



# Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının XƏBƏRLƏRİ

**HERALD**  
**of the Azerbaijan Engineering Academy**

**ВЕСТНИК**  
**Азербайджанской Инженерной Академии**

*Beynəlxalq elmi-texniki jurnal*  
*The international science-technical journal*  
*Международный научно-технический журнал*

Cild 11. № 2  
Vol. 11. № 2  
Том 11. № 2

**BAKİ – 2019**

**Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının  
XƏBƏRLƏRİ**  
*Beynəlxalq elmi-texniki jurnal*

**BAŞ REDAKTOR – AKADEMİK A.M. PAŞAYEV**  
**Baş redaktorun müavini – akademik Ə.X. Canəhmədov**

***REDAKSİYA HEYƏTİ:***

akademik Ə.M. Abbasov, akademik R.İ. Abdullayev, akademik H.S. Bağırov,  
akademik N.H. Cavadov, akademik B.H. Əliyev, akademik C.C. Əsgərov,  
akademik A.Z. Quliyev, akademik H.Ə. Məmmədov, akademik G.H. Məmmədova,  
akademik H.F. Mirələmov, akademik S.Y. Müslümov, akademik İ.R. Sadıqov

***REDAKSİYA ŞURASI:***

akademik B.V. Qusev (Rusiya), prof. N. Antoneski (Rumınıya), akademik R.Z. Saqdeyev (ABŞ),  
akademik Ə.X. Şahverdiyev (Rusiya), prof. Bravu Konstantin (İsrail), prof. Baur Reinhard (Almaniya),  
prof. F. Franek (Avstriya), akademik B.T. Jumaqulov (Qazaxistan), prof. Junq – Younq Son (Koreya),  
akademik A.V. Karimov (Özbəkistan), prof. D. Mavrakis (Yunanistan), akademik N.K. Mışkin (Belarusiya),  
prof. Nejdet Sağlam (Türkiyə), akademik V.E. Panin ((Rusiya), akademik A.İ. Prangışvili (Gürcüstan),  
akademik A.İ. Vasiliyev (Ukrayna)

---

---

*The international science-technical journal*  
**HERALD**  
**of the Azerbaijan Engineering Academy**

**CHIEF EDITOR – A.M. PASHAYEV, ACADEMICIAN**  
**Deputy editor – A.Kh. Janahmadov, academician**

***EDITORIAL BOARD:***

**A.M. Abasov**, academician, **R.I. Abdullayev**, academician, **H.S. Bagirov**, academician,  
**N.H. Javadov**, academician, **B.H. Aliyev**, academician, **J.J. Asgarov**, academician,  
**A.Z. Quliyev**, academician, **Q.A. Mamadov**, academician, **G.H. Mamadova**, academician,  
**H.F. Miralamov**, academician, **S.Y. Muslumov**, academician, **I.R. Sadigov**, academician

***EDITORIAL ADVISORY BOARD:***

**B.V. Gusev**, academician (Russia), **N. Antonesku**, professor (Romania), **R.Z. Saqdeev**, academician (USA),  
**A. Kh. Shahverdiyev**, academician (Russia), **Bravu Konstantin**, professor (Israel), **Baur Reinhard**, professor  
(Germany), **F. Franek**, professor (Austria), **B.T. Zhumagulov**, academician (Kazakhstan), **Jung – Young Son**,  
professor (Korea), **A.V. Karimov**, academician (Uzbekistan), **D. Mavrakis**, professor (Greece),  
**N.K. Mishkin**, academician (Belarus), **Nejdet Sağlam**, professor (Turkey), **V.E. Panin**, academician (Russia),  
**A.I. Prangishvili**, academician (Georgia), **A.I. Vasiliyev**, academician (Ukraine)

## TƏSİŞÇİ:

“Azərbaycan Mühəndislik Akademiyası” ictimai birlüyü.

Jurnal 2009-cu ilin noyabr ayından nəşr olunur.

Dövrliliyi ildə 4 dəfədir.

Azərbaycan Respublikası Ədliyyə Nazirliyində qeydiyyata alınmışdır. Qeydiyyat № 2965, 23.06.2009-cu il.

Jurnal Azərbaycan Respublikası Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının reyestrinə namizədlilik və doktorluq dissertasiyalarının nəticələrini dərc olunmaq üçün daxil edilmişdir.

Jurnal “Rusyanın elmi sitat indeksləşməsi” (RESİ) layihəsinə daxil edilib.

Jurnalının tam mətn elektron versiyası Rusiya Universal Elmi Elektron kitabxananın bazasında mövcuddur (<http://www.elibrary.ru>).

Jurnal Beynəlxalq elmi sitat sistemi SCOPUS və Clarivate Analytics (*keçmiş adı: Thomson Reuters*) qeydiyyatı prosesindədir.

Jurnal texniki elmlər üzrə referativ məlumatların beynəlxalq ingiliscilli bazasına daxil edilmişdir – “INSPEC”

Jurnalda abuna “Azərpocht” ASC-nin poçt bölmələrində yazılımaq olar. Abunə il boyu davam edir.

Abunə indeksi: Hüquqi və fiziki şəxslər üçün – 1156

Redaksiyanın ünvani: Azərbaycan Respublikası, AZ 1010,

Bakı şəhəri, K.Səfərəliyeva 22.

Tel/Faks: (+99412) 598 24 52

E-mail: amaxeber@yahoo.com

<http://ama.com.az>

REKLAMALARIN YERLƏŞDİRİLMƏSİ  
İLƏ ƏLAQƏDAR REDAKSIYAYA  
MÜRACİƏT EDƏ BİLƏRSİNİZ

## FOUNDER:

Public union “Azerbaijan Engineering Academy”

Journal published since November, 2009.

Issued 4 times a year.

Certificate about registration № 2965, june 23. 2009 was given by Ministry of Justice of the Republic of Azerbaijan.

Journal was included into the list of education for publication of result of candidate and doctoral thesis by the supreme Attestation Commission Attached to the President of the Republic of Azerbaijan.

The journal is part of the project “Russian Science Citation Index” (RSCI).

The full text of journal is available electronically through Russian Universal Scientific Electronic Library database (<http://www.elibrary.ru>).

The journal is in the process of registration in the international system of scientific citing SCOPUS and Clarivate Analytics (*formerly known as Thomson Reuters*).

Journal was included into international English – language abstracts database on technical sciences “INSPEC”

Subscription to journal may be drawn up at post offices of OJSC “Azerpocht” Subscription index:

For juristic and for natural persons – 1156

Address of editorial offices:

Azerbaijan Republic, AZ 1010,

Baku, K.Safaraliyeva 22.

Tel/Fax: (+99412) 598 24 52

E-mail: amaxeber@yahoo.com

<http://ama.com.az>

CONCERNING ADVERTISING  
PLACING TO ADDRESS  
IN EDITION

## УЧРЕДИТЕЛЬ:

Общественное объединение  
«Азербайджанская Инженерная Академия».

Журнал издается с ноября 2009 года.  
Выходит 4 раза в год.

Зарегистрирован Министерством Юстиции Азербайджанской Республики. № регистрации: 2965 от 23.06.2009 г.

Журнал включен в перечень изданий, рекомендованных для публикации основных результатов кандидатских и докторских диссертаций Высшей аттестационной комиссии при Президенте Азербайджанской Республики.

Журнал представлен в проекте «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ).

Полнотекстовая электронная версия журнала размещена в базе данных Российской универсальной научной электронной библиотеки (<http://www.elibrary.ru>).

Журнал находится в процессе регистрации в международной системе научного цитирования SCOPUS и Clarivate Analytics (*прежнее название: Thomson Reuters*).

Журнал включен в международную англоязычную базу реферативных данных по техническим наукам INSPEC.

Подписка на журнал осуществляется в отделениях ОАО «Азерпочта». Подписка продолжается в течение года.

Индекс подписки для юридических и физических лиц: 1156.

Адрес редакции: Азербайджан, AZ1010, г. Баку, ул. К.Сафаралиева, 22.

