



SUMQAYIT DÖVLƏT UNIVERSİTETİ

СУМГАИТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

SUMGAIT 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



НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
**LIBRARY.RU**



Cild  
Tom  
Volume

**25 №1**

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

---

*Sosial və humanitar elmlər bölməsi*  
*Серия: Социальные и гуманитарные науки*  
*Series for Social and Humanitarian Sciences*

---

*Cild 21*

*2025*

*№ 1*

---

Sumqayıt – 2025

**Sumqayıt Dövlət Universiteti**  
**Elmi xəbərlər. Sosial və Humanitar elmlər bölməsi**  
**REDAKSIYA HEYƏTİ**

|                               |                                                                              |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Baş redaktor</b>           | <b>Əminəğa Sadıqov</b> , <i>AMEA-nın müxbir-üzvü, professor, rektor</i>      |
| <b>Baş redaktorun müavini</b> | <b>Elşad Abdullayev</b> , <i>dosent, elm və innovasiyalar üzrə prorektor</i> |
| <b>Məsul katib</b>            | <b>Nigar İsgəndərova</b> , <i>professor, kafedra müdiri</i>                  |

**REDAKSIYA HEYƏTİNİN ÜZVLƏRİ**

|                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dilçilik</b>                                            | <b>Nizami Cəfərov</b> , <i>akad. (Azərbaycan)</i> , <b>Natalia Qaqarina</b> , <i>prof. (Almaniya)</i> , <b>Ramazan Məmmədov</b> , <i>prof. (Azərbaycan)</i> , <b>Sayal Sadıqova</b> , <i>prof. (Azərbaycan)</i> , <b>Böyükxanım Eminli</b> , <i>dos. (Azərbaycan)</i> , <b>Günəl Paşayeva</b> , <i>dos. (Azərbaycan)</i> , <b>Xəyalə Muğamat</b> , <i>dos. (məsul redaktor, Azərbaycan)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Ədəbiyyatşünaslıq</b>                                   | <b>Şükrü Haluk Akalın</b> , <i>prof. (Türkiyə)</i> , <b>Fikrət Rzayev</b> , <i>prof. (Azərbaycan)</i> , <b>Məhərrəm Qasımlı</b> , <i>prof. (Azərbaycan)</i> , <b>Sevinc Həmzəyeva</b> , <i>dos. (Azərbaycan)</i> , <b>Törə Məmmədova</b> , <i>dos. (məsul redaktor, Azərbaycan)</i> , <b>Dəyanət Cümənov</b> , <i>dos. (Azərbaycan)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Tarix</b><br><b>Sosiologiya</b>                         | <b>Daniyal Kidirniyazov</b> , <i>prof. (Rusiya)</i> , <b>Selma Kadir qızı Yel</b> , <i>prof. (Türkiyə)</i> , <b>Kozma Tamas</b> , <i>prof. (Macarıstan)</i> , <b>Adil Baxşəliyev</b> , <i>prof. (Azərbaycan)</i> , <b>Zabil Bayramov</b> , <i>prof. (Azərbaycan)</i> , <b>Şirxan Səlimov</b> , <i>prof. (məsul redaktor, Azərbaycan)</i> , <b>Matias Dornfeld</b> , <i>dos. (Almaniya)</i> , <b>Osman Hacıyev</b> , <i>dos. (Azərbaycan)</i> , <b>Əminə Həsənova</b> , <i>dos. (Azərbaycan)</i> , <b>Sona Məhərrəмова</b> , <i>dos. (Azərbaycan)</i>                                                                                                                                                            |
| <b>İqtisad elmləri</b>                                     | <b>Ziyad Səmədzadə</b> , <i>akad. (Azərbaycan)</i> , <b>Mixail Osipov</b> , <i>prof. (Rusiya)</i> , <b>Vasiliy Bespyatıx</b> , <i>prof. (Rusiya)</i> , <b>Nazim İmanov</b> , <i>prof. (Azərbaycan)</i> , <b>Arif Şəkərəliyev</b> , <i>prof. (Azərbaycan)</i> , <b>Hacığa Rüstəmbəyov</b> , <i>prof. (Azərbaycan)</i> , <b>Rza Məmmədov</b> , <i>dos. (Azərbaycan)</i> , <b>Qalib Hüseynov</b> , <i>dos. (məsul redaktor, Azərbaycan)</i> , <b>Loğman Abdullayev</b> , <i>dos. (Azərbaycan)</i> , <b>Lalə Vəliyeva</b> , <i>dos. (Azərbaycan)</i>                                                                                                                                                                |
| <b>Pedaqogika</b><br><b>Psixologiya</b><br><b>Metodika</b> | <b>Aleksandr Korostelyov</b> , <i>prof. (Rusiya)</i> , <b>Fərrux Rüstəmov</b> , <i>prof. (Azərbaycan)</i> , <b>Ramiz Əliyev</b> , <i>prof. (Azərbaycan)</i> , <b>Rüfət Hüseynzadə</b> , <i>prof. (Azərbaycan)</i> , <b>Erde Gabor</b> , <i>dos. (Macarıstan)</i> , <b>Lada Çepeleva</b> , <i>dos. (Rusiya)</i> , <b>Aytəkin Məmmədova</b> , <i>dos. (Azərbaycan)</i> , <b>Sevər Mirzəyeva</b> , <i>dos. (Azərbaycan)</i> , <b>Könül Abaşı</b> , <i>ped.f.d. (Azərbaycan)</i> , <b>Məftun Hehdərova</b> , <i>dos. (Azərbaycan)</i> , <b>Şəlalə Adıgözəlova</b> , <i>dos. (məsul redaktor, Azərbaycan)</i> , <b>Şahnaz Quliyeva</b> , <i>dos. (Azərbaycan)</i> , <b>Şikar Hüseynov</b> , <i>dos. (Azərbaycan)</i> |

**Сумгаитский государственный университет**  
**Научные известия. Серия: Социальные и гуманитарные науки**  
**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

|                                |                                                                        |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>Главный редактор</b>        | <b>Аминага Садыгов</b> , <i>член-корр. НАНА, профессор, ректор</i>     |
| <b>Зам. Главного редактора</b> | <b>Эльшад Абдуллаев</b> , <i>доц., проректор по науке и инновациям</i> |
| <b>Ответственный секретарь</b> | <b>Нигяр Искендерова</b> , <i>проф., заведующая кафедрой</i>           |

**ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ**

|                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Языкознание</b>                  | <b>Низами Джафаров</b> , <i>акad. (Азербайджан)</i> , <b>Наталья Гагарина</b> , <i>проф. (Германия)</i> , <b>Рамазан Мамедов</b> , <i>проф. (Азербайджан)</i> , <b>Саялы Садыгова</b> , <i>проф. (Азербайджан)</i> , <b>Беюкханым Эминли</b> , <i>доц. (отв. ред., Азербайджан)</i> , <b>Гюнель Пашаева</b> , <i>доц. (Азербайджан)</i> , <b>Хаяля Мугамат</b> , <i>доц. (Азербайджан)</i> |
| <b>Литературоведение</b>            | <b>Шюкрю Халук Акалын</b> , <i>проф. (Турция)</i> , <b>Фикрат Рзаев</b> , <i>проф. (Азербайджан)</i> , <b>Магеррам Гасымлы</b> , <i>проф. (Азербайджан)</i> , <b>Севиндж Хамзаева</b> , <i>доц. (Азербайджан)</i> , <b>Тора Мамедова</b> , <i>доц. (отв. ред., Азербайджан)</i> , <b>Даянат Джуманов</b> , <i>доц. (Азербайджан)</i>                                                       |
| <b>История</b><br><b>Социология</b> | <b>Даниял Кидирниязов</b> , <i>проф. (Россия)</i> , <b>Селма Кадир гызы Йел</b> , <i>проф. (Турция)</i> , <b>Козьма Тамас</b> , <i>проф. (Венгрия)</i> , <b>Адиль Бахшалиев</b> , <i>проф. (Азербайджан)</i>                                                                                                                                                                               |

|                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Экономические науки</b> | <b>Забиль Байрамов</b> , проф. (Азербайджан), <b>Ширхан Салимов</b> , проф. (отв. ред., Азербайджан), <b>Матнас Дорнфельд</b> , доц. (Германия), <b>Осман Гаджиев</b> , доц. (Азербайджан), <b>Амина Гасанова</b> , доц. (Азербайджан), <b>Сона Махаррамова</b> , доц. (Азербайджан)                                                                                                                                                                           |
|                            | <b>Зияд Самедзаде</b> , акад. (Азербайджан), <b>Михаил Осипов</b> , проф. (Россия), <b>Василий Беспятых</b> , проф. (Россия), <b>Назим Иманов</b> , проф. (Азербайджан), <b>Ариф Шекералиев</b> , проф. (Азербайджан), <b>Гаджиага Рустамбеков</b> , проф. (Азербайджан), <b>Рза Мамедов</b> , доц. (Азербайджан), <b>Галиб Гусейнов</b> , доц. (отв. ред., Азербайджан), <b>Логман Абдуллаев</b> доц. (Азербайджан), <b>Лала Валиева</b> , доц. (Азербайджан) |
| <b>Педагогика</b>          | <b>Алесандр Коростылев</b> , проф. (Россия), <b>Фаррух Рустамов</b> , проф. (Азербайджан),                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Психология</b>          | <b>Рамиз Алиев</b> , проф. (Азербайджан), <b>Руфат Гусейнзаде</b> , проф. (Азербайджан),                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Методика</b>            | <b>Эрде Габор</b> , доц. (Венгрия), <b>Лада Чепелева</b> , доц. (Россия), <b>Айтекин Мамедова</b> , доц. (Азербайджан), <b>Севар Мирзоева</b> , доц. (Азербайджан), <b>Кёнюль Абаслы</b> , д.ф.пед. (Азербайджан), <b>Мафтун Гейдарова</b> , доц. (Азербайджан), <b>Шалала Адыгёзалова</b> доц. (отв. ред., Азербайджан), <b>Шахназ Кулиева</b> , доц. (Азербайджан), <b>Шикар Гусейнов</b> , доц. (Азербайджан)                                               |

**Sumgayit State University**  
**Scientific News. Series for Social and Humanitarian Sciences**  
**EDITORIAL STAFF**

|                                  |                                                                               |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Editor in Chief</b>           | <b>Aminaga Sadigov</b> , corresponding member NASA, professor, Rector         |
| <b>Deputy of Editor in Chief</b> | <b>Elshad Abdullayev</b> , ass.prof., Vice-Rector for Science and Innovations |
| <b>Executive Secretary</b>       | <b>Nigar Isgandarova</b> , prof., Head of the Department                      |

**MEMBERS OF EDITORIAL STAFF**

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Linguistics</b>        | <b>Nizami Jafarov</b> , acad. (Azerbaijan), <b>Natalia Gagarina</b> , prof. (Germany), <b>Ramazan Mammadov</b> , prof. (Azerbaijan), <b>Sayali Sadigova</b> , prof. (Azerbaijan), <b>Boyukkhanim Eminli</b> , ass.prof. (executive secretary, Azerbaijan), <b>Gunel Pashayeva</b> , ass.prof. (Azerbaijan), <b>Khayala Mughamat</b> , ass.prof. (Azerbaijan),                                                                                                                                     |
| <b>Literary criticism</b> | <b>Shukru Haluk Akalin</b> , prof. (Turkey), <b>Fikrat Rzayev</b> , prof. (Azerbaijan), <b>Maharram Gasimli</b> , prof. (Azerbaijan), <b>Sevinj Hamzayeva</b> , ass.prof. (Azerbaijan), <b>Tora Mammadova</b> , ass.prof. (executive secretary, Azerbaijan), <b>Dayanat Jumanov</b> , ass.prof. (Azerbaijan)                                                                                                                                                                                      |
| <b>History</b>            | <b>Daniyal Kidirniyazov</b> , prof. (Russia), <b>Selma Kadir gizi Yel</b> , prof. (Turkey),                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Sociology</b>          | <b>Kozma Tamas</b> , prof. (Hungary), <b>Adil Bakhshaliyev</b> , prof. (Azerbaijan), <b>Zabil Bayramov</b> , prof. (Azerbaijan), <b>Shirkhan Salimov</b> , prof. (executive secretary, Azerbaijan), <b>Matias Dornfeld</b> , ass.prof. (Germany), <b>Osman Hajiyev</b> , ass.prof. (Azerbaijan), <b>Amina Hasanova</b> , ass.prof. (Azerbaijan), <b>Sona Maharramova</b> , ass.prof. (Azerbaijan)                                                                                                 |
| <b>Economic sciences</b>  | <b>Ziyad Samadzadeh</b> , acad. (Azerbaijan), <b>Mikhail Osipov</b> , prof. (Russia), <b>Vasiliy Bespyatikh</b> , prof.(Russia), <b>Nazim Imanov</b> , prof. (Azerbaijan), <b>Arif Shakaraliyev</b> , prof. (Azerbaijan), <b>Hajiagha Rustambayov</b> , prof. (Azerbaijan), <b>Rza Mammadov</b> , ass.prof. (Azerbaijan), <b>Galib Huseynov</b> , ass.prof. (executive secretary, Azerbaijan), <b>Logman Abdullayev</b> , ass.prof. (Azerbaijan), <b>Lala Valiyeva</b> , ass.prof. (Azerbaijan)   |
| <b>Pedagogy</b>           | <b>Alexander Korostelyov</b> , prof.(Russia), <b>Farrukh Rustamov</b> , prof. (Azerbaijan),                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Psychology</b>         | <b>Ramiz Aliyev</b> , prof. (Azerbaijan), <b>Rufat Huseynzada</b> , prof. (Azerbaijan), <b>Erde Gabor</b> ass.prof. (Hungary), <b>Lada Chepeleva</b> ass.prof. (Russia), <b>Aytakin Mammadova</b> , ass.prof. (Azerbaijan), <b>Sevar Mirzayeva</b> , ass.prof. (Azerbaijan), <b>Konul Abasli</b> , PhD (Azerbaijan), <b>Maftun Heydarova</b> , ass.prof. (Azerbaijan), <b>Shalala Adigezalova</b> ass.prof. (executive secretary, Azerbaijan), <b>Shakhnaz Guliyeva</b> , ass.prof. (Azerbaijan), |
| <b>Methodology</b>        | <b>Shikar Huseynov</b> , ass.prof. (Azerbaijan))                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

**Təsisçi: Sumqayıt Dövlət Universiteti**

“Elmi Xəbərlər” jurnalı Sosial və Humanitar elmlər bölməsi Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirinin

19.07.2004-cü il tarixli 46-16-3547/17 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 İndeksində (REİİ) daxil edilmişdir (müqavilə № 408-10/2019)

[https://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=73722](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=73722)

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: Социальные и гуманитарные науки издается на основании приказа

46-16-3547/17 Министра Образования Азербайджанской Республики от 19.07.2004-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=73722](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=73722)

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 Social and Humanitarian Sciences is published due to the order

№ 46-16-3547/17 of the Ministry of Education of the Republic of Azerbaijan from 19.07.2004.

It has been registered by the Minister 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=73722](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=73722)

Please, see the website <https://www.ssu-scientificnews.edu.az/az> in order to be familiar with the proper design of the articles.

## Inverse heat conduction problem with Tikhonov regularization

Aliyeva Konul Hamid [ORCID](#)

Sumgayit State University, Sumgayit, Azerbaijan, ass.prof.

[konul.aliyeva@sdu.edu.az](mailto:konul.aliyeva@sdu.edu.az)

| ARTICLE INFO                                                                                                                                | ABSTRACT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Article history:</b><br/> Received 11.02.2025<br/> Received in revised form 28.02.2025<br/> Accepted 10.03.2025</p>                   | <p>The Inverse Heat Conduction Problem (IHCP) seeks to determine unknown boundary conditions, heat sources, or material properties from measured temperature data. Unlike the direct heat conduction problem, IHCP is inherently ill-posed, meaning small errors in data can lead to large instabilities in the solution. To mitigate this issue, Tikhonov regularization is widely used, introducing a stabilizing term that balances data fidelity and smoothness, thereby improving robustness against noise. The regularized solution is typically obtained by solving an optimization problem that minimizes a cost function incorporating both the residual error and a penalty term. Proper selection of the regularization parameter is crucial for achieving an optimal trade-off between stability and accuracy. Applications of IHCP with Tikhonov regularization include thermal monitoring in engineering systems, non-destructive testing, biomedical imaging, and geophysical exploration. This study explores the effectiveness of Tikhonov regularization in stabilizing IHCP solutions, highlighting computational techniques and practical applications.</p> |
| <p><b>Keywords:</b><br/> inverse heat conduction, ill-posed problem, Tikhonov regularization, stability, thermal analysis, optimization</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

### 1.Introduction

Mathematical modeling involves the formulation of real-world phenomena into mathematical expressions to analyze, predict, and interpret their behavior. A **direct problem** typically focuses on predicting system behavior given input parameters. For example:

- Calculating the temperature distribution of a rod given its initial conditions and heat source.

Conversely, an **inverse problem** seeks to determine unknown inputs or system parameters based on observed outputs, making it significantly more challenging and often ill-posed.

Inverse problems arise when we try to determine unknown causes from observed effects. They are common in science, engineering, and mathematics, particularly in fields like medical imaging, geophysics, and heat conduction.

#### Key Features of Inverse Problems

1. Ill-posedness (as per Hadamard's definition):
  - a) Non-uniqueness: Multiple solutions may fit the observed data.
  - b) Instability: Small errors in data can cause large errors in the solution.
  - c) Non-existence: A solution may not always exist in the classical sense.
2. Regularization is often necessary to make the problem well-posed by introducing constraints or prior information. One popular method is Tikhonov regularization, where a penalty term is added to stabilize the solution.
  1. Heat Conduction (Inverse Heat Transfer Problems):
    - a) Determining past temperatures from current observations.
    - b) Identifying heat sources from measured temperature distributions.

## 2. Optics & Astronomy:

- a) Image deblurring: Restoring sharp images from blurred ones.
- b) Adaptive optics: Correcting atmospheric distortions in telescopes.

### Solution Techniques

- Tikhonov Regularization: Adds a stabilizing term to the solution.
- Bayesian Inference: Uses prior probability distributions to improve stability.
- Iterative Methods: Includes gradient descent, conjugate gradient, and expectation-maximization.
- Machine Learning Approaches: Neural networks and deep learning for data-driven solutions.

## 2.Problem statement

The inverse heat conduction problem involves determining the unknown boundary heat flux or temperature from interior temperature measurements. The governing equation is typically the 1D heat equation:

The heat conduction equation in one dimension is given by:

$$\frac{\partial u(x, t)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2}, 0 < x < L, t > 0$$

where:

- $T(x, t)$  is the temperature,
- $\alpha = \frac{k}{\rho c}$  is the thermal diffusivity,
- $k$  is the thermal conductivity,
- $\rho$  is the density,
- $c$  is the specific heat.

Boundary conditions:

- One boundary has an unknown heat flux  $q(0, t)$  to be estimated.
- The other boundary can have a known condition, e.g.,  $T(L, t)$  given.
- Temperature data is available at some interior points.

Inverse nature: Unlike the direct problem, where initial and boundary conditions are known, in the inverse problem, we estimate  $q(0, t)$  from noisy interior temperature measurements.

### 1) Discretization Using Finite Differences

A common approach is to use an implicit or explicit finite difference scheme.

#### a)Time Discretization (Forward Difference)

Substituting these into the heat equation:

$$\frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} = \alpha \frac{T_i^{n+1} - 2T_i^n + T_{i-1}^n}{(\Delta x)^2}$$

Rearrange

$$T_i^{n+1} = T_i^n + \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2} (T_i^{n+1} - 2T_i^n + T_{i-1}^n)$$

- a) We use temperature measurements at interior points.
- b) The heat flux at  $x = 0$  is unknown and needs to be estimated.

## Choosing the Regularization Parameter $\lambda$ and Different Regularization Operators $L$ in Tikhonov Regularization for IHCP

Inverse heat conduction problems (IHCPs) are typically ill-posed, meaning that small errors in temperature measurements can lead to large errors in the estimated heat flux. Tikhonov regularization helps stabilize the solution by introducing a penalty term controlled by the regularization parameter  $\lambda$ . Choosing  $\lambda$  correctly is critical to balancing accuracy and stability.

### 1. Choosing the Regularization Parameter $\lambda$

The choice of  $\lambda$  is crucial because:

- If  $\lambda$  is too small, the solution will be unstable and sensitive to noise.
  - If  $\lambda$  is too large, the solution will be overly smoothed, losing important details.
- Several methods are commonly used to determine the optimal  $\lambda$ :

### 1.1 L-Curve Method

2 The L-curve is a log-log plot of the solution norm  $\|Lq\|$  versus the residual norm  $\|Aq - b\|$ .

3 The optimal  $\lambda$  is found at the corner of the L-curve, where the trade-off between solution smoothness and data fit is optimal.

Algorithm:

1. Solve  $q_\lambda = (A^T A + \lambda L^T L)^{-1} A^T b$  for a range of  $\lambda$  values.
2. Compute  $\|Aq_\lambda - b\|$  (residual norm) and  $\|Lq_\lambda\|$  (solution norm).
3. Plot them on a log-log scale.
4. Choose  $\lambda$  at the curvature's maximum, where the trade-off is best.

### 1.2 Generalized Cross-Validation (GCV)

GCV minimizes an estimate of the expected error in the reconstructed solution.

The GCV function is:

$$G(\lambda) = \frac{\|Aq_\lambda - b\|^2}{(\text{tr}(I - A_\lambda))^2}$$

where  $A_\lambda = A(A^T A + \lambda L^T L)^{-1} A^T$  is the regularized influence matrix.

Algorithm:

1. Compute  $G(\lambda)$  for different  $\lambda$ .
2. Select the  $\lambda$  that minimizes  $G(\lambda)$ .

### 1.3 Discrepancy Principle

- Used when measurement noise level  $\delta$  is known.
- Choose  $\lambda$  such that:  $\|Aq_\lambda - b\|^2 \approx \delta^2$

### 1.4 Morozov's Principle

• Similar to the discrepancy principle, but instead of  $\delta^2$ , a **threshold** based on expected noise is used.

- Idea: Choose  $\lambda$  such that  $\|Aq_\lambda - b\|$  is of the same order as the noise level.

## 2. Different Regularization Operators $L$

The regularization operator  $L$  controls the smoothness of the solution. Common choices include:

### 2.1 Identity Matrix ( $L = I$ )

- Also known as **zero-order Tikhonov regularization**:

$$\min_q \|Aq - b\|^2 + \lambda \|q\|^2$$

- Penalizes large values of  $q$ , enforcing a small-energy solution.

### 2.2 First-Order Derivative ( $L = D_1$ )

- Enforces smoothness by penalizing large first derivatives of  $q$ :

$$Lq = [q_2 - q_1, q_3 - q_2, \dots, q_n - q_{n-1}]$$

This is called **first-order Tikhonov regularization**:

$$\min_q \|Aq - b\|^2 + \lambda \|D_1 q\|^2$$

### 2.3 Second-Order Derivative ( $L = D_2$ )

- Enforces smoothness by penalizing curvature:

$$Lq = [q_3 - 2q_2 + q_1, q_4 - 2q_3 + q_2, \dots]$$

This is called **second-order Tikhonov regularization**:

$$\min_q \|Aq - b\|^2 + \lambda \|D_2 q\|^2$$

### 2.4 Total Variation (TV) Regularization

- Encourages **piecewise constant solutions**, useful for **sharp discontinuities**:

$$\bullet \min_q \|Aq - b\|^2 + \lambda \sum_i |q_{i+1} - q_i|$$

3. Final Thoughts

- If you expect a **smooth** heat flux, use  **$D_1$  or  $D_2$** .
- If the heat flux is **piecewise constant**, use **TV regularization**.
- The **L-curve method** is a good general-purpose choice for selecting  $\lambda$ .
- If computational cost is an issue, **discrepancy principle** is a simple alternative.

We want to find the thermal conductivity coefficient  $\alpha$  in the heat equation along the metal rod.

$$\frac{\partial u(x, t)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2}$$

Data:  $u(x, t)$  (temperature dimensions on the rod)

must be found:  $\alpha$

Mathematical solution:

1. We discretize the equation

Derivative by time ( $\frac{\partial u}{\partial t}$ )

$$\frac{\partial u}{\partial t} \approx \frac{u(x, t + \Delta t) - u(x, t)}{\Delta t}$$

Spatial derivative ( $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ )

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \approx \frac{u(x + \Delta x, t) - 2u(x, t) + u(x - \Delta x, t)}{\Delta x^2}$$

2. Building a linear system for parametric identification

$$\frac{u(x, t + \Delta t) - u(x, t)}{\Delta t} = \alpha \frac{u(x + \Delta x, t) - 2u(x, t) + u(x - \Delta x, t)}{\Delta x^2}$$

3. We apply Tikhonov regularization

Objective function:  $J(\alpha) = \|A\alpha - b\|^2 + \lambda \|\alpha\|^2$

### 3. Conclusions

#### 1. Tikhonov Regularization

Inverse problems are **ill-posed**, meaning small measurement noise can cause large errors in the estimated heat flux. To stabilize the solution, **Tikhonov Regularization** is applied.

The standard Tikhonov formulation minimizes:

$$\min_q \|Aq - b\|^2 + \lambda \|Lq\|^2$$

where:

- $A$  is the system matrix from the discretization,
- $b$  is the temperature measurement vector,
- $q$  is the unknown heat flux to be estimated,
- $L$  is the regularization operator (often identity  $I$  or a discrete derivative matrix),
- $\lambda$  is the regularization parameter.

The **regularized solution** is:

$$q = (A^T A + \lambda L^T L)^{-1} A^T b$$

where  $\lambda$  is chosen using  $L$ -curve, cross-validation, or generalized cross-validation (GCV)

Mathematical modeling and inverse problems play a critical role in modern science and engineering. While mathematical models describe systems, inverse problems provide a means to deduce unknown parameters or inputs from observations. Techniques like regularization and iterative solvers have become indispensable for addressing the challenges of ill-posedness, ensuring stability and reliability in practical applications.

## References

- [1]. Beck, J. V., Blackwell, B., & St. Clair, C. R. (1985). *Inverse Heat Conduction: Ill-posed Problems*. Wiley.
- [2]. Tikhonov, A. N., & Arsenin, V. Y. (1977). *Solutions of Ill-posed Problems*. Winston & Sons.
- [3]. Özisik, M. N., & Orlande, H. R. B. (2000). *Inverse Heat Transfer: Fundamentals and Applications*. Taylor & Francis.
- [4]. Beck, J. V. (1970). "Nonlinear Estimation Applied to the Nonlinear Inverse Heat Conduction Problem." *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 13(5), 703-705.
- [5]. Alifanov, O. M. (1994). "Inverse Heat Transfer Problems." *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 67(4), 437-451.
- [6]. Hansen, P. C. (1992). "Analysis of Discrete Ill-posed Problems by Means of the L-Curve." *SIAM Review*, 34(4), 561-580.
- [7]. Orlande, H.R.B. (2002). "Bayesian Inference for Inverse Heat Transfer Problems." *Inverse Problems in Science and Engineering*, 10(5), 461-486.

## Xülasə

### Tixonov requlyarlaşdırması ilə istilikkeçirmənin tərs məsələsi

Əliyeva K.H.

**Açar sözlər:** tərs istilik keçiricilik, qeyri-korrekt məsələ, Tixonov requlyarlaşdırması, sabitlik, istilik analizi, optimallaşdırma.

Tərs istilikkeçirmə məsələsi (TİM) ölçülmüş temperatur məlumatları əsasında naməlum sərhəd şərtlərini, istilik mənbələrini və ya material xüsusiyyətlərini təyin etməyə yönəlmişdir. Birbaşa istilik keçirmə məsələsindən fərqli olaraq, TİM mahiyyətcə qeyri-korrektidir, yəni verilənlərdəki kiçik səhvlər həlldə böyük qeyri-sabitliyə səbəb ola bilər. Bu problemi aradan qaldırmaq üçün Tixonov requlyarlaşdırması vasitəsilə məlumatların dəqiqliyini və hamarlığını tarazlayan sabitləşdirici termin təqdim edilir və bununla da müdaxilələrə qarşı dayanıqlığı artırır. Requlyarlaşdırılmış həll adətən həm qalıq xətanı, həm də nizamlanma terminini özündə birləşdirən xərc funksiyasını (cost function) minimuma endirən optimallaşdırma problemini həll etməklə əldə edilir. Sabitlik və dəqiqlik arasında optimal uzlaşmaya nail olmaq üçün requlyarlaşdırma parametrinin düzgün seçilməsi çox vacibdir. Tixonov requlyarlaşdırması ilə TİM-nin tətbiq sahələrinə mühəndislik sistemlərində istilik monitorinqi, dağıdıcı olmayan yoxlama, biotibbi görüntülmə və geofiziki tədqiqatlar daxildir. Bu tədqiqat Tixonovun TİM-nin həllərinin sabitləşməsində requlyarlaşdırmanın effektivliyini araşdırır, hesablama metodlarını və onların praktik tətbiqini vurğulayır.

## Резюме

### Обратная задача теплопроводности с регуляризацией Тихонова

Алиева К.Г.

**Ключевые слова:** обратная теплопроводность, некорректная задача, регуляризация Тихонова, устойчивость, тепловой анализ, оптимизация.

Обратная задача теплопроводности (ОЗТ) направлена на определение неизвестных граничных условий, источников тепла или свойств материала на основе измеренных температурных данных. В отличие от задачи прямой теплопроводности, ОЗТ по своей сути некорректна, а это означает, что небольшие ошибки в данных могут привести к большой нестабильности решения. Для устранения этой проблемы широко используется регуляризация Тихонова, вводящая стабилизирующий термин, который уравнивает точность и плавность передачи данных, тем самым повышая устойчивость к помехам. Регуляризованное решение обычно получается путем решения задачи оптимизации, которая минимизирует функцию затрат (cost function), включающую как остаточную ошибку, так и регуляризационный член. Правильный выбор параметра регуляризации имеет решающее значение для достижения оптимального соотношения между стабильностью и точностью. Области применения ОЗТ с регуляризацией Тихонова включают тепловой мониторинг в инженерных системах, неразрушающий контроль, биомедицинскую визуализацию и геофизические исследования. В этом исследовании рассматривается эффективность регуляризации Тихонова в стабилизации решений ОЗТ, освещаются вычислительные методы и их практическое применение.

## Модель принятия решений функционирования промышленного робота в условиях неопределенности

<sup>1</sup>Алиева Конуль Ризван qızı [ORCID](#)

<sup>2</sup>Будагов Исмет Садагат оглу

Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан,

1-преподаватель, 2-диссертант

[konul.aliyeva1@sdu.edu.az](mailto:konul.aliyeva1@sdu.edu.az)

| ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ                                                                                                                 | РЕЗЮМЕ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>История статьи</b><br/> Получено: 06.02.2025<br/> Исправлено: 03.03.2025<br/> Принято: 10.03.2025</p>                         | <p>В работе разработана модель принятия решений для определения промышленного робота в виде нечетких продукционных систем. Создана база нечетких правил, реализована процедура фаззификации входных и выходных лингвистических переменных и определена степень истинности входных условий. В результате дефаззификации определены количественные значения выходных переменных.</p> |
| <p><b>Ключевые слова:</b><br/> база правил, модель управления,<br/> нечеткие множества, промышленный<br/> робот, дефаззификация</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

### 1. Введение

Промышленный робот представляет собой программно-управляемое мехатронное устройство предназначенное для позиционирования и ориентирования предметов производства и элементов технологического оборудования. Развитие системы управления на микропроцессорной основе стимулирует быстрое и качественное функционирование мехатронных устройств (промышленных роботов) [1,3,4]. На этой же базе создаются рецепторы промышленного использования (системы распознавания образов, тактовые датчики силы и температуры), а также новые эффекторы (платовые двигатели, новые механизмы движения в шести степенях свободы, захватные устройства робота). При этом, следует подчеркнуть, что морфологически главные элементы робота позволяют явно представить кинематику и конструкцию носителя управляемого процесса движения и системы управления носителем. Взаимодействие управления и управляющего процесса является одной из главных характеристик функционирования промышленного робота. В дискретном производстве задача промышленного робота состоит в том, чтобы циклически повторить некоторую установленную последовательность операций. Одним из возможных вариантов выполнения технологической операции с использованием промышленного робота является циклически повторяющаяся последовательность различных операций. Каждой технологической операции соответствует определенная технология. В статье разработана модель принятия решений определяющих состояние промышленного робота в условиях неопределенности.

### 2. Создание базы продукционных правил для определения состояния робота

Для формирования базы правил систем нечетких продукций определяются входные лингвистические переменные. В качестве входных лингвистических переменных следует формально использовать следующие: « угол поворота поворотного устройства робота»,

«скорость движения подъемного устройства робота»:  $T_1$ =(соответствует допускам;чуть ниже допустимых значений; чуть выше допустимых значений ; выше допустимых значений ; ниже допустимых значений; существенно выше допустимых значений; нуль, близко к нулю).

В качестве выходной лингвистической переменной следует формально использовать «состояние робота»:  $T_2 = ( \text{нормальный} ; \text{нормальный, близко к нормальному}; \text{принимают в систему контролю}; \text{ненормальный})$ .

В нечетких продукционных моделях управления промышленного робота используются правила нечетких продукций, в которых условия и заключения сформулированы в терминах лингвистических высказываний следующего вида [2]:

**Правило «#»:** ЕСЛИ  $A_1$  есть  $x_1$  И  $A_2$  есть  $x_2$  И ...И  $A_{n-1}$  есть  $x_{n-1}$  ТО  $A_n$  есть  $x_n$  , где  $A_1, A_2, ..., A_n$  названия лингвистической переменной;  $x_1, x_2, ..., x_{n-1}, x_n$  - их значения, которым соответствуют отдельные лингвистические термы из базового терм-множества отдельных лингвистических переменных.

Для фаззификации входных переменных «уголь поворота поворотного устройства робота» и «скорость движения подъемного устройство робота» использована трапецевидная функция принадлежности, которая задается следующими выражениями [5,6]:

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

где  $a, b, c, d$  - некоторые произвольные действительные числа, удовлетворяющие условию  $a \leq b \leq c \leq d$ .

В качестве терм-множества всех входных лингвистических переменных будем использовать следующие множества:

База продукционных правил системы нечеткого вывода выглядит следующим образом:

**Правило 1:** Если уголь поворота поворотного устройства робота соответствует допускам, и скорость движение подъемного устройства робота соответствует допускам, то состояние робота считают нормальном.

**Правило 2:** Если уголь поворота поворотного устройства робота чуть ниже допустимых значений, и скорость движение подъемного устройства робота чуть ниже допустимых значений, то состояние робота считают нормальным, близко к нормальному.

**Правило 3:** Если уголь поворота поворотного устройства робота чуть выше допустимых значений, и скорость движение подъемного устройства робота чуть выше допустимых значений, то состояние робота считают нормальным, близко к нормальному.

**Правило 4:** Если уголь поворота поворотного устройства робота выше допустимых значений, и скорость движение подъемного устройства робота выше допустимых значений, то состояние робота принимают в систему контроля.

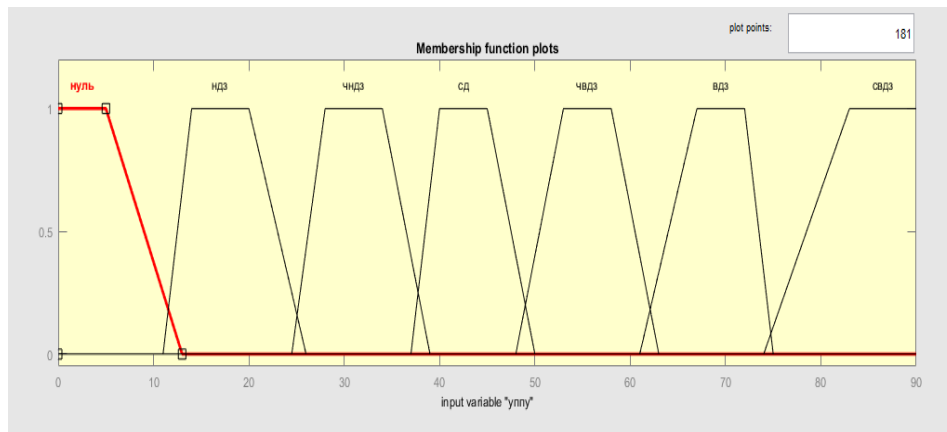
**Правило 5:** Если уголь поворота поворотного устройства робота ниже допустимых значений, и скорость движение подъемного устройства робота ниже допустимых значений, то состояние робота принимают в систему контроля.

**Правило 6:** Если уголь поворота поворотного устройства робота существенно выше допустимых значений, и скорость движение подъемного устройства робота существенно выше допустимых значений, то состояние робота считают ненормальном.

**Правило 7:** Если угол поворота поворотного устройства робота нуль, близко к нулю, и скорость движение подъемного устройства робота нуль, близко к нулю, то состояние робота считают ненормальном.

Для фаззификации термов лингвистической переменной [7] А выбраны функции принадлежности (рисунок 1) в универсуме  $X_1=[0,90]$  и определены следующие нечёткие множества:  $A_1=[0,0,5,13]$ - нуль, близко к нулю;  $A_2=[11,14,20,26]$ - ниже допустимых значений;  $A_3=[24,5,25,34,39]$ - чуть ниже допустимых значений;  $A_4=[37,40,45,50]$  – соответствует допускам;  $A_5=[48,53,58,63]$ - чуть выше допустимых значений;  $A_6=[62,67,72,75]$  - выше допустимых значений;  $A_7=[74,83,90,90]$  - существенно выше допустимых значений.

На рис.1 представлено интерактивное окно, через которое фаззифицируются всех термов лингвистической переменной « угол поворота поворотного устройства» по средствам трапецивидных функций принадлежности на универсуме  $[0,90]$ .

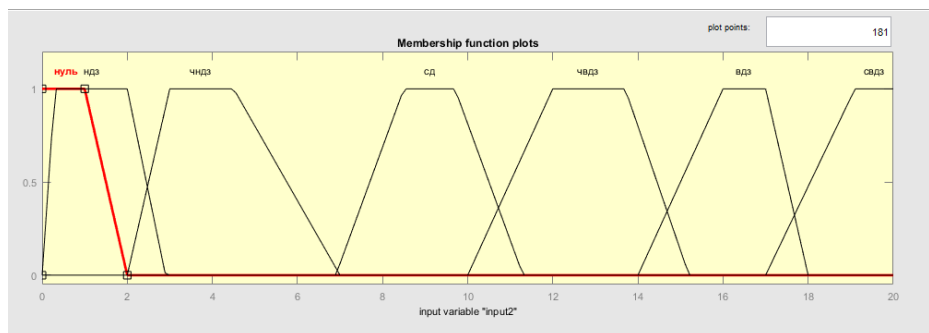


**Рисунок 1.** Графическое изображение функции принадлежности входных лингвистических переменных « угол поворота поворотного устройства робота»

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;  $B_2=[0,0.3, 2,2.9]$  - ниже допустимых значений;  $B_3=[2,3,4.5,7]$  - чуть ниже допустимых значений;  $B_4=[6.9,8.9.7,11.3]$  – соответствует допускам;  $B_5=[10,12, 13.7, 15]$  - чуть выше допустимых значений;  $B_6=[14.1,16,17,18]$  - выше допустимых значений;  $B_7=[17.2,19.1,20,20]$  - существенно выше допустимых значений.

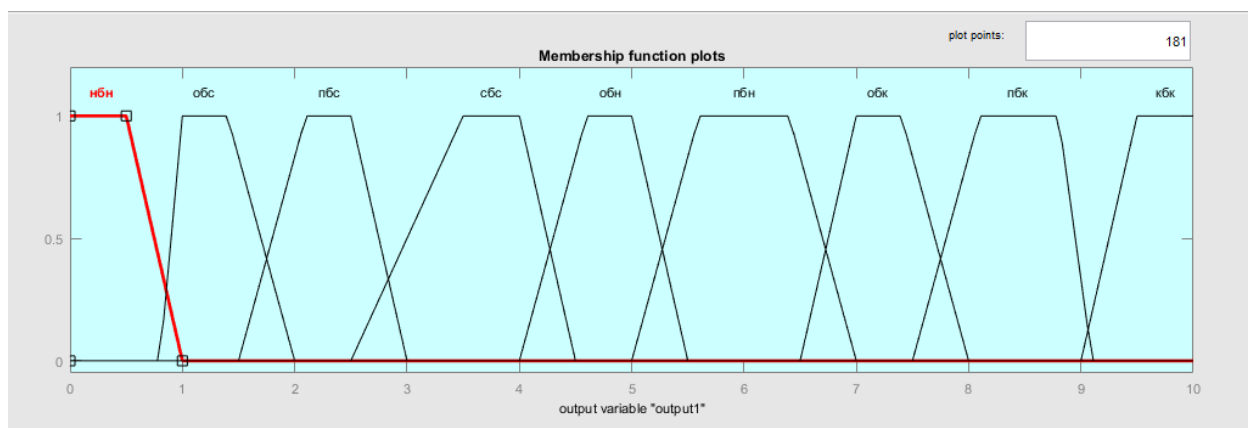
На рис.2 представлено интерактивное окно через которое фаззифицируются всех термов лингвистической переменной по средствам трапецивидных функции принадлежности на универсуме  $[0,20]$ .

Для фаззификации термов лингвистической выходой переменной С выбраны функции принадлежности (рисунок 3) в универсуме  $X_3=[0,10]$  и определены следующие нечёткие множества:  $C_1=[0,0,0.5,1]$ -ненормальный ;  $C_2=[0.8,1,1.4,2]$  - близко к нормальной;  $C_3=[1.5,2.1,2.5,3]$ - нормальный;  $C_4=[2.8,3.5,4,4.3]$  - близко к нормальной;  $C_5=[4,4.6,5,5.5]$  – состояние робота принимают в систему контроля;  $C_6=[17,19,20,20]$ - ненормальный.



**Рисунок 2.** Графическое изображение функции принадлежности входных лингвистических переменных « скорость движения подъемного устройства робота»

На рис.3 представлено интерактивное окно, через которое фаззифицируются всех термов лингвистической переменной « состояние робота» по средствам трапецивидных функций принадлежности на универсуме [0,10].



**Рисунок 3.** Графическое изображение входных лингвистических переменных « состояние робота»

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

$$\begin{aligned}
 A_1(x) &= \{(1/0), (1/1), (1/2), (1/3), (1/4), (1/5), (0,875/6), (0,75/7), (0,625/8), (0,5/9), (0,375/10), (0,25/11), (0,125/12), (0/13)\} \\
 A_2(x) &= \{(0/0), (0/1), (0/2), (0/3), (0/4), (0/5), (0/6), (0/7), (0/8), (0/9), (0/10), (0/11), (0/333/12), (0,666/13), (1/14), (1/15), (1/16), (1/17), (1/18), (1/19), (1/20), (0,833/21), (0,666/22), (0,5/23), (0,333/24), (0,166/25), (26/0)\} \\
 A_3(x) &= \{(0/0), (0/3.5), (0/7), (0/10.5), (0/14), (0/17.5), (0/21), (0/24.5), (1/28), (1/31.5), (0,8/35), (0,1/38.5)\} \\
 A_4(x) &= \{(0/0), (0/5), (0/10), (0,15), (0,20), (0,142/25), (1/30), (0,8/35), (0/40), (0/45), (0,50)\} \\
 A_5(x) &= \{(0/0), (0/6), (0/12), (0/18), (0/24), (1/30), (0,6/36), (0/42), (0/48), (0/54), (0/60), (0/66)\} \\
 A_6(x) &= \{(0/0), (0/2), (0,4), (0/6), (0/8), (0/10), (0/12), (0/14), (0/16), (0/18), (0/20), (0/22),
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (0/24), (0.428/126), (1/28), (1/30), (1/32), (1/34), (0.6/36), (0.2/38), (0/40), (0/42), (0/44), \\
 & (0/46), (0/48), (0/50), (0/52), (0.54), (0.56), (0/58), (0/60), (0/62), (0.64), (0/66), \\
 & \quad 0/68), (0/70), (0/72), (0/74), (0/76)\} \\
 A_7(x) = & \{(0/0), (0/6), (0/12), (0/18), (0/24), (1/30), (0.6/36), (0/42), (0/48), (0/54), (0/60), \\
 & (0/66), (0/72), (0/78), (0/84), (0/90)\}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 B_1(x) = & \{(0/0), (0/0.1), (0/0.2), (0/0.3), (0/0.4), (0/0.5), (0/0.6), (0/0.7), (0/0.8), (0/0.9), (0/1), (0/1.1), (0/1.2), (0/1.3), (0/1.4), (0/1.5), (0/1.6), (0/1.7), (0/1.8), (0/1.9), (0/2)\} \\
 B_2(x) = & \{(0/0), (0/0.3), (0/0.6), (0/0.9), (0/1.2), (0/1.5), (0/1.8), (0/2.1), (0/2.4), (0/2.7)\} \\
 B_3(x) = & \{(0/0), (0/0.5), (0/1), (0/1.5), (0/2), (0/2.5), (0/3), (0/3.5), (0/4), (0/4.5), (0/5), (0/5.5), (0/6), (0/6.5), (0/7)\} \\
 B_4(x) = & \{(0/0), (0/0.3), (0/0.6), (0/0.9), (0/1.2), (0/1.5), (0/1.8), (0/2.1), (0/2.4), (0/2.7), (0/3), (0/3.3), (0/3.6), (0/3.9), (0/4.2), (0/4.5), (0/4.8), (0/5.1), (0/5.4), (0/5.7), (0/6), (0/6.3), (0/6.6), (0/6.9), (0/7.2), (0/7.5), (0/7.8), (0/8.1), (0/8.4), (0/8.7), (0/9), (0/9.3), (0/9.6), (0/9.9), (0/10.2), (0/10.5), (0/10.8), (0/11.1), (0/11.4)\} \\
 B_5(x) = & \{(0/0), (0/2), (0/4), (0/6), (0/8), (0/10), (0/12), (0/14), (0/16), (0/18)\} \\
 B_6(x) = & \{(0/0), (0/1), (0/2), (0/3), (0/4), (0/5), (0/6), (0/7), (0/8), (0/9), (0/10), (0/11), (0/12), (0/13), (0/14), (0/15), (0/16), (0/17), (0/18)\} \\
 B_7(x) = & \{(0/0), (0/0.5), (0/1), (0/1.5), (0/2), (0/2.5), (0/3), (0/3.5), (0/4), (0/4.5), (0/5), (0/5.5), (0/6), (0/6.5), (0/7), (0/7.5), (0/8), (0/8.5), (0/9), (0/9.5), (0/10), (0/10.5), (0/11), (0/11.5), (0/12), (0/12.5), (0/13), (0/13.5), (0/14), (0/14.5), (0/15), (0/15.5), (0/16), (0/16.5), (0/17), (0/17.5), (0/18), (0/18.5), (0/19), (0/20)\}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 C_1(x) = & \{(0/0), (0/0.5), (0/1)\} \\
 C_2(x) = & \{(0/0), (0/0.2), (0/0.4), (0/0.6), (0/0.8), (0/1), (0/1.2), (0/1.4), (0/1.6), (0/1.8), (0/2)\} \\
 C_3(x) = & \{(0/0), (0/0.5), (0/1), (0/1.5), (0/2), (0/2.5), (0/3)\} \\
 C_4(x) = & \{(0/0), (0/0.1), (0/0.2), (0/0.3), (0/0.4), (0/0.5), (0/0.6), (0/0.7), (0/0.8), (0/0.9), (0/1), (0/1.1), (0/1.2), (0/1.3), (0/1.4), (0/1.5), (0/1.6), (0/1.7), (0/1.8), (0/1.9), (0/2), (0/2.1), (0/2.2), (0/2.3), (0/2.4), (0/2.5), (0/2.6), (0/2.7), (0/2.8), (0/2.9), (0/3), (0/3.1), (0/3.2), (0/3.3), (0/3.4), (0/3.5), (0/3.6), (0/3.7), (0/3.8), (0/3.9), (0/4), (0/4.1), (0/4.3)\} \\
 C_5(x) = & \{(0/0), (0/0.5), (0/1), (0/1.5), (0/2), (0/2.5), (0/3), (0/3.5), (0/4), (0/4.5), (0/5), (0/5.5)\} \\
 C_6(x) = & \{(0/0), (0/0.2), (0/0.4), (0/0.6), (0/0.8), (0/1), (0/1.2), (0/1.4), (0/1.6), (0/1.8), (0/2), (0/2.2), (0/2.4), (0/2.6), (0/2.8), (0/3), (0/3.2), (0/3.4), (0/3.6), (0/3.8), (0/4), (0/4.2), (0/4.4), (0/4.6), (0/4.8), (0/5), (0/5.2), (0/5.4), (0/5.6), (0/5.8), (0/6), (0/6.2), (0/6.4), (0/6.6), (0/6.8), (0/7)\} \\
 C_7(x) = & \{(0/0), (0/0.3), (0/0.6), (0/0.9), (0/1.2), (0/1.5), (0/1.8), (0/2.1), (0/2.4), (0/2.7), (0/3), (0/3.3), (0/3.6), (0/3.9), (0/4.2), (0/4.5), (0/4.8), (0/5.1), (0/5.4), (0/5.7), (0/6), (0/6.3), (0/6.6), (0/6.9), (0/7.2), (0/7.5), (0/7.8), (0/8.1), (0/8.4), (0/8.7), (0/9), (0/9.3)\} \\
 C_8(x) = & \{(0/0), (0/5), (0/1), (0/1.5), (0/2), (0/2.5), (0/3), (0/3.5), (0/4), (0/4.5), (0/5), (0/5.5), (0/6), (0/6.5), (0/7), (0/7.5), (0/8), (0/8.5), (0/9), (0/9.5), (0/10)\}
 \end{aligned}$$

Для общего анализа разработанного нечеткого вывода “состояние робота” выполнена визуализация поверхности нечеткого вывода (рисунок 4) и это позволяет установить зависимость между входных и выходных переменных нечеткого вывода. (рисунок 5).

