmadan fiber optik əlaqələrin genişləndirilməsinə imkan verir. [3]

Fiber optik kabel rütubətə və digər xarici şərtlərə həssas olmadığı üçün şəbəkə magistral xətləri yaratmaq üçün və xüsusilə binalar arasında birləşmələr üçün idealdır. O, həmçinin mis ilə müqayisədə ötürülən məlumatların artan məxfiliyini təmin edir, çünki o, elektromaqnit şüalanma yaymır və onun bütövlüyünü pozmadan ona qoşulmaq demək olar ki, mümkün deyil.

Optik lif, nüvə adlanan, üzlük adlanan şüşə təbəqəsi ilə örtülmüş, nüvədən fərqli sındırma indeksinə malik olduqca nazik şüşə silindridir. Bəzən optik lif plastikdən hazırlanır. Plastikdən istifadə etmək daha asandır, lakin şüşə lifdən daha qısa məsafələrə işıq impulslarını ötürür. Hər bir şüşə lif siqnalları yalnız bir istiqamətdə ötürür, buna görə də kabel ayrı-ayrı bağlayıcıları olan iki lifdən ibarətdir. Onlardan biri ötürmə, digəri isə qəbul üçün istifadə olunur. Liflərin sərtliyi plastik örtüklə, möhkəmliyi isə Kevlar lifləri ilə artır.

Bükülmüş cüt, bir-birinə bükülmüş bir və ya bir neçə cüt izolyasiya edilmiş keçiricilərdən (vahid uzunluqda az sayda növbə ilə) ibarət olan və plastik örtüklə örtülmüş rabitə kabeli növüdür. Konduktorların burulması bir cütün keçiriciləri arasında əlaqə dərəcəsini artırmaq (elektromaqnit müdaxiləsi cütün hər iki naqilinə bərabər təsir göstərir) və sonradan xarici mənbələrdən elektromaqnit müdaxiləsinin azaldılması, həmçinin diferensial siqnalların ötürülməsi zamanı qarşılıqlı müdaxilə üçün həyata keçirilir. Ayrı-ayrı kabel cütlərinin birləşməsini azaltmaq üçün (müxtəlif cütlərin keçiricilərinin dövrü yaxınlaşması), 5 və daha yüksək kateqoriyalı UTP kabellərində cütün telləri müxtəlif addımlarla bükülür.

LAN-da iki növ kabeldən istifadə olunur:

- ekranlaşdırılmamış burulmuş cüt (UTP) - fərdi cütün ətrafında qoruyucu qalxan yoxdur;
- folqa ilə qorunan burulmuş cüt (S/FTP) - mis hörükdən hazırlanmış xarici ekran və hər bir cüt folqa hörükdə.

Girişə nəzarət subyektlərin (istifadəçilər, proseslər) obyektlər (informasiya və digər kompüter resursları) üzərində yerinə yetirə biləcəyi hərəkətləri dəqiqləşdirməyə və idarə etməyə imkan verir.

Söhbət proqram təminatı ilə həyata keçirilən məntiqi giriş nəzarətindən gedir. Məntiqi giriş nəzarət obyektlərin məxfiliyini və bütövlüyünü və icazəsiz istifadəçilərə xidmət göstərilməsini qadağan etməklə onların ölçəcanlığını təmin etmək üçün nəzərdə tutulmuş çoxistifadəçili sistemlərin əsas mexanizmidir.

Giriş hüquqlarına nəzarət proqram təminatı mühitinin müxtəlif komponentləri - əməliyyat sisteminin nüvəsi, əlavə təhlükəsizlik vasitələri, verilənlər bazası idarəetmə sistemi, vasitəçi proqram təminatı və s. tərəfindən həyata keçirilir. Müasir təhlükəsizlik standartlarına görə, hər bir istifadəçi və sistem komponenti "etibarsız" sayılmalı, giriş yalnız çoxpilləli autentifikasiya və kontekstə əsaslanan icazə ilə təmin edilməlidir. [4] Giriş icazəsi verilməsinə qərar verərkən, adətən, aşağıdakı məlumatlar təhlil edilir:

- Mövzu identifikatoru (istifadəçi identifikatoru, kompüter şəbəkəsinin ünvanı) – belə identifikatorlar könüllü girişə nəzarət üçün əsasdır; [5]

- Mövzu atributları (təhlükəsizlik etiketi, istifadəçi qrupu); Təhlükəsizlik etikətləri məcburi giriş nəzarəti üçün əsasdır;

- Fəaliyyət yeri (sistem konsolu, etibarlı şəbəkə qovşağı);
- Fəaliyyət vaxtı (əksər hərəkətlərə yalnız iş saatlarında icazə vermək məsləhətdir);
- Daxili xidmət məhdudiyyətləri (proqram lisenziyasına uyğun olaraq istifadəçilərin sayı).

Müəyyən bir işçi qrupuna eyni giriş hüquqlarını təmin etmək zərurəti yaranarsa, ixtisaslaşdırılmış girişlərdən daha çox qrup girişlərindən istifadə etmək daha yaxşıdır. Bu halda, hər bir giriş istifadəçisinin öz identifikatoru və şifrəsi ilə ayrıca "alt giriş" var, lakin şəbəkə sistemi ilə işləyərkən qrup girişinin bütün abunəçilərinə bərabər hüquqlar verilir.

"İnformasiya Texnologiyaları müəssisəsi" Açıq Səhmdar Cəmiyyətində kompüterdən istifadəsinə icazə verilən hər bir əməkdaşa fərdi identifikator (login) və parol verilir. Bu məlumatlar vasitəsilə əməkdaş informasiya email sisteminə daxil olur. Təhlükəsizliyi artırmaq və məlumatların qorunmasını təmin etmək məqsədilə LAN daxilində IP və MAC ünvanları əsasında giriş məhdudiyyətlərinin tətbiqi mümkündür. IP ünvanı IP protokolundan istifadə edərək qurulmuş kompüter şəbəkəsindəki qovşağın şəbəkə ünvanıdır; həm yerli, həm də qlobal şəbəkələrdə unikal ünvandır. MAC ünvanı müxtəlif növ kompüter şəbəkəsi avadanlıqları ilə əlaqəli unikal identifikatordur. [6]

İstifadəçi loqinləri və parolları təhlükəsizlik sisteminin ilk müdafiə xəttidir. İstifadəçi düzgün ID (login) və şifrəni daxil etməklə şəbəkəyə giriş əldə etdikdən sonra o, mühafizə sisteminin təklif etdiyi ikinci sıraya keçir: şəbəkə bu istifadəçinin imtiyazlarını müəyyən edir. Bütün şəbəkə istifadəçiləri bir sistemin bərabər işçiləri kimi təsəvvür edilmişdir. Lakin onlardan bəzilərinin müəyyən əlavə hüquqları (imtiyazları) var – onlar belə istifadəçiləri digər işçilərdən fərqləndirirlər.

Bir qayda olaraq, giriş hüquqları bütün qovluqlara aiddir, baxmayaraq ki, müəyyən fərdi fayllara və ya fayl qruplarına xüsusi giriş qurmaq mümkündür. Bu halda, xüsusi bir fayl adı istifadə olunur. Əksər şəbəkələrdə icazələr bütün kataloq üçün təyin edilir və bütün alt kataloqlara tətbiq edilir. Təbii ki, hər hansı bir alt kataloqa xüsusi hüquqlar qoyulmadıqda. Hər bir istifadəçinin bütün serverlərə çıxışı olması vacib deyil. Sistemin təhlükəsizliyi üçün istifadəçiyə yalnız iş üçün birbaşa ehtiyac duyduğu server kompüterlərinə giriş icazəsi verilsə, daha yaxşıdır.