Тел./Факс: : (+99412) 598 24 52

E-mail: amaxeber@yahoo.com

<http://ama.com.az>

ПО ВОПРОСАМ РАЗМЕЩЕНИЯ  
РЕКЛАМЫ ОБРАЩАТЬСЯ  
В РЕДАКЦИЮ

# M Ü N D Ə R İ C A T

## Tətbiqi fizika

- Cavadov N.H., Əsgərov K.Ə.  
PT-3V ərintisinin fiziki xassələrinin tədqiqi ..... 7

## Mexanika və məşinqavırma

- Canəhmədov Ə.X., Volçenko A.İ., Cavadov M.Y.,  
Volçenko N.A., Juravlyov D.Y., Fedotov Y.S.  
Əyləc qurğularının tribopovşagının istismar parametrlərinə rütubətin təsiri və  
onların səthdən götürülməsi ..... 15
- Qafarov A.M., Süleymanov P.H., Kəlbiyev F.M., Qafarov V.A.  
Ekstremal vəziyyətlərdə işləyən maşın və avadanlıqların etibarlığının və  
uzunömürlüyünün tədqiqində riyazi metodların analizi ..... 24
- Pənahov T.M., Əhmədov V.İ., İsayeva A.Ə.  
Ovuntu poladinin maqnit xarakteristikalarına elastik dərtilmanın təsiri ..... 33
- İbrahimov N.Y.  
Pistonlu nasolsarda piston-oymaq cütünün yeyilmə xarakteristikası və bərpası üçün  
təkrar emal prosesi ..... 37
- Rəhimova M.S., Qafarov F.M., Namazova G.İ.  
Magistral boru kəmərlərinin həlqəvi qaynaq birləşmələrinin etibarlığının tədqiqi ..... 43

## Neft və qaz

- Həbibov İ.Ə., Nəcəfquliyeva R.S.  
Soyuducu qurğuda istilikötürmə prosesin modelləşməsi əsasında yekun  
temperaturun paylanması qıymətləndirilməsi ..... 47
- İsmayılov Q.Q., İskəndərov E.X., İsmayılova F.B., Məlikov M.A.  
Neftin qarışmasının və sulaşmasının donma temperaturuna təsirinin tədqiqi ..... 52
- Adıgözəlova M.B.  
Nefin qrup tərkibinə onların qarışmasının təsiri ..... 57

## Neft - kimya texnologiyası

- Əhmədov B.C.  
Geniş hal parametrlərində butanol-1 və dizel B0 yanacağı qarışığının istilik tutumu ..... 62
- Hüseynova E.A.  
Vakuum qazoylunun oksikrekinq məhsullarında aromatik karbohidrogenlərin qrup tərkibi ..... 70
- Cəfərov V.C., Bektaşı S.Ə., Xəlilova S.M., Babayeva G.R., Quliyeva G.N.  
Xarici və sərt mühitə davamlı polimer kompozisiyaların yaradılması ..... 77
- Mustafayeva R.E.  
Kauçukun kimyəvi modifikasiyası prosesinin planlaşdırılması üsulu ilə tədqiqi ..... 83

## Enerji

- Balametov Ə.B., Xəlilov E.D.  
Elektrik şəbəkələrinin rejimlərinin modelləşdirilməsi üçün qərarlaşmış rejim və istilik  
balansı tənliklərinin birgə tətbiqi ..... 93

## İnformasiya texnologiyası

- Səfərova A.A.  
Neftin ilkin emalı texnoloji kompleksinin əsas aparatları üçün eksperimentlərin təşkili ..... 104

## Iqtisadiyyat

- Vəliyev R.G., Dışın O.A., Canəhmədov A.Ə.  
Ekonomika – statistik fizikanın konsepsiyanının tətbiqi ilə riyazi iqtisadiyyatın yeni metodu ..... 108
- İsmayılova R.A.  
Azərbaycanda məhsulların fərdləşdirmə vasitələrinin hüquqi tənzimlənməsi məsələləri ..... 118

## Ekologiya

- Əhmədov Ş.Ə., Əhmədova M.S.  
Qlobal iqlimin çoxillik dəyişmələrinin mövsümi xüsusiyyətləri və onların səbəbləri ..... 123

## Müsabiqə elan ..... 130

## C O N T E N T S

### Applied Physics

- Javadov N.G., Askerov K.A.**  
Research physical properties of PT-3V alloy ..... 7

### Mechanics and Mechanical Engineering

- Janahmadov A.Kh., Volchenko A.I., Javadov M.Y., Volchenko N.A., Zhuravlev D.Y., Fedotov E.S.**  
Influence of moisture on the triboso-pryazheny operational parameters of brake mechanisms and its removal from their surfaces..... 15
- Gafarov A.M., Suleymanov P.H., Kalbiyev F.M., Gafarov V.A.**  
Analysis of mathematical methods in the study of reliability and durability of machines and equipment working in extreme condition ..... 24
- Panahov T.M., Ahmedov V.I., Isayeva A.A.**  
Effect of elastic tension on the magnetic characteristics of recycled steel ..... 33
- Ibragimov N.Y.**  
Haracteristics and re-treatment for restoration of reciprocating piston pumps ..... 37
- Ragimova M.S., Gafarov F.M., Namaqzova Q.I.**  
Research of reliability of ring weld of pipeline connections ..... 43

### Oil and Gas

- Habibov I.A., Najafquliyeva R.S.**  
Estimation of the final temperature distribution in the heat exchanger based on the heat transfer process ...47
- Ismaylov G.G., Iskenderov E.Kh., Ismaylova F.B., Melikov M.A.**  
Investigation of influence of water encroachment and combination of oils on freezing point .....52
- Adygezalova M.B.**  
The effect of oil mixing on their group structure .....57

### Chemical Technology

- Ahmadov B.C.**  
Specific heat capacity of 1-butanol and diesel B0 fuel blends at wide range of state parameters .....62
- Guseinova E.A.**  
Group composition of aromatic hydrocarbons in vacuum gasoline oxycracking products .....70
- Jafarov V.D., Bektashi S.A., Khalilova S.M., Babayeva G.R., Guliyeva G.N.**  
The creation of polymer compositions resistant to external and aggressive media .....77
- Mustafayeva R.E.**  
Study of process chemical modification rubber by a method of planning experiment .....83

### Energetics

- Balametov A.B., Halilov E.D.**  
Application of combined equations of the steady-state and thermal balance for modeling electrical network modes .....93

### Information Technology

- Safarova A.A.**  
Organization of experiments for the main apparatus of oil refining technology complex .....104

### Economics

- Veliev R.Q., Dyshin O.A., Janahmadov A.A.**  
Econophysics – the newest method of mathematical economy with use of concepts of statistical physics .....108
- Ismayilova R.A.**  
About legal regulation of goods individualization means in Azerbaijan .....118

### Ecology

- Axmadov Sh.A., Axmadova M.Sh.**  
Seasonal features of the long-term changes in global climate and their causes .....123

- Announcement of the competition** .....130

# СОДЕРЖАНИЕ

## Прикладная физика

**Джавадов Н.Г., Аскеров К.А.**

Исследование физических свойств сплава ПТ-3В ..... 7

## Механика и машиностроение

**Джанахмедов А.Х., Вольченко А.И., Джавадов М.Я.,**

**Вольченко Н.А., Журавлев Д.Ю., Федотов Е.С.**

Влияние влаги на эксплуатационные параметры трибосопряжений тормозных устройств и ее удаление с их поверхностей ..... 15

**Гафаров А.М., Сулейманов П.Г., Калбиев Ф.М., Гафаров В.А.**

Анализ математических методов при исследовании надежности и долговечности машин и оборудования, работающих в экстремальных условиях ..... 24

**Панахов Т.М., Ахмедов И.В., Исаева А.А**

Влияние упругого натяжения на магнитные характеристики утилизированной стали ..... 33

**Ибрагимов Н.Ю.**

Характеристика изнашивания и повторная обработка для восстановления цилиндра-поршня поршневых насосов ..... 37

**Рагимова М.С., Гафаров Ф.М., Намазова Г.И.**

Исследование надежности кольцевых сварных соединений магистральных трубопроводов ..... 43

## Нефть и газ

**Габибов И.А., Наджафгулиева Р.С.**

Оценка распределения конечной температуры в теплообменнике на основе моделирования процесса теплопередачи ..... 47

**Исмайилов Г.Г., Искендеров Э.Х., Исмайилова Ф.Б., Меликов М.А.**

Исследование влияния обводнения и смешения нефтей на температуру застывания ..... 52

**Адыгезалова М.Б.**

О влиянии смешения нефтей на их групповой состав ..... 57

## Нефтехимические технологии

**Ахмедов Б.Д.**

Теплоемкость раствора бутанол-1 и дизельное топливо в широком диапазоне параметров состояния ..... 62

**Гусейнова Э.А.**

Групповой состав ароматических углеводородов в продуктах оксикрекинга вакуумного газойля ..... 70

**Джафаров В.Д., Бекташи С.А., Халилова С.М., Бабаева Г.Р., Гулиева Г. Н.**

Создание полимерных композиций устойчивых к внешним и агрессивным средам ..... 77

**Мустафаева Р.Э.**

Исследование условий получения химически модифицированного каучука методом многофакторного планирования ..... 83

## Энергетика

**Баламетов А.Б., Халилов Э.Д.,**

Применение комбинированных уравнений установившегося режима и теплового баланса для моделирования режимов электрических сетей ..... 93

## Информационные технологии

**Сафарова А.А.**

Организация экспериментов для основных аппаратов нефтеперерабатывающего технологического комплекса ..... 104

## Экономика

**Велиев Р.Г., Дышин О.А., Джанахмедов А.А.**

Эконофизика – новейший метод математической экономики с использованием концепции статистической физики ..... 108

**Исмайлова Р.А.**

К вопросу о правовом регулировании средств индивидуализации товаров в Азербайджане ..... 118

## Экология

**Ахмедов Ш.А., Ахмедова М.Ш.**

Сезонные особенности многолетних изменений глобального климата и их причины ..... 123

**Объявление о конкурсе** ..... 130

УДК 669.176..539.26

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВА ПТ-3В

Н.Г. ДЖАВАДОВ\*, К.А. АСКЕРОВ\*\*

---

В статье изучены текстура и ориентационная зависимость модуля Юнга ( $E$ ), удельного электросопротивления ( $\rho$ ) и магнитной восприимчивости ( $\chi$ ) промышленных листов сплава ПТ-3В после холодной деформации, определены упругие и кинетические характеристики монокристаллов сплава ПТ-3В. Установлен вклад структурной и кристаллографической составляющих в электрическое сопротивление рассматриваемых листов. Рассчитан коэффициент текстурного упрочнения таких листов в условиях двухосного сбалансированного нагружения.