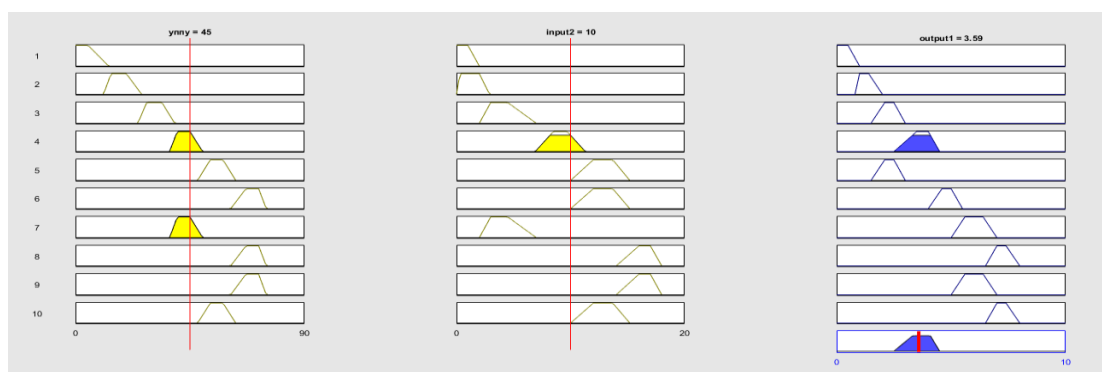


Рисунок.4. Визуализация результатов выполнения правил

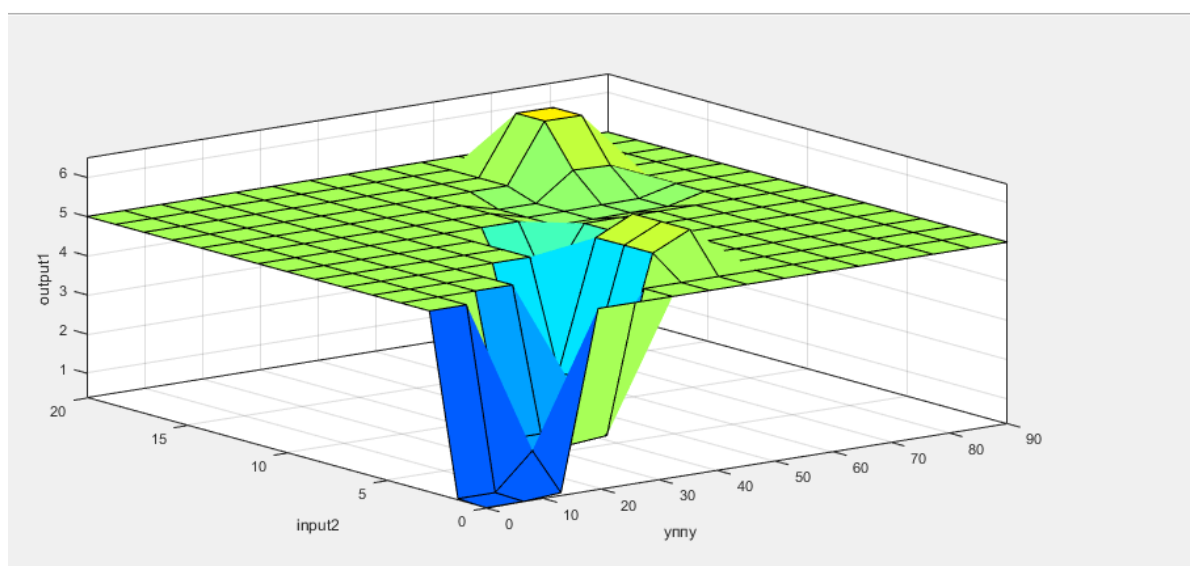


Рисунок.5. Трехмерное изображение результата дефазификации выходных переменных «состояние робота»

### 3. Заключение

Разработан модель управления промышленного робота в виде нечетких продукционных систем. Создана база правил, реализован процедура фазификации входных лингвистических переменных. Осуществлен процедура фазификация вхоных и выходных лингвистических переменных используя трапециевидных функции принадлежности нечетких интервалов. В результате дефазификации выходных лингвистических переменных определены их количественные значение.

### Литература

- [1]. Осуга С. Обработка знаний: пер. с. англ. М., 1986, 293 с.
- [2]. Борисов В.В., Круглов В.В., Федурлов Ф.С. Нечеткие модели и сети. М.: Телеком, 2012, 725с.
- [3]. Mustafayev V.A., Salmanova M.N. Decision making model for controls of comlex parallel functioning distributed systems //The 7<sup>th</sup> International Conference on Control and Optimization

- with Industrial Applications (COIA 2020), Volume I, -Baku:- 26-28 August,-2020,-p.293-295
- [4]. Управление ГПС: Модели и алгоритмы./ под.общ.ред.академика АН.СССР С.В. Емельянова, М. Машиностроение. 1987, 369 с.
- [5]. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH / А.В.Леоненков, –СПб. : БХВ- Петербург , -2005,-717с.
- [6]. Mustfayev, V.A., Zeynalabdiyeva, I.S., Kravets, O.Ja. Control model of parallel functioning production modules as fuzzy Petri nets / Journal of Physics: Conference Series JRC, Volum 2021,– pp.1074-1079
- [7]. Ahmedov, M.A., Mustfayev, V.A., Atayev, G.N., Rahimov, Sh.R. Simulation of Dynamical Enterprises Process with Application of the Modification Fuzzy Net Petri / Advances in Intelligent Systems and Computing: Volume 502, –2017, – pp.913-921

#### Xülasə

#### **Qeyri-müəyyənlik şəraitində sənaye robotunun işləməsi üçün qərar qəbuletmə modeli**

**Əliyeva K.R., Budaqov İ.S.**

**Açar sözlər:** *qaydalar bazası, idarəetmə modeli, yoxlanılmayan, ağıllı sənaye robotu*

Qeyri-səlis neyron şəbəkələr formasında sənaye robotunun modeli hazırlanıb. Qeyri-səlis qaydalar bazası yaradılmış, giriş və çıxış dəyişənlərinin qeyri-səlisləşdirilməsi proseduru həyata keçirilmiş, giriş şərtlərinin doğruluq dərəcəsi müəyyən edilmişdir. Qeyri-səlisləşdirmənin nəticəsi çıxış dəyişənlərinin kəmiyyət qiymətidir.

#### Summary

#### **Model of decision making for the functioning of an industrial robot under conditions of uncertainty**

**Aliyeva K.R., Budaqov I.S.**

**Keywords:** *rule base, control model, non-check, intelligent industrial robot*

A model of an industrial robot in the form of fuzzy neural networks has been developed. A fuzzy rules base has been created, a procedure for fuzzification of input and output variables has been implemented, and the degree of truth of input conditions has been determined. As a result of defuzzification, the quantitative value of output variables has been determined.

## Исследование влияния различных факторов на состав и качество нанопокровов в системе Re–Mo

<sup>1</sup>Салахова Эльза Абдулазиз гызы [ORCID](#)

<sup>2</sup>Тагиев Дильгам Бабир оглу [ORCID](#)

<sup>3</sup>Ализаде Йылмаз Эльшан оглу [ORCID](#)

Институт катализа и неорганической химии им. М.Нагиева, Баку, Азербайджан

1-д.х.н., 2-академик, 3-диссертант

[elza\\_salahova@mail.ru](mailto:elza_salahova@mail.ru)

### ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

#### Даты статьи

Получено: 16.12.2024

Исправлено: 04.02.2025

Принято: 10.03.2025

#### Ключевые слова:

сплавы рения, молибден, тонкие покрытия, электрохимическое осаждение, бинарные сплавы, плотность тока

### РЕЗЮМЕ

Данная работа посвящается исследованию вольтамперных зависимостей при совместном электровосстановлении перренат и молибдат ионов из сульфатных электролитов на Pt-электрод. Изучено влияние различных факторов, таких как содержание компонентов в электролите, плотность тока, температура, кислотность растворов и т.д., на состав и качество покрытий. На основании данных химического и рентгеноструктурного анализа установлено, что электроосажденные покрытия имеют состав  $\text{Mo}_{1,6}\text{Re}_{2,7}$  (Mo 23% Re 77%), который близок к химическому соединению  $\text{Mo}_2\text{Re}_3$ . Показано, что наиболее целесообразно проводить электролиз при температуре 75<sup>0</sup>С. Выяснилось, что проведение процесса при более высоких температурах и плотностях тока приводит к некоторому повышению выхода металла по току, однако усложняет процесс. На основании экспериментальных данных установлено, что для получения полупроводниковых сплавов рений-молибден, содержащих 35-80% Re, рекомендуется следующий состав электролита (моль/л): Состав электролита (моль/л):  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{Na}_2\text{MoO}_4 + 3,5 \cdot 10^{-3} \text{KReO}_4 + 2,0 \text{H}_2\text{SO}_4$ ; pH=0,4; V=0,005 Вс<sup>-1</sup>; t=75<sup>0</sup>С, электрод – Pt.

## 1. Введение

Известно, что сплавы на основе тугоплавких металлов являются перспективными кандидатами для использования в сверхвысокотемпературных приложениях из-за их чрезвычайно высоких температур плавления и исключительных механических свойств [1].

Поэтому в связи с рядом полезных и перспективных свойств сплавов тугоплавких металлов возникает научный интерес к исследованиям в этой области. Сочетание уникальных физико-химических свойств рения делает этот металл перспективным для использования в таких высокотехнологичных отраслях, как авиация, ракетное двигателестроение, атомная энергетика, электроника, биомедицина и гетерогенные катализаторы [2-6]

Поскольку и молибден, и рений являются тугоплавкими металлами, смешивание этих двух элементов в виде сплавов позволяет добиться двойного преимущества как высокотемпературных физических свойств рения, так и превосходных механических свойств молибдена; таким образом, общие характеристики сплава значительно улучшаются.

Рений имеет самую высокую температуру плавления (3185 <sup>0</sup>С) среди драгоценных металлов и вторую по величине температуру плавления среди всех металлических элементов, уступая только вольфраму (3422 <sup>0</sup>С), что делает его исключительным металлом

для использования в приложениях с высоким сопротивлением, таких как производство термопар, нагревательных устройств и лопаток реактивных турбин [7].

При легировании другими металлами Мо может придавать образующемуся покрытию различные свойства. Как известно, молибден является тугоплавким металлом с низкой пластичностью. Добавление редкоземельного элемента рения (8-47%) значительно повышает пластичность и позволяет создавать сплавы с такими свойствами, как тугоплавкость, жаропрочность, высокая коррозионная стойкость, наличие хорошей электродвижущей силы [8-9].

Сплав молибден-рений – одна из передовых разработок металлургической промышленности, которая была представлена миру совсем недавно. Благодаря наличию в сплаве рения молибден становится пластичным. Это в свою очередь позволяет использовать его для получения сплавов, наделенных такими уникальными качествами, как: стойкость к высоким температурам; коррозионная стойкость; тугоплавкость. Поэтому электрохимическое получение сплавов с заданными свойствами является актуальным и имеет существенный интерес в будущем.

Ранее нами было изучено совместное электроосаждение рения, рения и молибдена из сульфатных электролитов на Pt-электроде [10-14]. В работе более подробно изучено электроосаждение молибдена из выбранного электролита, знание которых поможет выбрать оптимальные условия совместного осаждения молибдена с рением. Анализ результатов измерений катодных и анодных поляризационных кривых при совместном электроосаждении рения с молибденом показывает, что процесс совместного осаждения сопровождается деполяризацией, что доказывает образование химического соединения или твердого раствора на основе этих соединений и определены области потенциалов, при которых на катоде образуются стехиометрические соединения [15,16].

На основании экспериментальных данных разработаны оптимальный состав электролита и режим электролиза для получения качественных полупроводниковых покрытий молибдена с рением из сульфатного электролита.

Целью данной работы является электрохимический синтез новых наноматериалов на основе сплавов Re-Mo на различных подложках и изучение влияния различных факторов, таких как содержание компонентов в электролите, плотность тока, температура, кислотность растворов и т. д. на состав и качество покрытий.

## 2. Экспериментальная часть

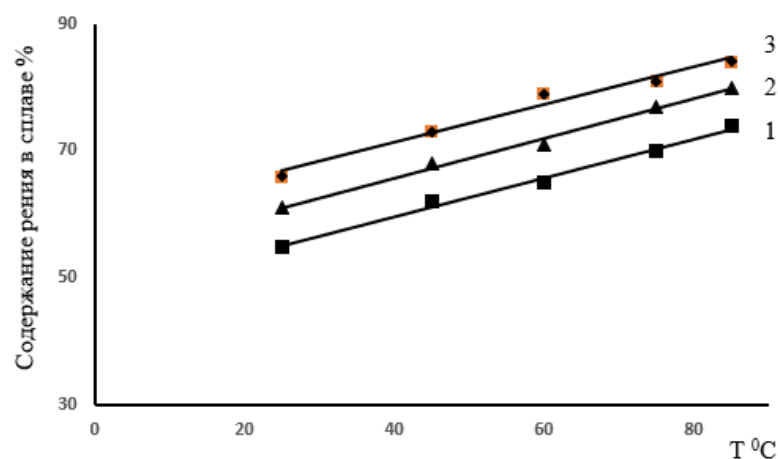
Для проведения экспериментов была использована трехэлектродная электрохимическая ячейка, которая содержала рабочий электрод с площадью поверхности  $0.07 \text{ см}^2$ , платиновый вспомогательный электрод и хлорсеребряный электрод сравнения. Все значения потенциалов приведены относительно этого электрода. Рабочие электроды промывали спиртом и водой. Снятие вольтамперных кривых осуществляли без перемешивания электролита. Исследования структуры и состава пленок проводили на трех различных подложках - Pt, Ni. Рабочая температура при электроосаждении составляла  $75^\circ\text{C}$ , время осаждения варьировалось в интервале от 30 до 60 мин. После осаждения образцы промывали дистиллированной водой. Исследование проводили из сернокислого электролита, содержащего серную кислоту, перренат калия и молибдат натрия. Кинетику процессов контролировали с помощью циклической вольтамперометрии на приборе IVIUMSTAT. Рентгеноструктурный анализ пленок проводился на установке ДРОН-5 с помощью  $\text{CuK}\alpha$ -излучения. Для анализа катодный осадок растворяли нагреванием в концентрированной  $\text{HNO}_3$ . Количество рения и молибдена определяли также отдельно с тиомочевинным комплексом спектрофотометрическим методом на приборе SPECORD 50 PLUS.

### 3. Результаты и обсуждение

С целью выяснения характера зависимости между составом электролитического сплава рений-молибден и некоторыми факторами, влияющими на электролиз, изучено влияние различных факторов (концентрации компонентов, комплексобразователя, плотности тока, температуры, pH) на состав и качество сплавов.

Выяснилось, что эти факторы по-разному влияют на состав и качество сплава. Таким образом, на основании проведенных исследований подобраны оптимальные условия для совместного осаждения молибдена с рением и необходимый состав электролита.

В соответствии с полученными данными установлено, что большое влияние на состав и качество сплавов Re–Mo оказывает температура. С повышением температуры содержание рения в сплаве увеличивается. Величина предельного тока также возрастает, что вероятно связано с диффузионными изменениями в прикатодном слое. Качественные осадки в виде тонких пленок получаются при температуре 75–80 °С, а при 25–45 °С на катоде получаются рыхлые осадки сплава Re–Mo.



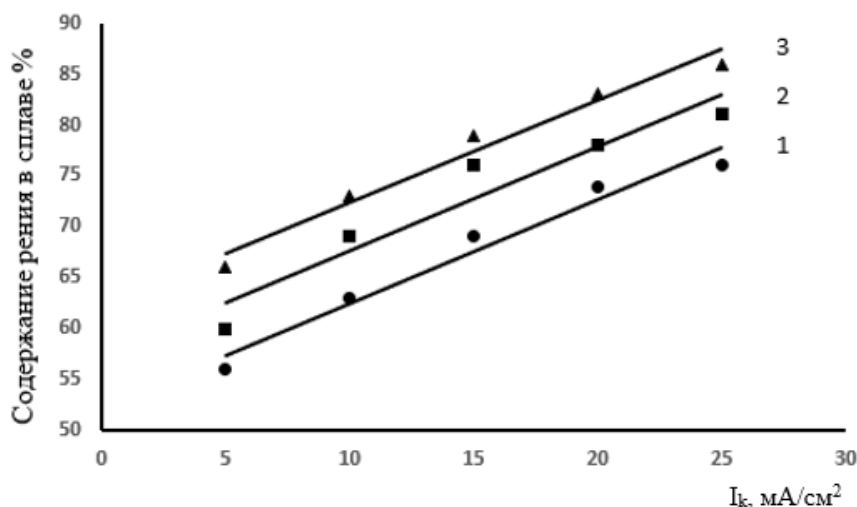
**Рисунок 1.** Зависимость состава сплава от температуры в электролите при различных плотностях тока мА/см²: 1–10; 2–15; 3–20. Состав электролита (моль/л):  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Na}_2\text{MoO}_4 + 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ KReO}_4 + 2,0 \text{ H}_2\text{SO}_4$ .

На рисунке 1 представлена зависимость состава сплава от температуры. Как видно из рисунка, при изменении температуры электролита от 20 до 90 °С, содержание рения в сплаве увеличивается от 50 до 80%. Плотные, равномерные, мелкокристаллические покрытия, с хорошей адгезией к поверхности, получаются при температуре 75 °С. Дальнейшее увеличение температуры до 90 °С приводит к разрыхлению осадков. При температуре 75 °С из электролита состава (моль/л):  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Na}_2\text{MoO}_4 + 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ KReO}_4 + 2,0 \text{ H}_2\text{SO}_4$ , при значении  $i_k = 15 \text{ мА/см}^2$  на платиновом электроде образуется покрытие молибдена-рения (23% Мо и 77% Re), состав которого соответствует  $\text{Mo}_{1,6}\text{Re}_{2,7}$ . Химическим и рентгеноструктурным анализом установлено, что эти покрытия однофазные, кристаллические и соответствуют по составу соединению  $\text{Mo}_2\text{Re}_3$ .

На основании полученных экспериментальных данных, можно сделать вывод, что наиболее оптимальная температура для проведения электролиза составляет 75 °С. А при более высоких температурах и плотностях тока, процесс затрудняется, хотя и приводит к некоторому повышению выхода металла.

Согласно полученной зависимости представленной на рисунке 1 содержание рения в сплаве при значении плотности тока 10 мА/см² меняется в интервале 55–70 %, а при 20 мА/см² находится в пределах 68–80 %.

Также показано, что состав и качество получаемых покрытий значительно зависят от плотности тока (рис 2)



**Рисунок 2.** Зависимость плотности тока от содержания рения при различных концентрациях рения: (моль/л): Состав электролита моль/л: 1 -  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Na}_2\text{MoO}_4 + 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ KReO}_4 + 2,0 \text{ H}_2\text{SO}_4$  2. -  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Na}_2\text{MoO}_4 + 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ KReO}_4 + 2,0 \text{ H}_2\text{SO}_4$ ; 3 -  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Na}_2\text{MoO}_4 + 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ KReO}_4 + 2,0 \text{ H}_2\text{SO}_4$ ;

Повышение плотности тока способствует получению на катоде мелкокристаллических компактных и равномерных покрытий, поскольку образование кристаллических зародышей протекает более интенсивно не только на выступах, но и на гранях кристаллов.

Как правило, с ростом плотности тока увеличивается как диффузионные перенапряжения, так и перенапряжения разряда. Кроме того, повышение плотности тока приводит к обеднению прикатодного пространства разряжающимися ионами, что, в свою очередь приводит к увеличению поляризации, способствуя формированию мелкокристаллической структуры.

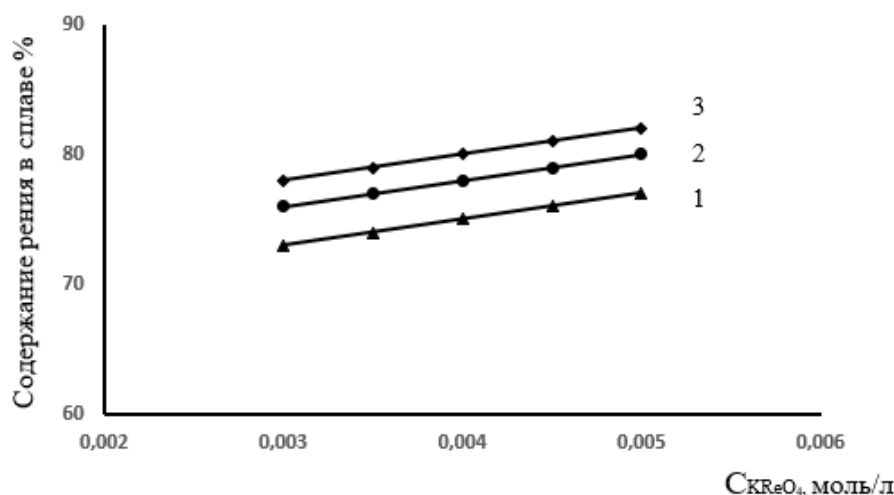
С другой стороны, беспредельно увеличивать плотность тока не рекомендуется, поскольку в зависимости от состава электролита существует оптимальная область осаждения качественных катодных осадков

При исследовании влияния плотности тока, представленной на рисунке 2 видно, что при концентрации перрената  $3,0 \cdot 10^{-3}$  моль/л процентное содержание рения в катодном осадке находится в интервале 55-75 %, а при значении  $4,0 \cdot 10^{-3}$  моль/л данное значение находится в интервале 65-85 %.

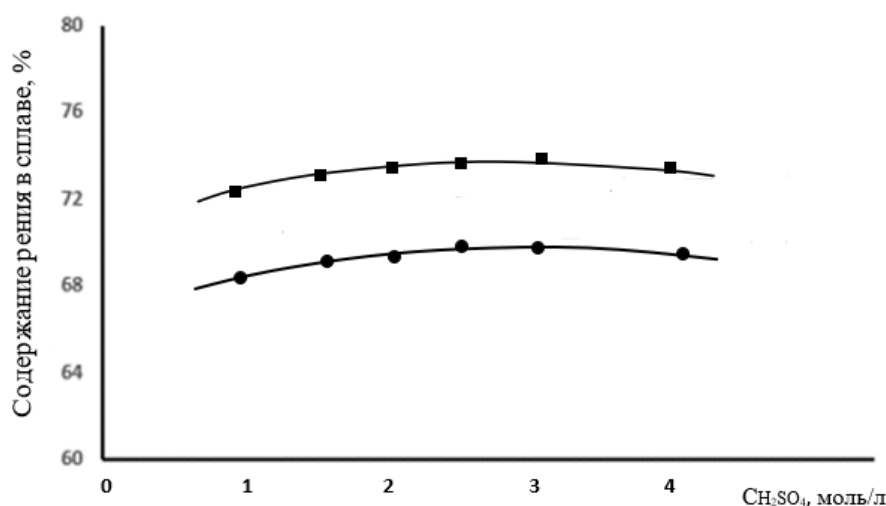
На состав и качество катодных осадков рений-молибден существенное влияние оказывает и концентрация рения в электролите. Установлено, что с увеличением концентрации содержание рения в сплаве увеличивается и качество катодных осадков улучшается. На рисунке 3 представлена зависимость состава катодного осадка от концентрации рения в электролите. Хорошего качества, мелкокристаллические покрытия получают при температуре  $75^\circ\text{C}$  из электролита состава (моль/л):  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Na}_2\text{MoO}_4 + 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ KReO}_4 + 2,0 \text{ H}_2\text{SO}_4$ , при  $i_k = 15 \text{ mA/cm}^2$  на платиновом электроде.

При исследовании влияния концентрации рения на катодный осадок, представленной на рисунке 3 заметно, что при значении плотности тока  $i_k = 10 \text{ mA/cm}^2$  содержание рения в сплаве составляет 72-77 %, а при  $i_k = 20 \text{ mA/cm}^2$  данное значение меняется в пределах 78-82 %.

Состав катодного осадка рений-молибден также сильно зависит от концентрации кислоты в электролите. Концентрация  $\text{H}_2\text{SO}_4$  оказывает противоположное влияние на состав катодных осадков. С увеличением концентрации  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , уменьшается содержание рения в сплаве.



**Рисунок 3.** Зависимость состава сплава Re-Mo от концентрации рения при различных плотностях тока (мА/см²): 1 – 10; 2 – 15; 3 – 20. Состав электролита (моль/л):  $1,5 \cdot 10^{-3} Na_2MoO_4 + 2,0 H_2SO_4$ ;  $T=75^\circ C$



**Рисунок 4.** Зависимость состава сплава Re-Mo от концентрации  $H_2SO_4$  в электролите при различных плотностях тока (мА/см²): 1 – 15, 2 – 20. Состав электролита (моль/л):  $1,5 \cdot 10^{-3} Na_2MoO_4 + 3,5 \cdot 10^{-3} KReO_4$

На рисунке 4 представлена зависимость состава катодного осадка от концентрации кислоты в электролите. С увеличением концентрации кислоты от 0,5 до 2 моль/л содержание рения в сплаве увеличивается, а при изменении концентрации кислоты выше 3 моль/л содержание рения в сплаве уменьшается. При концентрации кислоты 2 моль/л на катоде из электролита следующего состава получают блестящие мелкокристаллические покрытия толщиной 10 мк с хорошей адгезией:  $1,5 \cdot 10^{-3} Na_2MoO_4 + 3,5 \cdot 10^{-3} KReO_4 + 2,0 H_2SO_4$ , при плотности тока  $i_k = 15 \text{ мА/см}^2$ .

При кислотности 1,5 моль/л из электролита вышеприведенного состава на катоде получены гладкие покрытия Re-Mo толщиной 8 мк с синими оксидами рения на некоторых краях электродов при плотности тока  $i_k = 15 \text{ мА/см}^2$  и температуре  $75^\circ C$ . А при увеличении концентрации выше 3 моль/л на катоде образуются более прочные комплексы, которые начинают разряжаться при более отрицательных потенциалах и содержание рения в сплаве уменьшается.

В работе также рассмотрено влияние продолжительности осаждения при различных плотностях тока и pH электролитов на свойства сплава рений-молибден. Установлено, что с увеличением времени осаждения сплава рений-молибден из сульфатного электролита, pH которого составляет 0,4, а катодные плотности тока составляют 5 и 25 мА/см<sup>2</sup>, состав сплава изменяется незначительно (относительное содержание молибдена в покрытии изменяется не более чем на 10%, при разнице во времени электроосаждения 50 минут).

В процессе электроосаждения сплава молибдена-рения из сульфатных растворов в гальваностатических условиях, осаждение рения происходит преимущественно при малых значениях плотности тока. Полученный осадок имеет черный цвет. По мере увеличения плотности тока наблюдается осаждение молибдена (осадок черно-синего цвета). А при средних значениях плотности тока наблюдается осаждение Re-Mo (темно-синий осадок). Таким образом, из вышеизложенного следует, что при соосаждении двух металлов необходимо правильно подобрать плотность тока.

Так, если проводить процесс электролиза при малых плотностях тока, то количество рения в осаждаемом покрытии будет высоким. А при высоких значениях плотности тока, наоборот, содержание молибдена в сплаве будет высоким. Поэтому, принимая значения концентраций компонентов в соотношении 1:2, необходимо выбрать средние плотности тока. В результате, осаждение сплавов Re-Mo высокого качества из сульфатных электролитов возможно при средних значениях плотности тока в интервале  $i_k = 10 \div 20$  мА/см<sup>2</sup> и температуре 75 °С.

Таким образом на основе многочисленных экспериментов нами предложены оптимальные условия для получения тонких пленок Re-Mo методом электроосаждения: состав электролита, режим электролиза (моль/л):  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Na}_2\text{MoO}_4$ ,  $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ KReO}_4$ , 1,5 - 3 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,  $i_k=5-25$  мА/см<sup>2</sup>, продолжительность электролиза – 30-60 мин,  $t - 75^\circ \text{C}$ , катод – Pt, Ni, анод- Pt.

#### 4.Выводы

1. Установлено, что высококачественные осадки в виде тонких пленок получаются при температуре 75-80°С, а при 25-45°С на катоде образуются рыхлые осадки сплава Re-Mo.

2. Исследование процесса электролитического осаждения Re-Mo показывает, что состав и качество получаемых покрытий в основном зависят от плотности тока. Показано, что с ростом плотности тока от 5 мА/см<sup>2</sup> до 25 мА/см<sup>2</sup> количество рения в сплаве увеличивается от 50% до 80%.

3. Выяснилось, что состав катодного осадка рений-молибден также зависит от концентрации кислоты в электролите. Концентрация H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> оказывает противоположное влияние на состав катодных осадков. С увеличением концентрации H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> содержание рения в сплаве уменьшается.

5. На основании экспериментальных данных для получения тонких покрытий рения и молибдена рекомендуется следующий состав электролита:  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Na}_2\text{MoO}_4$ ,  $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ KReO}_4$ , 1,5 - 3 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,  $i_k=5-25$  мА/см<sup>2</sup>,  $t - 75^\circ \text{C}$ .

#### Литература

- [1]. Ozalp. A. Development and directed energy deposition of high strength Hf<sub>5</sub>Mo<sub>15</sub>Nb<sub>35</sub>Ta<sub>25</sub>Ti<sub>20</sub> refractory high entropy alloys / A. Ozalp, C. Okuyucu [et al.] // J Materials Characterization. – 2024. 209, – 113679.
- [2]. Naor A., Eliaz N. Ammtiac quarterly. Properties and applications of rhenium and its alloys, 2010, 5(1) p.11-15
- [3]. James E. Renuim; Propereties, uses and occurrence, 2016, p. 130

- [4]. Salakhova E.A., Aliyev A.M. Obtaining the thin semiconductive covering Re-Se from sulphate electrolyte, Journal of Advanced in Materials and Physics Chemistry, China, 2012, 2(4), 253-255.
- [5]. Salakhova E.A., Tagiyev D.B. Ibrahimova K.F., Kalantarova P.E. Electrochemical production of nanocoatings in the Re-Cu-Se system and their morphology. "Chemistry and Chemical Technology", 2021. 64(2) c.34-40.
- [6]. Salakhova E.A, Tagiyev, Kalantarova P.E, Electrochemical obtaining of rhenium-molybdenum alloys. E.A Salakhova P.E Kalantarova [et al.]// J. Electrochem. Sci. Eng. – 2023. 13(3), c. 563-573
- [7]. Mohammad S. Z. Synthesis study of size-controlled rhenium nanoparticle systems using reverse micelle-based methodologies. / S. Z. Mohammad, M. H Anna[et al.] // J. Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects. -2024. 694, c.134150
- [8]. Salakhova E.A Kalantarova P.E Electrodeposition of thin molybdenum coatings from sulfate solutions. / E.A Salakhova P.E Kalantarova [et al.]// Azerbaijan chemical journal. – 2023. № 2. – pp.47-53
- [9]. Salakhova, E.A. Tagiyev D.B, Electrochemical obtaining of rhenium-molybdenum alloys./ E.A Salakhova [et al.] J.Electrochem.Sci.Eng. 13(3) (2023) p.563-573.
- [10]. Haftbaradaran A., Parvini-Ahmadi N., Yazdani S. Electrodeposition and characterization of metallic molybdenum from aqueous electrolytes containing high acetate concentrations, Surface & Coatings Technology. – 2017, 324, p.1-6
- [11]. Siti Nur Hasan, Min Xu&Edouard Asselin. Electrodeposition of metallic molybdenum and its alloys – a review. Canadian metallurgical Quarterly. The Canadian journal of Metallurgy and materials Science. Volume 58, Issue 1, August 2018, p.1-18.
- [12]. Domanski, Daniel Feliks Raphael. The electrodeposition of metallic molybdenum thin - film coatings from aqueous electrolytes containing molybdate ions. 2015.
- [13]. Mary Joecile Ksycki<sup>1</sup> and L. F. Yntema. The Electrodeposition of Molybdenum from Aqueous Solutions. Journal of The Electrochemical Society, Volume 96, Number 1
- [14]. Makyta M., Zatkó P., and Bezdička P. Electrodeposition of Molybdenum from Molten Salts. Chem. Papers. –1993. 47 (1) c.28-31
- [15]. Rajak S. Electrodeposition of thick metallic amorphous molybdenum coating from aqueous electrolyte. / S. Rajak, S. K. Ghosh [et al.]// J. Surface and Coatings Technology. – 2015. 261, p.15-20.
- [16]. Syed, R.; Ghosh, S.K.; Kain, V.; Tripathi, R.P. Electrochemical investigation of molybdenum deposition from oxide based molten salt electrolyte. International Conference on Conference on Electrochemistry in Advanced Materials, Corrosion and Radiopharmaceuticals 2018, p.74

#### **Xülasə**

**Re–Mo sistemində nano örtüklərin tərkib və keyfiyyətinə müxtəlif amillərin təsirinin öyrənilməsi**

**Salakhova E.A., Əlizadə Y.E., Tağıyev D.B.**

**Açar sözlər:** *renium ərintiləri, molibden, nazik örtüklər elektrokimyəvi çökdürmə, ikili ərinti, cərəyan sıxlığı*

Bu iş Pt-elektrodu üzərində sulfat elektrolitlərindən perrenat və molibdat ionlarının birgə elektroreduksiya zamanı voltamper asılılıqlarının öyrənilməsinə həsr edilmişdir. Müxtəlif amillərin, məsələn, elektrolitdəki komponentlərin tərkibi, cərəyan sıxlığı, temperatur, məhlulların turşuluğu və s.-nin örtüklərin tərkib və keyfiyyətinə təsiri öyrənilmişdir. Kimyəvi və rentgen şüalarının difraksiya analizi əsasında müəyyən edilmişdir ki, elektrokimyəvi yolla çökdürülmüş örtüklər  $\text{Mo}_{1.6}\text{Re}_{2.7}$  (Mo 23% Re 77%) tərkibə malikdir, bu isə  $\text{Mo}_2\text{Re}_3$  kimyəvi birləşməsinə yaxındır. Göstərilmişdir ki, elektrolizin 75°C temperaturda aparılması daha məqsəduyğundur. Məlum olmuşdur ki, prosesin daha yüksək temperaturda və cərəyan sıxlığında aparılması metala görə çıxımın bir qədər artmasına gətirib çıxarır, lakin prosesi çətinləşdirir. Təcrübə məlumatlarına əsasən müəyyən edilmişdir ki, tərkibində 35-80% Re olan renium-molibden yarımkeçirici ərintiləri almaq üçün aşağıdakı elektrolit tərkibi (mol/l) tövsiyə olunur: Elektrolit tərkibi (mol/l)  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{Na}_2\text{MoO}_4 + 3,5 \cdot 10^{-3} \text{KReO}_4 + 2,0 \text{H}_2\text{SO}_4$ ; pH=0,4; V=0,005 Vs<sup>-1</sup>; t=75°C, elektrod – Pt.

### Summary

#### Study of the influence of various factors on the composition and quality of nanocoatings in the re-mo system *Salakhova E.A., Alizade Y.E., Tagiev D.B.*

**Keywords:** *rhenum alloys, molybdenum, thin coatings, electrochemical deposition, binary alloys, current density.*

This work is devoted to the study of current-voltage dependencies during the joint electroreduction of perrhenate and molybdate ions from sulfate electrolytes on a Pt electrode. The influence of various factors, such as the content of components in the electrolyte, current density, temperature, acidity of solutions, etc., on the composition and quality of coatings was studied. On the basis of chemical and X-ray diffraction analysis it was established that the electrodeposited coatings have the composition  $\text{Mo}_{1.6}\text{Re}_{2.7}$  (Mo 23% Re 77%), which is close to the chemical compound  $\text{Mo}_2\text{Re}_3$ . It was shown that it is most expedient to carry out electrolysis at a temperature of  $75^\circ\text{C}$ . It was found that carrying out the process at higher temperatures and current densities leads to some increase in the current efficiency of the metal, but complicates the process. Based on the experimental data, it was established that the following electrolyte composition (mol/l) is recommended for obtaining rhenum-molybdenum semiconductor alloys containing 35-80% Re: Electrolyte composition (mol/l):  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{Na}_2\text{MoO}_4 + 3,5 \cdot 10^{-3} \text{KReO}_4 + 2,0 \text{H}_2\text{SO}_4$ ; pH=0.4;  $V=0.005 \text{Vs}^{-1}$ ;  $t=75^\circ\text{C}$ , electrode – Pt.

## Thermodynamic functions of formation of aluniite, sodium and potassium aluminosilicates

<sup>1</sup>Mammadov Asif Nasib [ORCID](#)

<sup>2</sup>Mammadova Fidan Samir [ORCID](#)

<sup>3</sup>Sharifova Ulviyya Novruz [ORCID](#)

<sup>4</sup>Mustafayeva Afet Nabi [ORCID](#)

M. Nagiyev Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry, Baku Azerbaijan

Azerbaijan Technical University

1-professor, 2,3-PhD, 4-doctoral student

[asif1947a@gmail.com](mailto:asif1947a@gmail.com)

| ARTICLE INFO                                                                                                                                | ABSTRACT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Article history:</b><br>Received 25.01.2025<br>Received in revised form 10.02.2025<br>Accepted 03.03.2025<br>Available online 19.03.2025 | A correlation was established between the thermodynamic parameters (Gibbs free energy, enthalpy and entropy) of alunite and the thermodynamic parameters of Na, K aluminosilicates of the compounds they contain $\Delta Z(aA \cdot bB \cdot cC) = K [a\Delta Z(A) + b\Delta Z(B) + c\Delta Z(C)]$ , here $\Delta Z = \Delta G, \Delta H, \Delta S$ ; $K = 1,07$ . The values of enthalpy, Gibbs free energy and entropy of formation of sodium alunite $\text{NaAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ , potassium $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ , aluminosilicates $\text{Na}[\text{AlSiO}_4]$ , $\text{K}[\text{AlSiO}_4]$ , $\text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$ , $\text{K}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$ were refined. |
| <b>Keywords:</b><br>alunites, aluminosilicates, sodium, potassium, enthalpies, entropies, free energies of formation                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

### 1. Introduction

Alunite is a mineral with the formula  $\text{K}(\text{Na})\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ . Na, K, Ca aluminosilicates; are aluminum-rich compounds of silicon 4-oxide and belong to the group of rock-forming minerals. To develop the aluminum industry, it is necessary to expand research on the processing of alunite, nepheline and other aluminum-containing ores. The Zaglyg alunite ore deposit in Azerbaijan is a complex raw material for obtaining alum, alumina, aluminum sulfate, sulfuric acid, potassium fertilizers and aluminum oxide [1–7].

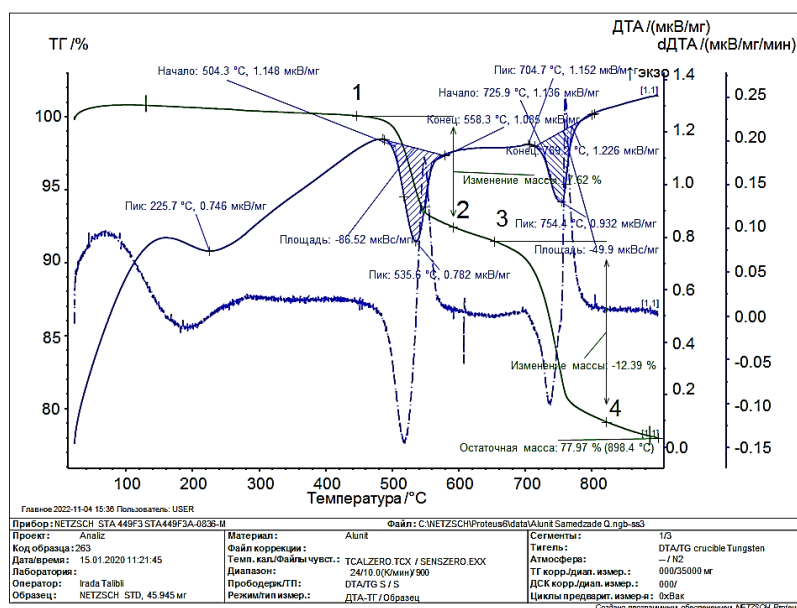
Alunites are a source of raw materials for aluminum hydroxide and aluminum oxide, which are important for aluminum production. Potassium and sodium sulfates and ammonium sulfates are also obtained from alunite, and ammonium cuprates are obtained by treating with ammonia. Some types of feldspars are used as jewelry and semi-precious stones, as well as in the ceramic and glass industries for the production of porcelain, high-voltage insulators, radioceramic products, special and optical types of glass, abrasives, welding electrodes, and other materials. The thermodynamic parameters of alunite and feldspars are of great importance for the development of their technology. Although there is extensive information on their thermodynamic parameters in databases, there is a discrepancy between the values of some thermodynamic parameters, such as Gibbs energy, enthalpy, and entropy, in different sources. Analysis of the literature [ 8-10] of the thermodynamic parameters of alunite and aluminosilicates shows that their Gibbs energy of formation, enthalpy and entropy are determined as the sum of the thermodynamic parameters of the compounds included in their composition, and their mutual influence is not taken into account. At the same time, calculations of thermodynamic functions of formation of multicomponents based on thermodynamic parameters of their components are known [ 11-13 ].

The aim of the work is to clarify the thermodynamic parameters of sodium and potassium alunites and Na, K, Ca aluminosilicates using calorimetric data and calculation methods.

## 2. Experimental part

A derivatographic analysis of alunite ore from the Zaglik deposit was carried out using a device NETZSCH Jupiter STA 449F3. Fig. 1 shows a derivatogram of alunite ore from the Zaglik deposit in Azerbaijan [15], consisting of 48% alunite, 39% silicon oxide, 4% hematite, 8% kaolinite and 1% other, taken for research. On the DTA curve of the derivatogram (Fig.1) of the alunite rock, two endoeffects characteristic of alunite are noted, associated with the loss of constitutional water in the temperature range of 445-592 C and the desulfurization of three molecules of SO<sub>3</sub>, sulfur associated with aluminum oxide, in the temperature range of 726-857 C. Sodium and potassium sulfates do not dissociate at these temperatures.

**Fig. 1.** Derivative diagram of alunite ore samples from the Zaglik deposit in Azerbaijan [15].



**Fig. 2.** Zones of endoeffect of desulphurization associated with sulphates, for samples containing 10,20,30,40, 48% of mass content of alunite in the rock, obtained on a derivatograph with a speed range of 10 k/min.

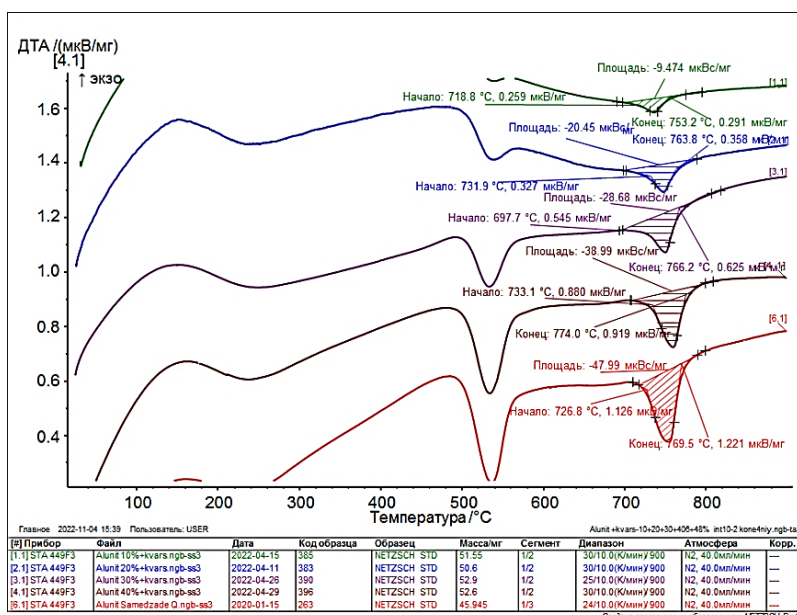
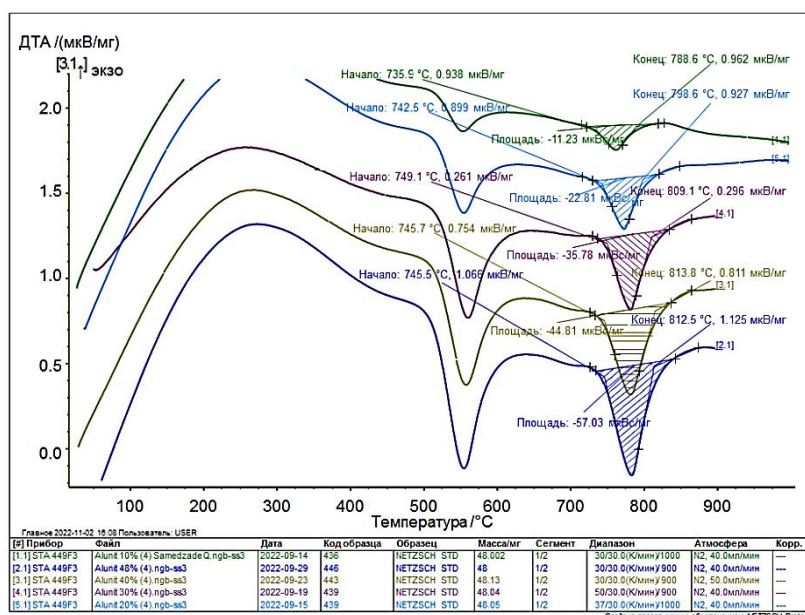


Fig. 2 shows the DTA curves of standard samples containing 10, 20, 30, 40, and 48% alunite and marked the areas of their endoeffects, the value of which was determined by the NETZSCH

Proteus Thermal Analysis derivatograph software. According to a certain area of endoeffects obtained when the derivatograph was operated in the range mode of 10 k/min Fig. 2.



**Fig.3.** Zones of endoeffect of desulphurization associated with sulphates, for samples containing 10,20,30,40, 48% of mass content of alunit in the rock, obtained on a derivatograph with a speed range of 30 k/min.

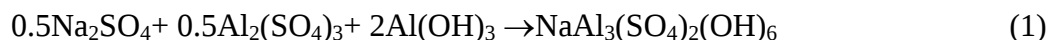
Fig. 3, and the corresponding percentage of alunit for samples containing 10,20,30,40, 48% alunit in the rock obtained on a derivatograph with a range of 30k/min. To determine the content of alunit in the sample, it is necessary to carry out a derivatographic analysis, determine on the DTA curve, the area of the endoeffect of the loss of sulfur bound.

Based on the values of the area of endothermic effects in Fig. 1-3, using the method described in [14], their values were calculated in J/q<sub>r</sub>, then in J/mol.

### 3. Calculation of thermodynamic parameters of alunit and Na, K aluminosilicates

#### 3.1. Sodium NaAl<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub> and potassium KAl<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub> alunites

The formation of the NaAl<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub> compound can be expressed by the following reaction:

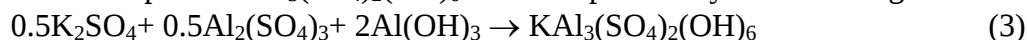


The enthalpy of formation of sodium alunit can be calculated as the sum of the standard enthalpies of formation of sodium sulfate, aluminum sulfate, and aluminum hydroxide:

$$\begin{aligned} \Delta H_{298}^0 [\text{NaAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6], \text{ kJ/mol} &= 0.5\Delta H_{298}^0 [\text{Na}_2\text{SO}_4] + \\ &0.5\Delta H_{298}^0 [\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3] + 2\Delta H_{298}^0 [\text{Al}(\text{OH})_3] = 0.5(-1390 \text{ kJ/mol}) + \\ &0.5(-3442) + 2(-1276) = -4967 \text{ kJ/mol} \end{aligned} \quad (2)$$

By calorimetric method [9]  $\Delta H_{298}^0 [\text{NaAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6]$  was obtained as -5132 kJ/mol. Comparison of these quantities with the quantity -4967 kJ/mol calculated by additive method using equation (2) shows that the heat effect of reaction (1) is  $5129.5 - (-4967) = -162.5 \text{ kJ/mol}$ .

The formation of the compound KAl<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub> can be expressed by the following reaction:



The enthalpy of formation of potassium alunit was calculated as the sum of the standard enthalpies of formation of potassium sulfate, aluminum sulfate, and aluminum hydroxide.:

$$\begin{aligned} \Delta H_{298}^0 [\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6], \text{ kJ/mol} &= 0.5\Delta H_{298}^0 [\text{K}_2\text{SO}_4] + 0.5\Delta H_{298}^0 [\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3] + \\ &2\Delta H_{298}^0 [\text{Al}(\text{OH})_3] = 0.5(-1439 \text{ kJ/mol}) + 0.5(-3442) + 2(-1276) = -4992 \text{ kJ/mol} \end{aligned} \quad (4)$$

Based on [9] and [8], the calorimetric values for  $\Delta H_{298}^0$  [ $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ] were obtained as -5164 kJ/mol and -4549 kJ/mol, respectively. Comparing these values with the value of -4992 kJ/mol calculated by the additive method using equation (4) shows that the heat effect of reaction (3) is  $-5164 - (-4992) = -172$  kJ/mol. The value of -4549 kJ/mol given in [8] is not reliable, since it is smaller than the additively calculated value of -4992 kJ/mol.

### 3.2. Sodium and potassium aluminosilicates

The following equations can be written for the formation reactions of the compounds  $\text{Na}[\text{AlSiO}_4]$ ,  $\text{K}[\text{AlSiO}_4]$ ,  $\text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$ ,  $\text{K}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$ :



Let us calculate the enthalpy of formation of the compound  $\text{Na}[\text{AlSiO}_4]$  as the sum of the corresponding standard enthalpies of formation:

$$\Delta H_{298}^0 (\text{Na}[\text{AlSiO}_4]), \text{kJ/mol} = 0.5\Delta H_{298}^0 [\text{Na}_2\text{O}] + 0.5\Delta H_{298}^0 [\text{Al}_2\text{O}_3] + \Delta H_{298}^0 [\text{SiO}_2] = 0.5(-415 \text{ kJ/mol}) + 0.5(-1675) + (-910) = -1955 \text{ kJ/mol} \quad (9)$$

In [1],  $\Delta H_{298}^0 (\text{Na}[\text{AlSiO}_4]) = -2093$  kJ/mol.

These quantities are the enthalpies of formation of the compound  $\text{Na}[\text{AlSiO}_4]$  from simple substances. The enthalpy of formation of this compound by reaction (5) will be

$$\Delta H_{298}^0 (\text{Na}[\text{AlSiO}_4]) = -2093 - (-1955) = -138 \text{ kJ/mol} \quad (10)$$

As a result of comparing the above calculations with experimental values [8-10], the following correlative relationship was established between the thermodynamic parameters of the compounds included in the composition of the thermodynamic parameters of complex compounds (Gibbs energy, enthalpy and entropy):

$$\Delta Z(aA \cdot bB \cdot cC) = K[a\Delta Z(A) + b\Delta Z(B) + c\Delta Z(C)] \quad (11)$$

Here  $\Delta Z = \Delta G, \Delta H, \Delta S$ ;  $K = 1.07$

The results of calculations using equation (11) are given in Table 1.