Bir çox şəbəkələrdə sistem quraşdırıldıqda administrator girişi avtomatik olaraq açılır. Bu giriş üçün istifadə edilən istifadəçi ID və parol şəbəkə sənədlərində əks olunmalıdır. Onlar müəyyən

tipli istənilən sistem üçün eynidir. Təhlükəsizlik məqsədi ilə və məlumatı müdaxilə edənlərdən qorumaq üçün belə bir girişdə parolun dəyişdirilməsi zəruridir, əks halda administratorun girişində sistem tərəfindən müəyyən edilmiş standart identifikatoru və parolu bilən istənilən istifadəçi sistemin istənilən komponentlərinə məhdudiyyətsiz girişlə şəbəkədə işləyə biləcək.

Nəzərdən keçirilən mühafizə üsulları şəbəkə proqramı tərəfindən təmin edilir. Lakin şəbəkə məlumatlarınızı kənar müdaxilədən qorumaq üçün bir çox başqa yollar var. Bu cür qorunma üçün bir neçə variant var. Şəbəkədəki bütün kompüterlər təhlükəsiz yerlərdə yerləşdirilməlidir.

Əgər şəbəkədə istifadəçiyə uzaq kompüterdən sistemə daxil olmağa imkan verən modem quraşdırılıbsa, modemdən kənar müdaxilələr də gözləmək olar. Bu halda, hər bir istifadəçi identifikatorunun parolla qorunması zəruridir.

Müəssisəyə məxsus yerli şəbəkəni (Əlavə 1) və bununla bağlı orta səviyyəli təhlükəsizlik siyasətini nəzərdən keçirək. Lokal şəbəkə daxilində dolaşan məlumat çox vacibdir. Lokal şəbəkə istifadəçilərə proqramları və məlumatları paylaşmağa imkan verir ki, bu da riski artırır. Buna görə də, şəbəkəyə daxil olan hər bir kompüter daha güclü qorunma tələb edir.

Müəssisə iki əsas məqsədi güdən informasiya təhlükəsizliyinin təmin edilməsi üçün təlimatlar hazırlamalıdır:

- işçilərə şəbəkə mühitinin qorunmasının vacibliyini nümayiş etdirmək, təhlükəsizliyin təmin edilməsində onların rolunu təsvir etmək,
- şəbəkədə dövrüdə olan məlumatların, eləcə də şəbəkənin özünün qorunması üçün xüsusi vəzifələr təyin etmək.

Bu siyasətin əhatə dairəsinə müəssisənin yerli şəbəkəsinə daxil olan bütün avadanlıq, proqram təminatı və informasiya resursları daxildir. Siyasət istifadəçilər, subpodratçılar və təchizatçılar da daxil olmaqla şəbəkə ilə işləyən insanlara da şamil edilir.

“İnformasiya Texnologiyaları” müəssisəsinin məqsədi məlumatların bütövlüyünü, əlçatanlığını və məxfiliyini, habelə onların tamlığını və aktuallığını təmin etməkdir. Xüsusi məqsədlər bunlardır:

- Normativ sənədlərə uyğun təhlükəsizlik səviyyəsinin təmin edilməsi.
- Qoruyucu tədbirlərin seçilməsində iqtisadi məqsədəuyğunluğa riayət edilməsi (mühafizə xərcləri informasiya təhlükəsizliyinin pozulması nəticəsində gözlənilən zərərdən çox olmamalıdır).
- Lokal şəbəkənin hər bir funksional sahəsində təhlükəsizliyin təmin edilməsi.
- Məlumat və resurslarla istifadəçinin bütün hərəkətləri üçün hesabatlılığın təmin edilməsi.
- Qeydiyyat məlumatlarının təhlilinin təmin edilməsi.
- Təhlükəsizliyi şüurlu şəkildə qorumaq üçün istifadəçilərin kifayət qədər məlumatlandırılmasını təmin etmək.

• Şəbəkənin davamlılığını təmin etmək üçün bütün funksional sahələr üçün fəlakətin bərpası planlarını və digər kritik vəziyyətləri hazırlayın.

- Mövcud qanunlara və təşkilati təhlükəsizlik siyasətlərinə uyğunluğunu təmin etmək.

Sadalanın insan qrupları əvvəllər tərtib edilmiş məqsədlərin həyata keçirilməsinə cavabdehirlər.