**Ключевые слова:** *текстурное упрочнение, двухосное сбалансированное нагружение, магнитная восприимчивость, анизотропия, гексагональный ортотропный лист.*

---

**Введение.** Развитие современной космической инновационной технологии открывает новые возможности для получения материалов и сплавов, используемых в космических летательных аппаратах. Благодаря уникальному сочетанию прочностных и пластических свойств сплавы системы Ti – Al – V; BT6, BT6<sub>c</sub>, ПТ-3В и ПТ-3В<sub>кт</sub> нашли широкое применение в промышленности.

**Состояние проблемы.** В литературе изучены возможности управления кристаллографической текстурой, развитие анизотропии механических свойств в изделиях этих сплавов посредством различных видов термомеханической обработки [1, 2]. Нами исследованы физических свойств данных материалов: удельного электросопротивления ( $\rho$ ), магнитной восприимчивости ( $\chi$ ), теплопроводности, эффекта Холла, которые в литературе практически не изучены. Эти характеристики не являются служебными, но имеют ту же физическую природу, что и механические свойства. Поэтому естественной является постановка задачи о прогнозировании и контроле таких свойств, как предел текучести ( $\sigma_0$ ), предел прочности, коэффициент текстурного упрочнения (к.т.у.) по данным анизотропии физических свойств.

**Постановка задачи.** В данной работе рассматривается текстура и ориентационная зависимость модуля Юнга ( $E$ ), удельного электросопротивления ( $\rho$ ) и магнитной восприимчи-

---

\* Азербайджанская Инженерная академия

\*\* Министерство обороны промышленности Азербайджана

вости ( $\chi$ ) промышленных листов сплава ПТ-3В после холодной деформации, определяются упругие и кинетические характеристики монокристаллов сплава ПТ-3В и рассчитывается коэффициент текстурного упрочнения листов в условиях двухосного сбалансированного погружения.

Исходным материалом для исследований служили промышленные листы ПТ-3В, прокатанные при температуре 800<sup>0</sup>С. Деформация проводилась при комнатной температуре на прокатном стане с диаметром валков 160 мм до обжатия  $\varepsilon=20$ , 40, 60 и 80% по толщине. Из полученных листов вырезали образцы для рентгенографических исследований. Полярные фигуры определялись рентгенографический в Cu-K<sub>α</sub> излучении методом на отражение и просвет на рентгенографическом дифрактометре "ДРОН-3М" с учетом дефоксировки по работе [3]. Полярные фигуры (ПФ) {0002} сплава ПТ-3В после различных степеней деформаций холодной прокаткой в продольном направлении представлены на рис. 1.

Для изучения ориентационной зависимости модуля Юнга и удельного электросопротивления из полученных листов вырезали в плоскости прокатки прямоугольные образцы длиной 100 и шириной 10 мм под различными углами к направлению прокатки НП:  $\phi=0, 15, 30, 45, 60, 75$  и 90<sup>0</sup>. Экспериментальные значения величин модуля Юнга ( $E^3$ ) определялись динамическим методом, а удельного электросопротивления ( $\rho$ ) – четырехзондовым методом. Статистическая обработка полученных данных дала для модуля Юнга относительную погрешность 1%, а для  $\rho$  - 0,6% при коэффициенте надежности 0,98. При построении функций  $E(\phi)$  и  $\rho(\phi)$  учли внешнюю оптотропную симметрию листа, аформированную прямой прокаткой. В этом случае Фурье-разложение ориентационной зависимости  $[E(\phi)]^{-1}$  содержит три коэффициента  $A_0, A_2, A_4$ , а  $\rho(\phi)$  – два коэффициента  $B_0, B_2$ :

$$[A(\phi)]^{-1} = A_0 + A_2 \cos 2\phi + A_4 \cos 4\phi \quad (1)$$

$$\rho(\phi) = B_0 + B_2 \cos 2\phi \quad (2)$$

Нахождение значений  $A_0, A_2, A_4, B_0, B_2$  осуществляли из условия минимизации форм:

$$\sum_{i=1}^7 [1/E^3(\phi_i) - (A_0 + A_2 \cos 2\phi_i + A_4 \cos 4\phi_i)]^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^7 [\rho^3(\phi_i) - (B_0 + B_2 \cos 2\phi_i)] \rightarrow \min \quad (4)$$

Дифференцируя (3) и (4), получаем системы уравнений относительно  $A_0, A_2, A_4$  и  $B_0, B_2$ :

$$\begin{aligned} 7A_0 + A_2 \sum_{i=1}^7 \cos 2\phi_i + A_4 \sum_{i=1}^7 \cos 4\phi_i &= \sum_{i=1}^7 1/E^3(\phi_i) \\ A_0 \sum_{i=1}^7 \cos 2\phi_i + A_2 \sum_{i=1}^7 \cos^2 2\phi_i + A_4 \sum_{i=1}^7 \cos 2\phi_i \cdot \cos 4\phi_i &= \sum_{i=1}^7 \cos 2\phi_i / E^3(\phi_i) \\ A_0 \sum_{i=1}^7 \cos 4\phi_i + A_2 \sum_{i=1}^7 \cos 2\phi_i \cdot \cos 4\phi_i + A_4 \sum_{i=1}^7 \cos^2 4\phi_i &= \sum_{i=1}^7 \cos 4\phi_i / E^3(\phi_i) \end{aligned} \quad (5)$$

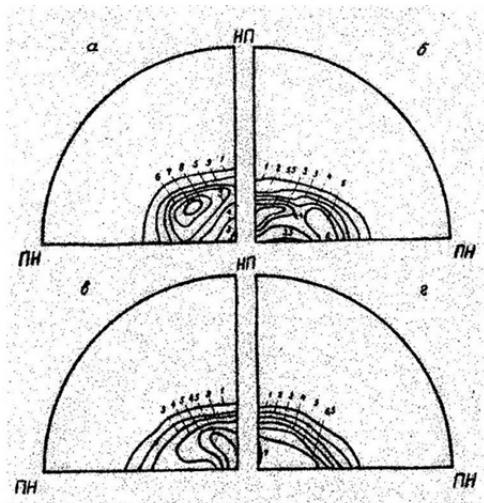


Рис. 1. Полярные фигуры {0002} листов сплава ПТ-3В после холодной прокатки  
а) до 20, б) - 40, в) - 60, г) - 80% обжатия

$$7B_0 + B_2 \sum_{i=1}^7 \cos 2\varphi_i = \sum_{i=1}^7 \rho^3(\varphi_i)$$

$$B_0 \sum_{i=1}^7 \cos 2\varphi_i + B_2 \sum_{i=1}^7 \cos^2 2\varphi_i = \sum_{i=1}^7 \rho^3(\varphi_i) \cos 2\varphi_i \quad (6)$$

Графики функций  $E(\varphi)$  и  $\rho(\varphi)$ , рассчитанных по (1), (2), коэффициенты в которых определены из систем уравнений (5), (6), приведены на рис. 2 и 3.

В интервале  $[0; 90^\circ]$  ориентационная зависимость  $E(\varphi)$  и  $\rho(\varphi)$  для всех исследуемых листов является монотонной, причем максимум функции  $E(\varphi)$  наблюдается в поперечном направлении (НП), функции  $\rho(\varphi)$  – в НП.

Листы, прокатанные до  $\varepsilon = 20\%$ , практически изотропны в плоскости листа относительно величин  $E$  и  $\rho$ . Прокатка до  $E=40\%$  приводит к росту коэффициента анизотропии модуля Юнга  $\eta_E = (E_{\max} + E_{\min} / E_{\min}) \cdot 100\%$  до 10%, а для удельного электросопротивления до 1,2%. Дальнейшая прокатка практически не изменяет характер ориентационной зависимости величин  $E$  и  $\rho$ .

Для изучения анизотропии магнитной восприимчивости сплава ПТ-3В вырезались образцы в виде прямоугольных параллелепипедов массой не более 30 мг под теми же углами к направлению прокатки (НП), что и для  $E$  и  $\rho$ . Перед измерениями образцы обжигались при  $400^\circ\text{C}$  в вакууме в течение 1 часа для снижения влияния наклепа и протравливались на глубину  $\sim 0,2$  мм для снятия нарушенного при резке поверхностного слоя. После травления образцы промывались в спирте и дважды дистиллированной десионизованной воде.