**Table 1.**

*The enthalpy, Gibbs energy and entropy of formation of sodium and potassium alunites and aluminosilicates from elements:  $\Delta H_{298}^0, \Delta H_{298}^{0,*}, \Delta G_{298}^0, \Delta G_{298}^{0,*}, \Delta S_{298}^0$  and from compounds:  $\Delta H_{298}^0$  and  $\Delta G_{298}^0$ , and entropy. \* refers to additive calculations*

| Compounds                                   | $-\Delta H_{298}^0$ | $-\Delta H_{298}^{0,*}$ | $-\Delta H_{298}^0$ | $-\Delta G_{298}^0$ | $-\Delta G_{298}^{0,*}$ | $-\Delta G_{298}^0$ | $-\Delta S_{298}^0$ |
|---------------------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|
|                                             | kJ/mol              |                         |                     |                     |                         |                     | J/(mol.K)           |
| $\text{NaAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ | 5127[9]             | 4967                    | 162.5               | 4426                | 4136                    | 289                 | 2352                |
| $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$  | 5164[9]<br>4549 [8] | 4992                    | 172                 | 4371<br>4035[8]     | 4085                    | 285                 | 2661                |
| $\text{Na}[\text{AlSiO}_4]$                 | 2093 [8]            | 1955                    | 137                 | 1965<br>1978[8]     | 1836                    | 129                 | 429                 |
| $\text{K}[\text{AlSiO}_4]$                  | 2069<br>2121[8]     | 1929                    | 135                 | 1936<br>2005[8]     | 1809                    | 127                 | 446                 |
| $\text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$ ,      | 3066<br>3011[8]     | 2865                    | 201                 | 2881<br>2833 [8]    | 2693                    | 188                 | 621                 |
| $\text{K}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$ ,       | 3037<br>3038[8]     | 2839                    | 198                 | 2853<br>2875[8]     | 2666                    | 187                 | 184                 |

#### 4. Conclusions

Comparison of calculated and experimental thermodynamic parameters (Table 1) shows that they are in agreement within the experimental error. Free energies, enthalpies, and entropies of formation of alunite and sodium and potassium aluminosilicates from compounds average 7% of the corresponding thermodynamic functions of their formation from simple substances. Therefore, the value of the correlation coefficient  $K=1.07$  is reliable, and therefore revealed equation (11) can be used to determine the thermodynamic parameters of aluminum-containing ores.

#### References

- [1]. Alessio A. S., Sonia N., Edgar G., Cornelis K., Andreas K. *Energy in Alumina Refining: Setting New Limits. Light Metals*. 2015. P. 131–136. doi:10.1007/978-3-319-48248-4\_24.
- [2]. Talibli I.A., Samedzade G.M., Alieva J.M., Mammadov A.N., Gamidov R.G. and et al. Sludge-free production of pure alumina from rocks containing iron oxides and silica. *Azerbaijan Chemical Journal*. № 1 2022. P. 68-72.
- [3]. Alyshanly G.I., Geidarov A.A., Mammadov A.N., Kalantarova S.Sh. Modelling of the precipitation process of aluminium hydroxide from aluminate solutions based on fuzzy logic theory. *Chemical Problems*. 2022. No 2. V. 20. P. 183–190.
- [4]. Evrazijskij Patent. 201800630 (13) A2. Soda shchelochnoj sposob pererabotki alunitovoj rudy. Tagiev El'dar Ismail ogly, Tagiev El'shad El'dar ogly, Agaeva Lale Gejdar kyzy. 2018.12.24.
- [5]. Talibli I.A., Samedzade G.M., Ibragimova F.S., Abbasova G.R., Mammadov A.N. Quantitative determination of alunite in ore and products of its processing by the differential-thermal method. *Azerbaijan Chemical Journal*. 2024. N.2, p.60-67
- [6]. Heydarov A.A., Kashkai Ch.M., Alyshanly G.I., Jabbarova Z.A. Processing of Zaglik alunite ore by heap and tank leaching. *Azerb. Chem. J.* 2021. No 2. P. 42–49. doi.org/10.32737/0005-2531-2021-2-42-49
- [7]. Abbasova Gülnar Rizvan qızı. Alunitin normal susuz zəyə və əsası zəyəçəvrilməsinin fiziki-kimyəvi tədqiqi / Magistrantların XXIII Respublika elmi konfransı. Sumqayıt Dövlət Universiteti. 11-12 may 2023.
- [8]. Iorish V. S., Yungman V. S. Database of thermal constants of substances. (2006). Available at: <http://www.chem.msu.ru/cgi-bin/tkv.pl>
- [9]. Ogorodova L.P., Gritsenko Y.D., Vıgasina M.F. et al. Enthalpies of Formation of Alunite and Natroalunite (According to Calorimetric Data). *Geochem. Int.* 60, 596–602 (2022). <https://doi.org/10.1134/S0016702922060052>
- [10]. Stoffregen R.F., Charles N. Alpers, Jambor J.I. Alunite-jarosite crystallography, thermodynamics, and geochronology. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. January 2000.
- [11]. Morachevskij A.G., Sladkov I.B., Firsova G.. Termodinamicheskie raschety v himii i metallurgii [Thermodynamic calculations in chemistry and metallurgy], 2021, 208 p. [http://i.uran.ru/webcab/system/files/bookspdf/termodinamicheskie-raschety-v-himii-i-metallurgii-uch-posobie/ terrasch.pdf](http://i.uran.ru/webcab/system/files/bookspdf/termodinamicheskie-raschety-v-himii-i-metallurgii-uch-posobie/terrasch.pdf) (In Russian)
- [12]. Rzaguliev V.A., Mamedov A.N., Kerimli O.S., Mamedov Sh.G., *Russ. J. Inorg. Chem.* 65 (2020) 1899– 1904. DOI: 10.1134/S003602362012013X
- [13]. Rustamova A.I., Gurbanov Z.G., Mammadova Z.M., Mammadov A.N. et al., *Chemical Problems* 3 (2023) 251–261. DOI: 10.32737/2221-8688-2023-3-251-261
- [14]. Лотов В.А. Дифференциально-термический анализ. / д.т.н., проф. Лотов В.А., д.т.н., проф. Хабас Т.А., к.т.н., доц. Дитц А.А., к.т.н. ст.препод. Сударев Е.А. Томск: изд. ТПУ, 2021. 30 с.
- [15]. <https://az.wikipedia.org/wiki/Alunit>

### Xülasə

#### Natrium və kalium alunitlərinin və alüminosilikatlarının əmələgəlmə termodinamik funksiyaları

*Məmmədov A.N., Məmmədova F.S., Şərifova Ü.N., Mustafayeva A.N.*

**Açar sözlər:** alunitlər, alüminosilikatlar, natrium, kalium, entalpiya, entropiya, sərbəst əmələ gəlmə enerjisi

Alunit və Na, K alüminosilikatlarının termodinamiki parametrlərinin (Gibbs enerjisi, entalpiya və entropiyasının) tərkiblərinə daxil olan birləşmələrin termodinamiki parametrləri arasında korrelyativ əlaqə müəyyən edilmişdir:  $\Delta Z(aA \cdot bB \cdot cA) = K[a\Delta Z(A) + b\Delta Z(B) + c\Delta Z(C)]$  Burada  $\Delta Z = \Delta G$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta S$ ;  $K=1.07$ . Natrium  $NaAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ , kalium alunitinin  $NaAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ ,  $Na[AlSiO_4]$ ,  $K[AlSiO_4]$ ,  $Na[AlSi_2O_6]$ ,  $K[AlSi_2O_6]$  alüminosilikatlarının elementlərdən ( $\Delta H_{298}^0$ ,  $\Delta H_{298}^{0,*}$ ,  $\Delta G_{298}^0$ ,  $\Delta G_{298}^{0,*}$ ,  $\Delta S_{298}^0$ ) və birləşmələrdən əmələ gəlmə entalpiyası ( $\Delta H_{298}^0$ ), Gibbs enerjisinin ( $\Delta G_{298}^0$ ) və entropiyasının ( $\Delta S_{298}^0$ ) qiymətləri dəqiqləşdirilmişdir.

### Резюме

#### Термодинамические функции образования алунитов, алюмосиликатов натрия и калия

*Мамедов А.Н., Мамедова Ф.С., Шарифова У.Н., Мустафеева А.Н.*

**Ключевые слова:** алуниты, алюмосиликаты, натрий, калий, энтальпии, энтропии, свободные энергии образования Гиббса

Установлена корреляционная связь между термодинамическими параметрами (энергией Гиббса, энтальпией и энтропией) алунита и термодинамическими параметрами алюмосиликатов Na, K входящих в их состав соединений:  $\Delta Z(aA \cdot bB \cdot cA) = K[a\Delta Z(A) + b\Delta Z(B) + c\Delta Z(C)]$  Здесь  $\Delta Z = \Delta G$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta S$ ;  $K=1.07$ . Уточнены значения энтальпии, свободной энергии Гиббса, энтропии образования алунита натрия  $NaAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ , калия  $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ , алюмосиликатов  $Na[AlSiO_4]$ ,  $K[AlSiO_4]$ ,  $Na[AlSi_2O_6]$ ,  $K[AlSi_2O_6]$ .

## Синтез нового высокоразветвленного ароматического полиэфирсульфоимида

<sup>1</sup>Асланова Эльнара Тельман гызы [ORCID](#)

<sup>2</sup>Рашидова Мехрибан Нариман гызы [ORCID](#)

<sup>3</sup>Гараева Айбениз Ахмедага гызы [ORCID](#)

<sup>4</sup>Атакишиева Вюсяля Огтай гызы

<sup>5</sup>Гейдарова Севиндж Якуб гызы

Институт полимерных материалов, Сумгаит, Азербайджан

1-к.х.н., доцент, 2,3-н.с., 4,5-инженер

[ipoma@science.az](mailto:ipoma@science.az)

| ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ                                                                                              | РЕЗЮМЕ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Даты статьи</b><br/> Получено: 06.02.2025<br/> Исправлено: 28.02.2025<br/> Принято: 03.03.2025</p>         | <p>Поликонденсацией триглицерид-1,2,3-трикарбоксиметилимида сахарин-6-карбоновой кислоты с этиленгликолем получен новый высокоразветвленный ароматический полиэфирсульфоимид – политриглицерид-1,2,3-трикарбоксиметилимид сахарин-6-карбоновой кислоты. Структура синтезированного соединения подтверждена данными инфракрасной спектроскопии. Термическую стабильность полученного соединения изучали методом дифференциально-термического анализа на дериватографе системы «Паулик-Паулик-Эрдей». Дериватографические исследования показали, что синтезированный полимер термостабилен в интервале 235-272 °С и хорошо растворяется в полярных апротонных и фенольных растворителях.</p> |
| <p><b>Ключевые слова:</b><br/> сахарин-6-карбоновая кислота, полиэфирсульфоимид, высокоразветвленный полимер</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

### 1. Введение

Известно, что полиэфиримиды (ПЭИ) представляют собой гетероциклические полимеры, в которых ароматические кольца чередуются со сложноэфирными и имидными группами. Высокая растворимость ПЭИ способствует получению низковязких растворов с высоким содержанием полимера. Такие растворы применяются в качестве лаков. ПЭИ образуют прочные, эластичные пленки, устойчивые к теплу и обладающие электроизоляционными свойствами. Характерной особенностью таких пленок является устойчивость к одновременному механическому и термическому воздействию [1].

По сравнению с ароматическими ПЭИ, ароматические полиэфирсульфоимиды (ПЭСИ) обладают улучшенной растворимостью, огне-, термо- и радиационностойкостью [2,3].

Ранее для получения высокотермостабильных ПЭСИ в реакции поликонденсации с алифатическими и ароматическими аминами, диолами и дихлорорганическими соединениями в качестве мономеров были использованы хлорангидриды дисахариндикарбоновой кислоты, диэфиросульфоимиды, диалкиловые эфиры N-карбоксиметилсахарин-6-карбоновой кислоты и диимиды дисахариндикарбоновой кислоты [4,5].

Высокоразветвленные полимерные макромолекулы (дендримеры и гиперразветвленные полимеры) имеют комплекс свойств, значительно отличающихся от характеристик линейных аналогов. Высокая растворимость в органических средах, низкая вязкость, биodeградируемость, малая токсичность, выраженные комплексообразующие свойства и совместимость со многими биосубстратами обуславливают широкое использование этих

соединений в таких областях как производство новых полимерных материалов, биоинженерия, медицина и фармацевтика.

В последнее время наибольшее значение приобретают высокоразветвленные полиэфиримиды (ВРПЭИ) – это класс высокомолекулярных полимеров, обладающих высокой термической, химической и механической стойкостью. Они представляют собой разветвленные или дендридные структуры на основе полиэфиримидных фрагментов. Основными характеристиками ВРПЭИ являются: высокая термостойкость, отличная химическая устойчивость, высокая механическая прочность, легкость переработки (обладают хорошей растворимостью в полярных органических растворителях, что позволяет их использовать в лакокрасочной промышленности, композитах, мембранах), диэлектрические свойства, контролируемая степень разветвления [6-8].

В связи с вышеизложенным, целью работы является синтез нового высокоразветвленного ароматического полиэфирсульфоимида.

## 2. Экспериментальная часть

**Синтез триглицерид-1,2,3-трикарбоксиметилимида сахарин-6-карбоновой кислоты.** В трехгорловой круглодонной колбе смесь, состоящую из 35,95 гр. (0,05 моль) триглицерида сахарин-6-карбоновой кислоты, 14 г (~0,1 моль) порошкообразного карбоната калия, 19 г (~0,2 моль) монохлоруксусной кислоты и 50 г КJ растворяли в 260 мл ДМАА и кипятили 8 часов. По окончании реакции полученную массу охлаждали до комнатной температуры, выпавшие кристаллы дважды промывали ДМАА и фильтровали через фильтр Шотта. Синтезированное вещество сушили при комнатной температуре, а затем в вакууме до постоянной массы.

**Синтез политриглицерид-1,2,3-трикарбоксиметилимида сахарин-6-карбоновой кислоты.** В стеклянный реактор, снабженный механической мешалкой, термометром, капилляром и трубкой для ввода азота, загружали 17,84 г (0,02 моль) триглицерид-1,2,3-трикарбоксиметилимида сахарин-6-карбоновой кислоты, 0,1 г PbO, предварительно растворенного в 1,24 г (0,02 моль) 1,2-этандиола, и в потоке азота реакционную массу нагревали до 185-190 °С. В результате переэтерификации выделяется вода. Далее, температуру поднимали до 225 °С под вакуумом в течении 1,5 часа выделяли оставшуюся воду. После перекристаллизации из ацетона получено твердое вещество с выходом 74 %.

Физико-химические свойства растворителей соответствовали литературным данным [9,10].

Инфракрасные спектры снимали на ИК-Фурье – спектрометрах LUMOS и ALPHA (фирма BRUKER Германия) в диапазоне волновых частот 600-4000 см<sup>-1</sup>, с использованием приставки НРВО с кристаллом ZnSe. Диаметр кристалла 1 см. Число сканов пробы 24, длительность измерения 30 сек.

Элементный анализ был произведен по методике [11], основанной на пиролизическом сжигании органического вещества в потоке кислорода с применением аппарата Прегля.

Термическую стабильность полученных соединений изучали методом дифференциально-термического анализа на дериватографе системы «Паулик-Паулик-Эрдей» [12, 13]. Навеска образца 200 мг, чувствительность каналов ТГ–200, ДТА–250 мВ, ДТГ–1 мВ, скорость подъема температуры 5 °С/мин в токе воздуха.

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:

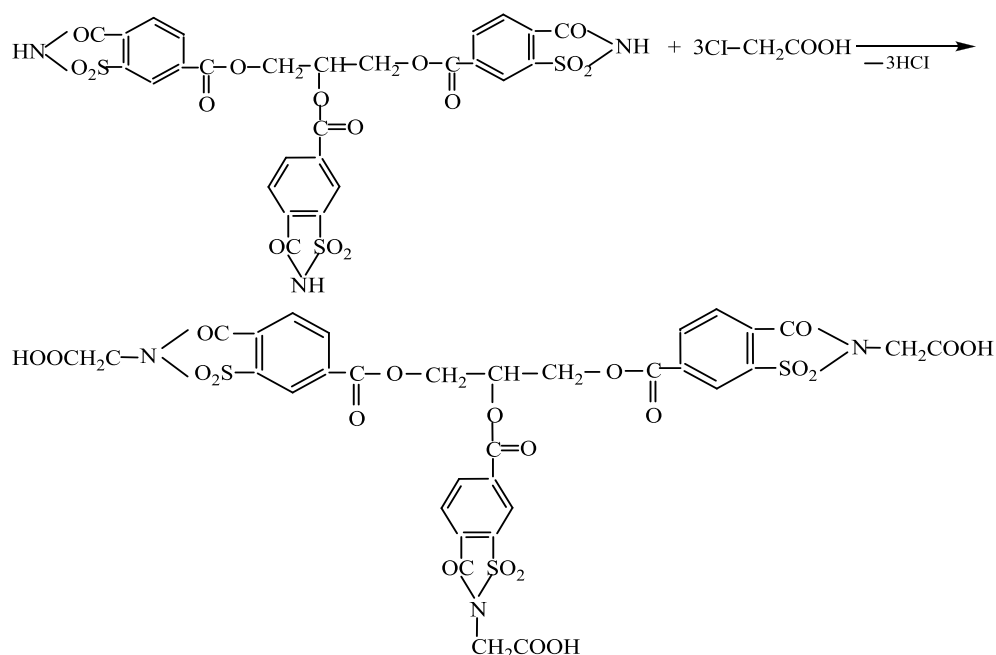
$$\eta_{sp}/c = [\eta] + k [\eta]^2 c,$$

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

Изучение физико-механических свойств производилось на разрывной машине WPM, VEB Thuringerindustriewerk, Rauenstein R-40, ТУР-2092.

### 3.Результаты и их обсуждение

В результате взаимодействия ранее нами полученного триглицерида сахарин-6-карбоновой кислоты с монохлоруксусной кислотой был синтезирован триглицерид-1,2,3-трикарбоксиметилимид сахарин-6-карбоновой кислоты (ТГ-1,2,3-ТКМИ С-6-КК) по следующей схеме [14]:



Полученное соединение представляет собой плавящийся при 230°C и растворимый только в апротонных растворителях порошкообразный продукт.

Состав и структура полученного соединения подтверждены данными элементного анализа и ИК-спектроскопии [15-17].

**Таблица 1.**

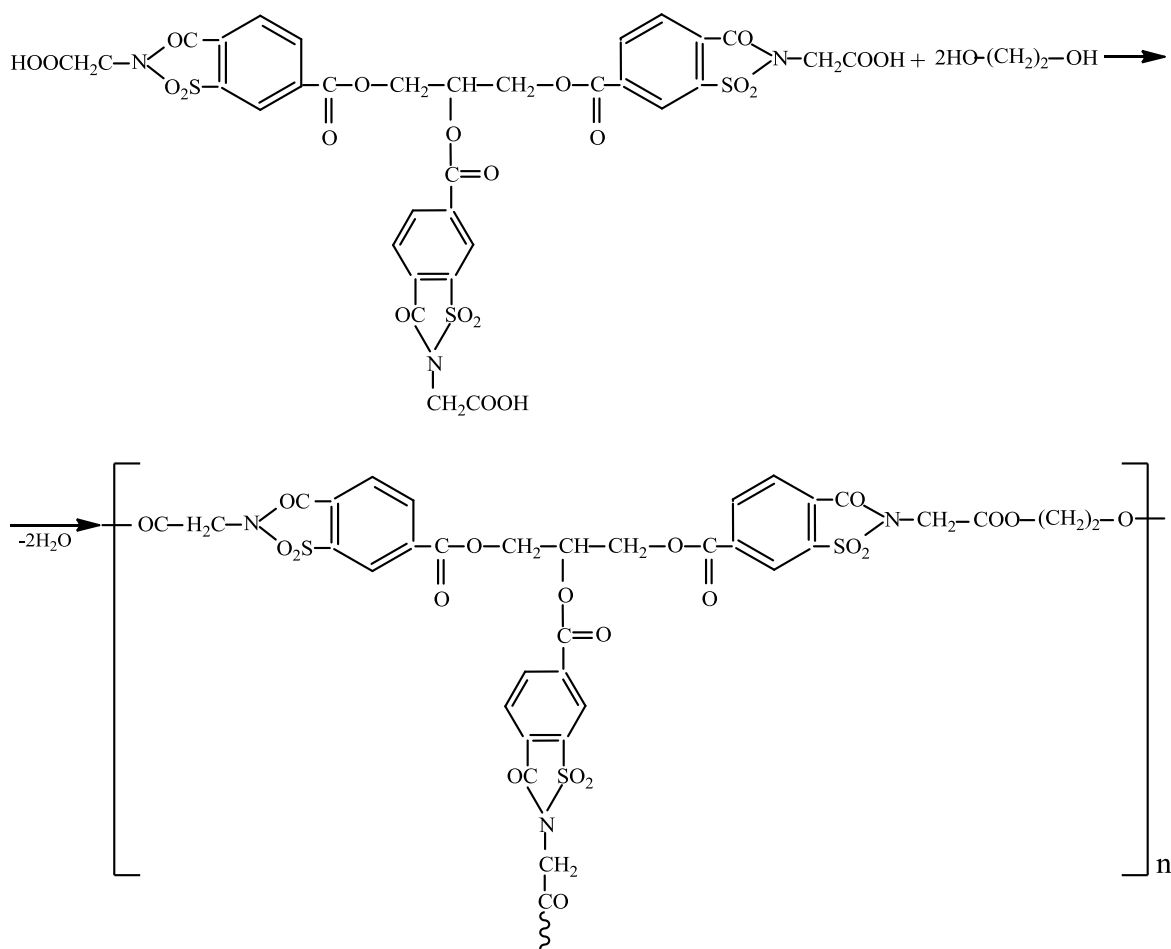
*Физические константы триглицерид-1,2,3-трикарбоксиметилимида сахарин-6-карбоновой кислоты*

| Соединен.                | Брутто формула                                                                | Найдено %             |                     |                   |                       | M   | T <sub>пл.</sub> ,<br>°C | Выход,<br>% |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|-----|--------------------------|-------------|
|                          |                                                                               | Вычислено %           |                     |                   |                       |     |                          |             |
|                          |                                                                               | C                     | H                   | N                 | S                     |     |                          |             |
| ТГ-1,2,3-<br>ТКМИ С-6-КК | C <sub>33</sub> H <sub>23</sub> O <sub>21</sub> N <sub>3</sub> S <sub>3</sub> | <u>43,794</u><br>4,35 | <u>2,14</u><br>2,58 | <u>4,1</u><br>4,7 | <u>10,14</u><br>10,75 | 893 | 230                      | 73,5        |

В ИК-спектрах полученного соединения наблюдались следующие полосы поглощения: (1355, 1413, 1459 см<sup>-1</sup>) колебания С-Н-связи СН<sub>2</sub>-групп; валентные (1150, 1185 см<sup>-1</sup>) колебания С-О-связи сложного эфира; колебания в (1721 см<sup>-1</sup>) >C=O-группы сложного эфира. В сахариновом цикле наблюдаются колебания в области (1679 см<sup>-1</sup>) С=О-связи амида, валентные (1243, 1298 см<sup>-1</sup>) колебания SO<sub>2</sub>- группы и валентные (3217, 3100 см<sup>-1</sup>) колебания

N-H-связи; деформационные (671, 739, 861  $\text{см}^{-1}$ ) колебания C-H-связи замещенного бензольного кольца, а валентные колебания в области (2630  $\text{см}^{-1}$ ) характеризуют COOH-группы.

На основе синтезированного ТГ-1,2,3-ТКМИ С-6-КК был получен высокоразветвленный полиэфирсульфоимид – политриглицерид-1,2,3-трикарбоксиметилимид сахарин-6-карбоновой кислоты (ПТГ-1,2,3-ТКМИ С-6-КК). Реакцию проводили по следующей схеме:



Выход целевого продукта-74%.

Обнаружено, что в ИК-спектрах полученного соединения присутствуют полосы поглощения в области (2631 $\text{см}^{-1}$ ) валентных и деформационных (1360  $\text{см}^{-1}$ ) колебаний C-H-связи  $\text{CH}_2$ -групп; валентных (1185  $\text{см}^{-1}$ ) колебаний C-O-связи сложного эфира; колебаний в области (1720  $\text{см}^{-1}$ )  $\text{>C=O}$ -группы сложного эфира. В сахариновом цикле наблюдаются колебания в области (1675  $\text{см}^{-1}$ ) C=O-связи амида, валентные (1244 $\text{см}^{-1}$ ) колебания  $\text{SO}_2$ -группы и валентные (3214  $\text{см}^{-1}$ ) колебания N-H-связи; деформационные (745, 982, 1481  $\text{см}^{-1}$ ) колебания характеризуют C-H-связи замещенного бензольного кольца.

В результате исследований, было выяснено, что полученный этим способом ПТГ-1,2,3-ТКМИ С-6-КК имеет вязкость  $[\eta]=0,16$  дЛ/г, что характерно для высокоразветвленных полимеров.

По данным дифференциально-термического анализа (ДТА) было установлено, что синтезированный полимер термостабилен в интервале 235-272 $^{\circ}\text{C}$  и хорошо растворяется в полярных апротонных и фенольных растворителях.

По физико-механическим показателям ПТГ-1,2,3-ТКМИ С-6-КК имеет следующие данные: относительное удлинение,  $\varepsilon$  – 5 %, предел прочности при растяжении,  $\sigma_p$  – 110 МПа.

Синтезированный ПТГ-1,2,3-ТКМИ С-6-КК может применяться при производстве лакокрасочных изделий, клеев, термостойких покрытий, пленок, а также, полимерных композитов.

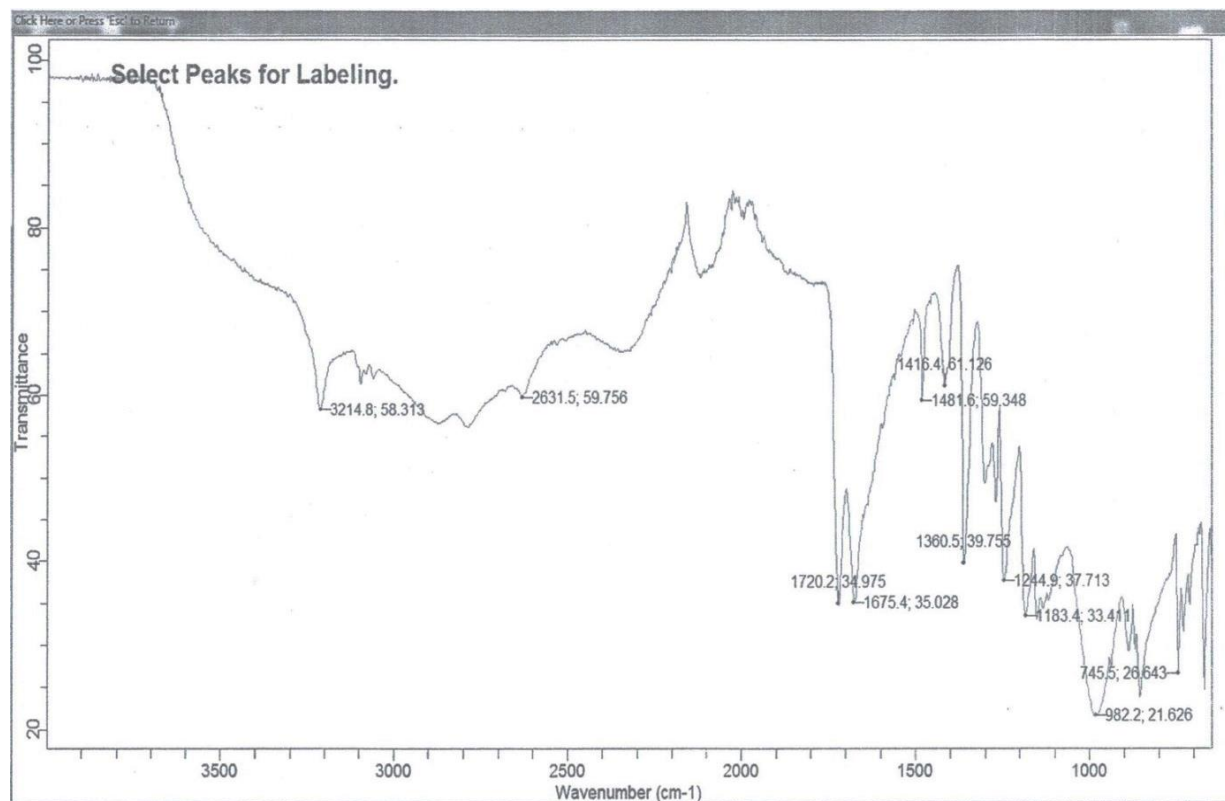


Рисунок. ИК-спектр политриглицерид-1,2,3-трикарбоксиметилимида сахарин-6-карбоновой кислоты

## Литература

- [1]. Бородулин А. С., Калинин А. Н., Музыка С. С., Терешков А. Г. Полиэфиримиды для создания термостойких полимерных композиционных материалов с высокими физико-механическими свойствами // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. –2019. № 11. –С. 94–100.
- [2]. Русанов А.Л., Пригожина М.П., Комарова Л.Г., Шевелев С.А., Дутов М.Д., Серушкина О.В. Новые серосодержащие ароматические диамины и растворимые полиимиды на их основе // ВМС. Сер. А. –1999. Т. 41. №1. –С. 70–73.
- [3]. Aslanova E.T. Synthesis of polyhydroxy-esters of sulphoimide sakharin-6-carbonic acid. Chemical problems. –2019. No.4(17). –P. 471–475.
- [4]. Tatli Mehmet. Facile Synthesis of Functionalized Poly (Arylene Ether Sulfone)s. Wright State University, Department of Chemistry, 2012, 86 p.
- [5]. Aslanova E.T., Mammedov E.T., Rashidova M.N., Garayeva A.A., Atakishiyeva V.O. Synthesis of new thermostable polyhydroxy-ester on the basis of 2-hydroxypropyl-1,3-bis-carboxymethylestersulfoimide of saccharin-6-carboxylic acid. Chemical problems. 2023. no 2 (21). P. 140-145.
- [6]. Aslanova E.T. Rashidova M.N. Garayeva A.A. Geydarova S.Ya. Synthesis of super-branched polyglycerides of saccharin-6-carboxylic acid // Azerb. Chem. J. –2023. №1. –P. 83-90 doi.org/10.32737/0005-2531-2023-1-83-89
- [7]. Кутырев Г.А., Бусыгина А.А., Ахмадулина Э.Н., Рахматуллина Л.Р., Кутырева М.П., Гатаулина А.Р. Синтез, строение и фунгицидные свойства гиперразветвленных

- полиэфирополи(п-фенилтиокарбаматов) // Вестник технологического университета. – 2016. Т.19. №14
- [8]. Сторожук И.П., Булкатов Д.П., Хина А.Г. Полиэфирсульфоны, полиэфиримиды и композиционные материалы на их основе // «Полимерные материалы». № 7 (302). 2024 г. С. 21–23.
- [9]. Гордон, А. Спутник Химика / А.Гордон, Р.Форд. – М.: Мир, –1976, –546 с.
- [10]. Кипер Р.А. Физико-химические свойства веществ: Справочник по химии // –Хабаровск. –2013, –1016 с.
- [11]. Баландина, В.А., Анализ полимеризационных пластмасс / Б.В.А.аландина, Д.Б.Гурвич, М.С.Клещева, В.Д.Безуглого. –М., –Ташкент: Химия, –1965, –512 с.
- [12]. Уэндлант, У. Термические методы анализа / У.Уэндлант. –М.: Мир, –1978, – 527 с.
- [13]. Куренков, В.Ф. Практикум по химии и физике полимеров / В.Ф.Куренков. –М.: Химия, –1990, –299 с.
- [14]. Aslanova, E.T.Synthesis of some derivatives of triglyceride of saccharin-6-carboxylic acid Synthesis of some derivatives of triglyceride of saccharin-6-carboxylic acid / E.T. Aslanova, A.A. Garayeva, S.Ya. Geydarova [et al.] // Scientific News. Series for Natural and Technology Sciences. – 2024. – Vol. 24, No. 2. – P. 37-42. – DOI 10.54758/16801245\_2024\_24\_2\_37. – EDN POUEZK.  
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=71240159>
- [15]. Казицина, Л.А. Применение УФ-, ИК-, ЯМР- и масс- спектроскопии в органической химии / Л.А.Казицина, Н.Б. Куплетская. –М.: Изд-во МГУ, –1979, –236 с.
- [16]. Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений / Б.Н.Тарасевич. –М., –2012, –54 с.
- [17]. Преч, Э. Определение строения органических соединений / Э.Преч, Ф.Бюльманн, К.Аффольтер. –М.: Мир, –2006, –438 с.

#### Xülasə

##### Yeni yüksək şaxələnməmiş aromatik poliefirsulfoimidin sintezi

Aslanova E.T., Rəşidova M.N., Qarayeva A.Ə., Atakışiyeva V.O., Heydərova S.Y.

**Açar sözlər:** saxarin-6-karbon turşusu, poliefirsulfoimid, yüksək şaxələnməmiş polimer

Saxarin-6-karbon turşusunun trigliserid-1,2,3-trikarboksimetilimidinin etilenqlikol ilə polikondensasiyası nəticəsində yeni yüksək şaxələnməmiş aromatik poliefirsulfoimid - saxarin-6-karbon turşusunun politrigliserid-1,2,3-trikarboksimetilimidi alınmışdır.

Sintez edilmiş birləşmənin strukturu infraqırmızı spektroskopiya vasitəsi ilə təsdiq edilmişdir. Alınmış birləşmənin termiki davamlığı Paulik-Paulik-Erdey sisteminin derivatoqrafiyasından istifadə etməklə diferensial istilik analizi ilə öyrənilmişdir. Derevatoqrafik tədqiqatlar göstərmişdir ki, sintez edilmiş polimer 235-272°C diapazonunda termiki davamlıdır və polyar aprotik və fenol həlledicilərdə asanlıqla həll olunur.

#### Summary

##### Synthesis of a new highly branched aromatic polyestersulfoimide

Aslanova E.T., Rashidova M.N., Garaeva A.A., Atakishieva V.O., Geydarova S.Ya.

**Keywords:** saccharin-6-carboxylic acid, polyestersulfonamide, highly branched polymer

By polycondensation of triglyceride-1,2,3-tricarboxymethylimide of saccharin-6-carboxylic acid with ethylene glycol, a new highly branched aromatic polyestersulfonamide – polytriglyceride-1,2,3-tricarboxymethylimide of saccharin-6-carboxylic acid have been obtained. The structure of the synthesized compound was confirmed by data of the IR spectroscopy. The thermal stability of the obtained compound was studied by a method of differential thermal analysis on derivatograph “Paulik-Paulik-Erdey”. Derivatographic investigations showed that the synthesized polymer have thermally stable in the range of 235-272°C and well-soluble in polar aprotic and phenolic solvents.

УДК 504.

DOI 10.54758/16801245\_2025\_25\_1\_36

## Приготовление композиционных алюминий-железосульфатных коагулянтов в качестве очистителей сточных вод, содержащих смесь отходов нефтепродуктов (СОНП)

<sup>1</sup>Гаджиева Севиндж Рафик гызы [ORCID](#)<sup>2</sup>Байрамов Гияс Ильяс оглу [ORCID](#)<sup>3</sup>Мамедов Раджаб Яшар оглу

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан, 1,2- профессор, 3- докторант  
[s.hajiyeva-bsu@mail.ru](mailto:s.hajiyeva-bsu@mail.ru) ; [qiyasbayramov@mail.ru](mailto:qiyasbayramov@mail.ru)

| ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ                                                                                                                                                                                                                                                                        | РЕЗЮМЕ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Даты статьи:</b><br/> Получено: 30.01.2025<br/> Исправлено: 28.02.2025<br/> Принято: 10.03.2025</p> <p><b>Ключевые слова:</b><br/> нефтепродуктов, сточные воды, коагулянт, композиционный, алюминий-железосульфатный, концентрация, исследование, условие, экстрагент, н-гексан</p> | <p>Основываясь на различных литературных данных, можно сказать, что в последние годы в научных работах, разработанных в различных направлениях, не раз применялись неорганические полимерные коагулянты для эффективной очистки сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. На его основе мы разработали композиционный алюминий-железосульфатный коагулянт (условно называемый Р-1к). Чтобы приготовить его, мы смешали 10% <math>Al_2(SO_4)_3</math> и 10% <math>Fe_2(SO_4)_3</math> в соотношении 1: 1 и использовали этот композиционный коагулянт Р-1к для очистки от НМТQ при комнатной температуре в лабораторных условиях 1; 2,5; 5; 10; Мы использовали его для образцов сточных вод объемом 100 мл в количестве 15 мл. При исследовании коагулянта Р-1к было установлено, что при использовании 5 мл этого коагулянта для очистки сточных вод с концентрацией НМТQ 3000 мг/л очищение от СОНП достигло примерно 96,79%. При использовании первичного экстрактора (Н-гексана или первичной бензиновой фракции) очистка проб сточных вод от НМТК достигала 100%, а мутность воды значительно снижалась. Для ускорения коагуляции использовали 3% <math>H_2SO_4</math> в количестве 2,0 мл.</p> |

### 1. Введение

На основании различных литературных [1-12] данных можно сказать, что в последние годы в научных работах, разработанных в различных направлениях неорганические полимерные коагулянты несколько раз были использованы для эффективной очистки сточных вод нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ). Исходя из этого нами был подготовлен композиционный алюминий-железосульфатный коагулянт (условно названный Р-1К). Для его приготовления мы смешали 10%-ный  $Al_2(SO_4)_3$  и 10%-ный  $Fe_2(SO_4)_3$  в отношении 1:1 и в лабораторных условиях использовали этот композиционный коагулянт Р-1К в количестве 1; 2,5; 5; 10; 15 мл на 100 мл-овых пробах сточных вод для очистки от СОНП при комнатной температуре. При исследовании коагулянта Р-1К было выяснено, что в случае использования 5 мл этого коагулянта для очистки сточных вод с концентрацией СОНП 3000 мг/л, очистка от СОНП достигла примерно 96,79%. А при использовании первоначального экстрагента (н-гексан, или первоначальная бензиновая фракция) очистка проб сточных вод от СОНП достигла  $\approx 100\%$ , а также мутность воды значительно уменьшилась. Для ускорения коагуляции использовали 3%-ную  $H_2SO_4$  в количестве 2,0 мл.

На основании литературных данных [1-12] нами было уточнено, что до настоящего время в очистке сточных вод от СОНП не было достигнуто результата очистки близкого к 100%. У разработанных новых методов по очистке сточных вод от СОНП имеются различные недостатки. Причиной этой экологической проблемы является присутствие высококонцентрированных СОНП разного типа и образование устойчивой крепко дисперсной системы. По этой причине при очистке проб сточных вод НПЗ необходимо уточнять оптимальные условия и концентрации коагулянтов, а также среду.

Исходя из вышеизложенного нами был разработан новый метод очистки проб сточных вод, содержащих СОНП, взятых на НПЗ при помощи приготовленной смеси 10%-ных растворов композиционных  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . Для повышения эффективности очистки сточных вод от СОНП на первом этапе в качестве экстрагента использовали н-гексан (или первоначальную бензиновую фракцию). На втором этапе использовали различное количество 10%-ного Р-1К. Как известно традиционные коагулянты могут быть эффективно использованы при очистке сточных вод с низкой концентрацией СОНП. Однако добавление первоначального экстрагента (н-гексана) значительно улучшило качество действия приготовленного композиционного коагулянта Р-1К.

## 2. Экспериментальная часть

В лаборатории нами было приготовлен композиционный коагулянт из смеси 10%-ных растворов  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  в отношении 1:1. Растворы перемешивали в колбе при комнатной температуре до получения однородной жидкой смеси. Затем полученную жидкую смесь медленно перемешивали в реакционной колбе в течение 20 минут на термостатированной водяной бане при температуре 75°C до получения активного раствора  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . После непрерывного перемешивания в течение 20 минут, смесь держали при комнатной температуре в течение 2 часов с целью дальнейшей полимеризации и старения.

В делительную воронку наливают 100 мл пробы сточной воды, содержащей СОНП, добавляют определенный объем экстрагента и приготовленной 10% смеси  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . При использовании экстрагента и Р-1К перемешивание производят после каждого введения реагентов.

В каждом эксперименте в делительной воронку наливают 100 мл пробы сточных вод, содержащих СОНП и добавляют объем коагулянта Р-1К соответствующий наибольшей дозе принятого диапазона.

После добавления экстрагента и коагулянта Р-1К фиксировали номера проб сточных вод. В процессе отстаивания смеси отмечали время начала образования хлопьев, время начала осаждения и конца коагуляции. При проведении коагуляции образуются три фазы – органическая, водная и осадок. Очищенные сточные воды и органический слой было исследованы аналитическими реакциями. В каждом этапе был анализирован состав проб сточных вод до очистки и после очистки [13-17].

Полученные результаты исследования очистки проб сточных вод, содержащих СОНП показаны в таблице 1.

Для ускорения коагуляции в качестве флокулянта была использована 3%-ная  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в количестве равной 1/3 части использованного коагулянта Р-1К. Было определено, что без участия флокулянта коагуляция завершилась в течение 40 минут. А при использовании флокулянта процесс коагуляции завершился в течение 25 минут.

Таблица 1.

Результаты исследования очистки проб сточных вод, содержащих СОНП  
экстрагентом и коагулянтом Р-1К

| Очищение сточных вод (СВ) |                                 |      |             |                      |                         |                   |                         |     |      |                  |
|---------------------------|---------------------------------|------|-------------|----------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-----|------|------------------|
| № опыта, объем            | Состава сточной воды до очистки |      |             | Применяемые реагенты |                         |                   | Состав СВ после очистки |     |      | Эфф. очис. СВ, % |
|                           | СОНП, мг/л                      | рН   | цвет        | Конц. коаг-та Р-1К   | Кол-во коаг-та Р-1К, мл | Кол-во экс-та, мл | Кол-во СОНП, мг/л       | рН  | цвет |                  |
| П-1<br>100 мл             | 2500                            | 10,5 | черный мут. | 10                   | 1,0                     | -                 | 1142,5                  | 9,6 | мут  | 54,3             |
|                           |                                 |      |             |                      | 2,5                     | -                 | 540,0                   | 8,6 |      | 78,4             |
|                           |                                 |      |             |                      | 5,0                     | -                 | 80,25                   | 7,8 |      | 96,79            |
|                           |                                 |      |             |                      | 10,0                    | -                 | 746,75                  | 7,5 |      | 70,13            |
|                           |                                 |      |             |                      | 15,0                    | -                 | 900,75                  | 7,5 |      | 63,97            |
|                           |                                 |      |             |                      |                         |                   |                         |     |      |                  |
| П-2<br>100 мл             | 2500                            | 10,5 | черный мут. | 10                   | 1,0                     | 0,2               | 476,0                   | 7,8 |      | 70,96            |
|                           |                                 |      |             |                      | 2,5                     | 0,5               | 54,25                   | 7,6 |      | 97,83            |
|                           |                                 |      |             |                      | 5,0                     | 1,0               | 0,01                    | 7,5 |      | 99,99            |
|                           |                                 |      |             |                      | 10,0                    | 1,5               | 240,75                  | 7,5 |      | 90,37            |
|                           |                                 |      |             |                      | 15,0                    | 3,0               | 549,25                  | 6,6 |      | 78,03            |
|                           |                                 |      |             |                      |                         |                   |                         |     |      |                  |

Зависимость эффективности очистки сточных вод, содержащих СОНП от количества использованного коагулянта определенной концентрации показана на рисунке 1.

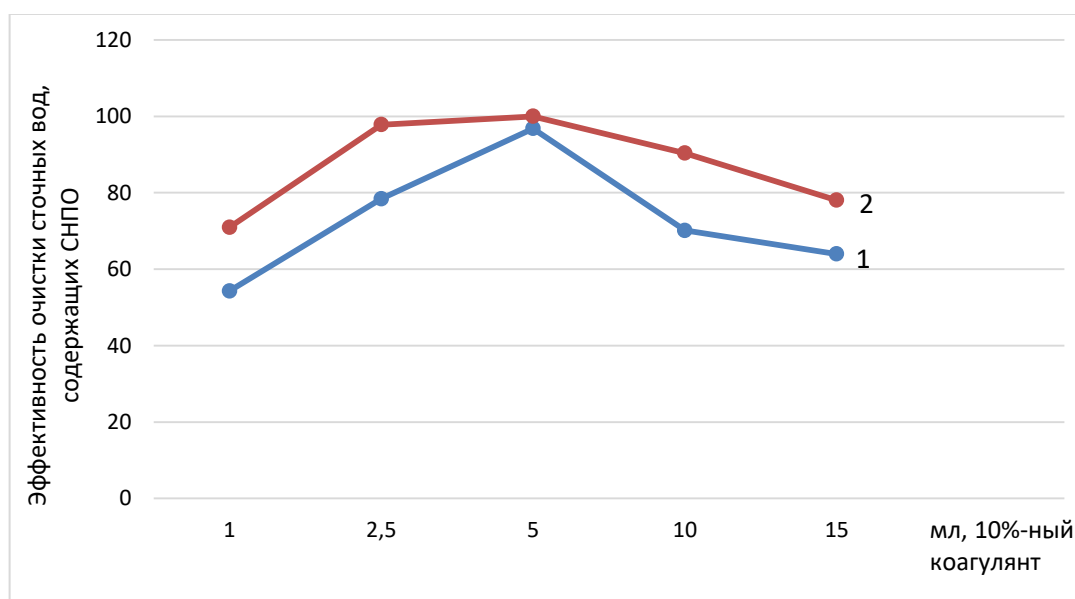


Рисунок. Зависимость эффективности очистки сточных вод, содержащих СОНП от количества 10%-ного коагулянта: без участия экстрагента – 1; с участием экстрагента – 2.

### 3. Обсуждение и результаты

Как известно из литературных данных [17-18], соли алюминия и железа, такие как  $AlCl_3$ ,  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$ , полимерные соли алюминия и железа, являются наиболее часто используемыми коагулянтами. Эти традиционные коагулянты могут быть эффективно использованы при очистке сточных вод с низкой концентрацией нефти. Однако при использовании этих коагулянтов для очистки высококонцентрированных нефте- (или СОНП) содержащих сточных вод не могут быть получены удовлетворительные результаты.

Нами для очистки сточных вод от СОНП был использован первоначальный экстрагент после смешивания с коагулянтом Р-1К. После добавления флокулянта была достигнута примерно 100% очистка сточных вод от СОНП. Как видно из рис.1 использование экстрагента существенно влияет на стабильность коагулянта Р-1К и показатели эффективности коагуляции. При использовании экстрагента эффективность удаления СОНП увеличилась до ~99,998%. Снижение эффективности коагуляции-флокуляции при повышенной основности вызвано реакцией осаждения  $Fe^{3+}$  и  $Al^{3+}$  с ОН группами с образованием осадка гидроксида алюминия и железа, что приводит к снижению эффективных коагуляционных компонентов Р-1К.

#### 4. Выводы

Исходя из вышесказанного и результатов научной работы можно сделать следующие выводы: Полимерные алюминий-железосульфатные компоненты условно названные Р-1К, приготовленные и испытанные нами в качестве коагулянта, являются высокоэффективным коагулянтом, который способен очистить сточные воды, содержащие высокое количество СОНП примерно до ~100% (99,998%). Разработанный нами метод может быть использован в качестве альтернативы для предварительной очистки сточных вод с высоким содержанием смеси отходов нефтепродуктов (СОНП) при очистке сточных вод нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности.

#### Литература

- [1]. Zeng Y. Feasibility investigation of oily wastewater treatment by combination of zinc and PAM in coagulation/flocculation / Y.Zeng, C.Yang, J.Zhang, W.Pu. - J. Hazard. -Mater. -2007. – pp. 147(3): 991–996.
- [2]. Sinha S. Determining the effectiveness of conventional and alternative coagulants through effective characterization schemes / S. Sinha, Y. Yoon, G. Amy, J. Yoon. -Chemosphere 57(9). -2004. -pp. 1115–1122.
- [3]. Zouboulis A.I. Polyaluminium silicate chloride-a systematic study for the preparation and application of an efficient coagulant for water or wastewater treatment / A.I. Zouboulis, N.D. Tzoupanos. -J. Hazard. -Mater. 162 -2009. -pp.1379–1389.
- [4]. Tzoupanos N.D. The application of novel coagulant reagent (polyaluminium silicate chloride) for the post-treatment of landfill leachates / N.D. Tzoupanos, A.I. Zouboulis, Y.C. Zhao. - Chemosphere 73. -2008. -pp.729–736.
- [5]. Zhao Y.X. Preparation and characterization of novel polytitanium tetrachloride coagulant for water purification / Y.X. Zhao, S. Phuntsho, B.Y. Gao, X. Huang, Q.B. Qi, Q.Y. Yue, Y. Wang, J.H. Kim, H.K. Shon. -Environ. Sci. Technol. 47. -2013. -pp 12966–12975.
- [6]. Li J. Microbial community and biomass characteristics associated severe membrane fouling during start-up of a hybrid anoxic–oxic membrane bioreactor / J. Li, F. Yang, Y. Liu, H. Song, D. Li, F. Cheng. -Bioresour. Technol. 103. -2012. -pp. 43–47.
- [7]. Tzoupanos N.D. A systematic study for the characterization of a novel coagulant (polyaluminium silicate chloride) / N.D. Tzoupanos, A.I. Zouboulis, C.A. Tsoleridis, , Colloid. Surf. A 342. -2009. -pp. 30–39.
- [8]. Matilainen A. Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: a review / A. Matilainen, M. Vepsäläinen, M. Sillanpää. -Adv. Colloid Interface Sci. 159. - 2010. -pp. 189–197.
- [9]. P.A. Moussas P.A. A study on the properties and coagulation behaviour of modified inorganic polymeric coagulant—polyferric silicate sulphate (PFSiS) / Moussas, A.I. Zouboulis. -Sep. Purif. Technol. 63. -2008. -pp. 475–483.
- [10]. Yang Z. Reducing capacities and redox potentials of humic substances extracted from sewage sludge / Z. Yang, M.C. Du, J. Jiang. -Chemosphere 144. -2016. -pp. 902–908.