- Departament menecerləri təhlükəsizlik siyasətinin istifadəçilərə çatdırılmasına və onlarla ünsiyyətə cavabdehirlər. [7]

• Lokal şəbəkə administratorları şəbəkənin fasiləsiz işləməsinə təmin edir və təhlükəsizlik siyasətinin həyata keçirilməsi üçün zəruri olan texniki tədbirlərin həyata keçirilməsinə cavabdehirlər.

- Xidmət administratorları xüsusi xidmətlərə və xüsusən də təhlükəsizliyin ümumi təhlükəsizlik siyasətinə uyğun qurulmasına cavabdehirlər.

• İstifadəçilərdən təhlükəsizlik siyasətinə uyğun olaraq yerli şəbəkə ilə işləmək, təhlükəsizliyin ayrı-ayrı aspektlərinə cavabdeh olan şəxslərin göstərişlərinə əməl etmək və bütün şübhəli hallar barədə rəhbərliyi məlumatlandırmaq tələb olunur.

Təhlükəsizlik siyasətinin pozulması yerli şəbəkəni və onun daxilində dövrüyyədə olan məlumatları qəbul edilməz riskə məruz qoya bilər. Kadrlar tərəfindən pozuntu hallarına rəhbərlik tərəfindən tədbir görülməsi, o cümlədən işdən çıxarılmasına baxılmalıdır.

“İnformasiya Texnologiyaları” müəssisəsinin bölmə və şöbələrində məlumatların qrup emalı zamanı təhlükəsizliyin təmin edilməsi: İnformasiya təhlükəsizliyini təmin etmək üçün institut bütün kateqoriyalar üzrə kadrlar üçün təlimatlar hazırlamalı və həyata keçirməlidir ki, bu təlimatlarda hər bir kateqoriya üzrə aşağıdakı vəzifələri əks etdirməlidir:

- Təhlükəsizlik məsələlərini daim nəzarət altında saxlayın. Onların tabeliyində olanların da eyni şeyi etmələrini təmin edin.

- Qoruma və sistem zəifliklərini tələb edən aktivləri müəyyən etmək, təhlükəsizlik pozuntusundan yaranan potensial zərəri qiymətləndirmək və effektiv təhlükəsizlik tədbirlərini seçmək üçün risk təhlili aparın.

- Təhlükəsizlik tədbirləri üzrə işçi heyəti üçün təlim təşkil etmək. Antivirus nəzarəti ilə bağlı məsələlərə xüsusi diqqət yetirin.

- Hər bir tabeliyində olan şəxsin statusunda dəyişikliklər (başqa işə keçid, işdən çıxarılma və s.) barədə yerli şəbəkə inzibatçılarına və xidmət inzibatçılarına məlumat vermək lazımdır. [8]

Nəticə

Yaxın gələcəkdə hesablama texnikasının, proqram təminatının və şəbəkə texnologiyalarının inkişafındakı irəliləyiş təhlükəsizlik vasitələrinin inkişafına təkan verəcək ki, bu da informasiya təhlükəsizliyinin mövcud elmi paradigmasına əsaslı şəkildə yenidən baxılmasını tələb edir.

Təhlükəsizliklə bağlı yeni baxışın əsas müddəaları aşağıdakılardan ibarət olmalıdır:

- kompüter sistemlərinin təhlükəsizliyinin pozulmasının səbəblərinin tədqiqi və təhlili;
- proqram təminatı və aparat təminatının hazırkı inkişaf səviyyəsinə, habelə müdaxilə edənlərin və dağıdıcı proqram təminatının imkanlarına adekvat olan effektiv təhlükəsizlik modellərinin hazırlanması;

- irəli sürülən tələblərdən, məqbul riskdən və resurs sərfiyyatından asılı olaraq təhlükəsizliyin çevik idarə edilməsi imkanı ilə mövcud hesablama sistemlərində təhlükəsizlik modellərinin düzgün tətbiqi üçün üsul və vasitələrin yaradılması;

- sınaq təsirlərinin (hücumların) həyata keçirilməsi yolu ilə kompüter sistemlərinin təhlükəsizliyinin təhlili üçün alətlərin hazırlanması ehtiyacı.