Измерения экспериментальных зависимостей магнитной восприимчивости (МВ) от напряженности магнитного поля ( $H$ ) проводились методом Фарадея, который основан на измерении силы, действующей на исследуемый образец, помещенный в неоднородное магнитное поле. Основной частью измерительной установки являются очень чувствительные торсионные весы, которой точность измерений составляла 1%. Установка позволяет проводить измерения

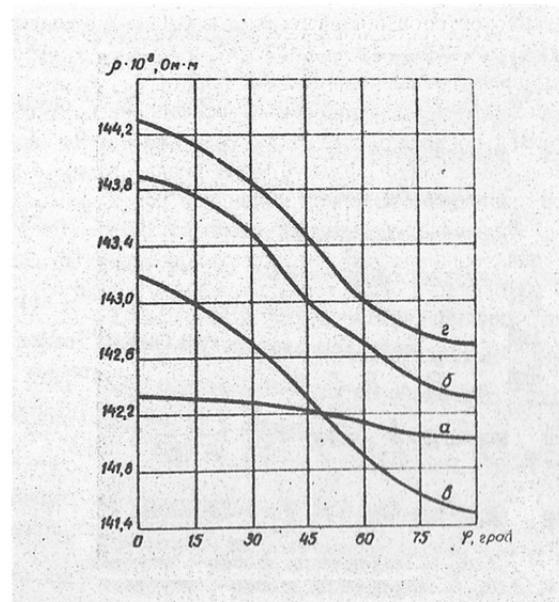


Рис.2. Зависимость удельного электросопротивления от направления в листах сплава ПТ-3В после холодной прокатки  
а) до 20, б) - 40, в) - 60, г) - 80% обжатия

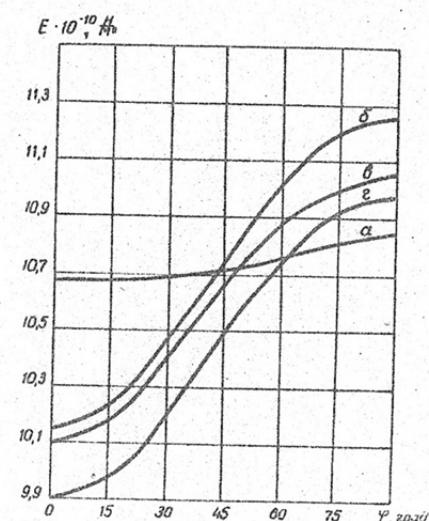


Рис.3. Анизотропия модуля Юнга в листах сплава ПТ-3В после холодной прокатки  
а) до 20, б) - 40, в) - 60, г) - 80% обжатия

МВ в магнитных полях напряженностью от 0,3 до 6 кЭ.

Анизотропия магнитной восприимчивости измерялась при двух ориентациях исследуемых образцов относительно магнитного поля. Первая ориентация соответствовала нормальному направлению к плоскости листа (НН), а вторая определялась углами вырезки образца из прокатного листа, которые составляли соответственно 0, 15, 30, 45, 60, 75, и 90 градусов к направлению прокатки (НП). Экспериментальные значения МВ, влияние степени деформации на анизотропию магнитной восприимчивости ( $\chi$ ) в плоскости листа и в нормальном направлении к плоскости прокатки (НН), при  $\chi \cdot 10^{11} \text{ м}^3/\text{кг}$  приведены в табл.1.

**Табл. 1.**  
**Экспериментальные значения МВ**

<b>Ф</b>	$\varepsilon = 20\%$		$\varepsilon = 40\%$		$\varepsilon = 60\%$		$\varepsilon = 80\%$	
	$\chi_{\text{НН}}$	$\chi$ в плоскости прокатки	$\chi_{\text{НН}}$	$\chi$ в плоскости прокатки	$\chi_{\text{НН}}$	$\chi$ в плоскости прокатки	$\chi_{\text{НН}}$	$\chi$ в плоскости прокатки
0°	347	284	342	278	346	274	345	275
15°	346	286	345	281	347	273	347	274
30°	341	288	342	283	344	270	344	271
45°	343	289	344	280	345	271	342	275
60°	344	282	346	281	348	275	345	276
75°	345	284	345	284	349	275	347	270
90°	344	286	341	282	343	273	343	274

В отличие от [4] нелинейность полевых зависимостей  $\chi = \chi(H)$  оказалась в пределах погрешности эксперимента (1%). Для каждой степени обжатия значения  $\chi_{\text{НН}}$  усреднялись. Значения  $\chi_{\text{НП}}$  и  $\chi_{\text{ПН}}$  определялись из соотношений аналогичным (2, 4, 6). Результаты расчета значения магнитной восприимчивости ( $\chi$ ) сплава ПТ-3В, полученные статистической обработкой экспериментальных данных ( $\chi \cdot 10^{11} \text{ м}/\text{кг}$ ), представлены в табл.2.

**Табл. 2**

**Результаты расчета значения магнитной восприимчивости**

$\varepsilon, \%$	$\chi_{\text{НН}}$	$\chi_{\text{НП}}$	$\chi_{\text{ПН}}$
20	$345 \pm 1$	$286 \pm 4$	$285 \pm 2$
40	$344 \pm 2$	$280 \pm 4$	$283 \pm 3$
60	$344 \pm 2$	$275 \pm 4$	$285 \pm 3$
80	$346 \pm 2$	$272 \pm 4$	$272 \pm 2$

Пользуясь моделью ортотропного листа, установили аналитическую связь между свойствами второй тензорной размерности моно- и поликристалла гексагональной симметрии через интегральные характеристики текстуры (ИХТ):

$$\begin{aligned} I_1 &= \langle \alpha_{13}^2 \rangle ; & I_2 &= \langle \alpha_{23}^2 \rangle ; & I_3 &= \langle \alpha_{33}^2 \rangle ; \\ I_4 &= \langle \alpha_{13}^4 \rangle ; & I_5 &= \langle \alpha_{23}^4 \rangle ; & I_6 &= \langle \alpha_{13}^2 \cdot \alpha_{23}^2 \rangle . \end{aligned}$$

< > - означает усреднение направляющих косинусов  $a_{ik}$ , задающих ориентацию кристаллита относительно системы координат, связанной с листом (НП, ПН, НН), по всем возможным ориентациям. Интегральные характеристики текстуры рассчитывались из полюсной плотности прямой полюсной фигуры (ППФ) (0002) по [12]. Результаты расчета интегральные характеристики текстуры (ИХТ) листов сплава ПТ-3В после холодной прокатки с различными степенями обжатий представлены в табл. 3.

**Результаты расчета интегральные характеристики текстуры**

**Табл. 3**

$\varepsilon, \%$	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	I <sub>6</sub>
20	0,117	0,132	0,751	0,025	0,031	0,111
40	0,718	0,181	0,748	0,011	0,060	0,009
60	0,686	0,170	0,761	0,011	0,060	0,007
80	0,509	0,158	0,791	0,006	0,052	0,005

Для листов сплава ПТ-3В по данным ИХТ и анизотропии магнитной восприимчивости (МВ) рассчитаны компоненты тензора магнитной восприимчивости соответствующего монокристалла из выражений:

$$(\chi_{\text{пп}} + \chi_{\text{пн}}) / 2 = \chi_1 + (\chi_3 - \chi_1) \cdot (I_1 + I_2) / 2$$

$$\chi_{\text{нн}} = \chi_1 + (\chi_3 - \chi_1) \cdot I_3$$

Значения  $\chi_i$  монокристаллов сплава при доверительной вероятности 0,96 составили:  
 $(\chi_i = 268 \pm 6$  и  $\chi_3 = 368 \pm 10) \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1}$ .

В работе [5] показано, что нелинейность полевых зависимостей может быть следствием одной из трех причин:

1. Выделение ферромагнитных примесей, содержащихся всегда в парамагнитных металлах в твердом растворе, в виде самостоятельной фазы, в результате пластической деформации [6].
2. Изменение спектра электронов, которое происходит вследствие увеличения или уменьшения межатомных расстояний, что приводит к изменению числа элементарных магнитных моментов [7].
3. Существование в ядрах дислокаций большого числа носителей магнитного момента, между которыми существует обменное взаимодействие, обуславливающее появление ферромагнитной структуры [8].

В пользу дислокационной модели ферромагнетизма [8] свидетельствуют экспериментальные исследования [9], в которых установлена корреляция плотности дислокаций с величиной нелинейности полевых зависимостей  $\chi = \chi(H)$ .

Согласно этой модели, появление зависимости МВ от напряженности магнитного поля (H) в пластически деформированных кристаллах указывает на то, что они приобрели ферромагнитные свойства в процессе пластической деформации. На основании этого можно ожидать, что отсутствие полевых зависимостей  $\chi = \chi(H)$  указывает на малую величину структурного вклада как в физические, так и в механические свойства изучаемых листов сплава ПТ-3В.