- [11]. Tang H.X. Composite inorganic polymer flocculants, in: H.H. Hahn, R. Klute (Eds.), Chemical Water and Wastewater Treatment (II) / H.X. Tang, Z.K. Luan, D.S. Wang, B.Y. Gao. -Springer-Verlag. -Berlin. -1998. -pp. 3–17.
- [12]. Gao Y. Properties and coagulation performance of coagulant poly-aluminum-ferricsilicate-chloride in water and wastewater treatment / Y. Gao, Q.Y. Yue, B.J. Wang. -J. Environ. Sci. Health. -Part A 41. 2006. -pp.1281–1292.
- [13]. Niu X. Preparation and coagulation efficiency of polyaluminium ferric silicate chloride composite coagulant from wastewater of high-purity graphite production / X. Niu, X. Li, J. Zhao, Y. Ren, Y. Yang. -J. Environ. Sci. 23 (7). -2011. -pp.1122–1128.
- [14]. Li R. Preparation and characterization of poly-silicic-cation coagulants by synchronous-polymerization and co-polymerization / R. Li, C. He, Y. He. -Chem. Eng. J. 223. -2013. -pp. 869–874.
- [15]. T Sun. Effect of silicon dose on preparation and coagulation performance of poly-ferric-aluminum-silicate-sulfate from oil shale ash / T. Sun, L.L. Liu, L.L. Wan, Y.P. Zhang. -Chem. Eng. J. 163. -2010. -pp. 48–54.
- [16]. Sun T. Preparation and coagulation performance of poly-ferric-aluminum-silicate-sulfate from fly ash / T. Sun, C.H. Sun, G.L. Zhu, X.J. Miao, C.C. Wu, S.B. Lv, W.J. Li. -Desalination 268. -2011. -pp. 270–275.
- [17]. Clesceri L. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater / L. Clesceri, A. Greenberg, R. Trussell. -Seventeen ed., APHA–AWWA–WEF. -Washington DC. -1989.
- [18]. Zouboulis A.I. Comparable evaluation of various commercially available aluminum-based coagulants for the treatment of surface water and for the post-treatment of urban wastewater / A.I. Zouboulis, G. Traskas, J. Chem. -Technol. Biotechnol. 80.-2005. -pp. 1136–1147.

#### Xülasə

**Tərkibində neft məhsulları tullantıları qarışığı (NMTQ) olan çirkab sularının təmizlənməsi üçün alüminium-dəmirsulfat koagulyantının hazırlanması**  
**Hacıyeva S.R., Bayramov Q.İ., Məmmədov R.Y.**

**Açar sözlər:** neft məhsulları, tullantı suları, koagulyant, kompozit, alüminium-dəmir sulfat, konsentrasiya, tədqiqat, vəziyyət, ekstraktor, n-heksan

Müxtəlif ədəbi məlumatlara əsaslanaraq demək olar ki, son illərdə müxtəlif istiqamətlərdə işlənmiş elmi əsərlərdə neft emalı zavodlarının tullantı sularının səmərəli təmizlənməsi üçün bir neçə dəfə qeyri-üzvi polimer koagulyantlardan istifadə edilmişdir. Bunun əsasında biz kompozit alüminium-dəmir sulfat koagulyantı hazırladıq (şərti olaraq R-1K adlanır). Onu hazırlamaq üçün 1:1 nisbətində 10%  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  və 10%  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  qarışdırdıq və bu kompozit koagulyant R-1K-dan laboratoriya şəraitində otaq temperaturunda NMTQ-dən təmizləmək üçün 1; 2.5; 5; 10; 15 ml miqdarında 100 ml çirkab su nümunələri üçün istifadə etdik. R-1K koagulyantını tədqiq edərkən məlum olmuşdur ki, 3000 mq/l NMTQ konsentrasiyası olan çirkab suların təmizlənməsi üçün bu koagulyantdan 5 ml istifadə edildikdə, SONP-dən təmizlənmə təxminən 96,79%-ə çatmışdır. İlkin ekstraktordan (n-heksan və ya ilkin benzin fraksiyasından) istifadə edərkən, NMTQ-dən çirkab su nümunələrinin təmizlənməsi 100% -ə çatdı və suyun bulanıqlığı əhəmiyyətli dərəcədə azaldı. Koagulyasiyanı sürətləndirmək üçün 2,0 ml miqdarında 3%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  istifadə edilmişdir.

**Summary**

**Preparation of aluminum-ferrous sulfate coagulant for the treatment of wastewater containing mixture of petroleum waste (MPW)**

*Hajiyeva S.R., Bayramov G.I., Mammadov R.Ya.*

**Keywords:** *petroleum products, wastewater, coagulant, composite, aluminum-iron sulfate, concentration, research, condition, extractant, n-hexane*

Based on various literary data, it can be said that inorganic polymer coagulants have been used several times for efficient treatment of waste water of oil refineries in scientific works developed in various directions in recent years. Based on this, we developed a composite aluminum-iron sulfate coagulant (provisionally called R-1K). To prepare it, we mixed 10%  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  and 10%  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  in a ratio of 1:1, and from this composite coagulant R-1K, to remove MPW at room temperature in laboratory conditions and used 1; 2.5; 5; 10; 15 ml for 100 ml wastewater samples. When studying the coagulant R-1K, it was found that when 5 ml of this coagulant was used to treat wastewater with a SONP concentration of 3000 mg/l, NPW removal reached about 96.79%. When using the primary extractant (n-hexane or primary gasoline fraction), the purification of wastewater samples from NPW reached 100% and the water turbidity was significantly reduced. 2.0 mL of 3%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  was used to accelerate coagulation.

**Salyan torpaqlarının kimyəvi tərkibinin tədqiqi (Həsənli kəndi təmsalında)****Əliyeva Azadə Şükür qızı** [ORCID](#)*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, k.ü.f.d., baş müəllim*[azada.aliyeva@sdu.edu.az](mailto:azada.aliyeva@sdu.edu.az)

| MƏQALƏ HAQQINDA MƏLUMAT                                                                                                        | XÜLASƏ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Məqələnin tarixçəsi</b><br>Daxilolma tarixi: 20.11.2024<br>Düzəliş tarixi: 18.02.02.2025<br>Qəbul olunma tarixi: 10.03.2025 | <i>Duzlama, bitki örtüyünün inkişafına mane olan torpaqdakı duz miqdarının artması nəticəsində yaranan bir prosesdir. Duzlu torpaqlar yüksək duz konsentrasiyası səbəbindən bitkilərin suyu udmasını çətinləşdirir, bu da bitki örtüyünün zəifləməsinə və məhsuldarlığın azalmasına səbəb olur. Digər tərəfdən, Məhsuldarlıq bitki yetişdirmək üçün uyğun torpaq xüsusiyyətlərinin cəminə aiddir. Yüksək məhsuldarlıq səviyyəsi, optimal qida tərkibi, torpağın struktur və mikrobioloji fəaliyyəti ilə xarakterizə olunur. Bu, bitkilərin sağlam və davamlı bir şəkildə inkişafına imkan verir.</i> |
| <b>Açar sözlər:</b><br>Salyan rayonu, şoran torpaqlar, münbit torpaqlar, əkin sahələri                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

**1.Giriş**

Son onilliklərdə torpaqların şoranlaşması torpaqlardan istifadə zamanı əsas problemə çevrilmiş, nəticədə onun sıxlaşması, strukturunun itirilməsi və su rejiminin pozulması baş vermişdir. Bu proseslərin nəticəsi əkin sahələrinin məhsuldarlığının azalması və bəzən tamamilə məhv olmasıdır. Şoranlaşma ilə mübarizə hazırda fermerlərin həm yeni əkin sahələrinin meliorasiyası, həm də artıq istifadədə olan torpaqların münbitliyinin qorunub saxlanması üçün ən mühüm vəzifədir.

Şoran torpaq bitkilər üçün zərərli miqdarda (0,25% -dən çox) asanlıqla həll olunan mineral duzları ehtiva edən torpaqdır.

Müəyyən şəraitdə müxtəlif torpaqlar şoran ola bilər: qara torpaqlar, şabalıdı torpaqlar, çəmən torpaqlar. Şoranlıq dərəcəsinə görə torpaqlar zəif, orta, yüksək və çox yüksək şoranlığa bölünür.

Şoran torpaqlarda bitkilərin məhvinin əsas səbəbi torpaq məhlulunun yüksək osmotik təzyiqidir ki, bu da onların hüceyrə şirəsinin təzyiqini üstələyir. Nəticədə ayrı-ayrı toxumalara suyun axını azalır, transpirasiya artır, assimilyasiya, tənəffüs və şəkərlərin əmələ gəlməsi pisləşir ki, bu da bitkilərin qurumasına və məhvinə səbəb olur.

Torpağın şoranlığının əlamətləri - seyrək bitki örtüyünün, yerin səthində quru qabığın olmasıdır. Şoran torpaqlar boş olsalar da onların səthində həmişə qabıq əmələ gəlir. Əgər duzluluq güclüdirsə, hətta nazik duz qabığı görünə bilər.

Dünyada suvarılan torpaqların 30%-ə qədər şoranlaşmaya və şorakətləşməyə məruz qalıb. Hər il suvarılan torpaqların 1,5 mln. hektarı şorlaşaraq sıradan çıxır. Şimali Amerikada deqradasiyaya uğrayan suvarılan torpaqlar 28%, Avropada 16%, Avstraliyada 13% təşkil edir. Rusiyada deqradasiyaya uğrayan suvarılan torpaqların sahəsi inkişaf etmiş ölkələrdən çox olub 35%-ə çatır [1].

Kənd Təsərrüfatı Nazirliyinin məlumatına əsasən, hazırda ölkəmizdə təxminən 561 min 965 hektar torpaq sahəsi müxtəlif dərəcədə şoranlaşmaya məruz qalıb. Bu cür torpaqlara ölkədə ən çox isti və quru iqlim şəraiti olan Kür-Araz ovalığında rast gəlinir. Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, sahəsi 2,2 milyon hektar olan Kür-Araz ovalığı torpaqlarının bu vaxta qədər təxminən 60%-i orta və şiddətli dərəcədə şoranlaşmaya məruz qalıb. Hal-hazırda ölkəmizdə kənd təsərrüfatı üçün yararlı sayılan suvarılan torpaqların 1,426 mln hektardan ibarət ümumi sahəsinin 664,6 min hektarı (46,6%)

müxtəlif dərəcədə şorlaşmışdır. Torpaqların şoranlığı Qərbdən Şərqə Xəzər dənizi sahillərinə doğru artır [2].

Salyan torpaqları, Azərbaycanın mərkəzi hissəsində yerləşən və geniş kənd təsərrüfatı ərazilərini əhatə edən bir regiondur. Bu bölgə tarixən kənd təsərrüfatı üçün mühüm əhəmiyyət kəsb etmişdir və burada torpaq münbitliyi və şoranlıq problemləri xüsusi diqqət tələb edir. Şoranlıq və münbitlik anlayışları Salyan torpaqlarının məhsuldarlığını, ekoloji vəziyyətini və iqtisadi potensialını birbaşa təsir edir.

Salyan rayonu torpaqları şoranlaşmaya məruz qalan, şorakət torpaqları üstünlük təşkil edən rayondur. XX əsrin əvvəllərində suvarmanın başlandığı illərdə əkin üçün istifadə olunan torpaqlarda şorlaşma müşahidə edilmişdir. Bu suvarma sistemində olan qüsurlardan – suvarma şəbəkəsinin seyrək olmasından və sutullayıcı şəbəkənin olmamasından irəli gəlmişdir. Nəticədə hər dəfə əhali yeni sahələrdən istifadə etməklə çıxış yolu tapmışlar. Bu səbəbdən keçən əsrin 50-60-cı illərində salyan rayonunun 98% torpaq sahəsi müxtəlif dərəcədə şorlaşma məruz qalmışdır. Təkrar yuyulmalarla torpaqların şorlaşmasının qarşısını tam almaq mümkün olmasa da bu yuyulmaların aparılması davam etdirilmişdir.

Salyan regionu müxtəlif torpaq tipləri ilə zəngindir və burada əsasən allüvial, qara torpaqlar və duzlu torpaqlar mövcuddur. Regionda iqlim şəraiti və suvarma sistemləri torpaqların şoranlıq və münbitlik səviyyəsinə təsir edən əsas amillərdəndir. Salyan ərazisi geniş çöl və yarımsəhra landşaftı ilə xarakterizə olunur ki, bu da torpağın təbii münbitlik səviyyəsinə təsir edir.

Münbit torpaqda azot, fosfor, kalium, mis, maqnezium, kükürd, sink və bir çox başqaları kimi çoxlu qida maddələri vardır. Münbit torpaqların əsasını humus təşkil edir. Məhsuldarlıq baxımından ən yaxşı torpaqlarda humus 10% -ə qədər təşkil edir.

Tərkibində çoxlu miqdarda faydalı mikroorqanizmlər, qidalar və minerallar olan süni yaradılmış münbit torpaq da vardır. Belə torpaqlar gil, qum, torf və gübrələrdən əldə edilir. Belə torpaqlardan kənd təsərrüfatında və abadlıq işlərində istifadə olunur [3].

Tədqiqat işində, torpaq nümunələrinin toplanması və laboratoriya analizləri vasitəsilə torpağın şoranlıq və münbitlik göstəriciləri öyrənilmişdir. Eyni zamanda, regionda torpaq istifadəsi və suvarma təcrübələri ilə bağlı məlumatlar toplanaraq təhlil edilmişdir.

Salyan torpaqlarında şoranlıq və münbitliyin tədqiqi, bölgənin kənd təsərrüfatı potensialının artırılması və ekoloji davamlılığının təmin edilməsi üçün əhəmiyyətli bir addımdır.

Analiz üçün torpaq nümunələrinin düzgün götürülməsi onlarda əsas qida maddələrinin təyində vacib şərtlərdəndir. Çox vaxt əsas diqqət laboratoriyada torpaq analizlərinin düzgün aparılmasına yönəlir, ancaq torpaq nümunələrinin götürülməsinə diqqət yetirilmir və yaxud az əhəmiyyət verilir. Lakin götürülmüş torpaq nümunələri sahənin orta münbitliyini tam səciyyələndirməli və onun dəyişkənliyini müəyyənləşdirmək üçün imkan verməlidir.

Əgər torpaq nümunəsi düzgün götürülməyibsə və yaxud sahəni tam səciyyələndirmirsə, aparılacaq analizlərin əhəmiyyəti olmur, ən yaxşı halda isə düzgün nəticə çıxarmaq mümkün olmayacaq. Ona görə də sahədən torpaq nümunələrinin qaydalar çərçivəsində götürülməsi, düzgün analiz nəticələrinin alınması üçün ən başlıca və vacib şərt [4].

## 2. Tədqiqatın aparılması

Əkin altında olan torpağın analiz nəticəsinə əsasən torpaq duzsuz, güclü qələvi torpaqdır. Torpaq süzüntüsündə anion kation analizləri aparılmışdır. Aparılan analizə əsasən torpaq kationlardan  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  və  $\text{K}^{+}$ -la zəif,  $\text{Na}^{+}$ -la çox yüksək dərəcədə olması aşkar edilmişdir. Anionlardan isə  $\text{HCO}_3^{-}$  və  $\text{Cl}^{-}$  ilə orta,  $\text{SO}_4^{2-}$  isə çox yüksək olması aşkar edilmişdir. Anion kation analizlərinin nəticəsinə əsasən torpaq süzüntüsündə SAR yüksək olması onu göstərir ki,  $\text{Na}^{+}$ -ın,  $\text{Ca}$  və  $\text{Mg}$  kationuna görə nisbəti çox yüksək olduğundan torpaq duzsuz və güclü qələvi torpaqdır. Torpaqda sulfatlı duzlar daha çox üstünlük təşkil edir.

Əkin altında olan torpaq nümunəsinin 2-ci isə güclü qələvi olmaqla duzsuz torpaqdır. Torpaq süzüntüsündə anion kation analizləri aparılmışdır. Kationlardan  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  və  $\text{K}^{+}$ -la zəif,  $\text{Na}^{+}$ -in

yüksək olması aşkar edilmişdir. Anionlardan isə  $\text{HCO}_3^-$   $\text{Cl}^-$ -un orta,  $\text{SO}_4^{2-}$ , yüksək olması aşkar edildi. Süzüntüdə SAR normaldır.

Şor olan ərazidə götürülən torpaq güclü qələvi və duzsuz torpaqdır. Torpaq süzüntüsündə anion kation analizləri aparılmışdır. Analizə əsasən kationlardan  $\text{Ca}^{2+}$  orta,  $\text{Mg}^{2+}$  və  $\text{K}^+$  zəif, Na isə çox yüksək aşkar edilmişdir. Torpaqda anionlardan  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ -un yüksək,  $\text{SO}_4^{2-}$  isə orta olması aşkar edildi. Torpağa qələvilik verən  $\text{HCO}_3^-$  və  $\text{Na}^+$  ionlarının çox olmasıdır.

Şor olan ikinci torpaq zəif qələvi və duzsuz torpaqdır. Bu torpaqda anionlardan sulfat, xlor kationlardan Na- un yüksək olması aşkar edilirdir. Torpağa şoranlığı yaradan natrium sulfat və natriumxlor duzlarının çox olmasıdır.

Cədvəl 1.

| Dərinlik (sm) | Yerin təsviri | Göstəricini (analiz) adı | İstinad olunan metod | Ölçü vahidi | Sınağın nəticəsi | Norma        | Dəyərləndirmə |
|---------------|---------------|--------------------------|----------------------|-------------|------------------|--------------|---------------|
|               | Əkin altında  | Ph                       | ГОСТ26423-85         |             | 9.05             | 6.6-7.5      | Güclü qələvi  |
|               |               | EC                       | ГОСТ26423-85         | mS/sm       | 0.618            | <2           | Duzsuz        |
|               |               | Anion və kationlar       |                      |             |                  |              |               |
|               |               | $\text{SO}_4^{2-}$       | hesablama            | mq/l        | 31.47            | 0-5          | Yüksək        |
|               |               | $\text{HCO}_3^-$         | Titir                | mq/l        | 2.36             | 0-00.10-0.10 | Orta          |
|               |               | Xlor                     | Titir                | mq/l        | 7.84             | 0-4          | Orta          |
|               |               | $\text{Ca}^{2+}$         | Titir                | mq/l        | 4.0              | 20-25        | Zəif          |
|               |               | $\text{Mg}^{2+}$         | Titir                | mq/l        | 1                | 10-15        | Zəif          |
|               |               | $\text{K}^+$             | Sat.süzüntüsü        | mq/l        | 0.15             | 0-2          | Zəif          |
|               |               | $\text{Na}^+$            | Sat.süzüntüsü        | mq/l        | 36.52            | 0-0.8        | Yüksək        |
|               |               | Sar                      | hesablama            | Mel         | 23.1             | 0-12         | Yüksək        |

Cədvəl 2.

| Dərinlik (sm) | Yerin təsviri | Göstəricinin (analiz) adı | İstinad olunan metod | Ölçü vahidi | Sınağın nəticəsi | Norma        | Dəyərləndirmə |
|---------------|---------------|---------------------------|----------------------|-------------|------------------|--------------|---------------|
|               | Əkin altında  | Ph                        | ГОСТ26423-85         |             | 8.69             | 6.6-7.5      | Güclü qələvi  |
|               |               | EC                        | ГОСТ26423-85         | mS/sm       | 0.546            | <2           | Duzsuz        |
|               |               | Anion və kationlar        |                      |             |                  |              |               |
|               |               | $\text{SO}_4^{2-}$        | hesablama            | mq/l        | 15.95            | 0-5          | Orta          |
|               |               | $\text{HCO}_3^-$          | Titir                | mq/l        | 3.47             | 0-00.10-0.10 | Orta          |
|               |               | Xlor                      | Titir                | mq/l        | 4.41             | 0-4          | Zəif          |
|               |               | $\text{Ca}^{2+}$          | Titir                | mq/l        | 5                | 20-25        | Zəif          |
|               |               | $\text{Mg}^{2+}$          | Titir                | mq/l        | 1                | 10-15        | Zəif          |
|               |               | $\text{K}^+$              | Sat.süzüntüsü        | mq/l        | 0.25             | 0-2          | Zəif          |
|               |               | $\text{Na}^+$             | Sat.süzüntüsü        | mq/l        | 17.57            | 0-0.8        | Yüksək        |
|               |               | Sar                       | hesablama            | Mel         | 10.2             | 0-12         | Normal        |

Cədvəl 3

| Dərinlik (sm) | Yerin təsviri | Göstəricinin (analiz) adı     | İstinad olunan metod | Ölçü vahidi | Sınağın nəticəsi | Norma        | Dəyərləndirmə |
|---------------|---------------|-------------------------------|----------------------|-------------|------------------|--------------|---------------|
|               | Qeyri-əkin    | Ph                            | ГОСТ26423-85         |             | 8.76             | 6.6-7.5      | Güclü qələvi  |
|               |               | EC                            | ГОСТ26423-85         | mS/sm       | 0.694            | <2           | Duzsuz        |
|               |               | Anion və kationlar            |                      |             |                  |              |               |
|               |               | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | hesablama            | mq/l        | 10.83            | 0-5          | Orta          |
|               |               | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Titir                | mq/l        | 7.13             | 0-00.10-0.10 | Yüksək        |
|               |               | Xlor                          | Titir                | mq/l        | 19.6             | 0-4          | Yüksək        |
|               |               | Ca <sup>2+</sup>              | Titir                | mq/l        | 7                | 20-25        | Orta          |
|               |               | Mg <sup>2+</sup>              | Titir                | mq/l        | 2                | 10-15        | Zəif          |
|               |               | K <sup>+</sup>                | Sat.süzüntüsü        | mq/l        | 0.3              | 0-2          | Zəif          |
|               |               | Na <sup>+</sup>               | Sat.süzüntüsü        | mq/l        | 28.26            | 0-0.8        | Yüksək        |
|               |               | Sar                           | hesablama            | Mel         | 13.3             | 0-12         | Normal        |

Cədvəl 4.

| Dərinlik (sm) | Yerin təsviri | Göstəricini (analiz) adı      | İstinad olunan metod | Ölçü vahidi | Sınağın nəticəsi | Norma        | Dəyərləndirmə |
|---------------|---------------|-------------------------------|----------------------|-------------|------------------|--------------|---------------|
|               | Qeyri-əkin    | Ph                            | ГОСТ26423-85         |             | 8.45             | 6.6-7.5      | Güclü qələvi  |
|               |               | EC                            | ГОСТ26423-85         | mS/sm       | 1.917            | <2           | Duzsuz        |
|               |               | Anion və kationlar            |                      |             |                  |              |               |
|               |               | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | hesablama            | mq/l        | 82.72            | 0-5          | Orta          |
|               |               | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Titir                | mq/l        | 2.67             | 0-00.10-0.10 | Orta          |
|               |               | Xlor                          | Titir                | mq/l        | 38.2             | 0-4          | Zəif          |
|               |               | Ca <sup>2+</sup>              | Titir                | mq/l        | 9                | 20-25        | Zəif          |
|               |               | Mg <sup>2+</sup>              | Titir                | mq/l        | 19               | 10-15        | Zəif          |
|               |               | K <sup>+</sup>                | Sat.süzüntüsü        | mq/l        | 0.39             | 0-2          | Zəif          |
|               |               | Na <sup>+</sup>               | Sat.süzüntüsü        | mq/l        | 95.2             | 0-0.8        | Yüksək        |
|               |               | Sar                           | hesablama            | Mel         | 25.5             | 0-12         | Normal        |

### 3.Nəticə

Salyan torpaqlarının şoranlığının və münbitliyinin tədqiqi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu tədqiqat çərçivəsində torpaqların şoranlıq səviyyəsi və onların kənd təsərrüfatı üçün münbitliyi qiymətləndirilmişdir.

Tədqiqat ərazisi torpaqlarında Ec dəyəri aşağı olsada, Ph dəyəri güclü qələvi olmuşdur. Torpaqda pH-ın yüksək olması bitkilərin torpaqdan zəruri qida elementlərinin mənimsəməsini çətinləşdirir ki, bu da qeyd olunan torpaqlarda üzvi mənşəli gübrələrdən istifadənin önəmini artırır. Torpaqların şoranlıq dərəcəsi müxtəlif ərazilərdə fərqli səviyyələrdə olmuşdur. Bəzi yerlərdə bu, bitki örtüyünün inkişafına ciddi mane olur, digərlərində isə az dərəcədədir.

Torpaqların münbitliyi əsasən onların kimyəvi və fiziki xassələrindən asılıdır. Şoran torpaqlarda əsasən azot, fosfor və kalium kimi qida maddələrinin çatışmazlığı müşahidə olunur. Müxtəlif aqrotekniki tədbirlərlə torpaqların münbitliyini artırmaq mümkündür. Bunlara gübrələmə, meliorasiya işləri və düzgün suvarma üsullarının tətbiqi daxildir.

Torpaqların şoranlıq və münbitlik dərəcələrinin təhlili ekosistemin sağlamlığını qorumaq baxımından əhəmiyyətliidir. Şoran torpaqların düzgün idarə olunması ekoloji tarazlığın qorunmasına kömək edir.

Bu nəticələr Salyan torpaqlarının kənd təsərrüfatı potensialının artırılması üçün əsaslı məlumat təmin edir və bu torpaqların daha səmərəli istifadəsi üçün tədbirlərin planlaşdırılmasına kömək edir.

2018-ci ildə Salyanda torpaqların təkrar şoranlaşmasının qarşısını almaq məqsədilə kompleks meliorativ tədbirlər görülmüşdür. Bu məqsədlə mövcud kollektor-drenaj təsərrüfatlarında əsaslı təmir-bərpa işləri görülməklə yanaşı, yeni drenaj şəbəkələrinin qurulması işləri də aparılmışdır. 56 kilometr uzunluğunda lildəntəmizləmə işləri həyata keçirilmiş və rayondakı 8 nasos stansiyası vasitəsilə 75 milyon kubmetr qrunt suları dənizə axıdılmışdır. Bu isə 540 ton duzun əkin sahələrindən kənarlaşması deməkdir. Torpaqlarda olan duzluluğun dərəcəsini aşağı salmaqla qalıq sularının səviyyəsini 2 metrə qədər endirmək üçün 5 kəndin ərazisindən keçən 200 kilometr drenaj xətti dərinləşdirilmişdir [5].

### Ədəbiyyat

- [1]. Məmmədov, Q.S. Torpaqşünaslıq və torpaq coğrafiyasının əsasları / Q.S.Məmmədov, –Bakı, Elm, –2007, –664 s.
- [2]. Məmmədov, Q.S. Torpaqların ekoloji monitorinqi / Q.S.Məmmədov, S.Z.Məmmədova, C.Ə.Şabanov. – Bakı: BDU, –2017, –280 s.
- [3]. Cəfərov M.İ. Torpaqşünaslıq / M.İ.Cəfərov. –Bakı: Elm, –2005, –72 s.
- [4]. Qəhrəmanlı, Y.V. Meliorasiya, rekultivasiya və torpaq mühafizəsi. Dərslik / Y.V.Qəhrəmanlı, S.A.Səfərli, A.Ə.Xəlilova. –Bakı, –2014, – 298 s.
- [5]. [https://azertag.az/xeber/torpaqlarin\\_soranlasmasin\\_in\\_qarsisi\\_alinir-1160774](https://azertag.az/xeber/torpaqlarin_soranlasmasin_in_qarsisi_alinir-1160774)

### Summary

#### Study of soil salinity in the Salyan region (using the example of the village of Hasanli)

Aliyeva A.Sh.

**Keywords:** Salyan region, saline soils, fertile soils, crop fields

Salinity is a process caused by an increase in the salt content of the soil, which hinders the development of vegetation. Saline soils, due to the high concentration of salts, make it difficult for water to be taken up by plants, which leads to a weakening of vegetation and a decrease in productivity.

Fertility, on the other hand, refers to the sum of the properties of the soil that are suitable for growing plants. It is characterized by a high level of fertility, optimal content of nutrients, structural and microbiological activity of the soil. This allows the plants to develop in a healthy and sustainable way.

### Резюме

#### Исследование засоленности почв Сальянского района (на примере села Гасанлы)

Алиева А.Ш.

**Ключевые слова:** Сальянский район, засоленные земли, плодородные земли, посевные поля

Засоление-это процесс, вызванный повышением содержания соли в почве, что препятствует развитию растительности. Засоленные почвы затрудняют поглощение воды растениями из-за высокой концентрации соли, что приводит к ослаблению растительности и снижению плодородия.

С другой стороны, плодородие относится к сумме характеристик почвы, подходящей для выращивания растений. Он характеризуется высоким уровнем плодородия, оптимальным содержанием питательных веществ, структурной и микробиологической активностью почвы. Это позволяет растениям развиваться здоровым и устойчивым образом.

**Nevrotik halların psixofiziologiyası**<sup>1</sup>Baxşalıyev Arzu Yelmar oğlu [ORCID](#)<sup>2</sup>Qəhrəmanova Aidə Yarş qızı [ORCID](#)<sup>3</sup>Yunuszadə Ziba Qara qızı<sup>4</sup>Azadəliyeva Səadət Fəzəhim qızı<sup>5</sup>Hüseynov Elvin Vidadi oğlu*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, 1,2,4-dosent, 5-baş müəllim*<sup>3</sup> *Sumqayıt Dövlət Universiteti nəzdində Sumqayıt Dövlət Texniki Kolleci 3-müəllim*[arzu.baxshaliyev@sdu.edu.az](mailto:arzu.baxshaliyev@sdu.edu.az)

| MƏQALƏ HAQQINDA MƏLUMAT                                                                                                    | XÜLASƏ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Məqalənin tarixçəsi</b><br>Daxilolma tarixi: 27.01.2025<br>Düzəliş tarixi: 20.02.2025<br>Qəbulolunma tarixi: 03.03.2025 | Nevrozlar kimi mərkəzi sinir sisteminin funksional pozğunluqları kəskin stres, zehni təsirlər, müxtəlif xəstəliklər və digər səbəblərdən inkişaf edir. Nevrasteniya, obsesif pozğunluqlar, isteriya nevrozun geniş yayılmış formalarıdır. Xəstəlik zamanı beyin yarımkürələrində və subkortikal strukturlarda sinir fəaliyyətinin pozulması nəticəsində yaranan patoloji üzvi deyil, funksional bir xəstəlik kimi qəbul edilir. Xəstəliklərdə tez-tez artan həyəcan, asteniya, narahat düşüncələr, istər-istəməz aqressiv və kobud hərəkətlər və s. kimi simptomlar müşahidə olunur. |
| <b>Açar sözlər:</b><br>nevroz, oyanma, ləngimə, xəstəlik, refleks, isteriya, beyin qabığı                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

Mərkəzi sinir sisteminin funksional pozğunluğu olan nevrozlar kəskin gərginlik, psixi təsirlər, fərqli xəstəliklər və digər səbəblərdən inkişaf edir. Nevrasteniya, sayrışan hallar nevrozu, isteriya nevrozun geniş yayılmış formalarıdır. Xəstəlik zamanı beyin yarımkürələri ilə qabıqaltı nəhiyələrdə sinir fəaliyyətinin pozulmasından törənən patoloji hal üzvi deyil, funksional hal kimi dəyərləndirilir. Xəstəliklər zamanı əsasən oyanıqlıq, asteniya, narahatlıq doğuran fikirlər, istəmədən aqressiv, kobud hərəkətlərə meyillik və s. simptomlar müşahidə olunur. Müalicə zamanı dərman, psixoterapevtik və s. metodlardan istifadə olunur.

Yaşadığımız zamanda nevrozlar sinir sisteminin funksional pozğunluğu olub, kəskin gərginlik, psixi təsirlər və digər səbəblərdən inkişaf edir. Bəzi hallarda isə patoloji prosesin inkişafına fərqli xəstəliklər də təsir edir. B.B.Mixeyevin fikrinə görə nevrozun inkişafında xarici faktorlarla bərabər insanın konstitutsional xüsusiyyətləri də mühüm rol oynayır [4]. Həm də vegetativ sinir sisteminin vəziyyəti, orqanizmdə gedən emosional gərginlik hipotalamik nəhiyə ilə rabitəlidir. İş şəraitində, ailədə ümumilikdə insanın şəxsi həyatında uğursuzluqlar, ali sinir fəaliyyətinin zəif olması insanlara psixotraumatik təsir edə bilər. Onuda nəzərə almaq lazımdır ki, bu cür psixofizioloji təsirlərə qadınlar kişilərdən daha çox dözümsüzlük göstərir. Məlum olduğu kimi, nevrozun inkişafının səbəbi oyanma və ləngimə proseslərinin şiddətli gərginliyi, həmçinin, toqquşması olur. Vaxtı ilə ilk eksperimental nevrozlar İ.P.Pavlov tərəfindən laboratoriya şəraitində aparılan tədqiqatlar zamanı törədilmişdir [3].

Qarşılaşmış olduğumuz insanın ali sinir fəaliyyətinin nevrotik pozğunluqları ayrı-ayrı formalarda özünü büruzə verir. Bu cür fərqli formalarda əks olunan xarakterik xəstəliklər, pozğunluqların xaoslu şərti refleksləri, onlarda müşahidə olunan fazalı vəziyyətlərin bərabərləşdirici və paradoksal fazaların inkişafı, sinir proseslərinin partlayışlı və patoloji ətalətli formalarıdır. Diqqətimizdə olan və nəzərdən keçirdiyimiz nevrotik pozğunluqlar zəif və hiddətli sinir tiplərində

törədilməsi bir o qədər də çətinlik yaratmır. Bu zaman ilk olaraq oyanma, ardınca isə ləngimə prosesi zərər çəkir. Yeni xəstəliklərin aşkarlanması, müəyyən edilməsi öz növbəsində, həmin xəstəliklərin adlandırılmasını və öyrənilməsini bir vəzifə olaraq qarşıya çıxarır. Bu isə nəticə olaraq yeni terminlərin yaranması perspektivlərini qarşıya çıxarır. Odur ki, problemə belə bir aspektdən yanaşılmasına uyğun olaraq ilk dəfə U. Qullen 1776-cı ildə Nevroz terminini təklif etmişdir [4]. Zaman keçdikcə nevrozlar haqqında əldə edilən məlumatlar zənginləşsə də hələ XIX əsrin sonu, XX əsrin başlanğıcına qədər bir sıra sinir, somatik və digər xəstəlikləri nevrozlara aid edirdilər. Həmin dövrdən başlayaraq bir sıra elmlərin, o cümlədən patoloji anatomiya, histologiya və digər bioloji elmlərin inkişafına təkan verən yeni tədqiqat metodlarının tətbiqi nevroz probleminə münasibətin dəyişməsinə gətirib çıxardı. Odur ki, çox saylı tədqiqatların aparılmasının nəticəsi olaraq müəyyən olundu ki, nevrozlar mərkəzi sinir sistemində hər hansı bir üzvi dəyişikliyə səbəb olmayan, yalnız funksional xarakterli dəyişiklik nəticəsində inkişaf edən xəstəlikdir. Nevrozların öyrənilməsi istiqamətində aparılan tədqiqatlar onun təsnifatının verilməsini də qaçılmaz edirdi. Ancaq hələ də nevrozların müasir təsnifatının verilməsində fikir və düşüncələrin mübahisəli olaraq qalması özünü göstərir. Mövcud materialların təhlili önu söyləməyə əsas verir ki, nevrozların təsnifatını ayrı-ayrı müəlliflər fərqli sayda təsnif edirlər. Bu təsnifata nevrozun üç forması nevrasteniya, sayrışan hallar nevrozu, isteriya ilə birlikdə nevrozun digər formaları da daxil edilir və hansı ki, bunlara qorxu nevrozu, depressiv nevroz və sair daxildir. Professor Z.M. Salayeva praktik cəhətcən nevrozun dörd forması olaraq nevrasteniya, isteriya, psixasteniya və sayrışan hallar nevrozu olduğunu qeyd edir [5].

C. Brid ilk dəfə olaraq nevrozların daha çox müşahidə edilən forması olan nevrasteniyanın təsvirini vermişdir. Bridin fikirlərinə görə, XIX əsrin ikinci yarısında iri şəhərlərdə müxtəlif sənaye sahələrinin sürətli inkişafı səbəbindən insanlar arasında gərginliyin kəskin şəkildə artması nevrasteniyanın inkişafını törədən səbəblər içərisindədir. Nevrasteniyanın klinikasına aid olan simptomlar əsasən oyanıqlıq və asteniya. Xəstəni ən adi, o qədər də diqqətə alınmasına ehtiyac olmayan qıcıqlandırıcı belə tez əsəbləşdirir, hətta cüzi bir əhəmiyyətsiz səbəbdən törənən səs, məsələn yazı qələminin səsi, kənardakıların söhbət əsnasında yaranan danışiq səsi və s. affektiv partlayış reaksiyalarının yaranmasına səbəb olur. Belə xəstələr çoxda gərgin olmayan hər hansı bir iş zamanı tez bir zamanda yorulur, iş qabiliyyəti zəifləyir, ümumi əhvalı asanlıqla pozulur. Xırda qıcıqlandırıcı təsirindən şiddətli reaksiya müşahidə olunur. Daha çox müxtəlif formalarda yuxu pozuntuları müşahidə edilir. Onlar yuxunun qeyri mümkün olacağından, yuxu zamanı yataqda yata bilməyəcəyindən ehtiyat edir, nəticədə uzun müddət oyaq qalacağından və eyni zamanda yuxuya gedən zaman xoş olmayan, pis məzmunlu yuxu görəcəyindən həddən artıq narahat olur, bütün bunlardan kəskin qorxu hissi keçirir. Xəstə bütün qeyd olunanlarla bərabər yuxudan oyandıqdan sonra yenə də özünü yorğun, əsəbi hiss edir. Rahat yatmaq üçün yatağa gec uzanmasına baxmayaraq gec yuxuya gedir.

Diqqətə aldığımız səbəblərlə bərabər xəstəlik zamanı daxili üzvlərdə funksiya pozğunluğu vegetativ sinir sistemində baş verən patoloji prosesin inkişafının nəticəsi olaraq inkişaf edir. Bu kimi halların baş verməsi zamanı beyin yarımkürələri ilə qabıqaltı nahiyələrdə sinir fəaliyyətinin pozulmasından törənən patoloji hal üzvi deyil, funksional patoloji hal kimi dəyərləndirilir. Xəstəliyin xüsusi ilə maraq doğuran tərəfi həmin xəstələrin öz xəstəliklərini daha çox şişirtməsidir. Xəstələrdə yaddaş zəifliyi, gözləri qarşısında qeyri-adi canlının olması, xüsusilə ətrafların keyləşməsi və s. əlamətlər onları narahat edir. Onlar elə bilir ki, hər-hansı bir orqanı sağalmaz xəstəliyə tutulub. Bu səbəbdən də onlar həmişə özlərinin çox ağır xəstə olduqlarını düşünərək bunu əhatəsində olan insanlara söyləməyə çalışırlar. Odur ki, ayrı-ayrı həkimlərə müraciət edir, mümkün qədər daha çox müayinələrdən keçməyə çalışırlar. Bütün bunları edə bilmədikləri zaman onlar ruhdan düşür, özlərini narahat hiss edir, nəticədə xəstəlik zaman keçdikcə daha da ağırlaşır. Bütün bu səbəblərdən onlarda sağalma halı müşahidə edilmir, əksinə xəstəlik getdikcə daha da kəskinləşir.

Nevrozun digər bir forması olan Sarışan halların inkişafı zamanı, narahatlıq doğuran fikirlər, həmçinin, xəstəni narahat edən hərəkətlər nevrozun sarışan hallar formasının mühüm

xüsusiyyətlərinə daxildir. Maraqlı odur ki, xəstə həmin fikir və düşüncələrin əhəmiyyətsiz, lazımsız, mənasız olduğunu anlasada, bütün bunları özündən kənar edə bilmir. Sarışan hallar nevrozunun obsessiv, fobik və sarışan hərəkətlər olmaqla üç forması ayırd edilir. Obsessiv formada xəstə məntiqsiz, məzmunsuz fikirlərdən məsələn, binanın mərtəbələrini saymaqdan, eyni bir sözü dəfələrlə təkrar etməkdən özünü xilas edə bilmir. Eyni zamanda onlar hər kəsin bildiyi, əslində izahata ehtiyacı olmayan, heç bir mənası olmayan suallar verməkdən sanki ləzzət alır. Bütün bunlarla bərabər, bəzən xəstələri məzmunsuz suallar narahat edir. Məsələn, nə üçün heyvanlar iki ayağı üzərində deyil, dörd ayağı üzərində yeriir, insan kimi danışa bilməmələrinin səbəbi nədir və s. Xəstəliyin rast gəlinən fobik formalarında vardır. Buna misal olaraq aşağıdakıları göstərmək olar. Onlar hər hansı bir xəstəliklə xəstələnməkdən qorxur – nozofobiya, istədiyi yaxın adamlarını itirərək tək qalmaqdan qorxur – monofobiya, yüksəklikdən qorxur – akrofobiya, ruhi xəstəliyə tutulmaq qorxusu – psixofobiya və s. Belə xəstələr özlərindəki qorxu və təşvişi azaltmaq məqsədilə hər gün bir sıra məntiqsiz rituallardan istifadə edirlər. Bir xəstə gün ərzində ona heç bir xəta toxunmaması üçün səhərlər evdən çıxmazdan əvvəl gözü yumulu şəkildə bir neçə dəfə çıxış qapısına yaxın otağın divarını öpərmiş. Başqa bir xəstə isə yolxucu xəstəliyə tutulmamaq üçün bədənini görünən və görünməz müxtəlif yerlərinə məsələn, qulaqlarının arxasına, barmaqlarının arasına, boynunun ardına və s. yod sürtərmiş.

Sarışan hallar nevrozunun növbəti üçüncü formasında xəstələr istəmədən aqressiv, kobud hərəkətlərə meyilli olurlar. Müəyyən hərəkətləri xəstə eyni ilə təkrar edir, misal olaraq əlini dəfələrlə eyni yerə vurduğunu söyləmək olar. Baxmayaraq ki, belə hərəkətlərin yaxşı hal olmadığını, mənasız olduğunu xəstənin özü bilir. Xəstəliyin başqa formalarının müalicəsinə nisbətən bu formanın müalicəsi nisbətən çətinlik törədir.

Nevrozun digər bir forması olan isteriya (Hystera – yunanca uşaqlıq) bir xəstəlik kimi çox qədim tarixi keçmişə söykənir. Xəstəliyin öyrəniləndiyi ilk zamanlardan elə hesab edirdilər ki, qadınlar bu xəstəliklə xəstələnir və xəstəliyi uşaqlığın qadın bədənində azaraq gəzməsi səbəbindən inkişaf etdiyi guman edilirdi. Bu səbəbdən də xəstəliyə İsteriya adı verilmişdir.

XVII əsrdə yaşamış fransız alimi Şarl Lepua öyrəndi ki, bu xəstəliyə qadınlarla bərabər həm kişilərdə həm də uşaqlarda da rast gəlinir. Xəstəliyin kliniki mənzərəsi XIX əsrin altmışıncı illərində fransız alimi J.Şarko tərəfindən aydınlaşdırılmışdır. Xəstəliyin kliniki əlamətləri müəyyən edildikdən sonra Babinski bu xəstəliyi ruhi xəstəlik olaraq dəyərləndirmişdir. Xəstəlik üçün kliniki əlamətlər çox rəngarəngdir. Bu əlamətlərə xəstənin yaşadığı ictimai mühitlə bərabər, onun intellektual səviyyəsi, həmçinin yaşı və fərqli əlamətlər xəstəliyin simptomlarının aşkara çıxmasına öz təsirini göstərir. Eyni zamanda xəstəliyin başlıca xarakterik əlaməti olan hərəkət və emosiya ilə bağlı funksional tipli pozuntuların olması, xəstənin heç bir çətinlik olmadan təlqinə və eyni zamanda özünü təlqinə davamsız olmasıdır. Xəstəlik zamanı daha çox maraq doğuran əsas əlamətlərdən biri də onların öz xəstəliklərinə təəccüb doğuracaq şəkildə, qəribə münasibət göstərmələridir. Çünki, əvvəl xəstə sağlamaq istəyi ilə həkimə müraciət edir, ancaq heç cür sağalaraq xəstəlik vəziyyətindən çıxmaq istəmir. Lazımsız yerə etdiyi hərəkətlərdən elə bil ləzzət alır, həmin hərəkətləri dönə-dönə təkrar etmək istəyir. İsteriya xəstəliyinə demək olar ki, əsasən, isteroid xasiyyətli şəxslərdə, İ.P.Pavlovun tədqiqatları ilə müəyyən edilən, ikinci signal sistemi zəif şəxslərdə rast gəlinir. Onuda qeyd etmək yerinə düşər ki, ilk eksperimental nevroz Pavlovun laboratoriyasında ağrı qıcığına qarşı şərti qida refleksinin yaradılması zamanı alınmışdır [2].

XVIII əsrin axırlarında P.Jane psixasteniyani sərbəst xəstəlik kimi təsvir etmişdir. Pavlovun təliminə uyğun olaraq ikinci signal sistemi birinci signal sistemindən üstün olur. Qabıqaltı düyünlərin fəaliyyəti beyin qabığının fəaliyyətindən zəif olur. Xəstə həyəcanlı və təcviş içində olur, özünə inamsızlıq yaranır, başladığı işi axıra çatdırmaq üçün uzun zaman fikirləşir, qəti qərara gələndə məqsədinə çatır.

Aydındır ki, uşaqlarda sinir sistemi tam inkişaf edib formalaşmadığından onlar arasında rast gəlinən nevrozun gedişinə və kliniki xüsusiyyətlərinə bunun təsiri qaçılmazdır. XX əsrin ikinci yarısında Q.E.Suxareva öz tədqiqatlarına əsaslanaraq bildirir ki, kiçik yaşlarından uşaqların

gələcəkdə qarşıya çıxma biləcək bütün çətinlikləri aradan qaldırmaq üçün ümumilikdə fiziki və psixoloji baxımdan mübariz ruhda tərbiyə olunması xüsusi əhəmiyyətə malikdir. Çünki, həmin uşaqların gələcəkdə nevroza tutulmama ehtimalı digər uşaqlara nisbətən daha yüksəkdir. Uşaqlarda nevroitik əlamətlərin yaranaraq inkişaf etməsində valideynlərlə birlikdə ailənin başqa üzvləri olan qardaş, bacı həmçinin, baba, nənə uşaqlara qeyri-səmimi, çox da xoş olmayan kobud münasibətləri də səbəb olur. Atanın zalım, ananın isə mehribanlığından yaranan belə bir ziddiyyətli münasibət uşaqların sinir sisteminə çox pis təsir edir. Bütün bunlar sonda, sinir sisteminin bütövlükdə gərginləşməsinə səbəb olur [1]. Nevrozun formalaşmasında uşaqların ərköyün olması, valideynin diqqət və qayğısından kənarda qalması daha təhlükəlidir. Valideyin öz uşağına qayğı göstərmir, onu səbəbsiz danlayır, cəzalandırır və s. Başqa bir halda anasına öyrəşmiş uşaq bir müddət ondan ayrılması nəticəsində əhvalı pisləşir, yuxusuzluq problemi meydana çıxır, gözləri daim anasını gəzir. Bütün qeyd olunanlar uşaqların psixi durumuna çox mənfi təsir göstərir və nəticədə nevroitik əlamətlərin inkişaf etməsinə imkan yaranmış olur. Zaman keçdikcə ailədaxili vəziyyətin gərginləşməsi, hər iki valideyin arasında münasibətlərin pozulması, dava-dalaş, qalmaqal uşaqlara pis təsir göstərir. Bütün bunlar nəticədə uşaqlarda nevrozların inkişafına yol açır. Qeyd olunanlar onu söyləməyə əsas verir ki, çox uşaq ailələrdə uşaqlara valideynlərin hər ikisinin münasibətinin fərqli deyil, eyni olması xüsusi olaraq diqqət mərkəzində olmalıdır. Orta məktəb şagirdlərində nevrozun əmələ gəlməsində əsas səbəblərdən biri məktəb mühitinin, şəraitinin ağırlığı, həmin şagirdə kollektivin münasibətinin qeyri-qənaətbəxş olması, həmçinin davamlı, gərgin olaraq mütləqiyyətə etməsidir və s. Təəssüf doğuran hal valideynlərin öz övladlarının fiziki və intellektual imkanlarını heç də nəzərə almamasıdır. Onları fiziki olaraq çox yükləyir, məşğul olmağa daha çox vaxt sərf edir, istirahət üçün vaxt qalmır, uşaq yoldaşları ilə ünsiyyətdə olmasına, oynamasına imkan vermir. Ümumilikdə nevrozun inkişafına gətirib çıxaran amillərə yaşayış mühitinin pisliliyi, mənzilin rütubətliliyi, qaranlıq olması, natəmizlik və s. aid edilməlidir. Eyni zamanda nəzərə almaq lazımdır ki, uşaqların pis adətləri siqaret çəkmək, içki içmək, xüsusilə narkotik maddələrin qəbulu kimi pis adətləri də nevrozun inkişafına səbəb ola biləcək amillərə daxildir. Nevrozun uşaqlarda daha çox rast gəlinən formaları isteriya və nevrasteniyadır. Bunlarla bərabər başqa nevroitik hallara da enurez, fobiya sindromu və ayrı-ayrı xəstəlik hallarına da təsadüf edilir. Uşaqlarda isteriya nevrozu zamanı böyüklərə nisbətən emosional reaksiyalar daha yüksək ehtiraslı formada baş verir. Onlarla ünsiyyətdə olmaq bir qədər çətinləşir, tezliklə kəskin isterik reaksiyalar, tutmalar baş verir. Belə uşaqlar özünü yerə vurur, bədənində hər cür xəsarət yetirməyə çalışır. Xəstəlik dövründə uşaqların həmyaşıdlarına qarşı qəddarlıq, səbirsizlik və laqeyidlik kimi münasibətlər müşahidə olunur. Bəzən xəstəlik dövründə vegetativ və hərəkəti funksiyaların pozuntuları baxımından astaziya-abaziya (ayaqüstə durma və yerişininin pozulması), mutizm (lallıq), danışq zamanı kəkələmə kimi əlamətlər müşahidə olunur. Bu əlamətlərlə yanaşı həmin uşaqlar fərqli danışmağa, fikirlərinin qeyri-adi olmasına meyil edirlər.

Qabıqaltı törəmələrin beyin qabığı ilə birgə fəaliyyətinin pozulması səbəbindən nevrozun digər formalarında özünü göstərir. Bu cür pozuntulara yazı spazması, pəltəklik, bunlarla yanaşı yuxuda sidik axıtma və fərqli formaları aiddir [1].