Cəmiyyətlərin geniş şəkildə informasiyalasdırılması, dövlət əhəmiyyətli obyektlərin idarə olunması sferasına kompüter texnologiyalarının tətbiqi, informasiya texnologiyalarının müsbət nailiyyətləri ilə yanaşı, elmi-texniki tərəqqi sürətinin sürətlə artması məxfi məlumatların sızması üçün real ilkin şərait yaradır.

Əsas məqsədi “İnformasiya Texnologiyaları” müəssisəsinin lokal şəbəkəsində məlumatların qorunması üçün ümumi tövsiyələr hazırlamaq və informasiya təhlükəsizliyinin təmin edilməsi üçün təlimatlar paketini hazırlamaq olan diplom işində nəticələr əldə edilmişdir.

Ədəbiyyat

- [1]. Zhou, L., Li, X., & Wang, Y.A Survey on Enterprise Network Security: Asset Behavioral Monitoring and Distributed Attack Detection. IEEE Access, (2022). 10, 85692–85715. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3197812
- [2]. Сбиба, В.Ю. Руководство по защите от внутренних угроз информационной безопасности / В.Ю. Сбиба, В.А.Курбатов . – СПб: Питер, –2008. –320 с.
- [3]. Костров, Д.В. Информационная безопасность в рекомендациях, требованиях, стандартах –2008. –247 с.
- [4]. NIST SP 800-207. (2020). Zero Trust Architecture. U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-207>
- [5]. Доля, А.В. Внутренние угрозы ИБ в телекоммуникациях / А.В. Доля, –2007.

- [6]. Федеральный закон Российской Федерации «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» от 27.07.2006. №149-ФЗ.
- [7]. Биячуев, Т.А. Безопасность корпоративных сетей / Т.А.Биячуев, – СПб: ГУ ИТМО, – 2004. –161 с.
- [8]. Вихорев, С. Как определить источники угроз / С.Вихорев, Р.Кобцев // Открытые системы. –2002. №07-08, –с.43

Summary

Network structure and subnet topology analysis

Nuraliyev J.A. Mammadli M.İ.

Keywords *Network, fiber optic cable, topology, switch, MAC address*

The article presents an analysis of the local computer network structure of the Information Technologies enterprise and discusses the key issues related to ensuring information security. The network is designed based on a star topology and consists of interconnected devices — such as switches, routers, and hubs — linked through fiber optic cables. To protect data, access control mechanisms and restrictions based on MAC and IP addresses are implemented. The paper provides recommendations for developing an effective security policy, properly assigning user privileges, and preventing unauthorized access to the system. Practical approaches in information security are presented, emphasizing the importance of organizational and technical measures to safeguard information within the local network. Furthermore, the main directions of the security policy and user behavior guidelines are outlined.

Резюме

Структура сети и анализ топологии подсети

Нуралиев Дж.А., Мамедли М.И.

Ключевые слова: *Сеть, оптоволоконный кабель, топология, коммутатор, MAC-адрес*

В статье анализируется структура локальной компьютерной сети предприятия информационных технологий и вопросы обеспечения информационной безопасности. Сеть построена по звездообразной топологии с использованием оборудования, соединённого оптоволоконными кабелями — коммутаторы, маршрутизаторы, концентраторы и т.д. Для защиты данных применяются ограничения, основанные на контроле доступа, MAC- и IP-адресах. Приводятся рекомендации по разработке политики безопасности, правильному распределению прав пользователей и предотвращению несанкционированного доступа к системе. Статья предлагает практические подходы в области информационной безопасности. Подчёркивается значение организационных и технических мер для обеспечения безопасности информации в пределах локальной сети, определяются основные направления политики безопасности и правила поведения для пользователей.