Для проверки этой гипотезы из данных по  $\rho_{\text{пп}}$  и  $\rho_{\text{пн}}$  и интегральных характеристик текстуры (ИХТ) [10] определялись с учетом межзеренного взаимодействия по [11] компоненты тензора удельного электрического сопротивления монокристаллов  $\rho_1$  и  $\rho_3$ , а затем рассчитывались структурный и кристаллографический вклады в удельное электросопротивление рассматриваемых листов. Значения  $\rho_1$ ,  $\rho_3$  монокристаллов сплава ПТ-3В составили:  $\rho_1 = 144,3 \cdot 10^{-8}$  Ом·м ;  $\rho_3 = 128,3 \cdot 10^{-8}$  Ом·м. Кристаллографический вклад рассчитывается по формуле [10]:

$$\rho_{\text{крист}}^i = (\rho_3 - \rho_1) l_i + \rho_1 \quad (7)$$

$i = 1, 2, 3$  соответствует НП, ПН, НН соответственно, а структурный вклад по [11]:

$$\rho_{\text{структур.}}^i = -(\rho_3 - \rho_1)^2 [l_i - (l_i)^2] / 2\rho_1 + \rho_3. \quad (8)$$

Табл. 4.

**К.т.у. и расчетные значения структурного и кристаллографического вклада и  
удельное электросопротивление листов**

$\varepsilon, \%$	$\rho_{\text{пп}} \cdot 10^8, \text{ом}\cdot\text{м}$		$\rho_{\text{пн}} \cdot 10^8, \text{ом}\cdot\text{м}$		$\rho_{\text{пн}} \cdot 10^8, \text{ом}\cdot\text{м}$		К.т.у.
	структур.	кристал.	структур.	кристал.	структур.	кристал.	
20	-0,34	132,3	-0,6	142,40	-0,07	142,30	1,29
40	-0,12	132,24	-0,01	143,90	-0,00	142,30	1,33
60	-0,11	132,14	-0,04	143,18	-0,09	141,55	1,31
80	-0,10	131,66	-0,03	144,31	-0,02	142,70	1,31

Из данных, приведенных в табл. 4, следует, что структурный вклад можно не учитывать при рассмотрении свойств исследованных листов. Полученные результаты позволяют использовать кристаллографическую связь [10] упругих свойств моно- и поликристаллов и применить к оценке к.т.у. гипотезу Е. К. Ашкенази о геометрическом подобии ориентационной прверхности  $1/E(\phi)$  и  $1/\bar{\sigma}_{0,2}(\phi)$  [13]. В работе [10] с пренебрежением межзеренного взаимодействия получена связь  $E(\phi)$  гексагональноортотропного листа с константами податливости монокристаллов  $S_{ik}$ :

$$E(\phi) = [x + 2y\psi^T_2(\phi) + Z\psi^T_4(\phi)]^{-1} \quad (9)$$

где  $x = S_{11}$  ;  $y = S_{13} - S_{11} + \frac{1}{2}S_{44}$  ;  $Z = S_{11} + S_{33} - 2S_{13} - S_{44}$

$$\psi^T_2(\phi) = I_1 \cos^4 \phi + I_2 \sin^4 \phi + \frac{1}{4}(I_1 + I_2) \sin^2 2\phi$$

$$\psi^T_4(\phi) = I_4 \cos^4 \phi + I_5 \sin^4 \phi + 1,5 I_6 \sin^2 2\phi$$

Из результатов по  $E(\phi)$ ,  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_4$ ,  $l_5$ ,  $l_6$  посредством метода нелинейного программирования из [9] получено:

$$S_{11} = 1,0778 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{Н} ; \quad S_{33} = 0,9392 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{Н} ; \quad 2S_{13} + S_{44} = 0,657 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{Н} . \quad (10)$$

Рассматривая значения модуля Юнга в НН как компоненту  $S_{3333}$  ортотропного листа, рассчитали  $E_{\text{HH}}$  по формуле [9]:

$$E_{\text{HH}} = (S_{3333})^{-1} = x + 2yl_3 + Z(1 - 2I_1 - 2I_2 + I_4 + I_5 + I_6) \quad (11)$$

Коэффициент текстурного упрочнения (к.т.у.) листов в условиях двухосного сбалансированного нагружения оценивали, согласно гипотезе Е. К. Ашкенази, по формуле:

$$\text{к.т.у.} = \sigma_{02\text{HH}} / \sigma_{02}(\phi)_{\min} = E_{\text{HH}} / E(\phi)_{\min} \quad (12)$$

К.т.у. и расчетные значения структурного и кристаллографического вклада и удельное электросопротивление листов сплава ПТ-3В представлены в табл.4.

Из полученных результатов (таб.4) следует, что деформация холодной прокаткой практически не изменяет к.т.у. листов сплава ПТ-3В в условиях двухосного сбалансированного нагружения.

**Заключение.** Ориентационная зависимость модуля Юнга и удельного сопротивления в интервале  $[0; 90^{\circ}]$  является монотонной, причем максимум модуля Юнга достигается в поперечном направлении, а удельного электросопротивления – в направлении прокатки листа. Максимальная анизотропия данных свойств наблюдается при прокатке со степенью  $\varepsilon = 40\%$ . Анизотропия магнитных свойств в плоскости листа практически отсутствует.

Анизотропия магнитных и электрических свойств листов сплава ПТ-3В в основном определяется кристаллографической текстурой. Структурный вклад можно не учитывать при рассмотрении свойств исследованных листов.

Компоненты тензоров податливости, удельного электросопротивления и магнитной восприимчивости монокристалла сплава ПТ-3В равны:

$$(S_{11} = 1,0778; S_{33} = 0,9392; 2S_{13} + S_{44} = 0,657) \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{Н},$$

$$(\rho_1 = 144,3; \rho_3 = 128,3) \cdot 10^{-8} \text{ ом}\cdot\text{м},$$

$$(\chi_1 = 268; \chi_3 = 368) \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Деформация холодной прокаткой практически не изменяет коэффициент текстурного упрочнения в условиях двухосного сбалансированного нагружения.

## REFERENCES

1. **Bryuhanov A.A., Usov V.V., Sovkova T.S.** Anizatropiya uprugih svojstv i kristallograficheskaya tekstura splava Ti-Al-V, FMM, 1980, 50, №5, s.1108-1111.  
**Брюханов А.А., Усов В.В., Совкова Т.С.** Анизотропия упругих свойств и кристаллографическая текстура сплава Ti-Al-V , ФММ, 1980, 50, №5, с.1108-1111.
2. **Grebennik S.V.** Teksturoobrazovanie i anizotropiya mehanicheskikh svojstv splavov sistem Ti-Al-V, Avtoreferat dissertacii na soisk. uch.stepeni kand. fiz.-mat. nauk, Sverdlovsk, UPI, 1986.  
**Гребенкин С.В.** Текстурообразование и анизотропия механических свойств сплавов систем Ti-Al-V, Автореферат диссертации на соиск. уч.степени канд. физ.-мат. наук, Свердловск, УПИ, 1986.
3. **Segmüller A.** Correction for defocusing in the Shulz Technique for pole figures determination. J. Appl. Phys., 1972, v. 42, №6, p. 2607-2610.
4. **Mihajlivskij Y.G., Gohman A.R., Bryuhanov A.A.** Prognozirovaniye harakteristik prochnosti po dannym izmerenij anizotropii magnitnoj восприимчивости v listah titanovyh splavov / V kn.: Tezisy dokladov 5 Vsesoyuzn. konf. «Tekstury i rekristallizaciya v metallah i splavah», Ufa, 1987, ch.2., s. 196.