Yazı spazması və başqa peşə cəngolmaları. Nevrozun bu forması çox yazı yazan xəstələr üçün xarakterikdir. Xəstə yazı yazmaq lazım gələndə qələmi əlinə götürən andan barmaqları tədricən qıc olur. Bu cür patoloji prosesin inkişaf etməsində yorğunluğun, xüsusilə boyun fəqərələrində baş verən dəyişikliklərin və ümumi nevroitik vəziyyətin təsiri böyükdür. Nəzərdən keçirdiyimiz yazı spazmasının dörd forması müəyyən edilir, birinci cəngolma ilə müşahidə edilən forma – əlində-qolunda tonik cəngolmalar baş verir, ikinci ağrılı forma – əldə-qolda şiddətli ağrılar, cəngolmalar baş verir, üçüncü paralitik forma – əl barmaqlarında və qolunda əzələ zəifliyi səbəbindən əli ilə qələmi tuta bilmir, dördüncü hipergenetik forma – əlində, qolunda lazımsız hərəkətlər baş verir. Yazı yazmadıqda xəstənin əlində, əl barmaqlarında, həmçinin qolunda, heç bir dəyişiklik müşahidə edilmir. Digər hallarda, sənəti cəngolmalar zamanı xəstə peşəsi ilə bağlı olan funksiyaları yerinə

yetirə bilmir. Məsələn, əgər xəstə musiqiçidirsə, hər-hansı bir musiqi alətlərindən birində (tar, yaxud qarmon) ifa edirdisə indi onun həmin musiqi alətində ifa etməsi mümkündür.

Yuxuda sidik axıtma (Enuresis nocturna) əsasən 15 yaşına qədər uşaqlarda, hətta daha yuxarı yaşlarda da rast gəlinir. Yuxuda sidik axıtma müxtəlif səbəblərlə izah edilir. Bu səbəblər içərisində əsasən uşaqların qorxması, xüsusilə psixoloji travma alması, keçirdiyi infeksiya xəstəlik, həmçinin, tərbiyənin qeyri-düzgün aparılması, su mübadiləsində baş verən pozğunluq, uşaqların zəif inkişaf sürəti, yuxunun dərin olması və s. aid edilir. Xəstəlik zamanı uşaqlarda nevroz əlamətləri müşahidə olunur. Bu səbəbdən də, həddindən artıq yorğunluq, psixoloji gərginlik, maye qəbulunun çox olması, yuxuda sidik axıtmanı artırır. Xəstəliyin baş verməsi zamanı patofizioloji mexanizmi diensefal mərkəzlərin eyni zamanda sidik kisəsindən sidik ifrazatını tələb olan qədər tabeliyində saxlaya bilməməsi baxımından izah olunur. Bu isə spinal sidik kisəsi refleksinin daha da yüksəlməsi ilə nəticələnir ki, bu da sidik buraxmaya səbəb olur.

Pəltəklik – Balbuties kiçik yaşlı uşaqlar, xüsusilə 3-4 yaşlı uşaqlar arasında daha çox rast gəlinir və əsasən psixikaya mənfi təsir göstərən, onu zədələyən şəraitlə bağlı baş verir. Bunun yaranmasında qorxu və qəmginlik əsas rol oynasada bir sıra hallarda səbəb olmadan belə baş verməsi mümkündür. Danışqı zamanı pəltəkliyin yaranması bu prosesdə iştirak edən əzələlərdə cəngolma prosesinin inkişafı ilə bağlıdır. Çünki bu zaman qırtlaq, tənəffüs əzələləri cəng olduqda nitq və ayrı-ayrı səslərin ardıcılığı pozulur. Bütün bunlar xəstədə rahat danışmağa inamı azaldır. O, elə fikirləşir ki, çətin danışa biləcək, sözləri qırıq-qırıq tələffüz edəcək. Nəticədə bu cür fikir və düşüncələr pəltəkliyi bir qədər də artırır. Xəstə tələsdikdə, həyəcanlandıqda daha da pəltəkləşir. Ancaq sakit olan zaman sərbəst danışmaq imkanı artır, az cəngolma olur. Daha maraqlısı odur ki, xəstə mahnı oxuduqda pəltəkliyi aşkar olmur. Belə bir xəstəliyə tutulmuş uşaq böyüyüb yaşa dolduqca, sinir sistemi inkişaf edərək formalaşır, pəltəklik azalır, çox vaxt tamamilə keçib gedir. Müalicə zamanı psixoterapevtik və hipnoz təsirindən istifadə olunur.

## Ədəbiyyat

- [1]. Baxşalıyev, A.Y. Ali sinir fəaliyyəti və sensor sistem. Dərs vəsaiti. / A.Y.Baxşalıyev, L.N.Bunyatova - Sumqayıt: SDU Redaksiya və nəşr işləri şöbəsi, - 2023. - 310 s.
- [2]. Cəfərov, F. İnsan fiziologiyası. Dərslik. / C.Cəfərov. - Bakı: Tıbb Universitetinin nəşriyyatı, - 2001. - 480 s.
- [3]. Əliyev, Ə.H. İnsan və heyvan fiziologiyası I hissə. Dərslik. / Ə.H.Əliyev, F.Ə.Əliyeva, Y.M.Mədətova - Bakı: BDU-nun nəşriyyatı, - 2012. -414 s.
- [4]. İsmayılov, N. "Psixiatriya". Dərslik. / N.İsmayılov, F.İsmayılov - Bakı: Maarif nəşriyyatı, - 1992. 370 s.
- [5]. Salayeva, Z. Sinir xəstəlikləri. Dərslik. / Z.Salayeva -Bakı: Maarif nəşriyyatı, -1993. -280 s.

## Summary

### Psychophysiology of neurotic states

**Bakhsaliyev A.Y., Gahramanova A.Y., Yunuszada Z.Q., Azadaliyeva S.F., Huseynov E.V.**

**Keywords:** *neurosis, awakening, retardation, disease, reflex, hysteria, cerebral cortex.*

Functional disorders of the central nervous system, such as neuroses, develop as a result of acute stress, psychological impacts, various diseases, and other causes. Neurasthenia, obsessive disorders, and hysteria are widespread forms of neurosis. During the illness, the pathology caused by the disruption of nerve activity in the cerebral hemispheres and subcortical structures is considered a functional, rather than an organic, disorder. Symptoms commonly observed in these conditions include increased excitability, asthenia, anxious thoughts, involuntary aggressive and rude behaviors, etc. Treatment involves the use of medications, psychotherapeutic methods, and other approaches.

**Резюме**

**Психофизиология невротических состояний**

***Бахшалыев А.Е., Кахраманова А.Й., Юнусзаде З.Г., Азадалиева С.Ф., Гусейнов Э.В.***

***Ключевые слова:*** невроз, пробуждение, замедление, болезнь, рефлекс, истерия, кора головного мозга.

Функциональные расстройства центральной нервной системы, такие как неврозы, развиваются в результате острого стресса, психических воздействий, различных заболеваний и других причин. Неврастения, обсессивные расстройства, истерия — это широко распространённые формы невроза. Во время болезни патология, возникающая в результате нарушения нервной активности в полушариях головного мозга и подкорковых структурах, рассматривается как функциональное, а не органическое расстройство. При заболеваниях часто наблюдаются симптомы, такие как повышенная возбудимость, астения, тревожные мысли, непроизвольные агрессивные и грубые действия и т.д. В лечении используются медикаментозные, психотерапевтические и другие методы.

## Çoxillik paxlalı bitkilərin göbələk xəstəlikləri

Əliyeva Gülnar Rahim qızı

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

[gulnar.aliyeva@sdu.edu.az](mailto:gulnar.aliyeva@sdu.edu.az)

| MƏQALƏ HAQQINDA MƏLUMAT                                                                                                                        | XÜLASƏ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Məqalənin tarixçəsi</b><br/> Daxilolma tarixi: 11.02.2025<br/> Düzəliş tarixi: 28.02.2025<br/> Qəbul olunma tarixi: 10.03.2025</p>       | <p>Çoxillik paxlalı bitkilərin becərilməsinin təkcə Heyvanlar üçün kifayət qədər yem təmin etmədiyini, həm də torpağın yaxşılaşdırılmasına kömək etdiyini nəzərə alsaq, bu cür əkin sahələrinin genişləndirilməsi kənd təsərrüfatında enerjiyə qənaət edən texnologiyalar çərçivəsində zəruri bir addım olacaqdır. Bundan əlavə, çoxillik paxlalar azotu havadan udur, əksəriyyəti hava hissəsində yerləşir, bu da torpağın becərilməsini təşviq edən və humusun əmələ gəlməsini stimullaşdıran əla yaşıl gübrədir. Bununla birlikdə, bitki mikozlarının törədiciyi kimi torpaq mikrob icmalarının və xüsusilə mikroskopik göbələk komplekslərinin quruluşunu daha ətraflı öyrənmək vacibdir. Çoxillik paxlalı bitkilərin (yonca, Keçi, yonca, kəpənək otu, esfort) rizosferində mikrokompleslərin quruluşu qönçələnmə mərhələsində - bitkilərin çiçəklənməsinin başlanğıcında nəzarət variantı (Tarla torpağı) ilə müqayisədə təhlil edilmişdir.</p> |
| <p><b>Açar sözlər:</b><br/> çoxillik paxlalılar, çəmən yonca, yonca, esfort, keçi otu, kəpənək otu, fitopatogenlər, torpaq mikokomplesləri</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

Nəzərə alsaq ki, çoxillik paxlalı otların becərilməsi heyvanları kifayət qədər qida ilə təmin etməklə yanaşı, həm də torpağı yaxşılaşdırmağa kömək edir, belə əkin sahələrinin genişləndirilməsi kənd təsərrüfatında enerjiyə qənaət edən texnologiyalar çərçivəsində zəruri addıma çevriləcək. Məlumdur ki, çoxillik paxlalı otlardan heyvanların yemi üçün otlaq və yaşıl yem, saman, ot unu kimi istifadə olunur, çünki çoxillik paxlalı otların yem zülalı istehsalında enerji səmərəliliyi payızlıq bitkilərdən iki-üç dəfə, yazlıq bitkilərdən isə dörd-altı dəfə yüksəkdir. Bu, amin turşusu tərkibində balanslaşdırılmış zəngin protein yemidir. Odur ki, çoxillik paxlalı otların əklilməsinin artırılması həzm olunan zülalın toplanmasının artmasına, heyvandarlıq məhsullarının vahidinə yem sərfinin azalmasına, azot gübrələrinin sərfinin azalmasına səbəb olacaqdır. Bundan əlavə, çoxillik paxlalı ot bitkilər azotu havadan udur və onun çox hissəsi onların yerüstü hissələrində olur, bu, torpağın becərilməsinə kömək edən, humusun əmələ gəlməsini stimullaşdıran əla yaşıl gübrədir. Çoxillik otların becərilməsi zamanı torpağın mexaniki xassələri yaxşılaşdırılır, külək və su eroziyasından qorunur ki, bu da əkin, toxum və səpin üçün illik enerji xərclərini aradan qaldırır [1-3]. Bununla belə, bitki mikozlarının törədiciyi kimi torpaq mikrob icmalarının və xüsusən də mikroskopik göbələklərin komplekslərinin strukturunu daha ətraflı öyrənmək vacibdir. Çoxillik paxlalı bitkilərin (çəmən yonca, keçi otu, yonca, kəpənək otu, esfort) rizosferində mikokompleslərin strukturu tumurcuqlanma fazasında - bitkilərin çiçəklənməsinin başlanğıcında nəzarət variantı (alan torpaq) ilə müqayisədə təhlil edilmişdir. Əkin və qulluq B.A. Dospexova-nın (1979) üsulu ilə, gübrə və pestisidlərdən istifadə etmədən zonalı kənd təsərrüfatı texnologiyasının tələblərini nəzərə alaraq aparılmışdır [4].

Sahədə mikozların simptomları təbii yoluxucu fonda müəyyən edilmişdir. Bitki xəstəlikləri və onların patogenləri ümumi qəbul edilmiş determinantlardan istifadə etməklə diaqnoz qoyuldu [5]. Bitki xəstəliklərinin qeydə alınmasının əsas elementləri xəstəliyin yayılması, intensivliyi və inkişafı idi.

Tədqiqat nəticələrinin təhlili torpaq mikroskopik göbələklərinin (min CFU/q) azalan sayda təbliğat seriyasını formalaşdırmağa imkan verdi: yonca ( $27,8 \pm 4,01$ ) – kəpənək otu ( $23,5 \pm 2,25$ ) – esfors ( $18,3 \pm 1,67$ ) – yonca ( $17,3 \pm 2,43$ ) – keçi otu ( $13,7 \pm 1,21$ ) – çəmən yonca ( $12,3 \pm 1,73$ ).

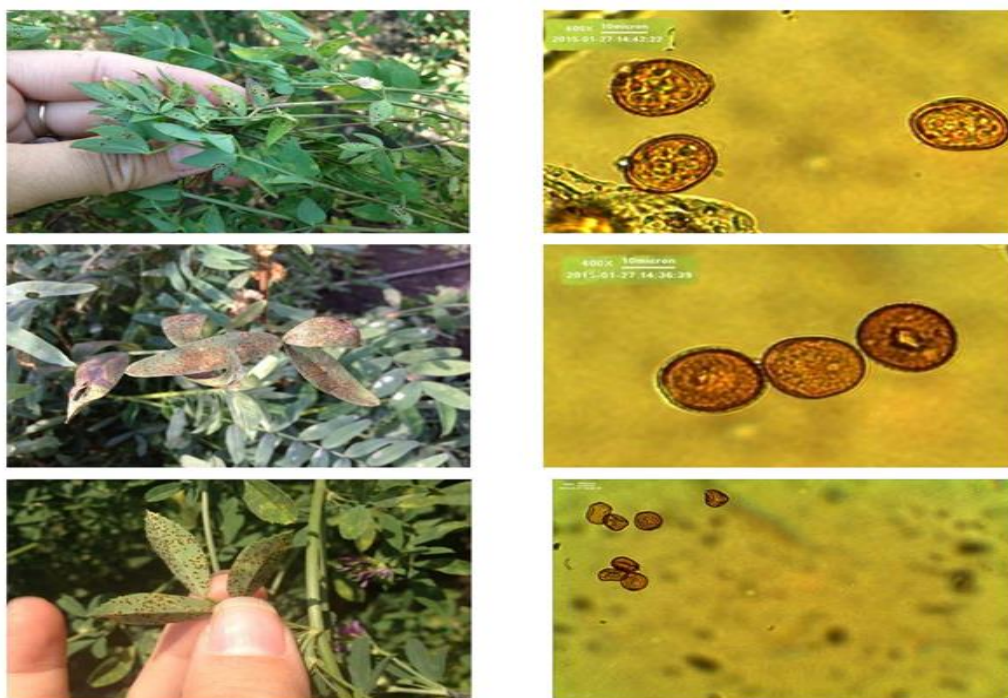
Çoxillik paxlalı bitkilərin rizosferində mikokomplekslərin növ müxtəlifliyi nəzarət torpağı ilə müqayisədə kəskin şəkildə azalmışdır (boz torpaqda 38 növdən rizosferdə 9-22 növə qədər). CFU dəyərlərində belə bir artım və nəzarətlə müqayisədə rizosferdə növ müxtəlifliyinin azalması mikroskopik göbələklərin müəyyən növlərinin həyatı üçün zəruri olan metabolitlərin kök sistemləri tərəfindən yığılması ilə əlaqələndirilə bilər. Bu, həm də onu təsdiq edir ki, şum torpaqda paxlalı bitkilərin rizosferində təsadüfi növlər, məsələn, *Acremonium sclerotigenum*, *A. oryzae*, *A. Sydowii*, *Chaetomium globosum*, *Curvularia lunata*, *Microascus cinereus*, *Mucor hiemalis*, *Penicillium chrysogenum*, *P. digitatum* müəyyən edilməmişdir.

Paxlalı otlarda ən çox yayılmış mikoz yonca istisna olmaqla, tədqiq edilən bütün bitki növlərinin yarpaqlarında və gövdələrində xarakterik ağımtıl-bozumtul örtüklü toz küf (patogen *Erysiphe commun-nis*) olmuşdur. Belə ki, çəmən yoncasında toz küfünün inkişaf və yayılma intensivliyi müvafiq olaraq 64 və 75%, yaşıl kütlə məhsuldarlığının olmaması isə 50%-i ötür. Yonca və keçi yarpaqlarında qeydə alınan və marjinal yarpaq ləkəsi ilə təzahür edən *Alternaria* zərərvericisi (patogen *Alternaria alternata*) iqtisadi cəhətdən daha əhəmiyyətli olmuşdur.

*Alternaria* zərərvericisi səbəbiylə yaşıl kütlə məhsuldarlığının itirilməsi 81% təşkil etdi. Yonca, kəpənək otu və esfort bitkilərində pas aşkar edilərkən, yaşıl kütlə məhsuldarlığının 14% itkisinə səbəb olmuş və 20% yayılması ilə qeyd edilmişdir.

Yonca və kəpənək otu bitkilərində xarakterik bənövşəyi yarpaq ləkəsi və bənövşəyi-qəhvəyi kök çürüməsi ilə bənövşəyi rhizoctonia zərərvericisi (patogenlər *R. solani*, *R. violacea*) aşkar edilmişdir. *Fusarium* kök çürüməsi (patogenlər *Fusarium oxysporum*, *F. avenaceum*) bitkilərin sürətlə qurumasına və köklərinin ölümünə səbəb olub, qara kif (patogen *Alternaria alternata*) yarpaqlarda tünd, az qala qara ləkələrlə xarakterizə olunurdu. Bu xəstəliklər esfortda qeyd edildi və yaşıl kütlə məhsuldarlığının 5% daxilində itkisinə səbəb oldu.

Yalnız yonca bitkilərində tüklü küf (patogenlər *P. aestivalis*, *P. manshurica*) və sarı ləkə (patogeni *Pseudopezia jonesii*) qeydə alınıb. Kəpənək otu, esfort və yonca pası (patogenlər: *Uromyces loti*, *U. onobrychidis*, *U. striatus*) yarpaqlarda və gövdələrdə paslı ləkələr şəklində özünü göstərirdi (şək.).



**Şəkil.** Bitkilərdə pas və onun patogenlərinin sporlarının əlamətləri  
(Kəpənək otu, esfort və yonca)

Beləliklə, fitopatogen göbələklərin 80%-dən çoxu yarpaq gövdəsi qrupunun nümayəndələridir, məsələn, pas, toz küf, alternaria, cercospora, sarı ləkə, tüklü küf, septoriya, rizoktoniya, qara kif patogenləri, qalanları kök yumru qrupu, məsələn, Fusarium kök çürüməsinin patogenləridir. Buna görə də, çoxillik paxlalı otların mikozlarının ən çox yayılmış simptomu yarpaq ləkələri idi.

### Ədəbiyyat

- [1]. Ласько, Т.В. Возделывание нетрадиционных бобовых культур в зоне радиоактивного загрязнения // Т.В.Ласько, -Радияция и экосистемы: Материалы Междунар. науч. конф., - Гомель, -2008, -149-152 с.
- [2]. Лукашевич, Н.П. Технологии производства и заготовки кормов: практическое руководство // Н.П.Лукашевич, -Витебск: ВГАВМ, -2009, -251 с.
- [3]. Никитин, С.А. Повышение эффективности земледелия // С.А.Никитин, -Агромир XXI, - 2012, -№ 9, -12-15 с.
- [4]. Филиппова, Н.И. Основные результаты селекции многолетних трав в северном Казахстане // Н.И.Филиппова, -Кормопроизводство, -2011, -№ 5, -31-32 с.
- [5]. Хакимов, Р.А. Посевы козлятника восточного в роли возрождения и сохранения плодородия почвы // Р.А.Хакимов, -Материалы международной научно-практической конференции «Научное обеспечение устойчивого ведения сельскохозяйственного производства в условиях глобального изменения климата», посвященной 90-летию ТатНИИСХ, -Казань, -2010, -841-845 с.

### Summary Fungal diseases of multiple legumes Aliyeva G.R.

**Key words:** *perennial legumes, clover, alfalfa, esforth, goat grass, butterfly grass, phytopathogens, soil mycocomplexes*

Considering that the cultivation of perennial leguminous grasses not only provides enough food for animals, but also helps to improve the soil, the expansion of such cultivated areas will become a necessary step in the framework of energy-saving technologies in agriculture. In addition, perennial legumes absorb nitrogen from the air, and most of it is in their aerial parts, which is an excellent green fertilizer that helps cultivate the soil and stimulates the formation of humus. However, it is important to study in more detail the structure of soil microbial communities and especially the complexes of microscopic fungi as causative agents of plant mycoses. The structure of mycocomplexes in the rhizosphere of perennial leguminous plants (clover, goat grass, alfalfa, butterfly grass, esforth) was analyzed in comparison with the control option (field soil) in the budding phase - at the beginning of the flowering of plants.

### Резюме Грибковые заболевания многолетних бобовых Алиева Г.Р.

**Ключевые слова:** *многолетние бобовые, клевер, люцерна, эспарцет, козлятник, трава бабочка, фитопатогены, почвенные микокомплексы*

Учитывая, что выращивание многолетних бобовых трав не только обеспечивает достаточный корм для животных, но и способствует улучшению почвы, расширение таких посевных площадей станет необходимым шагом в рамках энергосберегающих технологий в сельском хозяйстве. Кроме того, многолетние бобовые растения поглощают азот из воздуха, причем большая его часть находится в их надземной части, что является отличным зеленым удобрением, способствующим обработке почвы и стимулирующим образование гумуса. Однако важно более детально изучить структуру почвенных микробных сообществ и особенно комплексов микроскопических грибов как возбудителей микозов растений. Проанализирована структура микокомплексов в ризосфере многолетних бобовых растений (клевер, козлятник, люцерна, трава бабочка, эсфорт) в сравнении с контрольным вариантом (полевая почва) в фазу бутонизации - в начале цветения растений.

**Sənəd dövriyyəsinin avtomatlaşdırılma prosesinin təşkili****İsgəndərov Ələsgər Ələkbər oğlu** [ORCID](#)*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, professor*  
[sevinc.hesenova@sdu.edu.az](mailto:sevinc.hesenova@sdu.edu.az)

| MƏQALƏ HAQQINDA MƏLUMAT                                                                                                                                               | XÜLASƏ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Məqalənin tarixçəsi</b><br>Daxilolma tarixi: 11.02.2025<br>Düzəliş tarixi: 28.02.2025<br>Qəbul olunma tarixi: 10.03.2025                                           | Məqalədə müəssisə idarəetmə sistemlərində dolaşan sənəd növləri, onların yaradılması, istifadəsi, elektron sənəd dövriyyəsi proseslərinin avtomatlaşdırılması və effektivliyinin aspektləri barədə məlumatlar verilir. İş axınının avtomatlaşdırılmasından əvvəl, tədqiqat, avtomatlaşdırma sisteminin inkişafı və hazırlanmış STEM-in tətbiqi mərhələlərinin hər biri aydın şəkildə izlənilir. |
| <b>Açar sözlər:</b><br>müəssisə, sənəd dövriyyəsi, elektron sənəd dövriyyəsi, sənəd dövriyyəsi sisteminin avtomatlaşdırılması, avtomatlaşdırma prosesinin mərhələləri |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

**1. Elektron sənəd dövriyyəsinə keçilməsi**

Bu proses sənəd dövriyyəsinin asanlaşdırılması üçün istifadə olunur. Bu zaman sənədlər üzərində əməliyyatlar sürətlənir və əməkdaşların iştirakı azalır. İlk növbədə bu proses elektron sənəd dövriyyəsinə keçməyə və sənədlərin hazırlanması prosesinin hər bir mərhələsini sadələşdirməyə imkan verir.

Aşağıdakı əlamətlərə görə elektron sənəd dövriyyəsi iş surətinin artırılmasına şərait yaradır:

1. sənədlərin onlayn üsulla qəbulu və verilməsi;
2. yekun sənədlərin operativ surətdə hazırlanması və təsdiqi;
3. uzaq məsafədən müraciət imkanı;
4. elektron arxivlərdə faylların etibarlı qorunması;
5. əməliyyatların tarixlərinin qeydiyyatı;
6. icralara nəzarətin olması;
7. əməkdaşlar və şöbələr arasında sənəd dövriyyəsinin aydın ardıcılıqla nizamlanması;
8. formaların avtomatik doldurulması, şablonlardan və qeydlərdən istifadə edilməsi nəticəsində səhvlərin azaldılması;
9. kanalların şifrələnməsi və telekommunikasiyalar vasitəsi ilə verilənlərin təhlükəsiz ötürülməsi;
10. təkrarlanmaların aradan qaldırılması və lazımi faylların kiçik zaman ərzində tapılması üçün vahid baza yaradılması;
11. mütəxəssislərin informasiyaya müraciət hüquqlarının genişləndirilməsi;
12. gizliliyin təmin olunması.

Sənəd dövriyyəsinin avtomatlaşdırılması informasiya axınının idarə edilməsini tənzimləyir, standart əməliyyatları nizamlayır, sənədlərin hərəkət marşrutunu tərtib edir. Bu zaman optimallaşdırma nəticəsində təkrarlanmalar aradan qalxır, təşkilatın sənəd dövriyyəsi sxemində zəif hissələr ləğv edilir. Elektron sənəd dövriyyəsində sənədlərin şöbələr arasında mübadiləsi zamanı

sənədləri kağızda təkrar etməyə ehtiyac yoxdur. Bu zaman elektron təsdiqdən istifadə etmək kifayət edir.

Sənəd dövriyyəsinin avtomatlaşdırılması müəsisənin digər sistemləri ilə əlaqəli yerinə yetirilir. Bu zaman mütəxəssislər müxtəlif bazalardan eyni verilənlərin axtarılması, itirilmiş verilənlərin bərpa edilməsi işlərindən azad olur. Müəsisənin inkişafı zamanı sənədlərin qarışıq şəkildə tərtibi, şöbələr arasında verilənlərin pis əlaqələr nəticəsində itirilməsi və s. nəticəsində işin keyfiyyəti və mütəxəssislərin iş qabiliyyəti zəifləyir. Nəticədə lazımi iqtisadi göstəricilərin tapılması mümkün olmur və təkilatda aşağıdakı problemlər yaranı bilər:

1. struktur bölmələrinin işləri arasında müxtəlifliyin yaranması;

2. verilənlərin vəziyyətinin tamlığının pozulması;

3. əmək məhsuldarlığının aşağı düşməsi;

4. mütəxəssislərin çap, arxiv yaradılması, idarəetmə strukturları daxilində əlaqələr üçün sərf edilən vaxtların artması, sənədlərin bəzilərinin itməsi haldırının baş verməsi.

Elektron sənəd dövriyyəsi bu halları aradan qaldırmağa kömək edir, kağızlı sənəd dövriyyəsinin çatışmazlıqlarını ləğv edir, sənədlərin hərəkəti prosesini sürətləndirir, sənəd dövriyyəsinə strukturlaşdırır, sənədlər vahid bir arxivdə yerləşir, axtarış üçün vaxt azalır. Sənəd dövriyyəsinin avtomatlaşdırılması çox zaman müəsisənin digər idarəetmə funksiyaları ilə birlikdə həyata keçirilir. Bu zaman sənədlərin idarə edilməsi bütün idarəetmə periodu ərzində yerinə yetirilir. Bu zaman mütəxəssislərin müxtəlif fərqli məsələləri seçmək və axtarışları təşkil etməyə sərf olunan vaxtlarına qənaət edilir.

Sənəd dövriyyəsinin avtomatlaşdırılmasının aşağıdakı üstünlükləri vardır:

1. Kağızlarla işləmə çətinliyi aradan qalxır. Elektron sənəd dövriyyəsində kağız sənədləri çap etmək, göndərmək, qeydiyyat proqramına verilənləri əl ilə daxil etmək lazım gəlmir. Əl əməyi və insanın iştirakı minimuma endirilir, kağızların əldə edilməsi və göndərilməsi üçün sərf olunan maliyyə xərcləri azalır, işçilərin daha münasib məsələlərlə məşğul olması üçün vaxtları artır, arxivlərdə kağız saxlamaq üçün yerlər boşalır.

2. Biznes proseslər sürətlənir. Əlaqəli şöbələr arasında sənədlərin ötürülməsi bir kompüter əmri ilə yerinə yetirilir, qısa vaxt ərzində aktlar, hesabatlar, razılaşmalar uyğun yerlərə ötürülür.

3. Verilənlər strukturlaşdırılır. Sistemdə hər bir fayl və onun üzərində əməliyyatlar, məsələlərin həll vaxtları avtomatik şəkildə qeyd olunur, fayllar etibarlı şəkildə qorunur, onların axtarış vaxtları minimuma endirilir. Sənəd dövriyyəsinin avtomatlaşdırılması zamanı bölmələr əlaqəli şəkildə fəaliyyət göstərir, informasiya qorunur, sərv etmə riski sıfıra enir. Bu zaman məhsuldarlıq artır və müəsisə yüksək səviyyəyə yüksəlir.

Belliklə, sənəd dövriyyəsi dedikdə - müəsisədə sənədlərin yaradılması və ya alınmasından yerinə yetirilməsinə qədər bütün qəbul etmə, paylanma, nəzarət, icra, işlərin formallaşdırılması, saxlanması, təkrar istifadə olunması və digər işlər kompleksi nəzərdə tutulur. Elektron sənəd – elektron üsulla, kağızsız şəkildə tərtib olunmuş vahid mexanizmdir. Bu zaman maşınla oxuna bilən sənəd dedikdə -onda olan informasiyanın maqnit, optik və digər informasiya daşıyıcılarında saxlanan sənəd nəzərdə tutulur. Elektron sənəd elektron imza vasitəsi təsdiq olunur və daşıyıcılarda xüsusi fail şəklində saxlanılır. Elektron imza - əl ilə yazılan imzanın analoqudu, informasiyanın tamlığını və həqiqiliyini təmin edir.

## **2. Sənəd dövriyyəsinin avtomatlaşdırılma mərhələləri.**

Bu mərhələlə aşağıdakılar aiddir:

- Avtomatlaşdırma layihəsindən əvvəlki tədqiqatlar;
- Avtomatlaşdırılmış sisteminin hazırlanması;
- Avtomatlaşdırılmış sənəd dövriyyəsi sisteminin tətbiqi.

Bu mərhələlərin qısa izahını verək.

Avtomatlaşdırma layihəsindən əvvəlki tədqiqatlar mərhələsi. Bu mərhələdə sənədlər üzərində işlər hansı qayda ilə aparıldığı müəyyən edilir. Eyni zamanda kompüter və digər texniki vasitələrin lazımı gücünün olub-olmadığı müəyyən edilir. Bundan əlavə sənəd dövriyyəsində kimin işləyəcəyi və kimə lazım olması müəyyən edilir. Bütün bunları müəyyən etmək üçün mütəxəssislər lazımdır və bu mərhələ müqavilə bağlanmazdan əvvəl yerinə yetirilir. Nəticədə müəsisənin sənəd dövriyyəsinin qoyulmuş normativlərə uyğun olması, hansı proqramdan istifadə edilməsi, neçə iş yerinin avtomatlaşdırılması, kompüter texnikasının təkmilləşdirilməsi, şəbəkənin açılması və istifadəçilərin öyrədilməsi üçün nə qədər vaxtın lazım olması müəyyən edilir. Avtomatlaşdırılmış sənəd dövriyyəsi sisteminin hazırlanması mərhələsi. Bu mərhələ layihələndirmə üçün əsas sayılır. Məqsədi metodik hisssəyə "Sənəd dövriyyəsi" sistemini tətbiq etməkdir. Bu sistemin tam şəkildə tətbiqindən layihənin müvəffəqiyyəti çox asılıdır. Mütəxəssislər adətən müəsisəyə mövcud qaydaları olduğu kimi tətbiq edir və yaradıcı işçilərə işin optimallaşdırılması üçün metodik göstərişlər verirlər. Adətən layihə üzərində iş zamanı sifarişçinin məsul işçiləri iştirak edirlər. Bu işçilərə informasiya texnoloqları daxildir, amma bu onların tərkibində sənəd dövriyyəsinin tətbiq etməyi bacaran mütəxəssislərin olması vacibdir. Beləliklə, bu mərhələdə aşağıdakı işlər görülməlidir:

1. sənəd dövriyyəsi haqqında qaydanın aktuallaşması, tam şəkildə gətirilməsi və ya yaradılması;
2. avtomatlaşdırılmalı olan bütün proseslərin tapılması və geniş şərh olunması;
3. sənədlərin hazırlanması, onların növlərinin və formalarının müəyyən edilməsi;
4. sənədlərin hərəkət marşrutlarının təyin edilməsi;
5. işlərin yerinə yetirilmə ardıcılığının aktuallaşdırılması və tamlığının təyini.

Hazırlaşma mərhələsinin yekunu sistemin əvvəlcə sınaq, sonra isə sənaye istismarına verilməsi planının hazırlanmasıdır.

Avtomatlaşdırılmış sənəd dövriyyəsi sisteminin tətbiqi mərhələsi. Hazırlıq mərhələsinin tamamlandıqdan sonra sistemin yaradılması yerinə yetirilir. Təşkilatın sənəd dövriyyəsinin avtomatlaşdırılması maksimal tam şəkildə aparılır. Bu proqramı sənədlərlə işləyən bütün mütəxəssislərin iş yerlərində qoymaq lazımdır. Sənəd dövriyyəsi sisteminin tətbiq ardıcılığı. Tətbiqin aşağıdakı ardıcılıqla yerinə yetirilməsi tövsiyə olunur:

1. Sifarişlərlə iş avtomatlaşdırılır. Əvvəlcə hazırlanan sənəd dövriyyəsi sənədi müqaviləni hazırlayan və əlaqələndirən mütəxəssislərə verilir. Sonra oraya müqaviləyə viza qoymaq hüququ olan və arxivin aparılması üçün cavabdeh olan mütəxəssislər əlavə edilir;

2. Daxil olan sənədlərin avtomatlaşdırılması yerinə yetirilir. Daxil olanları katib qeyd edir, sonra sənəd icraçılara, yəni şöbə müdirlərinə və cavabdeh mütəxəssislərə verilir. Müqavilə ilə məşğul olan mütəxəssislərin bəzilərində proqramlar verilmiş olar, bu halda yalnız lazımi funksionallar əlavə olunmalıdır;

3. Həmin qayda ilə daxili sənədlər avtomatlaşdırılır: funksionalı artıq mövcud olan işçilər yerlərdə qoyularaq, belə sənəd növləri ilə məşğul olan mütəxəssislərin kompüterinə proqramlar yazılır.

Beləliklə daxil olan sənədlərin və təşkilatda baş verən bütün işlərin avtomatlaşdırılması yerinə yetirilir.

### **3. Nəticə**

Göstərilən metod optimaldır, sistemin ardıcıl tətbiqi yavaş-yavaş baş verir, belə ki, sifarişçi iş yeri üçün lazım olan sifarişi birbaşa deyil, optimallaşdırılması ilə paralel əldə edir. Yəni elektron sənəd dövriyyəsinə keçid prosesinə uyğun olaraq işçilərin yeniləşməyə müqaviməti minimallaşır. Nəticədə sənədlərlə işləyən bütün işçilərin iş yerləri avtomatlaşdırılır. Avtomatlaşdırılmış sənəd dövriyyəsi sistemi idarəetmə prosesini maksimum dərəcədə səmərəliləşdirməyə imkan verir.

## **Ədəbiyyat**

- [1]. Рыбина, Г.В. Основы построения интеллектуальных систем: учебное пособие / –М.: ИНФРА-М, –2010.
- [2]. Сенченко, П.В. Организация документооборота электронного генерального плана промышленного предприятия: учебное пособие / П.В.Сенченко, Ю.П. Ехлаков, И.В. Лазарев // Научнотехнические ведомости СПбГПУ. СПб. – 2012. No 5 (157) səh.103 – 107.
- [3]. Бобылева, М.П. Эффективный документооборот: от традиционного к электронному / М.П. Бобылева. – М.: Издательство МЭИ, 2004, – s.49.
- [4]. Əliquliyev R.M., Fətəliyev T.X. Korporativ şəbəkə mühitində elektron sənədlərin dövriyyəsinin avtomatlaşdırılması sistemi // AM EA-nın Xəbərləri, –2001, No3, –с.47-49.
- [5]. UN E-government survey 2010. <http://www.unpan.org/>.

### **Summary**

#### **Organization of document automation process**

*İskəndərov A.A.*

**Keywords:** *Enterprise, document circulation, electronic document circulation, document circulation system automation, stages of the automation process*

The article provides information on the types of documents circulating in enterprise management systems, their creation, automation of the processes of their use, electronic document circulation, and its efficiency aspects. Each of the stages of conducting research, developing an automation system, and implementing the developed system are clearly examined before document circulation automation.

### **.Резюме**

#### **Организация процесса автоматизации документооборота**

*Искендеров А.А.*

**Ключевые слова:** *предприятие, документооборот, электронный документооборот, автоматизация системы документооборота, этапы процесса автоматизации*

В статье представлена информация о видах документов, циркулирующих в системах управления предприятиями, автоматизации процессов их создания, использования, электронного документооборота, аспектах его эффективности. Перед автоматизацией документооборота четко прослеживается каждый из этапов проведения исследований, разработки системы автоматизации и внедрения разработанного STEM.

## Qazma alətinin tutulmasında Bernulli qüvvəsinin rolu

<sup>1</sup>İsmayilov Qafar Qulamhüseyn oğlu [ORCID](#)

<sup>2</sup>Əliyev Racu Həsən oğlu [ORCID](#)

<sup>3</sup>Qulubəyli Əmrah Pərviz oğlu [ORCID](#)

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan, 1-professor, 3-doktorant

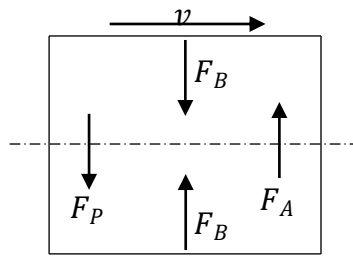
Azərbaycan Respublikası Dövlət Neft Şirkəti (SOCAR), Bakı, Azərbaycan, 2- tex.e.n.

[asi\\_zum@mail.ru](mailto:asi_zum@mail.ru), [racu.veliyev@socar.az](mailto:racu.veliyev@socar.az), [emrah\\_qulubeyli@yahoo.com](mailto:emrah_qulubeyli@yahoo.com)

| MƏQALƏ HAQQINDA MƏLUMAT                                                                                                                | XÜLASƏ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Məqalənin tarixəsi</b><br/> Daxilolma tarixi: 04.11.2024<br/> Düzəliş tarixi: 23.12.2024<br/> Qəbulolunma tarixi: 16.01.2025</p> | <p>Neft və qaz quyularının qazılması zamanı müxtəlif əsaslı və reofiziki xüsusiyyətlərə malik olan qazma məhlullarından istifadə olunur. Təcrübə göstərir ki, qazılan süxur qırıntıları, hansı ki, gil, polimer və s. məhlullara qarışaraq yer səthinə çıxarılır, məhlulun reodinamikasına əhəmiyyətli təsir etməklə yanaşı, onu daha fəal multifazalı axına çevirmiş olur. Mexaniki hissəciklərin rolunu oynayan müxtəlif diametrləli süxur qırıntıları dispers dispers faza rolunu oynamış olur. Fazaların qarşılıqlı təsirinə əsasən en kəskin boyu dəyişən təzyiq qradientinin yaratdığı və silindirik axının mərkəzinə doğru yönəlmiş Bernulli qüvvəsinin hesabına qeyd olunan süxur hissəciklərinin miqrasiyası və bunun qazma alətinə istiqamətlənməsi nəticəsində qazma alətinin tutulması halı mümkündür. Məqalədə tutulma halının baş verməsi əsaslandırılmış və başlıca səbəb olan Bernulli qüvvəsinin qiymətləndirilməsinə baxılmışdır</p> |
| <p><b>Açar sözlər:</b><br/> Bernulli qüvvəsi, qazma aləti, statik təzyiq, fiziki model, qazma məhlulu, təzyiq qradienti</p>            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

### 1. Giriş

Məlumdur ki, multifazalı, o cümlədən qazma məhlullarının strukturu kanalın orientasiyası və hərəkət istiqamətindən çox asılıdır. Belə ki, bu axınların vertikal boruda yuxarıdan aşağı və əksinə aşağıdan yuxarı, eləcə də horizontal istiqamətli hərəkəti zamanı onların xarakteristikaları bir-birindən əhəmiyyətli dərəcədə fərqli olur. Enerjinin saxlanması qanuna uyğun olaraq tək uzunluq boyu deyil, axının en kəsiyi boyu da qradient-sürət sahəsi formalaşdığından [1,2,3] daşıyıcı dispers mühit dispers faza hissəciklərini axının oxu boyu, öz nüvəsində daşımağa qadirdir. Bernulli qüvvəsini, hansı ki, silindrik axının kənarlarından mərkəzə doğru istiqamətlənmiş olur, hesabına həmin hissəciklər (mexaniki, qaz, su və s.) çox asanlıqla axının oxuna yönəlməklə, daşıyıcı mühitin nüvəsində hərəkət etmiş olur [4]. Məlumdur ki, bu cür axınlar zamanı əsasən ağırlıq, Arximed, və Bernulli qüvvələri (sürtünmə və inersiya qüvvələrini nəzərə almasaq) aktiv qüvvələr olmaqla çökmə, miqrasiya hadisələrinin baş verməsinə səbəb olur [5,6,7]. Aydın ki, bu qüvvələrin istiqaməti bəlli olsa da, multifazalı axının istiqamətindən asılı olaraq onların təsiri müxtəlif olacaqdır. Belə ki, vertikal aşağıdan yuxarı və əksinə olan axınlarda Arximed və qravitasiya qüvvələri bir-birinin əksinə, Bernulli qüvvəsi isə onlara perpendikulyar yönəlmiş olacaqdır. Horizontal axınlar zamanı isə hər üç qüvvənin istiqaməti axına perpendikulyar olmağına baxmayaraq, Bernulli qüvvəsi kənarlardan axının oxuna perpendikulyar, Arximed və qravitasiya qüvvələri də bir-birinin əksinə olmaqla oxa perpendikulyar yönələcəkdir. Sxematik olaraq bu qüvvələrin horizontal istiqamətli axınlarda istiqamətləri şəkil 1- də göstərilmişdir.



$F_B$  – Bernulli qüvvəsi,  $F_A$  – Arximed qüvvəsi,  $F_P$  – Qravitasiya qüvvəsi

**Şəkil 1.** Multifazlı horizontal axınlarda aktiv qüvvələrin istiqaməti

Aşağıda axın sürətinin artması ilə en kəsik boyu daha da intensivləşən statik təzyiq qradientinin  $\left(\frac{dp}{dr}\right)$  formalaşdırdığı Bernulli qüvvəsinin araşdırılması, qiymətləndirilməsinə və alətin tutulmasına təsirinə baxılmışdır.

Silindirik boruda axan mayedə zərrəciyə təsir edən qüvvələrin əvəzləyicisini Nyutonun ikinci qanunu ilə ifadə edək:

$$F = ma \quad (1)$$

Burada,  $F$ - cismə (zərrəciyə) təsir edən qüvvələrin əvəzləyicisi (N);

$m$  – zərrəciyin kütləsi (kq),

$a$ - cismin hərəkət təcildir ( $m/s^2$ ).

Təcil sürətin dəyişmə yeyinliyini xarakterizə etdiyindən onu  $\frac{dv}{dt}$  ilə əvəz etmək olar. Zərrəciyin kütləsini onun sıxlığı ( $\rho$ ) və həcmnin ( $V$ ) hasilı kimi yazmaq mümkündür. Zərrəciyin sferik olduğunu qəbul etsək, onun kütləsini aşağıdakı ifadə ilə təyin etmək olar.

$$m = 0.167\pi d^3 * \rho \quad (2)$$

Burada,  $d$ -zərrəciyin diamteridir (m);

Yuxarıdakı (1) ifadəsində (2) ifadəsini və  $\frac{dv}{dt}$  ifadəsini nəzərə alsaq, aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$F = 0.167\pi d^3 * \rho * \frac{dv}{dt} \quad (3)$$

Burada,  $\frac{dv}{dt}$ -sürətin dəyişmə yeyinliyini xarakterizə edir və cismin təcildir ( $m/s^2$ ).

Sonuncu ifadəni dr ifadəsinə vurub bölsək, onda alırıq:

$$F_B = 0.167\pi d^3 \rho \frac{dv}{dr} * \frac{dr}{dt} = 0.167\pi d^3 \rho v \frac{dv}{dr} \quad (4)$$

Burada,  $v$  – qazma məhlulunun axın sürəti (m/s);

$\frac{dv}{dr}$  – en kəsik boyu sürət qradientidir ( $s^{-1}$ ).

Beləliklə alınan sonuncu ifadə en kəsik boyu axının mərkəzinə doğru yönəlmiş Benulli qüvvəsinin necə dəyişməsinə arakterizə edir. Bernulli qüvvəsinin ifadəsini Bernulli tənliyinə əsasən müəyyənləşdirmək olar. Məlumdur ki, həndəsi basqını nəzərə almasaq, enerjinin sabitliyini aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 = const \quad (5)$$

Burada,  $v$ -sürət (m/s);

$P$ - verilmiş nöqtədə təzyiq (Pa);  $\rho$  məhlulun sıxlığı ( $kq/m^3$ );

$g$ - sərbəstdüşmə təcili ( $m/s^2$ );

Bernulli qanununa uyğun olaraq axının yeni fiziki modeli şəkil 2-də göstərilmişdir. Yeni axın modelinə görə en kəsik boyu statik təzyiq dəyişir, statik və sürət təzyiqlərinin cəmi, yəni tam təzyiq isə sabit qalır.

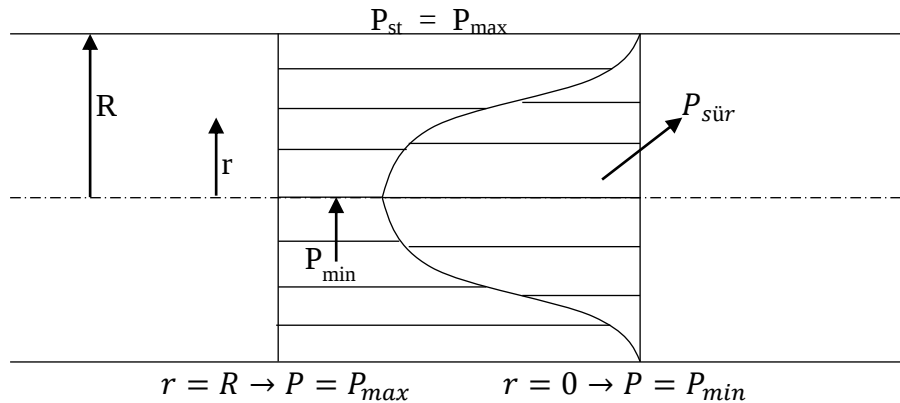
Müəqayisə üçün qeyd edək ki, axının köhnə fiziki modelinə görə isə en kəsik boyu tam təzyiq ( $P_0$ ) deyil, statik təzyiqin sabit olması şərti qəbul edilmişdir.