Mündəricat * Содержание * Contents

Riyaziyyat. Fizika

1. Babacanova V.H. Silindrik mühitdə termodinamik dalğaların yayılması məsələsinin araşdırılması 4
2. Nasibzadeh V.N. Numerical solution of a problem of determining the right handside for a string vibration equation 7
3. Алиева К.Р., Руфуллаева Р.А., Курбанова С.И. Продукционная модель управления мехатронными устройствами функционирующих в условиях неопределенности 12
4. Abdullayeva K.F. On the oscillation of eigenfunctions of some eigenvalue problem with a boundary condition depending on a spectral parameter 19

Kimya

5. Асланова Э.Т., Рашидова М.Н., Гараева А.А., Атакишиева В.О. Синтез нового термостойкого полиэфирсульфоимида 25
6. Qarayeva İ.E., Muradov M.M., Nəzərova M.K., Süleymanova P.V., Arıxov E.N. Oksid katalizatoru iştirakında 2-propil-4-metilfenolun katalitik dehidrogenləşməsi və alınan allilkrezolun xassələrinin öyrənilməsi 32
7. Mürşüdlü N.A. 2-metilfenolun metanolla alkilləşmə prosesində modifikasiya olunmuş katalizatorun stabil iş rejiminin öyrənilməsi 36

Coğrafiya

8. Musayeva M.A. Meteoroloji stansiyaların və marşrut qarölçmənin məlumatlarına əsasən qar örtüyünün parametrlərinin qiymətləndirilməsi 40
9. Yusifova S.N. Azərbaycan Respublikasının Kiçik Qafqaza aid meşə, alp, subalp və subnival landşaftlarının fitomüxtəlifliyi və mühitə uyğunlaşması 45

Biologiya

10. Əhmədova A.B. Şabran rayonunda heksaploid sintetik buğda hibridlərinin (AABBDD) bioloji qiymətləndirilməsi 48
11. Мансурова Д.А. Зоонозные инфекции (Сибирская язва) 55

Texnika

12. Hüseynzadə Ş.S. Mexaniki emal istehsal mərkəzinin rəqəmsal prototipinin işlənməsi və təhlilinin yerinə yetirilməsi 61
13. Nəsirova E.Ə. Fərqli vasitələrlə modelləşdirilmiş çevik istehsal sistemlərinin Petri şəbəkəsi ilə kompleks tədqiqi 69
14. Əmiraslanov B.Q. Magistral boru kəmərlərində neft məhsullarının sıxlığının ölçülməsinə nəzarət cihazının tədqiqi 77
15. Balayeva Ə.H. Elektrik intiqal mühərriklərinin dolaqlarının hazırlanması və yerləşdirilməsi metodikasının tədqiqi 83
16. Hüseynova H.Ş., Nağıyeva M.V. Sistem modelləşdirmə və təhlilin layihə söylərinə təsiri 89
17. Nuraliyev C.A., Məmmədli M.İ. Şəbəkə strukturu və alt şəbəkə topologiyası analizi 94

Təsisçi: Sumqayıt Dövlət Universiteti

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

Azərbaycan Respublikası Ədliyyə Nazirliyi tərəfindən qeydiyyatda alınmışdır.

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

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

https://elibrary.ru/title_about.asp?id=73721

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

Учредитель: Сумгаитский государственный университет

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

Зарегистрирован Министерством Юстиции Азербайджанской Республики.

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

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

https://elibrary.ru/title_about.asp?id=73721

С правилами оформления статей можно ознакомиться на официальном сайте журнала

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

Founder: Sumgayit State University

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

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

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

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

https://elibrary.ru/title_about.asp?id=73721

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

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

© Sumqayıt Dövlət Universiteti, 2025

Məsul katib *S.Şahverdiyeva*
Texniki redaktor *E.Həsəratova*

Çapa imzalanmışdır: 26.12.2025-ci il
Mətbəə kağızı, kağızın formatı: 70*108 ¼
Yüksək çap üsulu. Həcmi: 23,18 ş.ç.v.
Sifariş 114. Tiraj 250 nüsxə.
Qiyməti müqavilə yolu ilə.

Sumqayıt Dövlət Universiteti
Redaksiya və nəşr işləri şöbəsi

Müxbir ünvan

Azərbaycan, 5008, Sumqayıt, 43-cü məhəllə
Tel: (0-12) 448-12-74
(0-18) 644-70-41

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

E-mail: sevda.shaxverdiyeva@sdu.edu.az