- Михайловский Ю.Г., Гохман А.Р., Брюханов А.А.** Прогнозирование характеристик прочности по данным измерений анизотропии магнитной восприимчивости в листах титановых сплавов / В кн.: Тезисы докладов 5 Всесоюзн. конф. «Текстуры и рекристаллизация в металлах и сплавах», Уфа, 1987, ч.2., с. 196.
5. **Deryagin A.I., Nasyrav R.Sh.** Magnitnaya vospriimchivost plasticcheski deformirovannyh volframa i molibdena, FMM, 1980, t. 49, vyp.6, s. 1189-1203.  
**Дерягин А.И., Насыров Р.Ш.** Магнитная восприимчивость пластически деформированных вольфрама и молибдена, ФММ, 1980, т. 49, вып.6, с. 1189-1203.
6. **Vonsovskij S.V.** Sovremennoe uchenie o magnetizme. M.-L., GIFML, 1952, 440 s.  
**Вонсовский С.В.** Современное учение о магнетизме. М.-Л., ГИФМЛ, 1952, 440 с.
7. **Deryagin A.I., Pavlov V.A., Vlasov K.B., Shishmincev V.F.** Vlijanie plasticheskoy deformacii na paramagnitnyu vospriimchivost monokristallov niobiya, FMM, 1972, t.34, vyp.2, s.279-282.  
**Дерягин А.И., Павлов В.А., Власов К.Б., Шишминцев В.Ф.** Влияние пластической деформации на парамагнитную восприимчивость монокристаллов ниобия, ФММ, 1972, т.34, вып.2, с.279-282.
8. **Kosevich A.M., Shklovskij V.A.** Dislokacionnaya model ferromagnetizma v nemagnitnyh kristallah. ZhETF, 1968, t.35, №3, s.1131-1141.  
**Косевич А.М., Шкловский В.А.** Дислокационная модель ферромагнетизма в немагнитных кристаллах. ЖЭТФ, 1968, т.35, №3, с.1131-1141.
9. **Cmoc V.M., Ivanov-Omskij V.I., Novikov N.N., Shtym V.S., Kutkovskij B.M.** Vlijanie dislokacij na magnitnyu vospriimchivost kristallov germaniya i kremniya. FTT, 1981, t.23, №8, s.2446-2448.  
**Цмоць В.М., Иванов-Омский В.И., Новиков Н.Н., Штым В.С., Кутковский Б.М.** Влияние дислокаций на магнитную восприимчивость кристаллов германия и кремния. ФТТ, 1981, т.23, №8, с.2446-2448.
10. **Bryuhanov A.A., Gohman A.R.** Ispolzovanie priblizhenij Hilla pri opredelenii uprugih harakteristik monokristallov po rezultatam issledovanij teksturowannyh listov. FMM, 1986, t.64, vyp.3, s.572-577.  
**Брюханов А.А., Гохман А.Р.** Использование приближений Хилла при определении упругих характеристик монокристаллов по результатам исследований текстурированных листов. ФММ, 1986, т.64, вып.3, с.572-577.
11. **Mityushov E.A., Adamesku R.A.** Vlijanie mezhzerennogo vzaimodejstviya na kineticheskie svojstva teksturowannyh materialov / Izv. vuzov MV i SSO SSSR. Fizika, 1983, №7, s.54-57.  
**Митюшов Е.А., Адамеску Р.А.** Влияние межзеренного взаимодействия на кинетические свойства текстурированных материалов / Изв. вузов МВ и ССО СССР. Физика, 1983, №7, с.54-57.
12. **Gohman A.R.** Kolichestvennye parametry tekstury i anizotropiya fiziko-mekhanicheskikh svojstv nekotoryh ( $\alpha+\beta$ ) splavov titana. Avtoref. na soisk. uchenoj stepeni kand. fiz.-mat. nauk, Leningrad, LPI, 1985.  
**Гохман А.Р.** Количественные параметры текстуры и анизотропия физико-механических свойств некоторых ( $\alpha+\beta$ ) сплавов титана. Автореф. на соиск. ученой степени канд. физ.-мат. наук, Ленинград, ЛПИ, 1985.
13. **Ashkenazi E.K., Ganov E.V.** Anizotropiya konstrukcionnyh materialov. Spravochnik, L.: Mashinostroenie, 1980, 248 s.  
**Ашкенази Е.К., Ганов Э.В.** Анизотропия конструкционных материалов. Справочник, Л.: Машиностроение, 1980, 248 с.

---

### **PT-3V ӘRİNTİSİNİN FİZİKİ XASSƏLƏRİNİN TƏDQİQİ**

N.H. CAVADOV, K.Ə. ƏSGƏROV

Məqalədə soyuq deformasiyadan sonra sənayedə istifadə edilən vərəqsəkilli PT-3V ərintilərinin maqnit nüfuzluğu ( $\chi$ ), elektrik müqaviməti ( $\rho$ ), tekstura və Yung modulunun (E) orientasiya asılılıqları tədqiq edilmişdir. Eyni zamanda PT-3V ərintisinin monokristallarında elastiki və kinetik xarakteristikaları təyin edilmişdir. Tədqiq edilmiş vərəqlərdə struktur və kristalloqrafiq tərkibin elektrik müqavimətinə təsiri qiymətləndirilmişdir. İkioxlu balanslaşma yüklenməsi şəraitində vərəqlərin tekstur sərtləşdirmə əmsali hesablanmışdır.

**Açar sözlər:** tekstur möhkəmlik, ikioxlu balanslaşdırılmış yüklenmə, maqnit nüfuzluğu, anizotropiya, heksagonal ortotrop vərəq.

### **RESEARCH PHYSICAL PROPERTIES OF PT-3V ALLOY**

N.G. JAVADOV, K.A. ASKEROV

In this article, we studied the texture and orientational dependence of Young's modulus (E), electrical resistivity ( $\rho$ ) and magnetic susceptibility ( $\chi$ ) of industrial sheets of PT-3V alloy after cold deformation, determined the elastic and kinetic characteristics of single crystals of PT-3B alloy. The contribution of the structural and crystallographic components to the electrical resistance of the sheets under consideration were established. The coefficient of textural hardening of such sheets under conditions of biaxial balanced loading is calculated.

**Keywords:** textural hardening, biaxial balanced loading, integral characteristics, magnetic susceptibility, anisotropy, hexagonal orthotropic sheet.

УДК 621.894

## ВЛИЯНИЕ ВЛАГИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ И ЕЕ УДАЛЕНИЕ С ИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

А.Х. ДЖАНАХМЕДОВ\*, А.И. ВОЛЬЧЕНКО\*\*, М.Я. ДЖАВАДОВ\*,  
Н.А. ВОЛЬЧЕНКО\*\*\*, Д.Ю. ЖУРАВЛЕВ\*\*, Е.С. ФЕДОТОВ\*\*\*

---

Показано влияние влаги на триботехнические параметры фрикционных узлов тормозных устройств. Установлено термостабилизационное состояние обода барабана и шкива, которое необходимо учитывать при тепловых расчетах пар трения, наряду с допустимой температурой для материалов фрикционной накладки. Предложено устройство для принудительного удаления влаги с поверхностей пар трения тормозных устройств, выполняющих функции ограничителя для тепловых явлений.

**Ключевые слова:** тормозное устройство, пара трения, влага, полимерный и металлический фрикционный элемент, устройство для удаления влаги.

---

**Введение.** Эффективность действия фрикционных узлов тормозов, применяемых в машиностроении, зависит от того, какое количество влаги попадает на поверхности их пар трения. В данном случае объектами являются барабанно- и дисково-колодочные тормоза транспортных средств, дисково-колодочные тормоза железнодорожного подвижного состава и ленточно-колодочные тормоза буровых лебедок. Во время дождя, при переезде через водную преграду транспортного средства, при эксплуатации во влажную сырую погоду или в условиях крайнего севера пары трения тормоза подвержены воздействию влаги. Последняя разлагается на водород и кислород, которые принимают активное участие в химических реакциях, связанных с окислительно-восстановительными процессами и процессами наводороживания поверхности стального металлического фрикционного элемента. Образовавшийся водород диффундирует в поверхностный слой стального фрикционного элемента, вызывая его охрупчивание. Указанное обстоятельство и вызывает интенсивный водородный износ трущейся металлической поверхности. Поэтому проблема удаления влаги с поверхно-

---

\* Азербайджанская инженерная академия

\*\* Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа (г. Ивано-Франковск, Украина)

\*\*\* Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар, Россия)

стей пар трения тормозных устройств является актуальной. Остановимся на работах, посвященных влиянию влажности воздуха на эксплуатационные параметры испытываемых пар трения.

В парах трения «мягкое железо - мягкое железо» при нагрузке  $p = 1.0$  МПа с увеличением относительной влажности воздуха в межконтактной зоне увеличивается и величина удельного износа ее элементов [1]. В этом случае продуктами износа является металлический порошок, который способствует развитию процесса схватывания. При уменьшении удельных нагрузок до  $p = 5 \cdot 10^4$  Па зависимость удельного износа от увеличенной удельной влажности воздуха в межконтактной зоне износ пары трения уменьшается.

Выполненные исследования [2-6] свидетельствуют о том, что с увеличением относительной влажности воздуха в парах трения наблюдается увеличение износа их рабочих поверхностей, вызванного ростом момента трения. Кроме того, отмечается, что увеличение влажности окружающей среды может вызвать увеличение износа полимерного фрикционного элемента больше чем в 200 раз [1]. В то же время в работах [2, 5] отмечалось, что с ростом парциального давления водяного пара в межконтактном зазоре пар трения уменьшается момент трения, а следовательно, и величины износа фрикционного материала.

Таким образом, из рассмотренных работ следует, что относительная влажность воздуха, попадающего в межконтактную зону пар трения, несет дополнительную нагрузку и вызывает изменение их эксплуатационных параметров.

Влияние влаги на триботехнические параметры фрикционных узлов тормозных устройств необходимо рассматривать через призму:

- коррозия из-за воздействия влаги, соли или других составляющих окружающей среды;
- прямого преобразования тепловой энергии в электрическую парах трения;
- электрического баланса токов в зоне контактирования пар трения;
- межконтактной газовой среды во фрикционных узлах;
- нанотрибологических процессов, которые происходят на рабочих поверхностях пар трения и в приповерхностных слоях фрикционных накладок.

Все это необходимо рассматривать с точки зрения влияния жидкости (воды, пара и влаги), т.е. многокомпонентной системы со свойствами диэлектрика, полупроводника и проводника. Поэтому проблема удаления влаги с поверхностей трения тормозных устройств является актуальной.