Nəzərə alsaq ki, axının baxılan en kəsiyində (5) ifadəsinə uyğun olaraq statik və sürət təzyiqlərinin cəmi dəyişməzdir, onda yazmaq olar:

$$\frac{d}{dr} \left( P + \frac{1}{2} \rho v^2 \right) = 0 \quad (6)$$

Sonuncu ifadədən en kəsik boyu təzyiq qradientinin dəyişməsini xarakterizə edən aşağıdakı ifadəni almış oluruq:

$$-\frac{dP}{dr} = \rho v \frac{dv}{dr} \quad (7)$$



**Şəkil 2.** Axının yeni fiziki modeli (statik və sürət təzyiqinin dəyişməsi)

(7) ifadəsini (4) bərabərliyində nəzərə alsaq, Bernulli qüvvəsi üçün aşağıdakı ifadəni almış olarıq:

$$F_B = -0.167\pi d^3 \frac{dP}{dr} \quad (8)$$

Burada,  $d$  - qazma məhlulunda olan mexaniki hissəciyin diametri (m);

$\frac{dP}{dr}$  - axının en kəsik boyu təzyiq qradientidir (Pa/m);

Axının en kəsik boyu ötürmə hərəkəti uzunluq (hündürlük) boyu təzyiq qradientinin təsiri altında, mühitin hərəkəti fonunda baş verir. Orta sərf sürətinin çoxalması ilə axının turbulizasiyası da artır. Ona görə ki, sürətin çoxalması ilə en kəsik boyu təzyiq qradienti daha intensiv olaraq çoxalır. Təzyiq qradientinin fazaların xüsusi çəkiliəri fərqiindən böyük qiymətlərində yəni,  $\left( \frac{dP}{dr} = (\rho_{m.h} - \rho_m)g \right)$  olduqda, mexaniki süxur hissəciklərinin Bernulli qüvvəsinin təsiri altında axının mərkəzinə, başqa sözlə qazma alətinə yönəlmiş miqrasiyası baş verir. Qeyd olunan şərti nəzərə almaqla Bernulli qüvvəsinin qiymətləndirilməsi üçün aşağıdakı ifadəni alarıq:

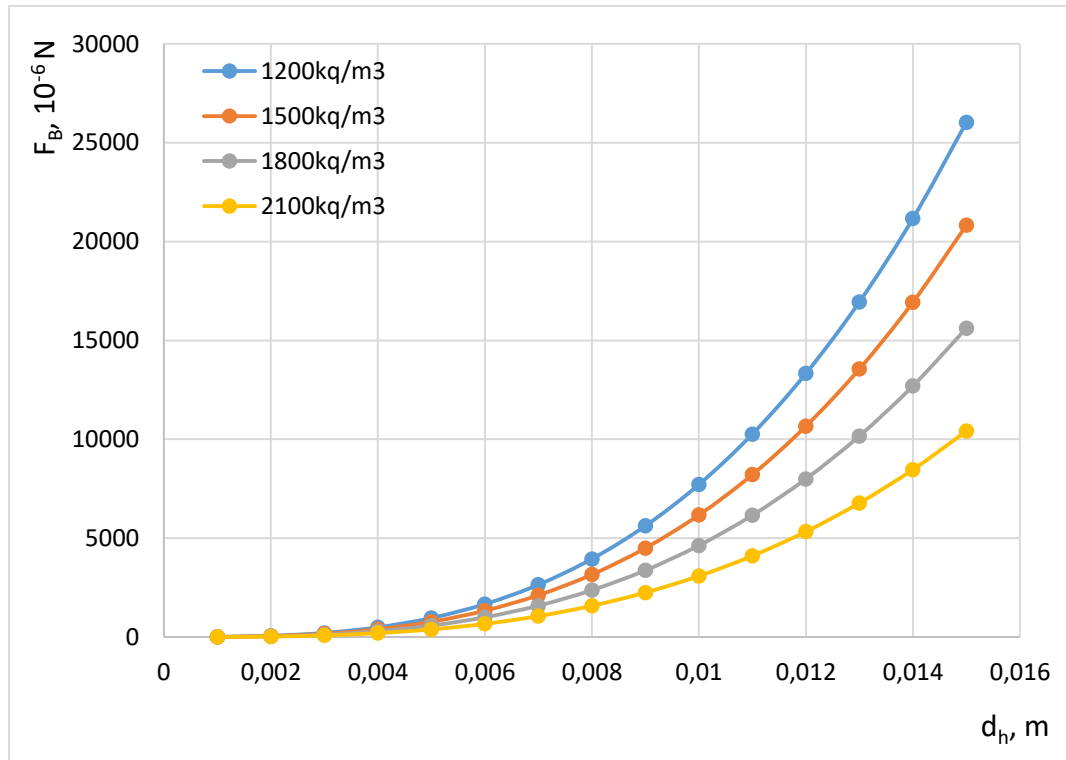
$$F_B = 0.167\pi d^3 (\rho_{m.h} - \rho_m)g$$

Burada,  $\rho_{m.h}$  - mexaniki hissəciyin sıxlığı (kq/m<sup>3</sup>);

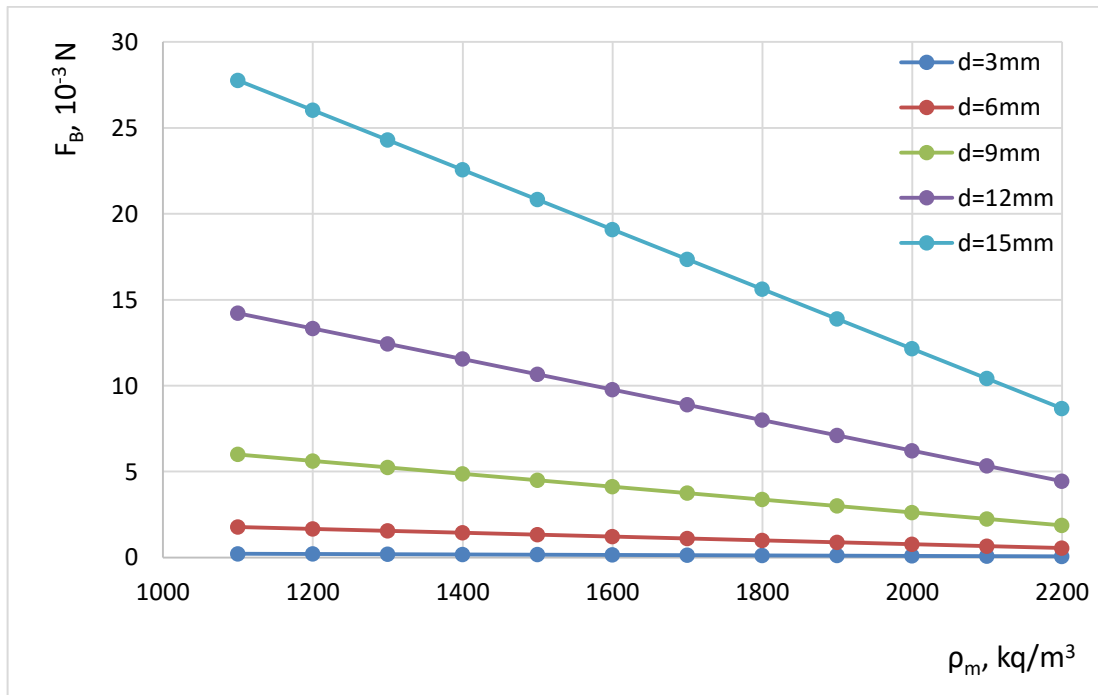
$\rho_m$  - qazma məhlulunun sıxlığı (kq/m<sup>3</sup>);

$g$  - sərbəstdüşmə təcilidir (m/s<sup>2</sup>).

Sonuncu ifadədən göründüyü kimi, slindir axında borunun divarından axının mərkəzinə doğru yönəlmiş Bernulli qüvvəsi mexaniki hissəciklərin və mayenin (qazma məhlulunun) sıxlıqlarının fərqi və mexaniki qırıntıların diametri çoxaldıqca əhəmiyyətli dərəcədə artmış olur.  $\rho_{m.h}$  paramterinin sabit qiymətində bu qüvvənin mexaniki hissəciklərin diamterinin və qazma məhlulunun sıxlığının artması ilə artması ilə dəyişməsi şəkil 3 və 4-də verilmişdir.



Şəkil 3. Bernulli qüvvəsinin mexaniki hissəciyin diametrindən asılılığı



Şəkil 4. Bernulli qüvvəsinin qazma məhlulunun sıxlığından asılılığı

Sonuncu ifadədən və şəkil 3 və 4-dən göründüyü kimi, süxur qırıntılarının kiçik diametrlərində belə disperslik dərəcəsi çox olmasına baxmayaraq onların axının mərkəzinə miqrasiyası qaçılmazdır. Dəyişən təzyiq qradientinin yaratdığı Bernulli qüvvəsinin təsirindən qazılmış süxur hissəciklərinin diametri böyüdükcə onların axının mərkəzinə intensiv şəkildə miqrasiya olunması (daşınması) hesabına sürtünməqüvvələrini xeyli artırması və alətin tutulmasına

səbəb olması mümkündür. Hesablamalarda qazılmış süxur hissəciklərinin sıxlığı  $2700\text{kg/m}^3$  qəbul edilmişdir.

### **Nəticə**

Multifazlı qazma məhlullarının qavitasiyalı axın zamanı ən kəsik boyu dəyişən təyiq qradientinin yaratdığı və axının mərkəzinə doğru yönəlmiş Bernulli qüvvəsinin təsirindən qazılmış süxur hissəciklərinin qazma alətinə doğru miqrasiyası nəticəsində alətin tutulmasının baş verməsinin mümkünlüyü və qazıma zamanı müxtəlif məhlullar üçün Bernulli qüvvəsinə təsir edən amillər nəzərə alınmaqla onun qiymətləndirilməsi aparılmışdır.

### **Ədəbiyyat**

1. Гноевой, А. В. Основы теории течения бингамовских сред / А.В.Гноевой, Д.М.Климов, В.М. Чесноков. –М.: Физматлит, –2004, –272 с.
2. Саттаров, Р.М. Неустановившиеся движение реологически сложных жидкостей трубах / Р.М. Саттаров, –Баку: Элм, –1999, –412с.
3. Ситенков, В.Т. Теория градиентно-скоростного поля / В.Т.Ситенков, – М.: ОАО "ВНИИОЭНГ", –2004, –308 с.
4. Исмайлова Ф.Б. О роли силы бернулли при функционировании мультифазных трубопроводов / Рассохсинское чтение. Материалы международной конференции, 4-5 февраля 2021 г. часть 2, УХТА, УГТУ, –2021, –с. 68-71.
5. Ismayilov, G.G., Valiyev, R.G., Gulubayli, A.P. One the reasons of stuck pipe while drilling // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı Jurnalı, UOT: 622.245.7:622.276, May 2024, –P.11-15, DOI: 10.37474/0365-8554/2024-05-11-15
6. Anvari, S. An overview of oil well drilling problems in shale formations // Geosciences and Engineering, Vol. 9, No. 14(2021), –pp. 116-127  
<https://doi.org/10.33030/geosciences.2021.14.116>
7. Muntadher Adil Issa, Ayad. A. Alhaleem A. Alrazzaq. Yasir Mukthar, Review of the Mechanisms for Preventing, Diagnosing, And Treatment of Pipe Sticking in Drilling Operations, Iraqi journal of Chemical and Petroleum Engineering, Vol. No.3 (September2023), 133-140, DOI:[10.31699/IJCPE.2023.3.13](https://doi.org/10.31699/IJCPE.2023.3.13)

### **Summary**

#### **The role of the Bernoulli force in stuck pipe İsmayilov G.G., Aliyev R.H., Gulubayli A.P.**

**Key words:** *Bernoulli force, drill string, static pressure, physical model, drilling fluids, pressure gradient*

During the drilling of oil and gas wells, drilling fluids with different basic and rheological properties are used. Experience shows that drilled mechanical rock particles, which are mixed with clay, polymer and other drilling fluids and transported to surface, have a significant effect on the rheodynamics of the drilling fluids, and turn it into a more active multiphase flow. Mechanical rock fragments of different diameters, which play the role of mechanical particles, play the role of dispersed phase. Based on the interaction of the phases, it is possible that the drill string can be stuck as a result of the migration of the rock particles in direction of the drill string because of the Bernoulli force directed towards the center of the cylindrical flow caused by the pressure gradient that changes along the cross-section. In the article, the occurrence of stuck pipe is explained and the evaluation of the Bernoulli force, which is the main reason, is considered

**Резюме**

**Роль силы Бернулли в прихвате бурильных установок**

***Исмайылов Г.Г., Алиев Р.Х., Гулубейли А.П.***

***Ключевые слова:*** сила Бернулли, буровой инструмент, статическое давление, физическая модель, буровой раствор, градиент давления

При бурении нефтяных и газовых скважин используются буровые растворы с различными реологическими свойствами на разной основе. Опыт показывает, что пробуренные обломки горных пород, смешанные с глинистыми, полимерными и др. растворами и поднятые на поверхность земли, оказывают существенное влияние на реодинамику раствора, превращая его в более активный многофазный поток. Роль дисперсной фазы выполняют механические частицы, представленные обломками горных пород разного диаметра. На основе взаимодействия фаз возможен захват бурового инструмента в результате миграции частиц породы и их направления к буровому инструменту за счет силы Бернулли, направленной к центру цилиндрического потока, вызванного благодаря градиенту давления меняющемуся по поперечному сечению. В статье рассказано о возникновении прихвата и рассмотрена оценка силы Бернулли, которая является основной причиной данного явления.

## Surətköçürmə ilə dişpardaqlama səmərəliliyinin yüksəldilməsi məsələlərinə sistemli yanaşmanın analizi

<sup>1</sup>Rəsulov Nəriman Moğbil oğlu [ORCID](#)

<sup>2</sup>Ələkbərov Mürsəl Zabit oğlu [ORCID](#)

Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan, 1-t.e.d., professor, 2-doktorant

[mursal.alakbarov82@gmail.com](mailto:mursal.alakbarov82@gmail.com)

| MƏQALƏ HAQQINDA MƏLUMAT                                                                                                    | XÜLASƏ                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Məqalənin tarixçəsi</b><br>Daxilolma tarixi: 28.12.2024<br>Düzəliş tarixi: 24.01.2025<br>Qəbulolunma tarixi: 24.02.2025 | <i>İşin məqsədi dişlərin kopyalanması ilə daşlama əməliyyatı zamanı texnoloji çıxış parametrlərinin formalaşmasının sistemli təhlilini aparmaq, əməliyyat səmərəliliyini artırmaq üçün birbaşa və dolayı metodların işlənməsi və sınaqdan keçirilməsidir</i> |
| <b>Açar sözlər:</b><br><i>texnoloji əlaqələr, mürəkkəb səthlər, pardaqlama, altsistem, birbaşa, dolayı</i>                 |                                                                                                                                                                                                                                                              |

### 1. Giriş

Sənayenin elə bir sahəsi yoxdur ki, orada dişli çarx ötürmələrindən istifadə olunmasın. Bununla yanaşı, cəmiyyətin yüksək dəqiqlikli və istismar göstəricilərinə malik olan müxtəlif təyinatlı və çeşidli texniki vasitələrə tələbatı da fasiləsiz olaraq artır. Dişli çarxların dişlərinin işçi səthləri və dişli ilişmələrin keyfiyyət göstəricilərinin, beləliklə də onların istismar göstəricilərinin yüksəldilməsində dişlərin surətköçürmə ilə pardaqlanmasından geniş istifadə olunur [1-3]. Bu kontekstdə, dişləri surətköçürmə ilə pardaqlama keyfiyyətinin və səmərəliliyinin yüksəldilməsi öz aktuallığı ilə fərqlənir.

Aydındır ki, istənilən səthin material çıxarma ilə formalaşdırılmasında gözlənilən texnoloji təminat və nəticələr onu önləyən və bu səthlə istər konstruktiv və istərsə də texnoloji baxımdan funksional əlaqədə olan səthlərin göstəricilərindən asılı olur [1, 8-9]. Odur ki, dişlərin surətköçürmə ilə pardaqlanması prosesində ən yüksək texnoloji və iqtisadi nəticələr bu əməliyyatın sistem analizinə əsaslanan müxtəlif təyinatlı innovativ tədbirlərin reallaşdırılması ilə əldə edilə bilər. Dişpardaqlamanın sistem analizi həm əməliyyatın özünə məxsus texnoloji tədbirlərin -birbaşa və həm də onu önləyən əməliyyatlara məxsus tədbirlərin - dolayı yolla aşkar edilməsi və idarə edilməsi üsulu və vasitələrinin işlənməsi üçün ən rəşional metodiki mexanizmdir.

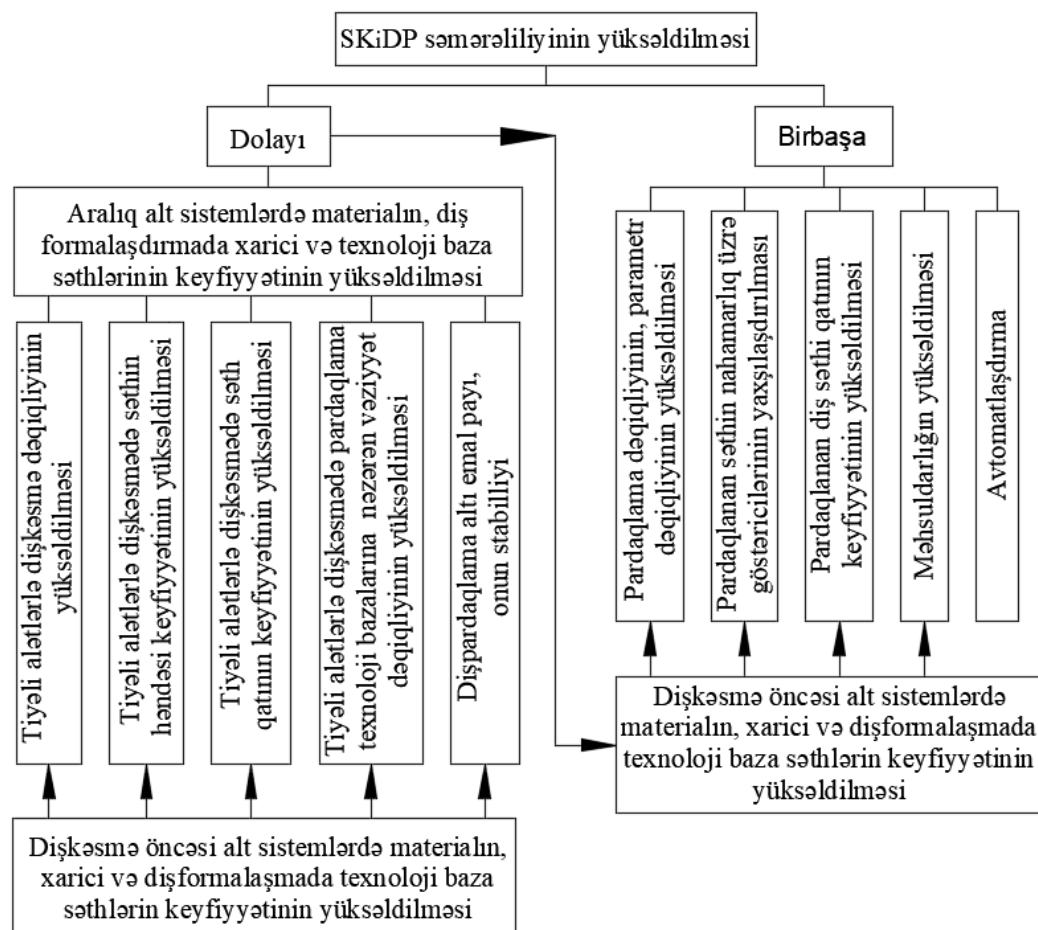
### 2. Məsələnin qoyuluşu

Hər bir texnoloji əməliyyat, o cümlədən surətköçürmə ilə dişpardaqlama, onun yerinə yetirilməsi ilə bağlı olan özəl elementlər, onlar arasındakı təsir mexanizmləri və əlaqələr kompleksi bir sistem təşkil edir. Bu sistem onunla əlaqədar olan və onu önləyən başqa alt sistemlərlə birlikdə üst-ali sistemi təşkil edirlər. Beləliklə surətköçürmə ilə dişpardaqlamada dişli çarxın materialı və onun üçün pəstahın formalaşdırılmasında istifadə edilən və iştirak edən üsul, vasirə və əlaqələr, həmçinin dişkəsmə və onu önləyən, onunla birbaşa əlaqədar olan fırlanma, işgil və ya şilis səthlərinin emalı, termiki emal ilə bağlı olan hər cür konstruktiv, texnoloji, statik, kinematik və dinamiki əlaqələr, elementlər və çevrilmələr çox mürəkkəb sistem təşkil edir. Surətköçürmə ilə dişpardaqlama isə bu sistemin üst sistemidir. Dişpardaqlamanın çıxış texnoloji parametrlərinin hər biri

onunla birbaşa əlaqədə olan sistemin hər cür təşkiləddici və tərkib elementində baş verən çevrilmələrin təzahürüdür. Deməli, sürətköçürmə ilə dişpardaqlamanın keyfiyyəti və məhsuldarlığı ilə bağlı məsələləri səmərəli həll etmək üçün, dişpardaqlamada keyfiyyətin təmin edilməsi məsələsinə hər cür alt sistemləri də nəzərə almaqla sistemli yanaşmaq lazımdır.

SKiDP texniki istehsal sisteminin bütövlülük və emerjentlik xassələrinin təmin edilməsi ilə onun dekompozisiyası əsasında ierarxiya sxemi tərtib edilmiş, ierarxiya əlaqələrindən istifadə etməklə səmərəliliyi yüksəltmənin həlledici məsələləri seçilərkən sistemin konstruktivlik, tərkib elementlərinin yönümlülük və qarşılıqlı əlaqə, texnolojilik və məqsədyönümlülük əlamətlərindən istifadə edilmiş, mikrosəviyyədə, alt və üst sistemlər daxili və onlar arasında əlaqələr və qarşılıqlı təsir nəzərə alınmaqla tədqiq edilmişdir.

Sistemli analiz ilə müəyyən edilir ki, SKiP səmərəliliyinin yüksəldilməsi həm birbaşa həm də dolayı tədbirlərlə həyata keçirilə bilər (Şəkil 1). SKiP səmərəliliyinin dolayı yüksəldilməsinin mahiyyətini pardaqlamada istifadə olunan dişli çarx-pəstah üçün ön yarım sistemlərdə əldə olunan texnoloji nəticələrin, keyfiyyətin yüksəldilməsi və s. texnoloji proseslərin uyğun çıxış parametrləri arasında irsi keçmə prinsipinin cari diş pardaqlamaya-üst sistemə təsiri təşkil edir. Beləliklə üst sistemdə alınan pozitiv nəticələr yalnız alt sistemlərdə görülmüş konstruktiv və texnoloji tədbirlərin səbəb-nəticəsi olur.



Şəkil 1. SKiDP səmərəliliyinin yüksəldilməsi istiqamətləri və yolları sxemi

Qeyd etməliyik ki, mövcud ədəbiyyatlarda [1, 4] öncədən emal olunmuş səthlərin keyfiyyətinin cari əməliyyatda və ya gedişdə formalaşan səthin keyfiyyət parametrlərinə təsiri irsilik prinsipi ilə əlaqələndirilir və düzəliş əmsalı ilə qiymətləndirilir. Odur ki, bu halda üst sistem

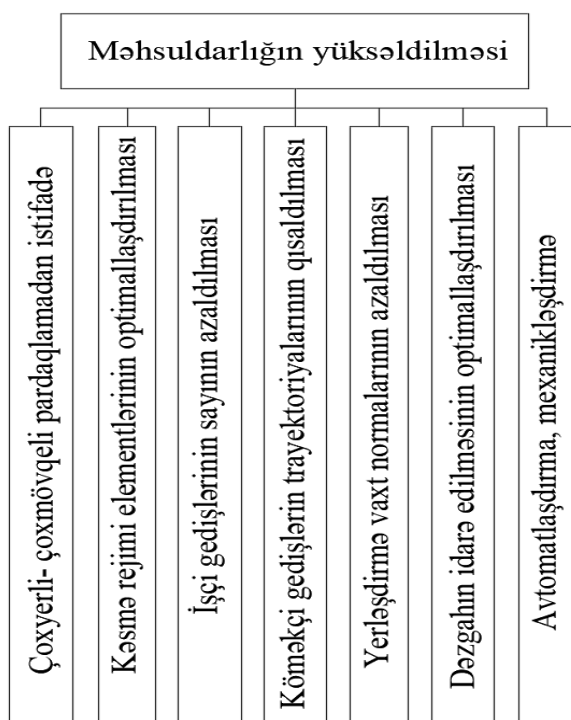
olan SKiP səmərəliliyinin yüksəldilməsində onun alt sistemlərinin idarə edilməsi, onlardakı çevrilmələr vasitəsi ilə üst sistemin səmərəliliyinin yüksəldilməsi sistemli araşdırılmalı, səmərəliliyin birbaşa yüksəldilməsi imkanları ilə müqayisə edilməli, qiymətləndirilməli və nəticə qəbul edilməlidir [11, 12].

Fasonlu səthləri pardaqlama səmərəliliyinin birbaşa yüksəldilməsinin mahiyyətini yalnız üst sistemə birbaşa aid olan, bu sistemin elementlərində yerinə yetirilən dəyişikliklər, çevrilmələr və idarə etmələrlə səmərəliliyin yüksəldilməsi təşkil edilir. Buraya yalnız dişpardaqlama texnoloji prosesini idarə etməklə pardaqlama keyfiyyətinin, məhsuldarlığın yüksəldilməsi və onlarla bağlı olan texniki və texnoloji tədbirlər daxildir (Şəkil 2).

Sistemin analizi ilə müəyyən edilir ki, SKiDP səmərəliliyinin birbaşa yüksəldilməsi pardaqlamada dişlərin parametrlərinin dəqiqliyi, onların səthlərinin nahamarlıq və səth qatı keyfiyyətlərinin, məhsuldarlığın sırf dişpardaqlamaya aid olan tədbirlərlə yüksəldilməsi və texnoloji sistemin tərkib elementlərinin avtomatlaşdırılması və mexanikləşdirilməsi ilə həyata keçirilə bilər.

Dişlərin sürətköçürmə ilə pardaqlanması üzrə aparılmış tədqiqat işlərinin və prosesin sistem analizinin nəticəsi olaraq SKiDP səmərəliliyinin yüksəldilməsinin aşağıdakı istiqamətləri qəbul edilir:

- pardaqlamaaltı minimum və maksimum emal paylarının maşınqayırmada qəbul edilmiş həm nəzəri və həm də təcrübi əsaslara söykənən qiymətlərinin təmin edilməsi ilə, dolayısı;
- dişpardaqlamada faktiki kəsmə dərinliyinin AZTU-da işlənmiş üsulla [3] azaldılması hesabına gedişlərin sayının azaldılması ilə, birbaşa;



Şəkil 2. SKiDP məhsuldarlığın yüksəldilməsi sxemi

**Məsələlərin həlli. Silindrik dişli çarxların dişlərinin pardaqlanması üçün emal payının təşkilçilərinin riyazi modelləri.** Qoyulmuş məsələnin həlli maşınqayırmada qəbul edilmiş metodikaya əsaslanır və pardaqlanacaq səthlərdə ön keçiddə-dişkəsmədə formalaşmış forma və yerləşdirmə xətlərini, pardaqlanacaq dişlərdə emal bölgəsində formalaşan yerləşdirmə xətlərini və onların emal payına təsir mexanizmlərini nəzərə almaqla həll edilir.

Dişli çarxların standart parametrlər dəstlərini, onların mexaniki emal payı ilə əlaqələri baxımından dörd qrupa bölmək olar:

1. Emal payı ilə ümumiləşdirilmiş əlaqələri olan parametrlər. Onlar dişli çarxlarda, dişlərdə bir neçə elementar xətlərin ümumiləşdirilmiş formada, əlaqəsini kəmiyyətə ifadə edirlər. Məsələn, dişli çarxın ən böyük kinematik xətası, dişli çarxın bir dövründə ölçülmüş mərkəzlərarası məsafənin dəyişməsi, dişli çarxın tsiklik xətalrı və sairə bu

qəbildəndir. Emal payının təyin edilməsi üçün onlardan istifadə edilməsi, məqsədəuyğun hesab edilmir. Çünki, bu halda belə xətlərin tərkibindəki

təşkilçilərdən bəzilərinin minimum emal paylarının düsturunda təkrar istifadəsi ehtimalı yaranır. Bu məqsəd üçün onların ilkin komponentləri daha səmərəli və daha dəqiq nəticələr verəcəkdir.

2. Hər bir diş üçün dişkəsmə və dişpardaqlama üçün xas olan, emal payı ilə əlaqəsi olan təkrarlanan, bir-birini tamamlayan, əsasən müstəqil və təsadüfi xətlər-parametrlərdir. Məsələn, addımın sapması,  $k$  saylı dişlərin addımlarının toplu xətası, addımın toplu xətası, dişin qalınlığı, ümumi normalın uzunluğunun sapması, başlanğıc konturunun sürüşməsi, dişin profilinin xətası və

s. Onları eyni tipli, mexaniki emal payına təsir mexanizmi eyni olan, təkrar olunan xətlər qurpuna daxil etmək olar. Bu növ təkrar olunan xətlərin içərisindən ən əhəmiyyətli-mexaniki emal payına təsiri nisbətən böyük olanı seçilərək, təsir mexanizmi nəzərə alınmaqla emal payının təyində istifadə edilməlidir. Xətlər dəstində dişin qalınlığı, təqribən addımın yarısına bərabərdir. Hər bir addım həddində dişin addım xətası dişin qalınlıq xətasının iki mislinə bərabər olmalıdır və s.

3. Emal payının formalaşması ilə birbaşa əlaqəsi olan parametrlər. təkrarlanmayan fərdi göstəricilər. Eyni zamanda funksiya emal payı ilə argument arasındakı əlaqə çevrə boyunca müntəzəm dəyişən bir xarakter daşıyır. Belə xətlərin başlıca mənbəyi pəstahın yerləşdirilməsi və texnoloji sistemin sazlanması zamanı quraşdırılması və proses sisteminin tənzimlənməsində (məsələn, dişin istiqamət xətləri, dişli çarxların yerləşdirilməsində qeyri-oxluluq xətlər və dişpardaqlama zamanı dişlərin mövqelərini sazlama) xətlər də dişkəsmə və dişpardaqlama prosesinin təşkili zamanı yaranan xətlərdir. Bu parametrlərə həmçinin, dişli çəmbərin radial vurması və dişin istiqamət xətlər daxildir. Onlar digər parametrlər ilə təkrarlanmırlar, emal payı təşkilədicilərlər elementar komponentlərdir və buna görə də diş pardaqlama üçün emal payının təyin edilməsində onların istifadə edilməsi zəruridir. Üçüncü qrup xətlər müstəqil xarakter daşıyan, elementar, digərləri ilə təkrarlanmayan xətlərdir. Odur ki, onlar emal payının təyində birbaşa iştirak etməlidirlər (Şəkil 1, dişin istiqamət xətası).

4. Emal payı ilə birbaşa əlaqəsi olmayan parametrlər. Onlar dişli ilişkinin keyfiyyətini səciyyələndirən parametrlərdir. Məsələn, təmas ləkəsinin sahəsi, təmas xəttinin uzunluğu və s. Dördüncü qrupa daxil olan xətlərin formalaşması, əsasən dişli profillərin parametrlərindən deyil, ilişkin dişlərin qarşılıqlı vəziyyətindən asılıdır. Onların formalaşmasına ilişmə ilə bağlı, lakin dişli çarxa aid olmayan xətlər də təsir edirlər. Məsələn, reduktorun gövdəsində əsas yuvaların oxlarının biroxluluqdan sapması, mərkəzlərarası məsafənin sapması və s. Odur ki, onlar emal payının təyində istifadə edilə bilməzlər.

Dişpardaqlama üçün təklif edilən emal payları ifadələrində biri-birini təkrarlayan parametrlərdən (məsələn, profili məhdudlandıran ümumi normalın uzunluğu, profilin vəziyyət müsaidesi və s. [4, 5-9]) istifadə edilir, təsadüfi paylanan fəza xətası (məsələn, dişin maillik-bucaq sapması [10]) minimum emal payının cəbri təşkilədicisi kimi qəbul edilmişdir. Nəticədə, emal payının minimumu böyüdülmüş qiymətlər alır. Əslində isə o, emal payının həndəsi təşkilədicisi kimi qəbul edilməlidir.

Məlumdur ki, sürətköçürmə ilə dişpardaqlamada texnoloji sistem hər hansı iki qonşu dişin üzbəüz profillərinin pardaqlanması üçün sazlanır. Sonrakı dişlərin pardaqlanması isə hər dəfə pəstahı-dişli çarxı bir dişə uyğun bucaq qədər döndərməklə aparılır [3, 4]. Buna görə hesab edirik ki, (və standartlara uyğun olaraq) addımın toplu xətası emal payının formalaşmasında vacib rol oynayır və digər, oxşar parametrləri əhatə edir. Odur ki, mexaniki emal payının maksimum qiymətinin təyində dişli çarxın addımlarının toplu xətası nəzərə alınmalıdır. Bu xəta həmçinin, dolayı yolla bölgü çevrəsinin diametrinin xətasını ifadə edir və analoji xətlərdən ən böyük qiymət alanıdır.

Başlanğıc konturun sürüşməsi dişli çəmbərin radial vurması və profil xətləri göstəriciləri ilə eyni tiplidir. Hesab edirik ki, emal payının təyini dusturunda son iki göstərici nəzərə alınmalıdır, çünki, onlar kəmiyyətə üstünlük təşkil edirlər.

Dişpardaqlama üçün təklif edilən emal payları ifadələrində biri-birini təkrarlayan parametrlərdən (məsələn, profili məhdudlandıran ümumi normalın uzunluğu, profilin vəziyyət müsaidesi və s. [2]) istifadə edilir, təsadüfi paylanan fəza xətası (məsələn, dişin istiqamət xətası sapması) minimum emal payının cəbri təşkilədicisi kimi qəbul edilmişdir. Nəticədə, emal payının minimumu böyüdülmüş qiymətlər alır. Əslində isə o, emal payının həndəsi təşkilədicisi kimi qəbul edilməlidir.

Sonrakı dəst parametrlərdən ümumi normalın uzunluğu bir tərəfdən dişin profili ilə məhdudlanır. Dişin profil və başlanğıc konturun sürüşmə xətləri ümumi normalın uzunluğunun dəyişməsinə formalaşdırırlar. Ona görə də dişin profil xətasının nəzərə alınması daha

məqsəduyğundur. Bu halda ümumi normalın uzunluğunun və digər analogi xətlərin mexaniki emal payında nəzərə alınmasına ehtiyac qalmır. Onun nəzərə alınması emal payının minimum qiymətinin süni surətdə böyüdülməsi ilə nəticələnər, dişpardaqlama səmərəliliyi təmin edilməz.

### Nəticə

1. Surətköçürmə ilə dişpardaqlamanın sistem analizi aparılmış, sistemli yanaşma ilə onun səmərəliliyinin yüksəldilməsi metodikası işlənmiş və səmərəliyin yüksəldilməsi mənbələrinin və onların dişpardaqlama sisteminin ierarxiya üzrə formalaşması ardıcılığı üzrə idarə edilməsi ilə birbaşa və dolayı yollarla səmərəliliyin yüksəldilməsi istiqamətləri müəyyən edilmişdir.

2. Pardaqlama bölgəsində maili yerləşmiş diş pardaqladıqda faktiki kəsmə dərinliyinin əhəmiyyətli azalması təmin edilir, modulu 5 mm, dişlərinin sayı 34, uzunluğu 25 mm, materialı polad 12XH3A olan dişli çarxlarda maili yerləşmiş 5 saylı diş pardaqladıqda, dörd işçi gediş üç gedişlə əvəz edildikdə, dişpardaqlama keyfiyyəti bütün parametrlər üzrə, dörd gedişli pardaqlamaya analogi olaraq təmin edilir, məhsuldarlıq üzrə səmərəlilik yüksəlir.

### Ədəbiyyat

- [1]. DeGarmo's, Materials and Processes in Manufacturing, (2019). 13th Edition, J. T. Black, Ronald A. Kohser, Edition Wiley, ISBN: 978-1-119-49282-5, May 2019, 896. [Materials and Processes in Manufacturing May-2019](#)
- [2]. Q. Miao, W.F. Ding, J.H. Xu, et al. Creep feed grinding induced gradient microstructures in the superficial layer of turbine blade root of single crystal nickel-based superalloy. Int J Extrem Manuf, 3 (2021), Article 045102, DOI 10.1088/2631-7990/ac1e05.
- [3]. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2631-7990/ac1e05>
- [4]. Kirichek A.V., Afonyn A.N. Thread rolling: Technologist's library. - M.: Mashinostroeniya,
- [5]. 2009.-312 p. (in Russian). <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785942754280.html>
- [6]. N.M. Rasulov, U.M. Nadirov, M. Z. Alakbarov, Improving the efficiency of grinding teeth by copying with the control of dynamic technological connections. / SOCAR Proceedings. Special Issue 1 (2022) 029-035. DOI: 10.5510/OGP2022SI100697.
- [7]. <https://proceedings.socar.az/en/journal/85>
- [8]. Zhang Y, Li C, Ji H, et al. Analysis of grinding mechanics and improved predictive force model based on material-removal and plastic-stacking mechanisms. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2017; 122:81-97, [International Journal of Machine Tools and Manufacture, DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2017.06.002](#)
- [9]. [6] N. M. Rasulov, G. V. Damirova, İ. A. Abbasova, Y. E. Huseynov. Improving the efficiency of thread rolling with management of technological connections. / SOCAR Proceedings. Special Issue 1 (2022) 011-015. DOI: 10.5510/OGP2022SI100694. <https://proceedings.socar.az/en/journal/85>
- [10]. Rasulov, N.M., Nadirov, U.M., Alekberov, M.Z. Generalized Assessment of Machined Surfaces Quality. Russ. Engin. Res. 40, 822-825 (2020). <https://link.springer.com/article/10.3103/S1068798X20100202>
- [11]. Rasulov, N.M., Alekberov, M.Z., Nadirov, U.M. More Efficient Copy Grinding of Complex Surface. Russ. Engin. Res. 41, 829-831 (2021). <https://link.springer.com/article/10.3103/S1068798X21090227>
- [12]. D.-W. Zhang, S.-D. Zhao, H. Ou. Analysis of motion between rolling die and workpiece in thread rolling process with round dies. Mech Mach Theory, 105 (2016), pp. 471-494. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094114X16301367>
- [13]. Nariman Rasulov, Elgun Shabiyev, Gulbaniz Damirova, Mursal Alakbarov, Yusif Huseynov. Increasing the Efficiency of Forming Complex Rotating Surfaces with the Controlling of Technological Connections, Key Engineering Materials, ISSN: 1662-9795, 2024, Vol. 979, pp 55-62, <https://doi:10.4028/p-jc7OVU>

- [14]. Alan Dennis, Barbara Haley Wixom, Roberta M. Roth, Systems Analysis and Design, John Wiley & Sons, 2014 M11 11 - 448 p.  
[https://books.google.az/books/about/Systems\\_Analysis\\_and\\_Design.html?id=PxZ6oAEACA\\_AJ&redir\\_esc=y](https://books.google.az/books/about/Systems_Analysis_and_Design.html?id=PxZ6oAEACA_AJ&redir_esc=y)
- [15]. Mahbubur Rahman Syed, Sharifun Nessa Syed, Handbook of Research on Modern Systems Analysis and Design Technologies and Applications, DOI: 10.4018/978-1-59904-887-1, 2009, 698 p. <https://www.igi-global.com/book/handbook-research-modern-systems-analysis/490>

#### **Summary**

#### **Analysis of systematic approach to improving the efficiency of copy-copying and teething**

*Rasulov N.M., Alakbarov M.Z.*

**Keywords:** *Technological connections; shaped surfaces; grinding; subsystem, direct, indirect*

The objective of this work is to perform a system analysis of the formation of technological output parameters in the gear grinding operation with copying and to develop and test both direct and indirect methods for improving the operation's efficiency.

#### **Резюме**

#### **Анализ системного подхода к вопросам повышения эффективности полировки копированием**

*Расулов Н.М., Алекбаров М.О.*

**Ключевые слова:** *технологические соединения, сложные поверхности, полировка, подсистема, прямая, косвенная*

Целью работы является проведение системного анализа формирования технологических выходных параметров при шлифовальной операции с копированием зубов, отработка и апробация прямых и косвенных методов повышения эксплуатационной эффективности.

## Исследование теплоотдачи при движении предельных углеводородов (н-гептан) в трубе при сверхкритических давлениях

Мамедов Шикар Гаджи оглу [ORCID](#)

Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан, доцент  
[shikara.mammadov@sdu.edu.az](mailto:shikara.mammadov@sdu.edu.az)

| ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ                                                                                                                                                                                    | РЕЗЮМЕ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Даты статьи</b><br>Получено: 04.04.2024<br>Исправлено: 30.09.2024<br>Принято: 09.12.2024                                                                                                            | Результаты исследований и наблюдений на наш взгляд достаточны, для объяснения причины возникновения определенных режимов теплопередачи, происходящих при псевдокритическом давлении. При этом особое внимание было уделено характеру изменения зависимости температуры стенки от плотности удельного теплового потока, поэтому было установлено, что независимо от положения и направления трубы при псевдокритических давлениях происходит поток жидкости и $TC \approx TM$ , улучшается теплообменный процесс. Начало улучшенного теплообмена, когда температура внутренней поверхности стены достигает псевдокритической температуры исследуемой жидкости, несомненно, свидетельствует о влиянии изменения теплофизических параметров на процесс теплопередачи. В этих условиях все теплофизические свойства резко меняются и достигают своих экстремальных значений. При этом по мере удаления от критического давления, по результатам исследований теплофизических свойств и в области псевдокритических температур, скорость изменения физических параметров заметно ослабевает, что должно оказывать определенное влияние на теплообмен. |
| <b>Ключевые слова:</b><br>теплообмен, сверхкритическое давление, плотность теплового потока, улучшенный режим теплоотдачи, псевдокритическая температура, турбулентный режим, конвективная теплоотдача |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

Известно, что одним из путей создания высокоэффективных, экономических и компактных теплотехнических аппаратов и устройств является использование в качестве теплоносителя веществ при около и сверхкритических давлениях. Поэтому исследование теплообмена при течении среды сверхкритических параметров состояния на сегодняшний день представляет огромный практический и научный интерес.

В течение последних лет в этой области выполнено значительное число экспериментальных работ, результаты которых подтверждают наличие улучшенного режима теплоотдачи. Последний в свою очередь дает возможность обеспечить безопасную работу аппаратов, работающих при больших плотностях теплового потока.

Систематическое экспериментальное исследование теплоотдачи при вынужденном движении среды сверхкритических параметров до сих пор проводилось, в основном, при вертикальном положении трубы и имеется недостаточное количество опытных данных при течении жидкости в горизонтальных и наклонных трубах, необходимых для подробного анализа, разработки расчетных рекомендаций для определения локальных значений коэффициента теплоотдачи, а также позволяющих раскрыть физическую сущность рассматриваемой проблемы.

Целью данной работы является получение экспериментальных данных по теплоотдаче и установление закономерностей конвективного теплообмена при вынужденном турбулентном течении н-гептана в вертикальной /подъемное и опускное движения/, горизонтальной и наклонных положениях трубы с подводом тепла и разработка

рекомендаций для расчета теплоотдачи при различных положениях трубы, удобных для применения в инженерной практике.

Анализ опубликованных работ, посвященных изучению закономерностей конвективного теплообмена при около и сверхкритических давлениях показал, что в последние годы значительно возросло число экспериментальных работ, охватывающих в основном вынужденный турбулентный режим течения. Опыты проводились в широком диапазоне изменения режимных параметров процесса. Однако, сопоставление экспериментальных данных ряда авторов по конвективной теплоотдаче показало, что между ними имеется определенное расхождение и, по-видимому, по этой причине к настоящему времени вопрос обобщения результатов исследований теплоотдачи при сверхкритических давлениях веществ остается пока нерешенным. В этой связи, возникает необходимость в проведении дальнейших исследований теплоотдачи к жидкостям при турбулентном режиме течения и различных условиях.

Выбор н-гептана в качестве теплоносителя, в основном, связан с наличием в настоящее время богатого экспериментального материала по его теплофизическим свойствам в широком диапазоне изменений давления и температуры, который необходим для анализа и обобщения результатов экспериментов по теплоотдаче и, кроме того, н-гептан обладает сравнительно низкими параметрами, что выявляет возможность изучения рассматриваемого процесса при большей кратности критического давления, т.е. при  $P=(3-4)P_{кр}$ , и следовательно, выявить влияние давления на теплообмен. Это дает также возможность установления влияния изменения физических свойств исследуемой жидкости на теплоотдачу.

Н-гептан не электропроводен, достаточно термостоек, является нормальной жидкостью и его теплофизические свойства, по-видимому, не имеют аномалий.

Кроме того, имеются некоторые данные по исследованию теплоотдачи н-гептана при вынужденном движении и сверхкритических давлениях, полученные другими экспериментаторами, что необходимо для дальнейшего сопоставления с результатами настоящих исследований, позволяющих расширить знания о ходе процесса конвективного теплообмена при сверхкритических давлениях веществ и раскрыть физическую сущность рассматриваемой проблемы.

Рассмотрим характер изменения графика зависимости температуры стенки от плотности теплового потока для подъемного движения н-гептана сверхкритического давления при турбулентном режиме течения.

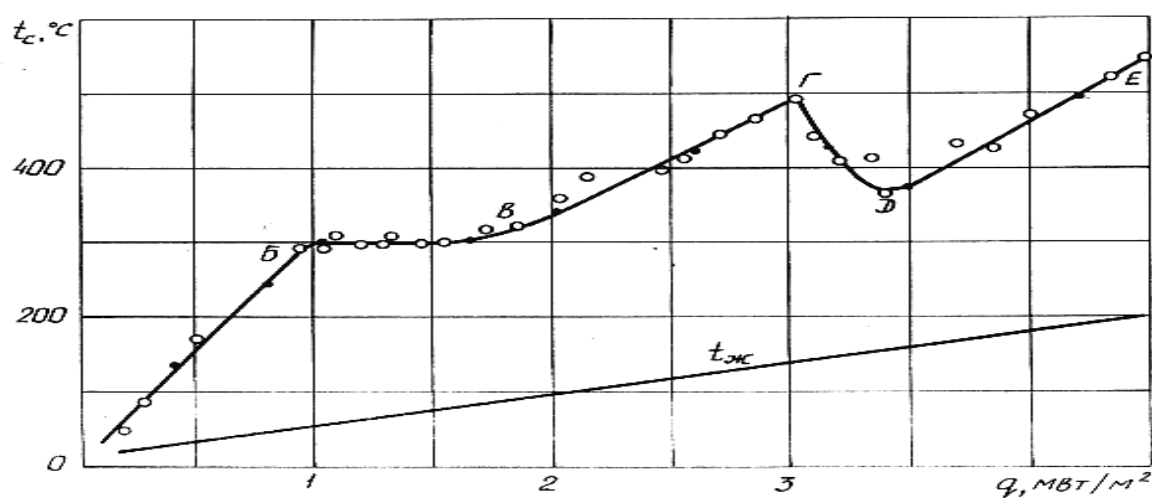


Рис.1. График зависимости  $t_c$  от плотности теплового потока при

$$P = 3.0 \text{ МПа} \quad \rho\omega = 1690 \text{ кг/м}^2\text{с} \quad \text{и} \quad t_{жс}^{6x} = 15^\circ \text{C}.$$

Указанная зависимость имеет сложный характер. На участке АБ увеличение температуры стенки прямо пропорционально росту плотности теплового потока. В точке Б температура стенки, и следовательно, температура теплоносителя в пристеночном слое приближается к температуре, соответствующей максимуму теплоемкости при данном давлении.

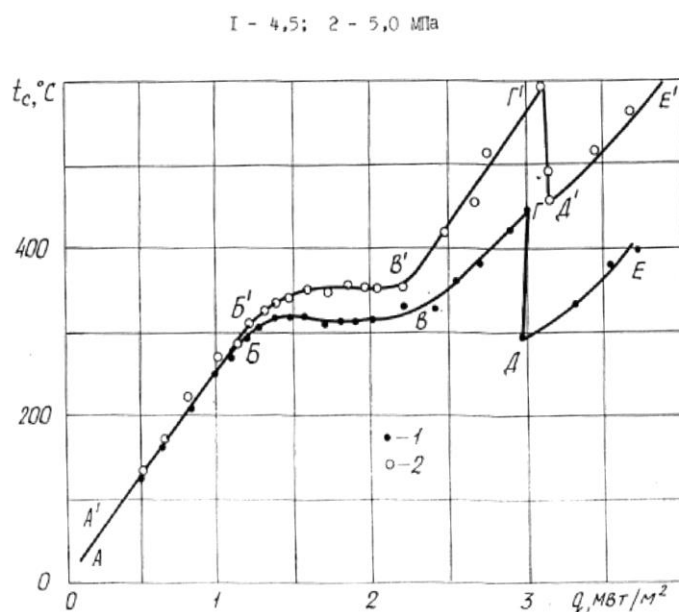
При  $t_c \approx t_m$ , в пристеночном слое происходит сильное изменение теплофизических свойств н-гептана, в частности, незначительный рост температуры сопровождается резким увеличением теплоемкости. Поэтому после точки Б увеличение плотности теплового потока не приводит к возрастанию температуры стенки, во многих случаях с увеличением плотности теплового потока наблюдается снижение температуры стенки. Участок БВ характеризует первый улучшенный режим теплоотдачи. На участке ВГ увеличение температуры стенки опять-таки прямо пропорционально росту плотности теплового потока. Этот участок графика является как бы продолжением участка АБ данной зависимости с той лишь разницей, что она в целом перемещена в сторону больших значений плотности теплового потока. Возрастание температуры стенки на участке ВГ можно объяснить уменьшением теплоемкости после достигнутого максимума при дальнейшем росте температуры.

При больших значениях плотности теплового потока  $q \approx 3,0 \text{ МВт/м}^2$  и высокой температуре стенки  $t_c \approx 495^\circ\text{C}$  с увеличением плотности теплового потока обнаружено сначала снижение температуры стенки порядка  $\sim 150^\circ\text{C}$ , а затем рост ее участка ГДЕ. Этот участок графика характеризует второй улучшенный режим теплоотдачи.

В работе проведена экспериментальная проверка воспроизводимости температурной кривой в обратной последовательности, т.е. измерялась  $t_c$  при уменьшении плотности теплового потока:  $q \approx 4.20; 3.50; 2.61; 2.61; 2.05; 1.64; 1.05; 0.78$  и  $0,44 \text{ МВт/м}^2$  которые охватывали соответственно участки ГДЕ, ВГ, БВ и АБ.

На рис.1 результаты опытов показаны затемненными точками. На участке БВ сделаны два замера, соответствующие началу и концу улучшенного режима теплоотдачи, наблюдаемого в области псевдокритической температуры. Из рисунка видно, что точки, полученные при обратной последовательности измерений, лежат на экспериментальной кривой  $t_c = f(q)$ . Это свидетельствует о чистоте внутренней поверхности экспериментальной трубки и достоверности полученных данных.

Приведенные графики зависимости  $t_c = f(q)$  для подъемного движения н-гептана при различных давлениях и постоянных значениях массовой скорости и температуры жидкости на входе говорят о влиянии давления на теплообмен рис.2.



**Рис.2.** Зависимость  $t_c=f(q)$  для подъемного движения *n*-гептана при различных давлениях

Из сравнения двух кривых, видно, что до  $t_c \approx t_m$  экспериментальные точки при различных давлениях хорошо ложатся на одну прямую. При  $t_c \geq t_m$  кривые расходятся. На участках Б'В' и БВ расхождение будет определяться разницей псевдокритических температур, т.е.

$$\Delta t = (t_m)_{P=5\text{МПа}}^{Б'В'} - (t_m)_{P=4.5\text{МПа}}^{БВ} \quad (1)$$

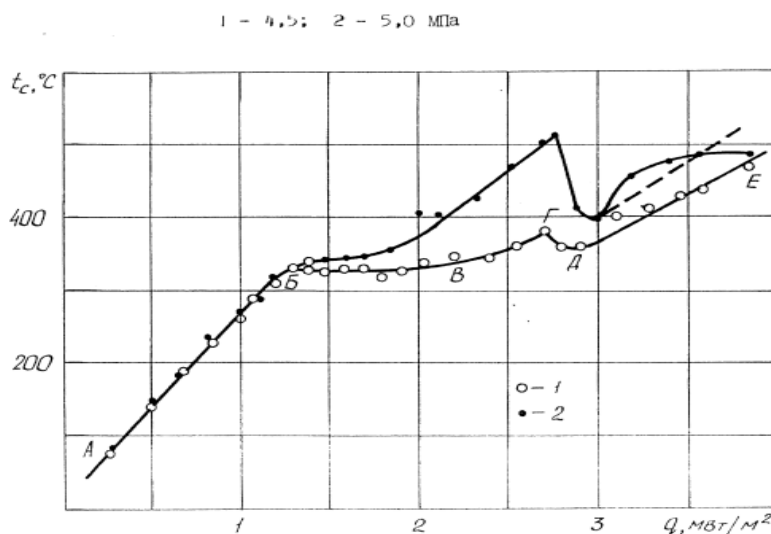
На участке же ВГ с увеличением  $q$  разность температур растёт. Необходимо отметить, что для процессов с одинаковыми  $rw$  и  $t_{жс}^{6x}$  различными давлениями при подъёмном движении возникновение вторичного улучшенного режима теплоотдачи соответствует приблизительно одинаковому значению плотности теплового потока. Для рассматриваемого случая оно равно  $(3,0 \div 3,1) \text{ МВт} / \text{м}^2$ .

Исследования показали, что перепады температур стенки на участке ГД при различных давлениях также приблизительно одинаковы, т.е.

$$(t_r - t_d)_{P=4.5\text{МПа}} \approx (t_r - t_d)_{P=5.0\text{МПа}} \approx (130 \div 140)^\circ \text{C} \quad (2)$$

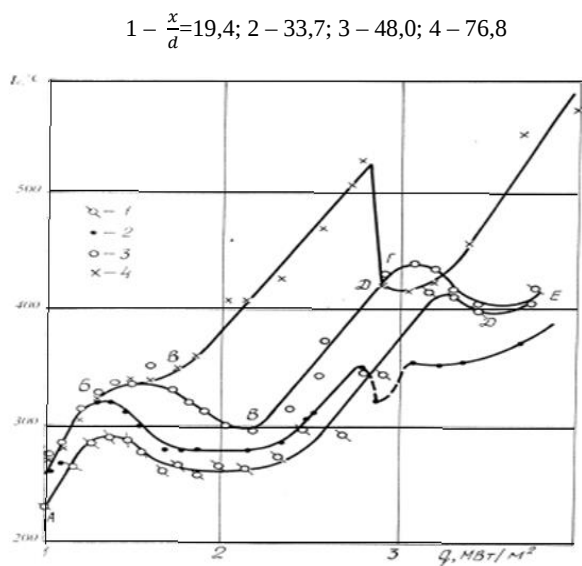
Представленные графики зависимости  $t_c = f(q)$  на рисунках 1 и 2 построены по показаниям термопар, расположенных на расстоянии  $\frac{x}{d} = 62,4$  от входа в трубу.

На рис. 3 изображены графики зависимости  $t_c = f(q)$ , которые построены по показаниям термопар, расположенных ближе к выходному концу экспериментальной трубы, т.е. при  $\frac{x}{d} = 91,0$ .



**Рис.3.** Характер изменения  $t_c$  в зависимости от  $q$  при  $\frac{x}{d} = 91,0$  от входа в трубу

Из рисунка видно, что первый и второй улучшенные режимы теплоотдачи имеют место не только на расстоянии  $\frac{x}{d} = 62,4$  от входа в трубу, но и на расстояниях выше него. Однако в этих случаях было обнаружено, что второй улучшенный режим теплоотдачи наступает сравнительно при меньшем значении плотности теплового потока. Например, значение плотности теплового потока, соответствующее началу возникновения второго улучшенного режима теплоотдачи при  $\frac{x}{d} = 62,4$  и различных давлениях составляет примерно  $3,0 \text{ МВт/м}^2$ , а при  $\frac{x}{d} = 91,0$  равно  $2,72 \text{ МВт/м}^2$ . Кроме



**Рис.4.** Зависимость  $t_c = f(q)$  для подъемного движения н-гептана при  $P = 4,5 \text{ МПа}$

того, место расположения термпар определённо влияет и на значение перепада температуры стенки на участке ГД графика зависимости  $t_c = f(q)$ . Это особенно заметно при околоскритических давлениях, например, при  $P = 4,5 \text{ МПа}$   $\left( \Delta t_{\text{ГД}} \right) \frac{x}{d} = 91 \approx 25^\circ \text{C}$ .

Для того, чтобы иметь полное представление о характере изменения графика зависимости температуры стенки от плотности теплового потока целесообразно построить графики по показаниям остальных термпар, расположенных вдоль трубы. Результаты одного из таких измерений при  $P = 4,5 \text{ МПа}$ ,  $\rho\omega = 2000 \text{ кг/м}^2\text{с}$  в виде зависимости  $t_c = f(q)$  иллюстрированы на рис.4.

Из рисунка видно, что при подъёмном движении н-гептана для различных расстояний от входа трубы, характер изменения графика зависимости  $t_c = f(q)$  различен, т.е. при  $\frac{x}{d} = 76,8$  от входа в трубу характер изменения графика зависимости  $t_c = f(q)$  аналогичен зависимостям, иллюстрированным на рис.1-3, а при  $\frac{x}{d} = 19,4; 33,7$  и, 48,0 несмотря на увеличение плотности теплового потока на участке БВ наблюдается заметное снижение температуры стенки. Достаточно отметить, что на этих расстояниях в интервале изменения плотности теплового потока от  $\sim 1,40 \text{ МВт/м}^2$  до  $\sim 2,40 \text{ МВт/м}^2$  температура стенки не возросло, а, наоборот, снизилась порядка  $40^\circ\text{C}$ . Кроме того, на расстояниях  $\frac{x}{d} = 19,4; 33,7$  и 48,0 от входа в трубу при больших значениях плотности теплового потока и высокой температуре стенки скачкообразное падение температуры стенки не обнаружено и характер изменения кривой на участках БВ и ГДЕ идентичен.

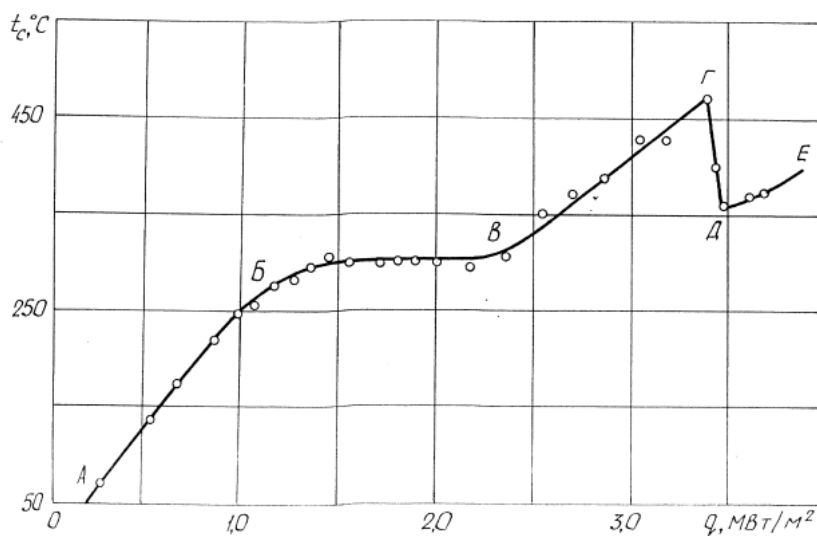
Таким образом, анализ опытных данных полученных для различных сечений трубы показал, что характер изменения графика зависимости  $t_c = f(q)$  в области  $t_c \geq t_m$  при  $\frac{x}{d} > 62,4$  несколько отличается от таковых, имеющих место при  $\frac{x}{d} < 62,4$ .

При  $\frac{x}{d} < 62,4$  второй улучшенный режим теплоотдачи наступает при сравнительно меньших значениях температуры стенки.

С целью выявления влияния значения массовой скорости на характер изменения графика зависимости  $t_c = f(q)$ , достаточно сопоставить результаты исследований, изображённых на рис.1 и 2, которые соответствуют различным значениям  $rw$ . В результате анализа графиков на указанных рисунках можно отметить, что независимо от значений массовой скорости, ход температурной кривой изменяется несколько раз и при этом дважды происходит интенсификация процесса теплообмена. Наступление первого улучшенного режима теплоотдачи при меньших значениях массовой скорости соответствует меньшему значению плотности теплового потока и при этом, условие получения горизонтального участка БВ остаётся неизменным и равным псевдокритической температуре исследуемой жидкости, т.е. на этом участке  $t_c / t_m \approx 1$ . Однако следует подчеркнуть, что протяженность горизонтального участка БВ, характеризуемого улучшенным режимом теплоотдачи, с увеличением массовой скорости увеличивается.

Исследования показали, что начало возникновения второго улучшенного теплообмена в опытах с н-гептаном при подъёмном движении при различных массовых скоростях соответствует одному и тому же значению плотности теплового потока.

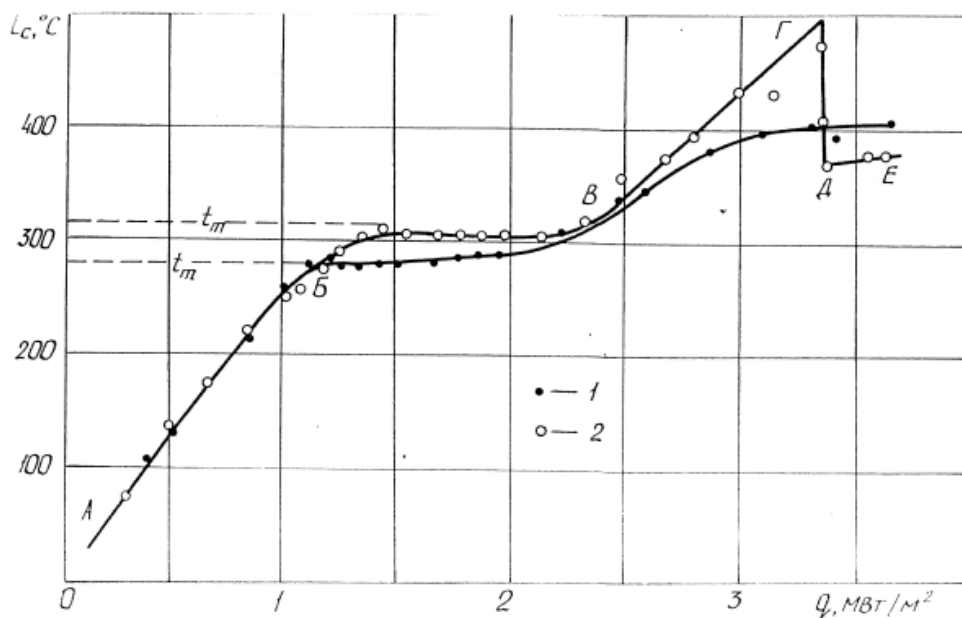
Прежде чем приступить к анализу опытных данных, полученных при опускном движении н-гептана отметим, что теплоотдачи при подъёмном движении сопровождается дополнительным звуковым эффектом – колебаниями давления жидкости и температуры стенки. Появление последних в экспериментальной трубе соответствует началу изменения хода температурной кривой по графику зависимости  $t_c = f(q)$ , т.е. начальному моменту возникновения улучшенного теплообмена и по мере повышения плотности теплового потока сила звука увеличиваясь, приобретает непрерывный пронзительный характер.



**Рис.5.** Зависимость  $t_c=f(q)$  для опускного движения н-гептана при  $P=4,5$  МПа

На рис.5 изображен график зависимости  $t_c = f(q)$  для турбулентного режима течения н-гептана при опускном движении его вертикальной трубе, построенный по показаниям термопары, расположенной на расстоянии  $\frac{x}{d} = 60,8$  от входа в трубу.

1-3,0; 2-4,5 МПа

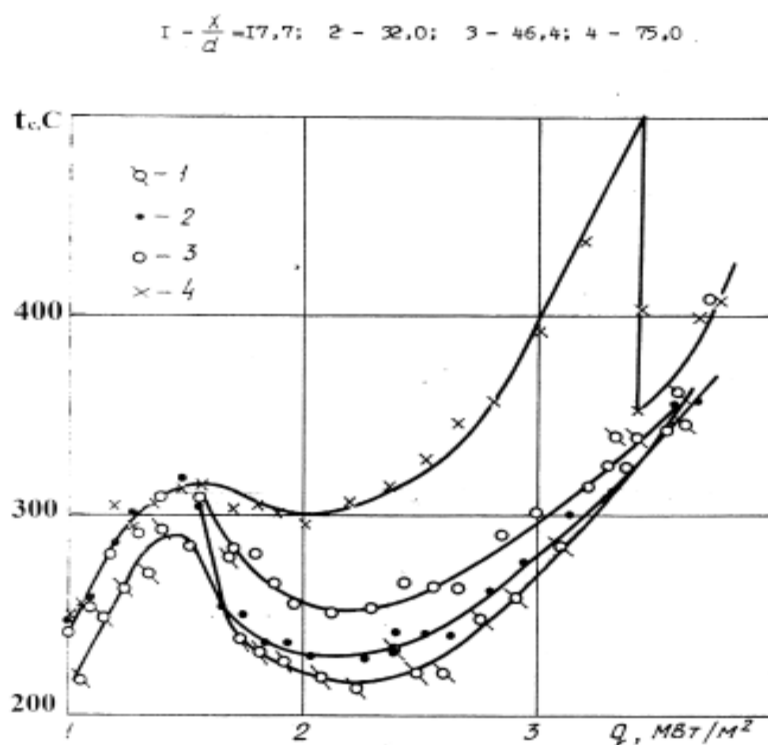


**Рис.6.** Зависимость  $t_c=f(q)$  для опускного движения н-гептана при различных давлениях

Из рисунка видно, что на участке АБ графика, характер изменения температуры стенки в зависимости от плотности теплового потока подчиняется приблизительно прямолинейному

закону аналогично опытам при подъёмном движении жидкости рис.1-4. В точке Б ход температурной кривой изменяется и с увеличением плотности теплового потока, наблюдается значительная интенсификация процесса теплоотдачи. В опытах, значения температур стенки, соответствующих плотности теплового потока  $\sim 1,20$  и  $2,40 \text{ Вт/м}^2$ , практически не отличается. После точки В, с увеличением плотности теплового потока обнаружены участки ВГ и ГДЕ графика зависимости  $t_c = f(q)$ .

Графики зависимости  $t_c = f(q)$  для турбулентного режима течения и опускного движения н-гептана рис.6 подтверждают возможность существования отдельных режимов теплоотдачи при различных давлениях. Отметим, что при околокритическом давлении и турбулентном режиме течения н-гептана с увеличением плотности теплового потока температура стенки до второго улучшенного теплообмена изменялась плавно, а при  $q > 3,0 \text{ МВт/м}^2$  оставалась приблизительно постоянной (кривая 1, рис.6).



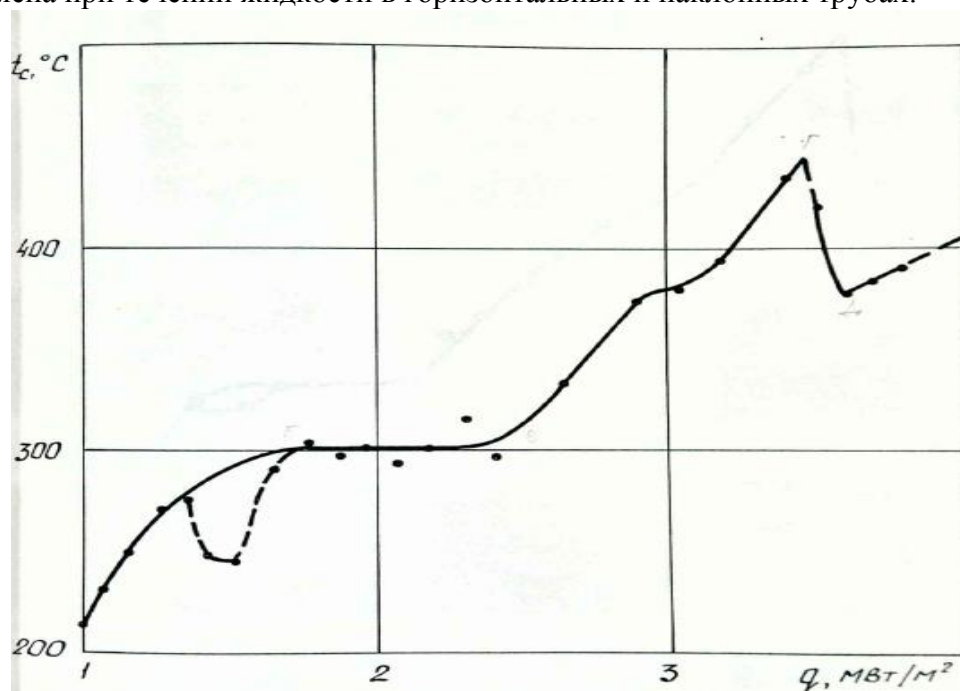
**Рис.7.** Зависимость  $t_c=f(q)$  для опускного движения н-гептана при  $P=4,5 \text{ МПа}$

На рис.7 изображены графики зависимости температуры стенки от плотности теплового потока для турбулентного режима течения при опускном движении н-гептана, построенные по показаниям термопар, расположенных на расстояниях  $\frac{x}{d} = 17,7; 32,0; 46,4$  и  $75,0$  от входа в трубу. Анализ полученных данных показал, что в сечениях при  $\frac{x}{d} < 60,8$  после достижения температуры стенки псевдокритических температуры исследуемой жидкости с увеличением плотности теплового потока температура стенки снижается. Например, при плотности теплового потока  $1,50 \text{ МВт/м}^2$  температура стенки равно  $318^\circ\text{C}$ , а при  $2,30 \text{ МВт/м}^2$  она составляет  $228^\circ\text{C}$ , т.е. при увеличении плотности теплового потока на

$0,8 \text{ МВт/м}^2$  температура стенки уменьшается на  $90^\circ\text{C}$ . Причём при опускном движении н-гептана на указанных расстояниях минимальные значения температуры стенки, имеющие место при  $q \approx 2,25 \text{ Вт/м}^2$ , соответствующем улучшенному режиму теплоотдачи, меньше чем критическая температура исследуемой жидкости.

Следует подчеркнуть, что при опускном движении н-гептана с наступлением улучшенного теплообмена процесс сопровождается колебаниями давления жидкости и температуры стенки, в опытной трубе появляется звук, который с увеличением плотности теплового потока приобретает непрерывный и пронзительный характер.

Известно, что на практике процессы теплообмена протекают в трубах при различных их положениях. В связи с этим представляет интерес исследование закономерностей теплообмена при течении жидкости в горизонтальных и наклонных трубах.



**Рис.8.** Зависимость  $t_c=f(q)$  для н-гептана при  $P=3,5 \text{ МПа}$ ,  $\rho\omega=2100 \text{ (кг/м}^2\cdot\text{с)}$ ;  $t_{\text{ж}}^{\text{BX}} = 12^\circ\text{C}$ .

Рассмотрим характер изменения температуры стенки в зависимости от плотности теплового потока при течении н-гептана в горизонтальной трубе. На рис.8 представлена указанная зависимость для турбулентного течения н-гептана в горизонтальной трубе при  $P=3,5 \text{ МПа}$   $t_{\text{ж}}^{\text{BX}}=12^\circ\text{C}$  и  $\rho\omega=2100 \text{ кг/м}^2\cdot\text{с}$ . Она построена по показаниям термопар, расположенных на расстоянии  $\frac{x}{d} \approx 60$  от входа в трубу. Из рисунка следует, что характер изменения температуры стенки от плотности теплового потока сложный; как и при вертикальном положении трубы в области  $t_c \approx t_m$  и  $t_c \gg t_m$  наблюдается резкая интенсификация теплообмена.

Графики зависимости  $t_c = f(q)$  при  $P=3,5$  и  $5,0 \text{ МПа}$ , построенные по показаниям термопар, расположенных на расстоянии  $\frac{x}{d} \approx 60$  от входа в трубу, показывают, что общий характер изменения кривых одинаково и сложен (рис 9). Влияние давления жидкости на теплообмен и, следовательно, расслоение экспериментальных кривых и начальный момент наступления улучшенного режима теплоотдачи наблюдается при достижении температурой внутренней поверхности стенки псевдокритической температуры исследуемой жидкости.

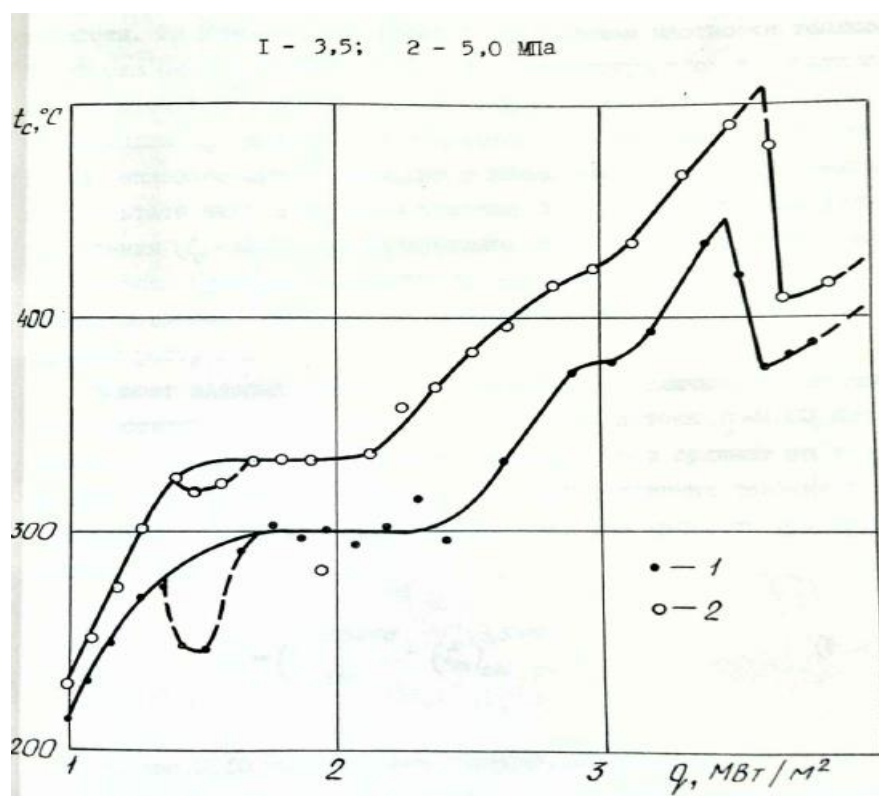


Рис. 9. Зависимость  $t_c = f(q)$  при движении *n*-гептана в горизонтальной трубе.

На участке БВ графика с увеличением плотности теплового потока от  $\sim 1,30$  до  $2,30$  МВт /м<sup>2</sup> температура стенки практически остается постоянной и равной псевдокритической температуре. С переходом  $t_c$  через  $t_m$  исследуемой жидкости увеличение плотности теплового потока приводит к повышению температуры стенки, в результате чего образуется участок ВГ. При высоких температурах стенки ( $t_c > 430$  °С) незначительное увеличение плотности теплового потока приводит к падению температуры стенки от значения соответствующего точке Г, до значения в точке Д, а затем постепенному росту ее.

Момент падения температуры стенки при различных давлениях соответствует значению плотности теплового потока  $q=3,50$  МВт/м<sup>2</sup>. Отметим, что интервал расстояния кривых по оси ординат на участке БВГ графиков зависимости  $t_c = f(q)$  при различных давлениях в горизонтальных трубах может определяться как разность псевдокритических температур, т. е.

$$\Delta t = (t_m)_{5,0 \text{ МПа}} - (t_m)_{3,5 \text{ МПа}} \quad (3)$$

На рис. 10 представлены графики зависимости  $t_c \approx f(q)$  в опытах с *n*-гептаном, построенные по показаниям двух термопар, расположенных соответственно на расстояниях  $\frac{x}{d} = 29,0$  и  $78,5$  от входа в трубу.

Из рисунка видно, что на участке АБ с увеличением плотности теплового потока температура стенки возрастает приблизительно по прямолинейному закону.

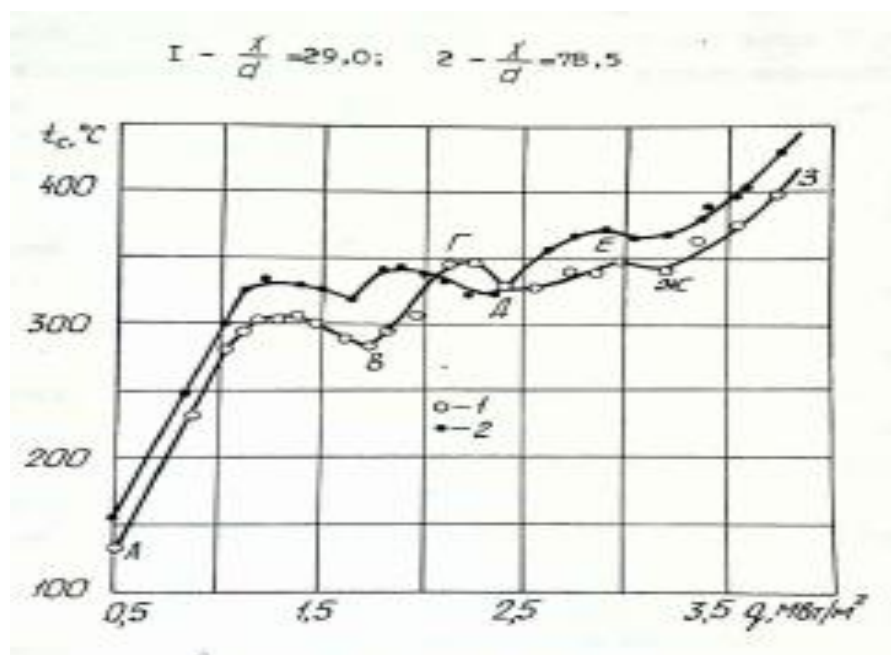


Рис. 10. Зависимость  $t_c = f(q)$  для горизонтального положения трубы при  $P=4,0$  МПа,  $\rho_w=1730$  кг/м³,  $t_j^{BX}=18^\circ\text{C}$ .

На участке БВ этой зависимости с увеличением плотности теплового потока наблюдается некоторое снижение температуры стенки. Например, при  $q \approx 1,20$  МВт/м² значение температуры стенки составляет  $306^\circ\text{C}$ , а при  $q \approx 1,75$  МВт/м² точка В- $282^\circ\text{C}$ , т.е.

$t_c^B - t_c^A = 24^\circ\text{C}$  (кривая 1). Затем, после точки В с увеличением  $q$ , значение  $t_c$  вновь возрастает, подчиняясь прямолинейному закону (участок ВГ), аналогично участку АВ. Далее, после точки Г с увеличением плотности теплового потока  $t_c$  несколько снижается (участок ГД) и процесс теплоотдачи вновь интенсифицируется. По мере дальнейшего увеличения плотности теплового потока все отмеченные выше режимы повторяются, и образуется участок ДЕЖЗ указанной зависимости. Из этого рисунка еще следует, что общий характер изменения графика зависимости  $t_c = f(q)$  для термопар, расположенных на расстояниях  $\frac{x}{d} = 29$  и  $78,5$  от входа в трубу, идентичен.

Таким образом, результаты проведенных исследований и наблюдений, на наш взгляд, являются достаточными для объяснения причины возникновения отдельных режимов теплообмена, имеющих место при сверхкритических давлениях теплоносителей. При этом обращено особое внимание на характер изменения графика зависимости температуры стенки от плотности теплового потока, по которой установлено, что независимо от положения трубы и направления течения жидкости при сверхкритических давлениях и  $t_c \approx t_m$ , наступает режим с улучшенной теплоотдачей.

## Литература

- [1]. Исаев Г.И., Экспериментальное исследование теплоотдачи при течении жидкости (толуола и бензола) в трубе при сверхкритическом давлении, канд. дисс., Баку, 1975.
- [2]. Исаев Г.И. Исследование теплоотдачи при вынужденном движении гептана и сверхкритическом давлении, «Промышленная теплотехника», 1981, № 4.
- [3]. Каплан Ш.Г. Об одной возможной модели процесса переносе в околокритической области состояния жидкости. ИФЖ, 1974, № 3.
- [4]. Mamedov Sh.G. and etc. Recovery of High-potential heat in the steel industry for the production of hydrogen and carbon on hydrocarbon cracking plants of the petrochemical

industry // Environmental aspects of energy, International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology © Scientific Technical Centre «TATA», 2000-2023.

- [5]. Mamedov Sh.G. and etc. Production of hydrogen and carbon in the petrochemical industry by cracking of hydrocarbons in the process of heat utilization in steel production // International Journal of Hydrogen Energy, Volume 48, Issue 40, 8 May 2023, Pages 14954-14963.
- [6]. Mamedov Sh.G. and etc. Study of the heat transfer of hydrogen and marginal hydrocarbons at supercritical pressures // ISJAEI-IJHE#083-184-001 Q1-Scopus (Q1/Q2)-Web of Science, 2023.
- [7]. Мамедов Ш.Г. и др. Изменение температуры стенки горизонтальных и наклонных труб в зависимости от плотности теплового потока при турбулентном течении n-гептана и сверхкритических давлениях. Научный журнал изд. «Проблемы науки» №5 (28) 2018, с.23-27

#### Xülasə

**Doymuş karbohidrogenlərin (n-heptanın) boruda kritikdən yüksək təzyiqlərdə istilik mübadiləsinin tədqiqi.**  
**Məmmədov Ş.H.**

**Açar sözlər:** istilik mübadiləsi, superkritik təzyiq, istilik axınının sıxlığı, təkmilləşdirilmiş istilik ötürmə rejimi, psevdokritik temperatur, turbulent rejim, konvektiv istilik ötürülməsi

Tədqiqatların və müşahidələrin nəticələri, fikrimizcə, psevdokritik təzyiqdə baş verən müəyyən istilikvermə rejimlərinin meydana gəlməsinin səbəbini izah etmək üçün kifayətdir. Eyni zamanda, divarın temperaturunun xüsusi istilik selinin sıxlığından asılılığının dəyişməsinin təbiətinə xüsusi diqqət yetirilmişdir, ona görə də müəyyən edilmişdir ki, borunun vəziyyətindən və istiqamətindən asılı olmayaraq psevdokritik təzyiqlərdə maye axını və  $t_{\text{crit}}$ , yaxşılaşdırılmış istilik mübadiləsi prosesi baş verir.

Divarın daxili səthinin temperaturu tədqiq olunan mayenin psevdokritik temperaturuna çatdıqda yaxşılaşdırılmış istilik mübadiləsinin başlaması, şübhəsiz ki, istilik-fiziki parametrlərdəki dəyişikliklərin istilikvermə prosesinə təsirini göstərir. Bu şəraitdə bütün istilik-fiziki xüsusiyyətlər kəskin şəkildə dəyişir və ekstremal qiymətlərinə çatır. Üstəlik, kritik təzyiqdən uzaqlaşdıqca, istilik-fiziki xassələrin tədqiqatlarının nəticələrinə görə və psevdokritik temperatur sahəsində fiziki parametrlərin dəyişmə sürəti nəzərəcarpacaq dərəcədə zəifləyir, bu da istilik mübadiləsinə müəyyən təsir göstərməlidir.

#### Summary

**Study of heat transfer during the movement of saturated hydrocarbons (n-heptane) in a pipe at supercritical pressures**  
**Mammadov Sh.H.**

**Key words:** heat transfer, supercritical pressure, heat flux density, improved heat transfer mode, pseudocritical temperature, turbulent mode, convective heat transfer

The results of the studies and observations, in our opinion, are sufficient to explain the cause of the occurrence of certain heat transfer modes that occur at supercritical coolant pressures. At the same time, special attention was paid to the nature of the change in the graph of the dependence of the wall temperature on the heat flux density, according to which it was established that, regardless of the position of the pipe and the direction of fluid flow at supercritical pressures and  $t_{\text{crit}}$ , a regime with improved heat transfer occurs. The onset of improved heat transfer when the temperature of the inner surface of the wall reaches the pseudocritical temperature of the liquid under study undoubtedly indicates the influence of changes in thermophysical parameters on the heat transfer process. Under these conditions, all thermophysical properties change sharply and reach their extreme values. Moreover, with distance from the critical pressure, as shown by the results of studies of thermophysical properties and in the region of pseudo-critical temperature, the rate of change in physical parameters noticeably weakens, which should have a certain effect on heat transfer.

## Təsadüfi dolaşmanın sərhəd funksionalının Laplas çevirməsi üçün kəsr tərtib diferensial tənliyin alınması

<sup>1</sup>İbayev Elşən Akif oğlu [ORCID](#)

<sup>2</sup>Ömərova Könül Kamal qızı [ORCID](#)

İdarəetmə Sistemləri İnstitutu, Bakı, Azərbaycan, 1 - a.e.i., dosent

Bakı Biznes Universiteti, Bakı, Azərbaycan, 2 - dosent

[elshanibayev@gmail.com](mailto:elshanibayev@gmail.com) ; [omarovakonulk@gmail.com](mailto:omarovakonulk@gmail.com)

| MƏQALƏ HAQQINDA MƏLUMAT                                                                                                                 | XÜLASƏ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Məqalənin tarixçəsi</b><br/> Daxilolma tarixi: 20.08.2024<br/> Düzəliş tarixi: 20.09.2024<br/> Qəbulolunma tarixi: 25.12.2024</p> | <p>Məqələdə mənfi söküntü, müsbət atlamalar və gecikmə ekranı ilə yarı parkovskinin təsadüfi gəzmə prosesini araşdırır. Müsbət ekran gecikməsi ilə yarı Markov təsadüfi gəzinti prosesinin riyazi dizaynı verilmişdir. Bu prosesin sərhəd funksionallığının Laplasını çevirmək üçün ayrılmaz bir tənlik qurulmuşdur. Xüsusilə, xüsusi paylanmalar sinifində fraksiya sırasının diferensial tənliyinə endirilən inteqral tənlik qurulur. Müsbət gecikmə ekranı ilə yarı Markov təsadüfi gəzinti proseslərinin sərhəd funksionallığının şərti paylanmasının Laplas çevrilməsi tapıldı</p> |
| <p><b>Açar sözlər:</b><br/> Laplas çevirməsi, təsadüfi kəmiyyət, semi-Markov prosesi, kəsr tərtib diferensial tənlik</p>                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

### 1.Giriş

Məlumdur ki, yaddaşsızlıq xassəsi Markov proseslərinin bir vəziyyətdə gözləmə müddətinə məhdudiyyətlər qoyur. Gözləmə müddəti ya eksponensial ya da həndəsi paylanmaya malik olmalıdır. Lakin bir çox tətbiq olunan modellərdə gözləmə müddəti ixtiyari qanunla paylana bilər. Bu da semi-Markov proseslərinə gətirib çıxarır. Semi-Markov prosesləri Markov proseslərinin ümumiləşdirilməsidir. Semi-Markov prosesləri nəzəriyyəsi elmə L'evy [1], Smith [2] və Tak'acs [3] tərəfindən daxil edilmişdir və bir çox tədqiqatçılar tərəfindən inkişaf etdirilmişdir [4-11]. Semi-Markov təsadüfi dolaşma prosesləri asimptotik metodlardan və faktorizasiya metodlarından istifadə etməklə Lebovitz və Perkus [12] və Lotov [13] tərəfindən tədqiq edilmişdir. Bir çox hallarda ikili çevrilmələrin faktorizasiya təsvirlərinin asimptotik təhlili baxılan paylanmaların asimptotik genişlənməsinə gətirib çıxarır (bax, [13]). Lakin xüsusi halda semi-Markov təsadüfi dolaşma proseslərinin ehtimal xarakteristikaları üçün dəqiq formulalar tapa bilərik. Bir neçə tədqiqat işlərində müxtəlif tip semi-Markov təsadüfi dolaşma proseslərinin hər hansı ekrana birinci dəfə çatma anının Laplas çevirməsi üçün düsturlar tapılmışdır [14-16]. Bu işlərdə adi törəməli diferensial tənliklərdən istifadə olunmuşdur. [17,18] işlərində mənfi axınlı, müsbət sıçrayışlı, gecikdirən ekrana malik semi-Markov təsadüfi dolaşma prosesinin sıfır və müsbət ekrana birinci dəfə çatma anının Laplas çevirməsini tapmaq üçün kəsr tərtib diferensial tənlikdən istifadə edilmişdir. Bu işdə mənfi axınlı, müsbət sıçrayışlı, gözləmələrə malik və gecikdirən ekrana malik semi-Markov təsadüfi dolaşma prosesi öyrənilir. Semi-Markov təsadüfi dolaşma prosesinin şərti paylanmasının Laplas çevrilməsi üçün inteqral tənlik qurulur. Xüsusi halda, qurulmuş inteqral tənlik qamma paylanmalar sinfində kəsr tərtib diferensial tənliyə gətirilir. Sonda, kəsr tərtib diferensial tənliyin dəqiq həlli tapılır.

## 2. Məsələnin qoyuluşu

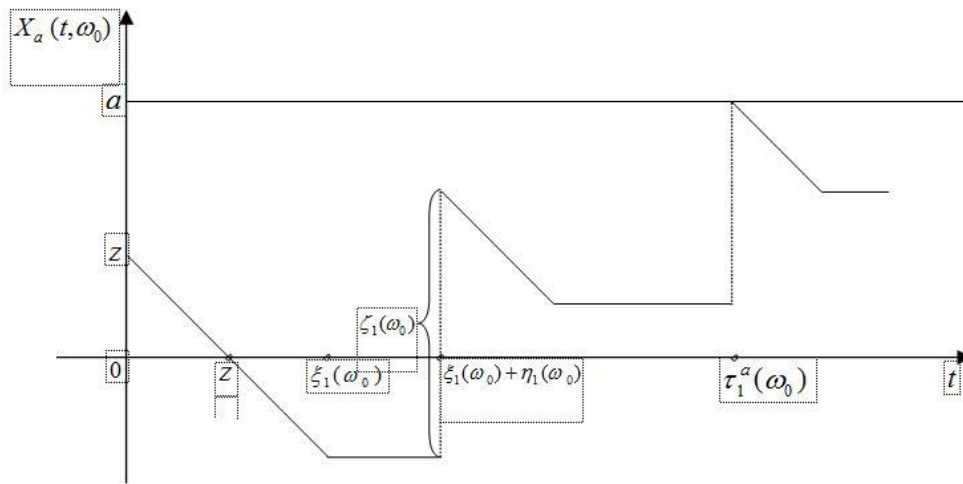
Tutaq ki,  $(\Omega, F, P)$  ehtimal fəzasında  $\{\xi_k, \eta_k, \zeta_k\}_{k=1}^{\infty}$  təsadüfi kəmiyyətlərin cütləri ardıcılığı verilmişdir. Belə ki, hər bir ardıcılıqdakı təsadüfi kəmiyyətlər asılı deyillər və müsbətdirlər. Bu təsadüfi kəmiyyətlərdən istifadə edərək, aşağıdakı semi-Markov təsadüfi dolaşma prosesini quraq:

$$X(t) = \begin{cases} z - t + \sum_{i=1}^{k-1} [\zeta_i + \eta_i], & \sum_{i=1}^{k-1} [\xi_i + \eta_i] \leq t < \sum_{i=1}^{k-1} [\xi_i + \eta_i] + \xi_k, \\ z - \sum_{i=1}^k \xi_i + \sum_{i=1}^{k-1} \zeta_i, & \sum_{i=1}^{k-1} [\xi_i + \eta_i] + \xi_k \leq t < \sum_{i=1}^k [\xi_i + \eta_i], \end{cases}$$

burada  $\sum_1^0 = 0$ .  $X(t)$  prosesi mənfi axınlı, müsbət sıçrayışlı, gecikmələrə malik semi-Markov təsadüfi dolaşma prosesi adlanır. Fərz edək ki, bu prosesi  $a$  ( $a > 0$ ) ekranında gecikdirilir ( bax, [19] )

$$X_a(t) = X(t) - \sup_{0 \leq s \leq t} (0, X(s) - a).$$

$X_a(t)$  prosesinin realizasiyalarından biri şəkil 1 də göstərilmişdir.



**Şəkil.** Semi-Markov təsadüfi dolaşma prosesi

Aşağıdakı kimi təsadüfi kəmiyyət daxil edək:

$$\tau_1^a = \inf \{ t : X_a(t) = a \}.$$

Əgər bütün  $t$ -lər üçün  $X_a(t) < a$  olarsa,  $\tau_1^a = \infty$  götürülür. Aydın ki,  $\tau_1^a$   $X_a(t)$  prosesinin  $a$  ekranına birinci dəfə çatma anıdır.  $\tau_1^a$  sərhəd funksionalı adlanır. Məqsədimiz  $\tau_1^a$  təsadüfi kəmiyyətinin şərti paylanmasının Laplas çevirməsini tapmaqdan ibarətdir.

Əgər  $X$  təsadüfi kəmiyyət olarsa, onda onun riyazi gözləməsi  $EX$  kimi işarə olunur.

Aşağıdakı kimi işarələmə aparaq

$$L(\theta|z) = E(e^{-\theta \tau_1^a} | X_a(0) = z), \quad \varphi(\theta) = Ee^{-\theta \tau_1^a}.$$

$L(\theta|z)$  funksiyası  $\tau_1^a$  təsadüfi kəmiyyətinin şərti paylanmasının Laplas çevirməsi adlanır.

Fərz edək ki,  $X_a(0) = z$  ( $z \geq 0$ ). Aydın ki,  $\tau_1^a$  təsadüfi kəmiyyətini aşağıdakı kimidə ifadə edə bilərik:

$$\tau_1^a = \begin{cases} \xi_1 + \eta_1, & \text{if } z - \xi_1 + \zeta_1 > a, \\ \xi_1 + \eta_1 + T, & \text{if } z - \xi_1 + \zeta_1 < a \end{cases}$$

Burada  $T$  və  $\tau_1^a$  eyni qanunla paylanmış müxtəlif təsadüfi kəmiyyətlərdir.

### Laplas çevirməsi üçün integral tənliyin qurulması və onun kəsr tərtib diferensial tənliyə gətirilməsi

Bu bölmədə  $\tau_1^a$  təsadüfi kəmiyyətinin şərti paylanması Laplas çevirməsi üçün integral tənliyi qurulur. Qamma paylanmalar sinfində qurulmuş integral tənlik kəsr tərtib diferensial tənliyə gətirilir

Tam ehtimal düsturundan istifadə etsək alarıq:

$$\begin{aligned} L(\theta|z) = & \varphi(\theta) \int_0^\infty e^{-\theta s} P\{\zeta_1 > a - z + s\} dP\{\xi_1 < s\} + \\ & + \varphi(\theta) \int_0^\infty e^{-\theta s} dP\{\xi_1 < s\} \int_{z-s}^a L(\theta|y) d_y P\{\zeta_1 < y - z + s\}. \end{aligned} \quad (1)$$

Fərz edək ki,  $\xi_1$  təsadüfi kəmiyyəti  $\alpha > 0$  və  $\beta > 0$  parametrlı Qamma paylanmasına,  $\zeta_1$  təsadüfi kəmiyyəti isə  $\lambda > 0$  parametrlı eksponensial paylanmaya malik təsadüfi kəmiyyətlərdir:

$$\rho_{\xi_1}(x) = \begin{cases} \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \cdot x^{\alpha-1} e^{-\beta x}, & x > 0, \\ 0, & x \leq 0, \end{cases} \quad \rho_{\zeta_1}(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0. \end{cases}$$

Burada  $\Gamma(\alpha)$  Qamma funksiyasıdır. Bu halda (1) integral tənliyi aşağıdakı kimi olacaqdır

$$\begin{aligned} L(\theta|z) = & \frac{\beta^\alpha \varphi(\theta)}{\Gamma(\alpha)} e^{-\lambda(a-z)} \int_0^\infty e^{-(\lambda+\theta+\beta)s} s^{\alpha-1} ds + \\ & + \frac{\lambda \beta^\alpha \varphi(\theta)}{\Gamma(\alpha)} e^{\lambda z} \int_0^\infty e^{-(\lambda+\theta+\beta)s} s^{\alpha-1} \int_{z-s}^a e^{-\lambda y} L(\theta|y) ds dy = \\ & = \frac{\beta^\alpha \varphi(\theta)}{(\lambda + \theta + \beta)^\alpha} e^{-(a-z)} + \frac{\lambda \beta^\alpha \varphi(\theta)}{\Gamma(\alpha)} e^{\lambda z} \int_0^\infty e^{-(\lambda+\theta+\beta)s} s^{\alpha-1} \int_{z-s}^a e^{-\lambda y} L(\theta|y) ds dy. \end{aligned} \quad (2)$$

(2) tənliyi üzərində müəyyən çevirmələr aparsaq alarıq:

$$e^{(\theta+\beta)z} L'_z(\theta|z) - \lambda e^{(\theta+\beta)z} L(\theta|z) = - \frac{\varphi(\theta) \lambda \beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_{-\infty}^z e^{(\beta+\theta)u} (z-u)^{\alpha-1} L(\theta|u) du. \quad (3)$$

Aşağıdakı kimi işarələmə daxil edək

$$Q(\theta|z) = e^{(\theta+\beta)z} L(\theta|z). \quad (4)$$

Onda (3) tənliyindən alarıq:

$$Q'_z(\theta|z) - (\lambda + \theta + \beta) Q(\theta|z) = - \frac{\varphi(\theta) \lambda \beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_{-\infty}^z Q(\theta|u) (z-u)^{\alpha-1} du. \quad (5)$$

Məlumdur ki,  $Q(u|z)$  funksiyasının Veyl mənadı  $\alpha$  tərtib kəsr inteqralı aşağıdakı kimi verilir (bax, [20] və [21]):

$$D^{-\alpha}(Q(\theta|z)) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_{-\infty}^z Q(\theta|u) (z-u)^{\alpha-1} du.$$

Bu bərabərliyi (5) də nəzərəalsaq alarıq:

$$Q'_z(\theta|z) - (\lambda + \theta + \beta) Q(\theta|z) = -\lambda \beta^\alpha \varphi(\theta) D^{-\alpha}(Q(\theta|z)). \quad (6)$$

Fərz edək ki,  $\alpha \in (0,1)$  və  $\phi(z)$  diferensiallanan funksiyadır. Onda  $\phi(z)$  funksiyasının Veyl mənadında  $\alpha$  tərtib kəsr törəməsi aşağıdakı kimi verilir (bax, [20] və [21]) :

$$D^\alpha \phi(z) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \int_{-\infty}^z (z-u)^{-\alpha} \phi'(u) du.$$

(6) tənliyinin hər iki tərəfinə Veyl mənadında  $\alpha$  tərtib kəsr törəməni tətbiq etsək

$$D_z^{\alpha+1} Q(\theta|z) - (\lambda + \theta + \beta) D_z^\alpha Q(\theta|z) + \lambda \beta^\alpha \varphi(\theta) (Q(\theta|z)) = 0. \quad (7)$$

tənliyini alırıq

Beləliklə aşağıdakı teoremi isbat etmiş olduq.

**Theorem 1.** Fərz edək ki,  $X_a(t)$  prosesi mənfi axınlı, müsbət sıçrayışlı, gecikmələrə malik və  $a$  da gecikdirən ekrana malik semi-Markov təsadüfi dolaşma prosesidir. Əgər  $\xi_1$   $\alpha > 0$  və  $\beta > 0$  parametrlı Qamma paylanmasına,  $\zeta_1$  isə  $\lambda > 0$  parametrlı eksponensial paylanmaya malik təsadüfi kəmiyyətlər olarsa, onda (1) tənliyi (7) kəsr tərtib diferensial tənliyinə gətirilir.

#### 4. (7) tənliyinin həlli

Tutaq ki,  $k \in (0, \infty)$  da təyin olunmuş həqiqi funksiyadır.  $e^{k(\theta)z}$  funksiyasının  $z$  - ə görə Veyl mənadında  $\alpha$  tərtib kəsr törəməsini tapmaq.

$$D^\alpha e^{k(\theta)z} = (k(\theta))^\alpha e^{k(\theta)z}.$$

(7) tənliyinin həllini  $Q(\theta|z) = C(\theta)e^{k(\theta)z}$  formasında götürək. Burada  $k(\theta)$  (7) tənliyinə uyğun kəsr qüvvətinə malik aşağıdakı xarakteristik tənliyin köküdür

$$[k(\theta)]^{\alpha+1} - (\lambda + \theta + \beta) \cdot [k(\theta)]^\alpha + \lambda \beta^\alpha \varphi(\theta) = 0 \quad (8)$$

və  $C(\theta)$  naməlum funksiyasını isə

$$\begin{aligned} L(\theta|0) &= \frac{\beta^\alpha \varphi(\theta)}{\Gamma(\alpha)} e^{-\lambda a} \int_0^\infty e^{-(\lambda+\theta+\beta)s} s^{\alpha-1} ds + \\ &+ \frac{\lambda \beta^\alpha \varphi(\theta)}{\Gamma(\alpha)} \int_0^\infty e^{-(\lambda+\theta+\beta)s} s^{\alpha-1} \int_{-s}^a e^{-\lambda y} L(\theta|y) ds dy. \end{aligned} \quad (9)$$

sərhəd şərtindən tapmaq olar.

(4)-dən  $L(\theta|z) = C(\theta)e^{(k(\theta)-\theta-\beta)z}$  bərabərliyini alırıq. Təsadüfi kəmiyyətin şərti paylanmasının Laplas çevirməsinin tərifinə görə  $L(0|z) = 1$ . Deməli,  $C(0) = 1$  və  $k(0) = \beta$ .

$Q(\theta|z)$ -nin ifadəsini (9) da nəzərə alsaq

$$\begin{aligned} C(\theta) &= \frac{\beta^\alpha \varphi(\theta)}{(\lambda + \beta + \theta)^\alpha} e^{-\lambda a} + \frac{\lambda \beta^\alpha \varphi(\theta) C(\theta)}{\Gamma(\alpha)(k(\theta) - \lambda - \beta - \theta)} e^{(k(\theta) - \lambda - \beta - \theta)a} \int_0^\infty e^{-(\lambda+\theta+\beta)s} s^{\alpha-1} ds - \\ &- \frac{\lambda \beta^\alpha \varphi(\theta) C(\theta)}{\Gamma(\alpha)(k(\theta) - \lambda - \beta - \theta)} e^{-\lambda a} \int_0^\infty e^{-k(\theta)s} s^{\alpha-1} ds. \end{aligned}$$

cəbri tənliyini alırıq.

Axırıncı bərabərlikdən isə alırıq:

$$C(\theta) = - \frac{k(\theta) - \lambda - \theta - \beta}{\lambda} e^{-(k(\theta) - \beta - \theta)a}.$$

Sonda  $\tau_1^a$  təsadüfi kəmiyyətinin şərti paylanmasının Laplas çevirməsi aşağıdakı şəkildə olur

$$L(\theta|z) = - \frac{k(\theta) - \lambda - \theta - \beta}{\lambda} e^{(k(\theta) - \beta - \theta)(z-a)}.$$

Beləliklə aşağıdakı teoremi isbat etmiş olduq.

**Theorem 2.** Fərz edək ki,  $X_a(t)$  prosesi mənfi axınlı, müsbət sıçrayışlı, gecikmələrə malik və  $a$  da gecikdirən ekrana malik semi-Markov təsadüfi dolaşma prosesidir. Əgər  $\xi_1$   $\alpha > 0$  və  $\beta > 0$  parametrlı Qamma paylanması,  $\zeta_1$  isə  $\lambda > 0$  parametrlı eksponensial paylanmaya malik təsadüfi kəmiyyətlər olarsa, onda (7) tənliyinin dəqiq həlli

$$Q(\theta|z) = -\frac{k(\theta) - \lambda - \theta - \beta}{\lambda} e^{k(\theta)(z-a) + (\theta+\beta)a}.$$

olur.