**Постановка задачи.** В данном материале статьи рассмотрены следующие вопросы применительно к данной проблеме:

- режимы работы пар трения тормозных устройств;
- особенности конструкции и работа устройства для удаления влаги с поверхностей трения:

  - барабанно- и ленточно-колодочного тормоза;
  - дисково-колодочного тормоза.

**Цель работы** – разработка эффективного устройства для принудительного удаления влаги с поверхностей трения тормозных устройств, применяемых в машиностроении.

### **Режимы работы пар трения тормозных устройств.**

Режимы работы пар трения барабанно- и дисково-колодочных тормозов транспортных средств, а также ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок носят апериодиче-

ский циклический характер. Испытание тормозных устройств транспортных средств проводится по нормам Европейской экономической комиссии при Организации Объединенных Наций [6] на трех типах режимов: «0», «I» и «II». Нулевой тип испытаний относится к предварительному. Первый тип испытаний относится к циклическому режиму, а второй - к длительному. Как при первом, так и втором типе испытаний барабанно- и дисково-колодочных тормозов транспортных средств на их поверхностях трения развиваются температуры, превышающие допустимые для материалов фрикционных накладок. Однако не они снижают эффективности действия барабанно- и дисково-колодочных тормозов из-за попадания влаги на их рабочие поверхности при движении транспортных средств.

Стабилизационное тепловое состояние металлического фрикционного элемента отвечает термодинамическому равновесию, в котором внутренние параметры системы являются одинаковыми. При этом тормозной барабан или тормозной шкив имеют сложную форму и их все внутренние параметры не зависят от координат. С этой точки зрения процесс установления термодинамического равновесия можно рассматривать как процесс выравнивания внутренних параметров, который сопровождается переносом тепловой энергии от металлических фрикционных элементов до их фланцев и крепежных выступов до тех пор, пока не будем иметь отрицательный темп нагревания металлического фрикционного элемента при положительном темпе нагревания его фланца. Известно, что в термодинамических процессах температура определяется как параметр, постоянство которого характеризует положение термодинамического равновесия. Кроме того, выравнивание температур металлических фрикционных элементов и их фланцев и крепежных выступов сопровождается конвективным и радиационным теплообменом от их матовых поверхностей. С этой точки зрения температура принадлежит к обобщенным термодинамическим потенциалам, а ее отклонение от равновесного уровня определяют интенсивность процесса теплообмена [6, 7, 8] в зависимости от того, нагревается или вынужденно охлаждается металлический фрикционный элемент.

Первоначально рассмотрим процесс нагревания металлического фрикционного элемента. В установившемся режиме энергия  $W_p$ , поступающая в систему извне, за счет диссиpации механической энергии в тестовую при реализации удельных нагрузок ( $W_H + \Delta W$ ) во фрикционных узлах тормозных устройств должна рассеяться в окружающую среду от матовых поверхностей металлических фрикционных элементов.

При появлении в трибосистеме возмущения (в виде капель воды или термоокислительной деструкции связующих компонентов полимерных фрикционных материалов при температурах выше допустимой) изменяется тепловое состояние металлических фрикционных элементов. Предположим, что возмущение проявляется в изменении только одного параметра  $\Pi$ , т. е. поверхностных температур металлических фрикционных элементов, и именно они определяют их дальнейший тепловой режим. Предположим далее, что изменение мало, т. е. что рассматриваются только такие отклонения, при которых участки кривых температур, определяющих тепловой режим, можно считать линейными. В возмущенном тепловом режиме при перераспределении энергии между матовой и полированной поверхностями металлического фрикционного элемента из-за принудительного охлаждения последней (при появлении  $\Delta \Pi$ ) этот баланс нарушается, так как происходит изменение свойств трибосистемы, при котором энергия поглощается. Если свойства трибосистемы таковы, что расход энергии  $W = W_H + \Delta W$  после отклонения теплового режима (после возмущения) будет

происходить более интенсивно, чем увеличение энергии  $\Delta W_H = f(\Pi)$ , которую может дать после возмущения очередное взаимодействие фрикционных узлов, то новый (возмущенный) тепловой режим ведет в трибосистеме к поддержанию прежнего теплового режима (или режима близкого к нему), т.е. трибосистема будет устойчива. Из этого определения устойчивости (стабильности) следует, что математически записанным условием ее сохранения, или, как говорят, критерием устойчивости  $K$  будет условие

$$\Delta W / \Delta \Pi > \Delta W_H = \Delta \Pi$$

или в дифференциальной форме

$$d(V_p - W)d\Pi < 0.$$

Введем обозначение  $W_p - W = \Delta W_H$  и назовем его избыточной энергией. Эта энергия положительна, если дополнительная энергия термохимической реакции деструкции связующих компонентов материалов фрикционных накладок и радиационного теплообмена между рабочими поверхностями пар трения тормозного устройства будет возрастать интенсивнее, чем энергия нагрузки трибосистемы, включая потери на работу трения в его фрикционных узлах. Критерий устойчивости теперь запишется в виде

$$K = \frac{d(\Delta W_H)}{d\Pi} < 0$$

или  $K < 0$ .

Тепловой режим устойчив, если производная от избыточной энергии по определяющему параметру  $\Pi$ , т. е. температура отрицательна приповерхностной поверхности фрикционного металлического элемента различных видов тормозных устройств. Необходимо заметить, что незначительная доля энергии металлического фрикционного элемента расходуется на формирование двойного электрического слоя по схеме «полированная поверхность металлического фрикционного элемента - рабочая поверхность фрикционной накладки».

Резкое изменение удельных долей теплоты рабочей зоны фрикционной накладки, которая идет на аккумулирование теплоты се приповерхностным слоем прослеживается в середине длительного режима испытаний барабанно-колодочного тормоза, после чего темп нагревания стабилизируется и становится равным нижнему уровню приповерхностного слоя накладки. Объясняется это тем, что в приповерхностном слое накладки начинается взаимодействие компонентов фрикционных материалов, носящих характер эндотермических реакций.

При этом значительная часть энергии идет на формирование двойного электрического слоя «рабочая поверхность фрикционных накладок (не взаимодействующих с металлическим фрикционным элементом - нижний уровень приповерхностного слоя накладок)», а также на выделение газовой смеси и ее ионизацию, так и на десорбцию влаги из жидких фракций, образовавшихся в приповерхностных слоях накладок.

Кроме того, в дальнейшем после половины времени длительного нагревания возможны инверсия токов электризации по схеме «полированная поверхность металлического фрикционного элемента - ионизированная газовая среда», так и десорбция влаги - «рабочая поверхность фрикционных накладок - нижний уровень приповерхностного слоя накладок» при положительном квазистабильном темпе их нагревания.

Что касается темпов охлаждения рабочей зоны приповерхностного слоя и его нижнего уровня фрикционной накладки, то примерно к концу четвертой минуты (после завершения испытаний) они стабилизируются при отрицательных темпах охлаждения.

Энергия  $\Delta W_i$  должна определяться для трибосистемы в целом, с учетом всех влияющих процессов (нагревания, охлаждения, радиационного теплообмена и термохимической деструкции связующих компонентов фрикционного материала) только после с помощью критерия ( $K < 0$ ) производится оценка энергосистемы с привлечением токов электризации в парах «приповерхностный слой накладок – рабочие поверхности накладок» (и взаимодействующие с металлическим фрикционным элементом) и «рабочие поверхности накладок – металлический фрикционный элемент», соединенных между собой ионизированной газовой смесью и десорбцией влаги. Инверсия токов осуществляется в обратном направлении, т. е. происходит изменение знака токов электризации.

Проводимая согласно вышеуказанному критерию устойчивости (стабильности) трибосистемы по соотношению: коэффициентов излучательной способности полированной и матовой поверхностей металлического фрикционного элемента и энергией термохимических реакций, происходящих при деструкции связующих компонентов, находящихся во фрикционной накладке и их энергетических характеристик в чистом виде т. е. без структурных связей с другими компонентами в накладке, показывает интенсивность внешнего воздействия на трибосистему с точки зрения стабилизации теплового состояния ее металлического фрикционного элемента при изменении физико-химических свойств поверхностных слоев фрикционных накладок.

**Особенности конструкции и работа устройств для удаления влаги с поверхностей трения:**

**• барабанно- и ленточно-колодочного тормоза**

Удаление влаги с поверхностей трения барабанно-колодочного тормоза транспортного средства производится для того, чтобы исключить снижение его эффективности и недопущения попадания фрикционных накладок в зону допустимой температуры для их материалов, а также предотвращения попадания обода тормозного барабана в зону стабилизационного теплового состояния.

На рис. 1 представлен поперечный разрез барабанно-колодочного тормоза с устройством для принудительного удаления влаги с его поверхностей трения, на рис 2, *a*, *b* проиллюстрировано положение капли воды на вогнутых поверхностях обода тормозного барабана; на рис. 3, *a*, *b*, *v* показано положение капли воды на поверхностях фрикционных накладок с соковым, верхним и нижним расположениями тормозных колодок.