### Ədəbiyyat

- [1]. Levy, P. Proceesus semi-markoviens, Proc. Inter. Cong. Math. 3(1954), Amsterdam, 416-426.
- [2]. Smith, W.L. Regenerative stochastic processes. Proc. Roy. Soc. Lond. A 232(1188), 1955, 6-31.
- [3]. Tak'acs, L. Some investigations concerning recurrent stochastic processes of a certain type. Magyar Tud. Akad. Mat. Kutato Int. 3, 1954, 115-128.
- [4]. Pyke, R. Markov renewal processes: definitions and preliminary properties. Ann. Math. Stat. 32(4), 1961, 1231-1242.
- [5]. Pyke, R. Markov renewal processes with finitely many states. Ann. Math. Stat. 32(4), 1961, 1243-1259.
- [6]. Pyke R. and Schaufele, R. Limit theorems for Markov renewal processes. Ann. Math. Stat. 35(4), 1964, 1746-1764.
- [7]. inlar, E. C, Markov renewal theory. Adv. Appl. Probab. 1(2), 1969, 123-187.
- [8]. Grabski, F. Semi-Markov processes: Applications in systems reliability and maintenance. Amsterdam, Elsevier, 2014.
- [9]. Limnios, N. and Oprisan, G. Semi-Markov processes and reliability. Boston, Birkhauser, 2001.
- [10]. Grabski, F. Semi-Markov processes: Applications in systems reliability and maintenance. Amsterdam, Elsevier, 2014.
- [11]. Feller, W. On semi-Markov processes, Proc. Nat. Acad. Sci. 51(4), 1964, 653-659.
- [12]. Lebowitz, J.L. and Percus, J.K. Asymptotic behavior of the radial distribution function, J. Math. Phys. 4(2), 1963, 248-254.
- [13]. Lotov, V.I. and Orlova, N.G. Factorization representations in the boundary crossing problems for random walks on a Markov chain, Sib. Math. J. 46(4), 2005, 661-667.
- [14]. Nasirova, T.I., İbayev E.A. and Aliyeva, T.A. The Laplace transform of the ergodic distribution of the process of semi-Markovian random walk with negative drift, nonnegative jumps, delays, and delaying screen at zero. Theory Stoch. Proc. 15(31), 2009, 49-60.
- [15]. Nasirova, T.H. and Kerimova, U.Y. Definition of Laplace transform of the first passage of zero level of the semi-Markov random process with positive tendency and negative jump, Appl. Math. 2(7), 2011, 908-911.
- [16]. Nasirova, T.I., İbayev, E.A. Investigation of the lower boundary functional of a semi-markovian random walk with negative drift and positive jumps. 24th Mini EURO Conference on Continuous Optimization and Information-Based Technologies in the Financial Sector, MEC EurOPT, (2010)
- [17]. İbayev E.A. Obtaining the fractional order differential equation for the Laplace transform of the distribution of the boundary functional. Journal of Baku Engineering University Mathematics And Computer Science. Volume 6, Number 1, 2022, 43-48.
- [18]. Bandalıyev, R.A., İbayev E.A., Omarova. K.K. Investigation of fractional order differential equation for boundary functional of a semi-Markov random walk process with negative drift and positive jumps. Chaos, Solitons & Fractals, 2021 152, 111394, <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.111394>

- [19]. Borovkov, A.A. Probability theory. Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers;1998.
- [20]. Mainardi, F. Fractional calculus and waves in linear viscoelasticity: an introduction to mathematical models. World Scientific, 2010.
- [21]. Miller, K.S. and Ross, B. An Introduction to the fractional calculus and fractional differential equations. Wiley, New York, 1993.

#### **Summary**

#### **Obtaining the fractional order differential equation for the Laplace transform of a boundary functional of a random walk**

*Ibayev E. A., Omarova K. K*

**Key words:** Laplace transform, random variable, semi-Markov process, fractional order differential equation

In this paper we investigate the semi-Markov random walk process with negative drift, positive jumps and delays. We give a mathematical construction of the semi-Markov random walk process with a delaying positive screen. The integral equation for the Laplace transform of the boundary functional of this process is constructed. In particular, constructed integral equation reduced to the fractional order differential equation in the class of special distributions. The Laplace transform of the conditional distribution of the boundary functional of the semi-Markov random walk processes with positive delaying screen is find.

#### **Резюме**

#### **Получение дифференциального уравнения дробного порядка для преобразования Лапласа граничного функционала случайного блуждания**

*Ибаев Э. А., Омарова К. К*

**Ключевые слова:** преобразование Лапласа, случайная величина, полумарковский процесс, дифференциальное уравнение дробного порядка

В данной работе исследуется процесс полумарковского случайного блуждания с отрицательным сносом, положительными скачками и задерживающим экраном. Дана математическая конструкция процесса полумарковского случайного блуждания с задерживающим положительным экраном. Построено интегральное уравнение для преобразования Лапласа граничного функционала этого процесса. В частности, построено интегральное уравнение, сводящееся к дифференциальному уравнению дробного порядка в классе специальных распределений. Найдено преобразование Лапласа условного распределения граничного функционала процессов полумарковского случайного блуждания с положительным задерживающим экраном.

## Elektrik enerjisinin uçotu informasiya-ölçmə sisteminin metroloji təminatı

Gəncəyev Namiq Eytibar oğlu

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan, doktorant  
[namiq040@mail.ru](mailto:namiq040@mail.ru)

| MƏQALƏ HAQQINDA MƏLUMAT                                                                                                     | XÜLASƏ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Məqalənin tarixçəsi</b><br>Daxilolma tarixi: 02.10.2024<br>Düzəliş tarixi: 20.09.2024<br>Qəbul olunma tarixi: 25.12.2024 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Açar sözlər:</b><br>faza sürüşməsi, elektrik enerjisi, informasiya ölçmə-sistemi, dolayı ölçmə, ölçmə xətası.            | <i>Xalq təsərrüfatının inkişafını təmin edən elektrik enerjisinin uçotu zamanı yaranan xətlər, gərginlik, cərəyan, şəbəkədə yükün xarakterindən asılı olan faza sürüşməsi, əsas və ali harmonikaların elektrik enerjisinin ölçülməsi xətlərinə təsirinin tədqiqi, xətlərin və bununla əlaqədar müvafiq itkilərin azaldılması məsələləri araşdırılmış, elektrik enerjisini uçotu üçün tətbiq olunan ölçmə vasitələrinin əsas xüsusiyyətləri, bunlar əsasında informasiya-ölçmə sistemi yaradarkən ölçmə kanalı üzrə xətlərin yaranması səbəbləri və mənsəyi təhlil olunmuşdur. Təhlil nəticələrinə istinadən müxtəlif ölçmə vasitələri (voltmetr, ampermetr, elektrik enerjisi sayğacı, gərginlik və cərəyan transformatorları) əsasında qurulmuş informasiya-ölçmə sistemlərinin struktur sxemlərinə uyğun olaraq ölçmə kanalı üzrə xətlərin mənbəyi göstərilməklə, sistemin metroloji təminatının struktur sxemləri tərtib edilmişdir. Göstərilmişdir ki, ölçmə kanalının xətləri həm ölçmə vasitələrinin konstruksiyası və iş prinsipləri, həm də signalı emal qurğularının aparat-proqram xətləri ilə yanaşı, elektrik şəbəkəsində gərginlik və cərəyan harmonikalarının, müəyyən əngəllərin təsirindən təhriflər səbəbindən yaranan xətlərlə, dolayı üsulla ölçülən elektrik enerjisinin təyin olunması xətası əsasən gərginlik, cərəyan və faza sürüşməsinin ölçülməsi xətləri, eləcə də həmin kəmiyyətlərin ölçülməsi üçün tətbiq olunan element və cihazlara temperaturun təsirindən - ətraf mühitin və qurğunun işi gedişində əmələ gələn istilik sayəsində yaranan xəta ilə müəyyən edilir. Temperatur xətası aşkar şəkildə olmayıb, müxtəlif növ xətlərin tərkibinə daxil ola bilər. Bu baxımdan temperaturu kompensasiya, yaxud temperatura görə düzəliş sxemi və ya sxemlərdən istifadə etmək məqsəduyğunluğu bir daha qeyd edilmişdir</i> |

### 1. Giriş

Ölkəmizdə, işğaldan azad edilmiş ərazilərdə gedən inkişaf və yenidən qurma proseslərinin sürətlənməsi üçün elektrik enerjisinin istehsalı durmadan artırılır. Bu vəziyyətdə elektrik enerjisinin istehsalı və istehlakı zamanı enerjinin ölçmə dəqiqliyinin və onun uçotunun dürüstlüyünün yüksəldilməsi əsas məsələlərdən biridir [1]. İstehlak edilən elektrik enerjisinin xeyli sayda parametrlər nəzərə alınmaqla ölçülməsi çox funksiyalı avtomatlaşdırılmış uçot sistemləri istifadə etməklə yerinə yetirilir. Son illərdə, elektrik enerjisi uçotu üçün informasiya-ölçmə sistemləri (İÖS), eləcə də üç və dörd naqilli üç fazalı şəbəkələrdə aktiv, reaktiv və tam gücün, faza gərginlikləri və cərəyanları orta kvadratik qiymətlərini dəqiq ölçməyə imkan verən teleölçmə sistemləri geniş yayılmışdır.

Mövcud elektrik sayğaclarının funksional imkanlar genişdir. Bunlara: çox tariflilik, elektrik birbaşa və əksinə enerjisinin axınlarının uçotu, aktiv və reaktiv sayğacda bir cihazda birləşməsi, informasiya-ölçmə və enerjinin mərkəzləşdirilmiş uçotu sistemləri üçün məlumatların ötürülməsi, verilmiş zaman intervalında məlumatların toplanması və yadda saxlanması asanlıqı, eləcə də nəzarət edilən şəbəkənin cərəyan, gərginlik, güc, güc əmsalı, tezlik xarakteristikalarını ölçülməsi,

yük qrafikləri və cədvəllərinin qurulması kimi imkanlar daxildir. Kifayət qədər uzaq məntəqələr üçün elektrik ölçmə cihazlarının çox funksiyalı olması, ölçmə nöqtələri (məntəqələri) ərazi üzrə yığcam yerləşirsə, elektrik enerjisi sayğaclarının bəzi mürəkkəb funksiyalarının elektrik enerjisinin uçotu informasiya-ölçmə sisteminə ötürülməsi daha məqsəduyğundur.

## 2.Məqsəd

Elektroenergetikada bazar münasibətlərinin inkişafı zamanı bir çox enerji sistemlərində əksərən texniki itkiləri üstələyən kommersiya itkilərinin azaldılması məsələlərinə getdikcə daha çox diqqət yetirilir. Hazırda kommersiya itkilərinin 30-50%-ə qədəri elektrik enerjisinin ölçmə xətlərinin və elektrik enerjisinə nəzarət və uçot üçün avtomatlaşdırılmış sistemlərin qeyri-mükəmməl olması ilə müəyyən edilir [5].

Ölçmə cihazlarının xətləri elektrik stansiyaları tərəfindən istehsal olunan və istehlakçılara verilən elektrik enerjisinin uçotunun dəqiq olmamasına səbəb olur. Ona görə də elektrik enerjisi itkisinin bu hissəsini ölçmə itkiləri (xətləri) adlandırmaq olar. Ölçmə itkiləri hər ölçmə kanalında yekun xətəyə görə müəyyən edilir ki, bu da öz növbəsində tərkibində təsadüfi və sisteməlik tərkib hissələrinə malik ümumi xətlərlə xarakterizə olunur [2].

Elektrik enerjisi dolayı üsulla ölçülür. Dolayı ölçmə nəticələrinin alınması üçün ən ümumi prosedura çoxkanallı informasiya ölçmə sistemlərində realizə olunur. Ümumi halda, tələb olunan nəticə bir çox dəyişənlərin - mürəkkəb obyektin parametrlərinin İÖS-ün müxtəlif ölçmə kanalları vasitəsi ilə əldə edilən birbaşa ölçülməsi nəticələrinin funksiyası kimi hesablanır.

Elektrik enerjisinin monitorinqi və uçotu üçün İÖS özünəməxsus xüsusiyyətlərə malik olmalıdır: müxtəlif istehsalçılar tərəfindən istehsal olunan elektrik sayğaclarının və ölçü transformatorlarının istismar yerində quraşdırılması, sahə üzrə və ərazi üzrə paylanması və nəticədə çoxkanallı komponentləri arasında uzun rabitə xətlərinin olması, istismar gedişində quraşdırma imkanı, ölçmə obyektlərinə konstruktiv qoşulma, hesablama texnikası ilə tam təmin olunması və s. Bundan başqa, elektrik enerjisinin monitorinqi və uçotu üçün İÖS-ün çox hissəsi daha mürəkkəb strukturların tərkibinə daxil olmalıdır [4,8].

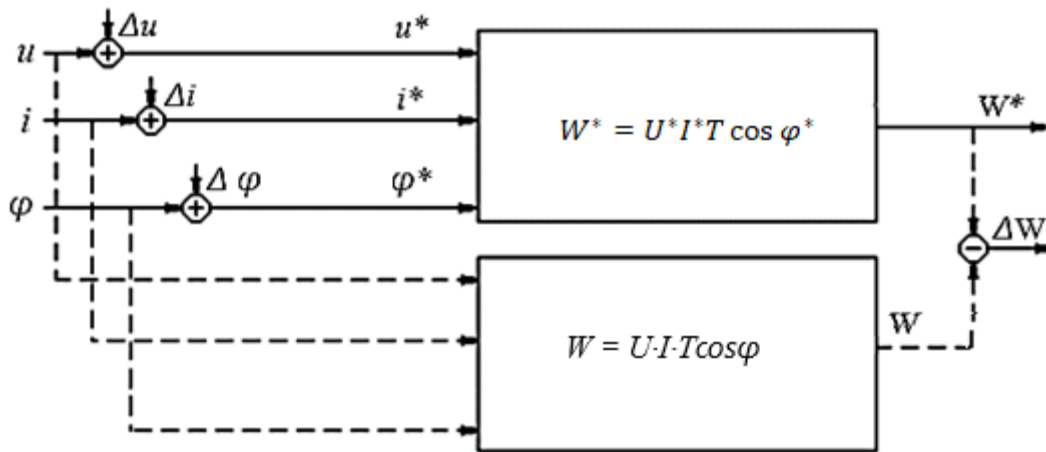
Baxılan halda, enerjinin ölçülməsi dolayı ölçmənin nəticəsi olub, birbaşa üsulla ölçülən bir kəmiyyətin (gərginlik, cərəyan, faza sürüşməsinin və zamanın) funksiyasıdır. Bu hal yalnız İÖS-də deyil, həm də prosessorlu və ya kontrollerli (mikroprosessorlu) rəqəmsal cihazdan (rəqəmsal elektrik saygacı) istifadə edərkən və ya bir kəmiyyətin birbaşa ölçmələrinin nəticələrini əl ilə emal edərkən yaranır.

Məlum olduğu kimi, dəyişən cərəyan elektrik gücü və onun qiymətinə əsasən elektrik enerjisi belə təyin olunur:

$$P = UI \cos \varphi \text{ və } W = PT = UIT \cos \varphi, \quad (1)$$

burada  $P$  – elektrik gücü;  $U$  – tətbiq edilən gərginlik;  $I$  – yükdən (işlədicidən) axan cərəyanın şiddəti;  $\varphi$  – gərginlik ilə cərəyan arasında faza sürüşməsi;  $W$  – elektrik enerjisi;  $T$  – yükün şəbəkəyə (qida mənbəyinə) qoşulma müddətidir. Burada əsas kəmiyyət olan elektrik enerjisi  $W$  digər  $u$ ,  $i$ ,  $\varphi$  kəmiyyətlərinin birbaşa ölçmə nəticələrinə əsasən təyin olunur.

Kompüter proqramları üçün giriş verilənləri olan birbaşa ölçmə nəticələrinin kompüter vasitəsi ilə hesablandığı hallar üçün dolayı ölçmələrin metroloji struktur sxemi şəkil 1-də göstərilmişdir.



Şəkil 1. İÖS-də yerinə yetirilən dolaylı ölçmələrin metroloji strukturu

Şəkil 1-də təqdim olunan metroloji struktur-sxemdə başlanğıc verilənlər kimi sabit kəmiyyətlər və dəyişən kəmiyyətlərin birbaşa ölçmə nəticələri istifadə olunur. Burada T zaman müddətinin ölçmə xətası nəzərə alınmır. Bu zaman axtarılan dolaylı ölçülən elektrik enerjisi W-nin qiyməti bilavasitə ölçülməli olan gərginlik - u, cərəyan i və gərginliklə cərəyan arasında faza sürüşməsi -  $\varphi$  kəmiyyətləri ilə  $W = U \cdot I \cdot T \cdot \cos \varphi$  funksional asılılığı ilə əlaqədərdir. Real hesablamalar dolaylı ölçmə nəticəsini

$$W^* = U^* I^* T \cos \varphi^* \quad (1)$$

verəcəkdir ki, bu qiymət

$$\Delta W = W^* - W = (u^* i^* \cos \varphi^* - u i \cos \varphi) \cdot T \quad (2)$$

mütləq xətasını ehtiva edir.

Burada

$$u^* = u + \Delta u; i^* = i + \Delta i; \varphi^* = \varphi + \Delta \varphi \quad (3)$$

kəmiyyətlərinin birbaşa ölçülməsi nəticələridir.

Dolaylı ölçmələrin nəticələrində xətalər aşağıdakı səbəblərdən yaranır:

- rəqəmsal kompüterlərdə kəsilməz funksiyaların və məsələn, integrallama və diferensiallama kimi əməliyyatların təqribi realizə edilməsi;

- dolaylı ölçmələrin nəticələrində irsi xətalər yaradan birbaşa ölçmə nəticələrinin  $\Delta u$ ;  $\Delta i$  və  $\Delta \varphi$  xətaləri;

- hesablamalar zamanı yuvarlaqlaşdırma, iterasiya proseslərinin dayandırılması və digər səbəblərdən yaranan xətalər.

Xətalər nəzəriyyəsinə [6] uyğun olaraq, dolaylı ölçmələrin dəqiqliyini qiymətləndirmək üçün siqnalın ikinci və daha yüksək tərtibli hədlərinin nəzərə alınmadan Teylor sırasına ayrılması istifadə olunur. Bu halda ümumi xətanın mütləq qiyməti aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

$$\Delta = \sum_{i=1}^m \left| \frac{df}{dx_i} \right| \Delta_i \quad (4)$$

burada  $m$  - arqumentlərin sayı;  $f$  - ölçmə funksiyası;  $x_i$  -  $i$ -ci arqumentin qeyd olunmuş qiyməti;  $\Delta_i$  -  $i$ -ci arqumentin mütləq xətasının həddlərindədir.

Bu zaman ölçmə kanallarının məcmu nisbi xətaləri  $\delta_{OK}$  aşağıdakı kimi təyin olunur:

Dörd naqilli qoşulma sxemi üçün

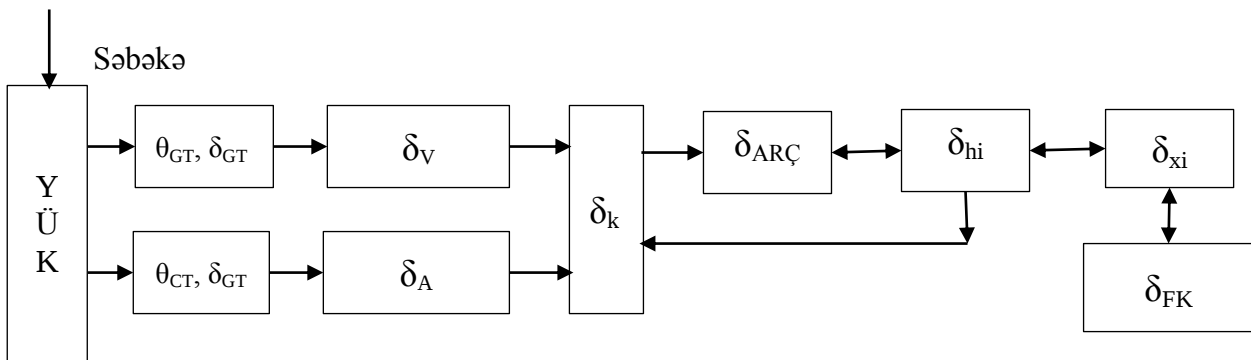
$$\delta_{OK} = \frac{1,96}{\sqrt{3}} \sqrt{\delta_S^2 + \sum_{i=1}^3 \left( \frac{1}{3} \delta_{xi} \right)^2 + \sum_{j=1}^l \delta_j^2 + \sum_{i=1}^3 \left( \frac{1}{3} \delta_{CTi} \right)^2 + \sum_{i=1}^3 \left( \frac{1}{3} \delta_{GTi} \right)^2 + \sum_{i=1}^3 \left( \frac{1}{3} 100 \cdot \theta_{CTi} \operatorname{tg} \varphi \right)^2 + \sum_{i=1}^3 \left( \frac{1}{3} 100 \cdot \theta_{GTi} \operatorname{tg} \varphi \right)^2} \quad (5)$$

Üç naqilli qoşulma sxemi üçün

$$\delta_{\text{ÖK}} = \frac{1,96}{\sqrt{3}} \sqrt{\delta_s^2 + \sum_{i=1}^2 \left(\frac{1}{2} \delta_{xi}\right)^2 + \sum_{j=1}^l \delta_j^2 + (\delta_{CT} + \delta_{GT})^2 \left(\frac{1}{6} tg^2 \varphi + \frac{1}{2}\right) + (100 \cdot (\theta_{CT} + \theta_{GT}))^2 \cdot \left(\frac{1}{2} tg^2 \varphi + \frac{1}{6}\right)} \quad (6)$$

burada  $\delta_s$  – elektrik enerjisi sayğacının (S) əsas nisbi xətasının həddi, %;  $\delta_{CT}$  – cərəyan transformatorunun (CT) cərəyan xətası, %;  $\delta_{GT}$  – gərginlik transformatorunun (GT) gərginlik xətası, %;  $\theta_{CT}$  və  $\theta_{GT}$  – cərəyan və gərginlik transformatorlarının bucaq xətalrı, radianla;  $\delta_{xi}$  və  $\delta_{saj}$  – xətlərdə yol verilən gərginlik itkiləri və sayğacın əlavə xətalrı, %;  $i$  – faza nömrəsi;  $j$  – sayğacın əlavə xətasının nömrəsi;  $l$  – sayğacın əlavə xətalrıının sayıdır.

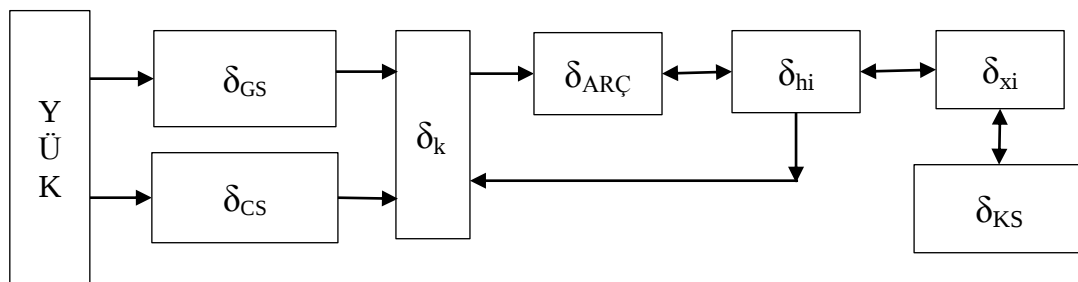
Dörd naqillli sxemdə elektrik enerjisini eyni ölçmə cihazları ilə ölçərkən ümumi xəta daha az olur. Bir ölçmə kanalı üçün qeyd edilən xətalara və ölçmə üsuluna uyğun sxemlər aşağıdakı kimi olacaqdır (şəkil 2 və şəkil 3).



**Şəkil 2.** Transformatorlu giriş dövrəli İÖS-də xətalrıın strukturu:

$\delta_V$  – voltmetrin xətası;  $\delta_A$  – ampermetrin xətası;  $\delta_k$  – kommutatorun daxil etdiyi xəta;  $\delta_{ARÇ}$  – analog-rəqəm çeviricisinin xətası;  $\delta_{hi}$  – hesablama-idarəetmə qurğusunun xətası;  $\delta_{KS}$  – kompüterin (serverin) xətasıdır. Sonuncu xətanın mənşəyi alqoritmik xəta olub, yuvarlaqlaşdırma, iterasiya əməliyyatları ilə əlaqədardır

Struktur sxemlərdə göstərilən bloklar, modullar, element və qurğular üzrə temperatur xətalrı həmin komponentlərə aid olan xətalrıın tərkibinə qeyri-əşkar şəkildə daxil olub, temperaturun kifayət qədər dəyişməsi zamanı özünü büruzə verir. Cihazlara temperaturun təsirindən - ətraf mühitin və qurğunun işi gedişində əmələ gələn istilik sayəsində yaranan xəta ilə müəyyən edilir. Temperatur xətası əşkar şəkildə olmayıb, müxtəlif növ xətalrıın tərkibinə daxil ola bilər. Bu baxımdan temperaturu kompensasiya, yaxud temperatura görə düzəliş sxemi və ya sxemlərindən istifadə etmək məqsədəuyğundur.



**Şəkil 3.** Sensorlu giriş dövrəli İÖS-də xətalrıın strukturu

Şəkil 3-də  $\delta_{GS}$  – gərginlik sensorunun xətası;  $\delta_{CS}$  – cərəyan sensorunun xətasıdır. Zamana görə dəyişən  $u$ ,  $i$  kəmiyyətlərini çoxkanallı İÖS vasitəsi ilə ölçərkən, birbaşa ölçmələrin nəticələrində

xətanın tərkib hissəsi olan apertur xətası xeyli arta bilər. Bu onunla əlaqədardır ki, İÖS-ün ölçmə kanalları ardıcıl olaraq idarəedici kontroller vasitəsi ilə sorğu edilir və sorğu müddəti hər bir kanalda ölçmə müddəti, mübadilə protokolunun yerinə yetirilməsi müddəti və uzlaşdırma interfeys qurğularının cəldliyi ilə əlaqədar müddətin cəmindən ibarətdir.

Buna görə də, belə kanallar tərəfindən yerinə yetirilən faktiki ölçmə anları fərqlənir. Eyni zamanda, dolayı ölçmənin hər bir nəticəsi zamanın müəyyən anına, bir qayda olaraq, birinci kanala müraciət anına aid edilir [7]. Çoxkanallı ölçmələrdə hesablama düsturlarına daxil olan kəmiyyətlərin faktiki ölçülmə anlarında fərq böyük olub, dolayı ölçmə nəticələrində xeyli apertur xətalara səbəb ola bilər.

Beləliklə, zamana görə dəyişən  $u$ ,  $i$  və  $\varphi$  kəmiyyətləri çoxkanallı İÖS vasitəsi ilə ölçərkən dolayı ölçmələrin nəticəsinin xətası üçün ifadə aşağıdakı şəkildə olacaqdır:

$$\Delta W(t_i) = u^*(t_i + \Delta t_1) \cdot i^*(t_i + \Delta t_2) \cdot \cos \varphi^*(t_i + \Delta t_3) \cdot T - u(t_i + \Delta t_1) \cdot i(t_i + \Delta t_2) \cdot \cos \varphi(t_i + \Delta t_3) \cdot T \quad (7)$$

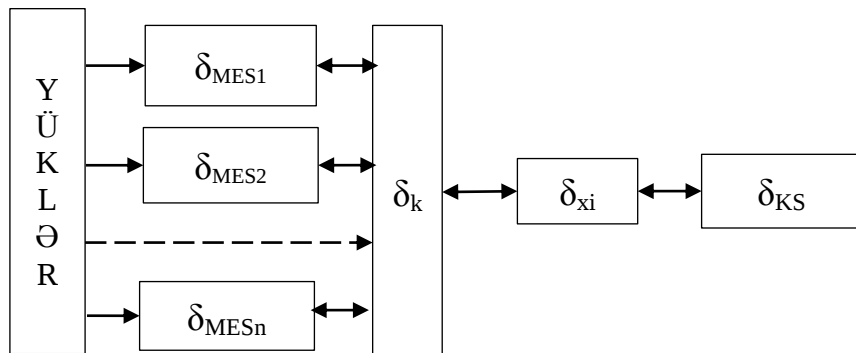
Burada  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$ ,  $\Delta t_3$  - ölçmə kanalları üzrə ölçmələrin zamana görə qeyd edilməsi ilə əlaqədar zaman görə ləngimə (sürüşmə) xətalardır.

Bu xətalər İÖS kanallarının nömrəsi artdıqca (vericilər ardıcıl sorğu edildiyinə görə) artır. Çoxkanallı ölçmə sistemlərində oxunuşda tanışlıq səhvlərini azaltmaq üçün radikal bir vasitə çoxkanallı seçmə və saxlama cihazıdır (SSC). SSC kommutatordan əvvəl qoşulur. Normal iş rejimində çıxış signalı giriş signalını təkrarlayaraq izləmə rejimində işləyir. Kanalı sorğuya  $t_i$  başlama anında interfeys vasitəsilə kompüterdən signal daxil olur və SSC-ni sistem kanallarının çıxışındakı bütün signalın eyni zamanda saxlanması rejiminə keçirir. Kommutator kanalları sorğulayır və öz növbəsində eyni zaman anına aid çıxış signalının ani dəyərlərini növbə ilə ARÇ-nin girişinə, sonra isə yazılmaq və ya emal etmək üçün kompüterin yaddaşına göndərir. SSC-nin izləmə rejimindən saxlama rejiminə keçid müddəti onlarla nanosaniyə, bu zamanın dispersiyası isə daha da kiçikdir. Buna görə də kommutatorun (multipleksorun) xətası cüzi olacaqdır. Beləliklə, zamana görə sürüşmə xətalının təsirini, demək olar ki, tamamilə aradan qaldırılır.

Müasir tipli rəqəmsal elektrik sayğacı tətbiq olunan İÖS üçün xətalının strukturu müasir elektrik sayğacını (MES), rabitə xətlərini və kompüterin daxil etdiyi xətalara əhatə edəcək və şəkil 4-də göstəriləndiyi kimi təqdim ediləcəkdir. Şəkil 4-də  $\delta_{MESn}$  - MES-in xətasıdır ( $n = 1, N$ ).

Belə bir strukturlu İÖS-də ümumi xətanı kommutatorun daxil etdiyi xəta; hesablama-idarəetmə qurğusunun (kontrollerin) xətası; kompüterin (serverin) alqoritmik xətasını azaltmaqla endirmək mümkündür.

Təklif edilən sxemlər üzrə əlavə xətalər həm şəbəkədə harmonikaların mövcudluğu, həm də ölçmə qurğularına temperaturun təsiri ilə yaranan xətalara müəyyən olunacaqdır. Bundan başqa, informasiyanın elektrik xətləri ilə ötürülməsi adları çəkilən xətalının strukturunda müəyyən qədər dəyişikliyə səbəb olacaqdır ki, bu da yenə də elektrik şəbəkəsində harmonikaların yaranması ilə əlaqədardır [9].



Şəkil 4. Müasir elektrik sayğaclı İÖS-də xətalının strukturu

## Nəticə

Ölçmə kanalında xətlərin yaranma mənbələrinin təhlili nəticəsində göstərilmişdir ki, həmin xətlərin yaranması ölçmə vasitələrinin iş prinsipi, konstruksiyası, informasiyanın analoq şəkildən rəqəmsal formaya və əksinə çevrilməsi, elektrik enerjisinin ölçülməsində əlavə xətlər isə həm şəbəkədə harmonikaların mövcudluğu, həm də ölçmə qurğularına temperaturun təsiri ilə yaranan xətlərlə müəyyən olunur.

Cihazlara temperaturun təsirindən - ətraf mühitin və qurğunun işi gedində əmələ gələn istilik sayəsində yaranan temperatur xətası aşkar şəkildə olmayıb, müxtəlif növ xətlərin tərkibinə daxil ola bilər. Bu xətanı azaltmaq üçün temperaturu kompensasiya, yaxud temperatura görə düzəliş sxemi və ya sxemlərindən istifadə etmək məqsədəuyğundur.

Çoxkanallı İÖS-lərdə ölçmələri paralel yerinə yetirmək mümkün olmadığına görə birbaşa ölçmələrdə ölçmənin aparıldığı anların sürüşməsi baş verir ki, bu da nəticədə əlavə xətlərin yaranmasına gətirib çıxarır.

## Ədəbiyyat

- [1]. Genjeyev N.E. Increasing the Accuracy of Electrical Power Measurement. Transactions of Azerbaijan Institutes of Technology, Vol. 20. № 4, - pp.25-33.
- [2]. Oancea Constantin-Daniel. (2024). A Method of Reducing Errors Due to Sampling in the Measurement of Electric Power. Applied Sciences. 14. 3827. 10.3390/app14093827. - 12 p.
- [3]. Gəncəyev N.E. Elektrik gücünün ölçülməsi dəqiqliyinin artırılması. ATU, Elmi əsərlər, N3, 2016, - s.215-217.
- [4]. Гардин А.И. Универсальный стенд по изучению автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии // Труды НГТУ – 2017. – №1. – с.90-97.
- [5]. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет технологических потерь электроэнергии в электрических сетях // Энергетик. – 2003. – №2. – с.29-33.
- [6]. Мартыненко А.С., Петрищев Н.А., Братченко Г.Д. Оценивание точности учета электрической энергии в зависимости от измерительной схемы // Биомедицинская инженерия и электроника. 2014. №1 (5). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenivanie-tochnosti-ucheta-elektricheskoy-energii-v-zavisimosti-ot-izmeritelnoy-shemy-1> (дата обращения: 24.08.2024).
- [7]. Солопченко Г.Н. Измерительные информационные системы. Учебное пособие. -2015, - 200с.
- [8]. Управление качеством электроэнергии: учеб. пособие / И.И. Карташев; под ред. Ю.В. Шарова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2016. – 320 с.
- [9]. Шклярский Я.Э. Влияние гармонического состава тока и напряжения на мощность искажения [Текст, с.]/ Я.Э. Шклярский, А.А. Брагин, В.С. Добуш// Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». -2012. -№4. -с.26-32.

## Summary

### Metrological support for the information-measurement system of electric energy accounting

Ganjayev N.E.

**Keywords:** phase slip, electrical energy, information and measurement system, indirect measurement, measurement error.

The primary features of the government tools used to measure electric energy include the errors that arise during electricity accounting, which is essential for the development of the national economy within an information-sharing system. Issues related to reducing these errors and the associated losses are also addressed.

The study analyzes the main characteristics of the measurement devices employed for electric energy accounting. It explores the causes and origins of errors in the measurement channel when developing an information-measurement system. Based on the analysis results, the sources of errors in measurement channels are identified according to the structural schemes of information-measurement systems utilizing various measuring devices (such as

voltmeters, ammeters, electric energy meters, and voltage and current transformers).

It has been demonstrated that errors in the measurement channel arise not only from the design and operating principles of the measuring instruments and signal processing devices but also due to distortions caused by harmonics in the voltage and current within the electrical network, as well as specific interferences. The primary sources of measurement errors in determining electric energy are mainly related to inaccuracies in measuring voltage, current, and phase shift, along with errors induced by temperature effects on the elements and devices used for these measurements.

Although temperature errors may not be immediately apparent, they can contribute to various types of inaccuracies. In this context, the importance of implementing temperature compensation or correction schemes has been emphasized once again.

#### **Резюме**

#### **Метрологическое обеспечение информационно-измерительной системы учета электрической энергии**

**Гянджаев Н.Э.**

**Ключевые слова:** фазовое скольжение, электрическая энергия, информационно-измерительная система, косвенное измерение, погрешность измерения.

К основным особенностям государственных инструментов измерения электроэнергии относятся ошибки, возникающие при учете электроэнергии, что необходимо для развития национальной экономики в рамках системы обмена информацией. Также рассматриваются вопросы снижения этих погрешностей и связанных с ними потерь.

В исследовании анализируются основные характеристики измерительных приборов, используемых для учета электроэнергии. Исследуются причины и происхождение погрешностей в измерительном канале при создании информационно-измерительной системы. По результатам анализа определены источники погрешностей в каналах измерения в соответствии со структурными схемами информационно-измерительных систем, использующих различные измерительные приборы (вольтметры, амперметры, счетчики электрической энергии, трансформаторы напряжения и тока).

Показано, что погрешности в канале измерения возникают не только из-за особенностей конструкции и принципа действия измерительных приборов и устройств обработки сигналов, но и вследствие искажений, вызванных гармониками напряжения и тока в электрической сети, а также специфическими помехами. Основные источники погрешностей измерений при определении электрической энергии в основном связаны с неточностями при измерении напряжения, тока и фазового сдвига, а также с погрешностями, вызванными температурным воздействием на элементы и устройства, используемые для этих измерений.

Хотя температурные погрешности могут быть не сразу заметны, они могут вносить свой вклад в различные виды неточностей. В связи с этим еще раз подчеркивается важность реализации схем температурной компенсации или коррекции.

UOT 681.5

DOI 10.54758/16801245\_2025\_25\_1\_97

## Organization of parametric synthesis methods for controllers in primary oil refining processes

Majidov Alirza Majid

*Institute of Control Systems, Baku, Azerbaijan, doctoral student*

[Elirza1996@mail.ru](mailto:Elirza1996@mail.ru)

| ARTICLE INFO                                                                                                              | ABSTRACT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Article history:</b><br/>Received: 03.10.2024<br/>Received in revised form: 24.12.2024<br/>Accepted: 26.02.2025</p> | <p><i>To control multidimensional complex systems, the elements that make up the system must be known. These systems are applied to multidimensional objects. The size of the objects is determined by the number of their control inputs and controlled outputs. The problem of parametric synthesis consists only in determining the parameters of these systems. For this, it is required to collect information in the system at equal intervals for each known object of the system. To solve this problem, experiments were organized on the example of regulators that form part of the system and the results were obtained.</i></p> |
| <p><b>Keywords:</b><br/>regulator, transition curve, identification, transfer function, mathematical model</p>            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

### 1. Introduction

Oil has a very complex composition. The processes for determining the composition of oil are quite simple. Each oil brand is determined based on other obtained compositions, and a certain quality indicator is assigned to it based on operating costs and demand for the specified products [1]. Among the oil refining enterprises included in the fuel and energy complexes, complex equipment that provides the primary processing of oil occupies a special place.

Oil heated to 350-400 °C in heating furnaces enters the rectification column. Then, the process of continuous evaporation and condensation of the components in the liquid state of the oil occurs in the column. The boiling temperature of the products in the plates placed horizontally should be close to each other. The upper plates contain fractions boiling at lower temperatures, and the lower plates contain fractions boiling at higher temperatures.

This complex equipment in itself constitutes a very complex system. In order to synthesize and analyze such systems, it is necessary to identify the object by control and excitation channels. The identification process implies obtaining transfer functions for control objects. After obtaining the transfer function of the object, parametric synthesis of the regulated system is performed. To obtain the transfer function, full detailed information about the object is required.

### 2. Problem

The ratio of the output quantity of an object to the input quantity under the initial conditions is called the transfer function [2]. Active experimental methods are often used to obtain these functions. In order to create a dynamic model of an object, impulse-shaped signals are given to the input, and the cases of deviations of the object from the regulation values can be analyzed according to the transition process curve obtained at the output. The main problem when setting the problem is that after the emergence of exciting effects, the object does not deviate from its regime values, that is, does not violate its regulation

### 3. Problem solution

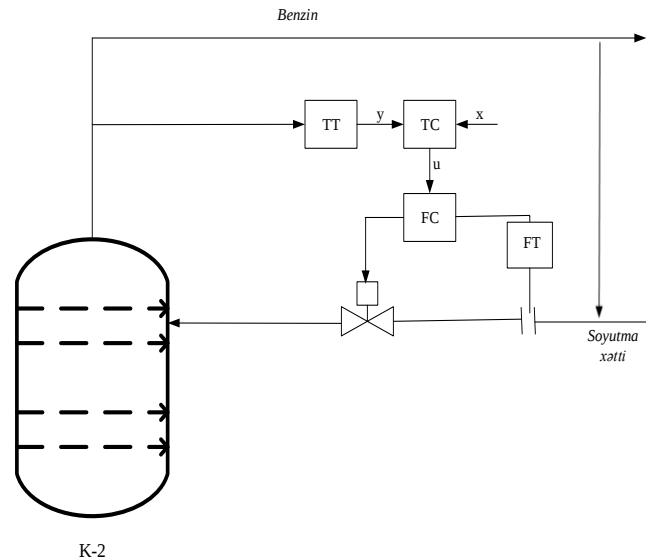
Identification of objects is understood as the determination of the structure and parameters of their mathematical models based on observations. Identification is a multi-stage operation, and several empirical statistical methods can be used during identification. In general, the problem of identification is the determination of a model that converts the input effects of an object into output quantities by various mathematical means [3].

During the solution of the problem, the issue of synthesis of a temperature control system in the upper part of the rectification column of the ELOU-AVT-6 unit was considered. For this, first of all, a regulator suitable for the regulated process is connected to the system. Here, it should be taken into account that the current temperature value often deviates from the regulation value depending on the exciting effects. For this reason, the difference between the regulation value and the current value should always be minimized. In such a case, when solving the problem under consideration, it is more appropriate to connect a PI-type controller to the system.

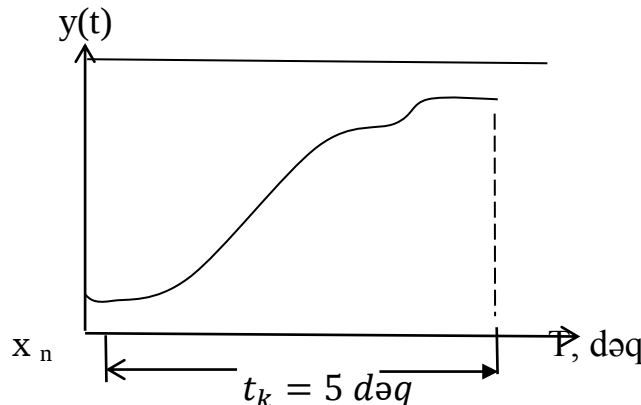
Before starting the experiment, the controller's tuning parameters must be changed,

$$W(p) = K_t, (T_i \rightarrow \infty, T_{dif} \rightarrow 0).$$

The optimal values of the required quality indicators of the transfer function of the controlled object and the tuning parameters of the controller must be calculated.



**Fig. 1.** Temperature controlling scheme in the rectification column.



**Fig. 2.** Transition curve of the controlling process.

The temperature controller (TC) receives information about the current temperature value (y) at the top of the column. The difference between the current value and the set value (x) is

compared in the temperature controller, and the final control signal is sent as a command signal to the input of the flow controller (FC).

If the current temperature at the top of the column exceeds the specified set value, the flow controller generates a final control signal and sends a command signal to the control valve on the cooling line, returning the cooling liquid back to the system, returning the temperature at the top of the column to the set value.

An analytical method using the amplitude-phase-frequency characteristic was used to calculate the tuning parameters of the temperature controller connected to the automatic control system. After connecting the PI controller to the closed-loop control system, the output signal of the controller in the process was  $u \approx 58\%$ , the temperature above the rectification column was  $y_0 \approx 95^\circ\text{C}$ , and the parameter setpoint was  $x \approx 95^\circ\text{C}$ . When the setpoint of the controller was increased, the following values corresponded to the new settled regime of the system  $u = 62\%$ ,  $y_1 = 99^\circ\text{C}$ ,  $x_1 = 99.5^\circ\text{C}$ .

According to these values, the transfer function of the system and the object is determined by the following formulas.

$$\begin{aligned} W_{\text{sis}}^{\text{qap}}(p) &= 0.83 \frac{0.131p + 1}{0.549p^2 + 1.156p + 1} \\ W_{\text{ob}}(p) &= 2.85 \frac{0.131p + 1}{3.873p^2 + 6.973p + 1} e^{-0.39p} \end{aligned} \quad (1)$$

The optimal values of the controller's tuning parameters were as follows

$$K_p = 2.93, T_u = 2.93,$$

#### 4. Conclusion

The synthesis of a control system consists of selecting the structure of the system, its elements and parameters to ensure the given quality indicators. The stability and quality indicators of the system depend on the formulation of its characteristic equation and coefficients. In solving the above problem, the characteristic equation of the system and coefficients for the controlled object were formulated. Within these coefficients, the control system will maintain its mode parameters at optimal values.

#### References

- [1]. F. H. Alekberli, U. X. Agayev, M. S. Salmanov. İdarəetmə sistemlərinin layihələndirilməsinin avtomatlaşdırılması, 2014- pp.80-87.
- [2]. Q. E. Rustemov. Automatic regulation systems, 2012, - pp.581-586.
- [3]. Nurullayev V.X., Seyfiyev F.Q. Analysis of petroleum product blending and cost-effective ways to increase fuel resources, « Azerbaijan Engineering Academy News », vol 8. № 1, 2016.
- [4]. Seferova A. A, Organization of experiments for the main devices of the primary oil refining technological complex, « Azerbaijan Engineering Academy News », vol 8. № 11, 2019.
- [5]. Khakimov F., Mukhtorov N., Khamdamova Sh., Introduction of energy-efficient technology in the primary oil refining process, «Uzbekistan Oil and Gas Scientific and Technical Journal», vol 3. №3, 2020.

**Xülasə**

**Neftin ilkin emali proseslərində tənzimləyicilər üçün parametrik sintez üsullarının təşkili**

**Məcidov E.M.**

**Açar sözlər:** *tənzimləyici, keçid əyrisi, identifikasiya, ötürmə funksiyası, riyazi model.*

Çoxölçülü mürəkkəb sistemləri idarə etmək üçün sistemi təşkil edən elementlər məlum olmalıdır. Bu sistemlər çoxölçülü obyektlərə tətbiq edilir. Obyektlərin ölçüsü onların nəzarət girişlərinin və idarə olunan çıxışlarının sayı ilə müəyyən edilir. Parametrik sintez problemi yalnız bu sistemlərin parametrlərinin müəyyən edilməsindən ibarətdir. Bunun üçün sistemin hər bir məlum obyekti üçün bərabər fasilələrlə sistemdə məlumat toplamaq tələb olunur. Bu problemi həll etmək üçün sistemin bir hissəsini təşkil edən tənzimləyicilərin timsalında təcrübələr təşkil edilmiş və nəticələr alınmışdır.

**Резюме**

**Разработка методов параметрического синтеза регуляторов в процессах первичной переработки нефти**

**Меджидов А.М.**

**Ключевые слова:** *регулятор, переходная кривая, идентификация, передаточная функция, математическая модель.*

Для управления многомерными сложными системами необходимо знать элементы, из которых состоит система. Эти системы применяются к многомерным объектам. Размер объектов определяется количеством их управляющих входов и управляемых выходов. Задача параметрического синтеза состоит лишь в определении параметров этих систем. Для этого необходимо собирать данные в системе через равные промежутки времени для каждого известного объекта в системе. Для решения этой проблемы были проведены эксперименты на примере регуляторов, входящих в состав системы, и получены результаты.

## Mündəricat \* Содержание \* Contents

**Riyaziyyat. Fizika**

1. Aliyeva K.H. Inverse heat conduction problem with Tikhonov regularization 4
2. Aliyeva K.P., Budagov I.C. Модель принятия решений функционирования промышленного робота в условиях неопределенности 9

**Kimya**

4. Salaxova E.A., Tagiev D.B., Alizada Y.E. Исследование влияния различных факторов на состав и качество нанопокровов в системе Re–Mo 16
5. Mammadov A.N., Mammadova G.S., Sharifova U.N., Mustafayeva A.N. Thermodynamic functions of formation of alunite, sodium and potassium aluminosilicates 24
6. Aslanova E.T., Rashedova M.H., Garaeva A.A., Atakiyeva V.O., Geydarova S.Y. Синтез нового высокоразветвленного ароматического полиэфирсульфоимида 30

**Ekologiya**

7. Gadzhieva S.P., Bayramov G.H., Mamedov P.Y. Приготовление композиционных алюминий-железосульфатных коагулянтов в качестве очистителей сточных вод, содержащих смесь отходов нефтепродуктов (СОНП) 36
8. Əliyeva A.Ş. Salyan torpaqlarının kimyəvi tərkibinin tədqiqi (Həsənli kəndi təmsalında) 42

**Biologiya**

9. Baxşaliyev A.E., Qəhrəmanova A.Y., Yunuszadə Z.Q., Azadəliyeva S.F., Hüseynov E.V. Nevrotik halların psixofiziologiyası 47
10. Əliyeva G.R. Çoxillik paxlalı bitkilərin göbələk xəstəlikləri 53

**Texnika**

11. İsgəndərov Ə.Ə. Sənəd dövriyyəsinin avtomatlaşdırılma prosesinin təşkili 56
12. İsmayilov Q.Q., Əliyev R.H., Qulubəyli Ə.P. Qazma alətinin tutulmasında Bernulli qüvvəsinin rolu 60
13. Rəsulov N.M., Ələkbərov M.Z. Surətköçürmə ilə dişpardaqlama səmərəliliyinin yüksəldilməsi məsələlərinə sistemli yanaşmanın analizi 66
14. Mamedov III.G. Исследование теплоотдачи при движении предельных углеводородов (н-гептан) в трубе при сверхкритических давлениях 72
15. İbayev E.A., Ömərova K.K. Təsadüfi dolaşmanın sərhəd funksionalının Laplas çevirməsi üçün kəsr tərtib diferensial tənliyin alınması 83
16. Gəncəyev N.E. Elektrik enerjisinin uçotu informasiya-ölçmə sisteminin metroloji təminatı 90
17. Majidov A.M. Organization of parametric synthesis methods for controllers in primary oil refining processes 97

---

|                  |                       |
|------------------|-----------------------|
| Məsul katib      | <i>S.Şahverdiyeva</i> |
| Texniki redaktor | <i>E.Həsəratova</i>   |

Çapa imzalanmışdır: 18.03.2025-ci il  
Mətbəə kağızı, kağızın formatı: 70\*108 ¼  
Yüksək çap üsulu. Həcmi: 23,18 ş.ç.v.  
Sifariş 18. Tiraj 250 nüsxə.  
Qiyməti müqavilə yolu ilə.

-----  
Sumqayıt Dövlət Universiteti  
Redaksiya və nəşr işləri şöbəsi

**Müxbir ünvan**

Azərbaycan, 5008, Sumqayıt, 43-cü məhəllə  
Tel: (0-12) 448-12-74  
(0-18) 644-70-41

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

**E-mail:** [sevda.shaxverdiyeva@sdu.edu.az](mailto:sevda.shaxverdiyeva@sdu.edu.az)