Барабанно-колодочный тормоз содержит тормозной барабан, имеющий обод 2 с внутренней 3 (рабочей) и наружной 4 (не рабочей) поверхностями. На наружной поверхности 4 обода 2 со стороны его свободного края выполнен прилив в виде подкрепляющего кольца 5. С противоположной стороны обод 2 барабана 1 сопряжен с фланцем 6, в котором выполнены отверстия 7. С помощью последних тормозной барабан 1 прикреплен к фланцу ступицы 8 снизу через роликовый подшипник 10, который опирается на полуось 11 заднего моста.

Внутри тормозного барабана 1 установлены тормозные колодки 12, к основаниям 13 которых прикреплены с помощью заклепок 14 фрикционные накладки 15, имеющие рабочую поверхность 16.

С нерабочей стороны основания 13 колодок размещены их ребра жесткости 17, которые между собой соединены пальцем 18 с проточкой 19. В последнюю посажена оттяжная цилиндрическая пружина 20.

Со свободного края обода 2 тормозного барабана 1 установлен направляющий диск 21.

Барабанно-колодочный тормоз работает следующим образом. При торможении транспортного средства рабочие поверхности фрикционных накладок 15 посредством тормозных колодок 12 прижимаются к рабочей поверхности 3 обода 2 тормозного барабана 1, это вызывает генерирование теплоты на их поверхностях. Генерируемая теплота отводится в атмосферу с помощью оребренного охладителя 22. Во время дождя при переезде транспортного средства через водную преграду или при эксплуатации во влажную сырую погоду включают источник постоянного тока, напряжение от которого с отрицательного полюса 30 подают на охладитель 22 и капиллярно-пористый слой 26 оснований 13 колодок 12, а с положительно-го полюса 31 - на поверхности трения 3 обода 2 барабана 1 и металлических фрикционных элементов 29, расположенных по периметру тормозных колодок.

При этом осуществляется процесс электроосмоса т.е. движение (влаги с поверхности трения обода 2 барабана 1 и фрикционных накладок 15 по капиллярно-пористым цилиндрическим элементам 24 обода 2 барабана 1, накладок 15 и металлических фрикционных элементов 29 колодок 12 за счет создания разности электрических потенциалов между горячими и холодными торцами капиллярно-пористых цилиндрических элементов 24, способствующему возникновению так называемого потенциала течения, и обеспечивающему перемещение влаги к охладителю 22 и к слою 26 капиллярно-пористого материала, где она собирается и рассеивается в атмосферу.

Таким образом, предложенное техническое решение позволяет удалять с поверхностей трения барабанно-колодочного тормоза не только влагу, но и жидкие фракции с поверхности полимерных фрикционных накладок не только при замкнутом, но и разомкнутом тормозе, что позволит повысить его эффективность действия.

Устройство для принудительного удаления влаги с поверхностей трения барабанно-колодочного тормоза содержит охладитель 22, выполненный в виде оребренного кольца, изготовленного из капиллярно-пористого материала, соединенного с помощью сквозных радиальных отверстий 23, выполненных в ободе 2 тормозного барабана 1 с равномерным шагом, в которые установлены капиллярно-пористые цилиндрические элементы 24. Во фрикционных накладках 15 колодок 12 также выполнены сквозные радиаль-

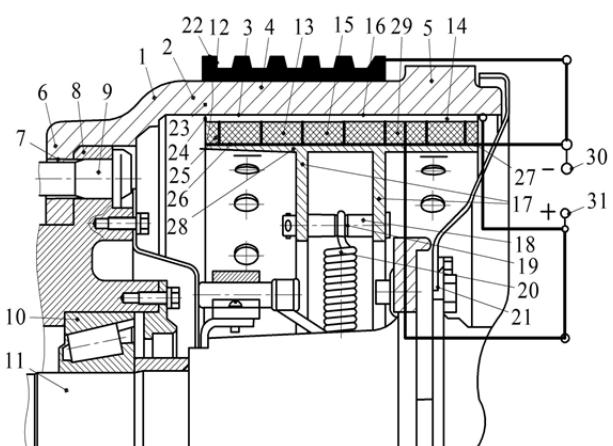


Рис. 1 – Поперечный разрез барабанно-колодочного тормоза с устройством для принудительного удаления влаги с его поверхностей трения

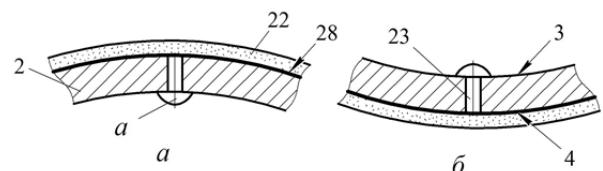


Рис. 2 – Положение капли воды (а) на вогнутых поверхностях обода тормозного шкива

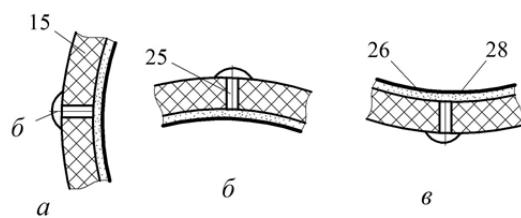


Рис. 3 – Положение капли воды (б) на поверхностях фрикционных накладок с боковым (а), верхним (б) и нижним (в) расположением тормозных колодок

ные отверстия 25 большего диаметра с равномерным шагом с установленными в них капиллярно-пористыми цилиндрическими элементами 24. Оси отверстий 23 и 25 смешены и поэтому не совпадают. Цилиндрические элементы 24 накладок 15 своими торцами контактируют со слоем 26 капиллярно-пористого материала, расположенного во впадине 27 оснований 13 колодок 12 и имеющего электроизоляционную подложку 28. Аналогичной подложкой покрывается поверхность охладителя 22 перед напрессовкой на нерабочую поверхность 4 обода 2 тормозного барабана 1.

Конструктивными элементами капиллярных структур являются дискретные цилиндрические волокна из меди, нержавеющей стали, никеля, алюминия или некоторых других металлов. Основу технологии изготовления капиллярных структур составляют процессы войлокования, спекания и прессования. В конечном итоге пористый материал из спеченных металлических волокон представляет собой достаточно прочную конструкцию в виде охладителя 22 и цилиндрических элементов 24, в которых дискретные цилиндрические волокна расположены перпендикулярно поверхностям трения тормоза.

На рис. 2 *а, б* проиллюстрировано положение капли воды (*а*) в самой высокой и низкой точках на рабочей поверхности 3 вращающегося обода 2 барабана 1. На рис. 3 *а, б*, в изображены капли воды (*б*) на рабочих поверхностях 16 фрикционных накладок 15 неподвижных тормозных колодок 12, имеющих боковое, верхнее и нижнее расположение в плоскости барабанно-колодочного тормоза. При этом объемы капель воды (*а* и *б*), попавшие на поверхность 3 обода 2 барабана 1, находящегося во вращательном движении, и на поверхности фрикционных накладок 16 и металлических фрикционных элементов 29 тормозных колодок 12 в зависимости от теплового состояния перечисленных выше поверхностей ведут себя по-разному.

Что касается электрической схемы подключения устройства для принудительного удаления влаги с поверхностей трения барабанно-колодочного тормоза, то в нем охладитель 22 и капиллярно-пористый слой 26 оснований 13 колодок 12 подсоединен к отрицательному полюсу 30 источника постоянного напряжения, а поверхности трения 3 обода 2 барабана 1 и металлические фрикционные элементы 29, расположенных по периметру тормозных колодок 12, соединены с положительным полюсом 31 источника постоянного напряжения.

Путем регулирования напряжения, и достигается удаление необходимого количества влаги с поверхностей трения барабанно-колодочных тормозов транспортных средств.

Особенностью конструкции устройства для удаления влаги с поверхностей пар трения ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки является то, что охладитель располагается со стороны нерабочей поверхности обода шкива. При этом со стороны торцевых поверхностей каждой накладки нанесен капиллярно – пористый слой, который при работе тормоза в районах крайнего севера России утепляется. В остальном работа схожа с устройством применяемом на барабанно-колодочном тормозе транспортного средства.

- **дисково-колодочного тормоза**

Дисково-колодочный тормоз имеет свои особенности удаления влаги с его рабочих поверхностей.

На рис. 4 изображена схема дисково-колодочного тормоза, поперечный разрез и его устройство для удаления влаги с поверхностей трения.

Дисковый тормоз содержит корпус 1 тормозного диска с торцевыми поверхностями 2 трения и генерации теплоты, оребренный охладитель 3, расположенный на периферии корпуса 1 и рассеивающий аккумулированную теплоту в атмосферу, вставки 4 из изолирующего капиллярно-пористого материала в виде колец, отделяющие охладитель 3 тормозного диска от поверхности 2 трения, источник постоянного напряжения с отрицательным 5 и положительным 6 полюсами и, тормозные колодки 7, прикрепленные с помощью тормозных подвесок 8 к неподвижным опорам 9. В средней части тормозных подвесок 8 вмонтированы изолирующие вставки 10, выполненные из капиллярно-пористого материала. Неподвижные опоры 9 имеют оребренный влагосборник 11. К отрицательному полюсу 5 подсоединенны охладитель 3 и неподвижные опоры 9, а положительный полюс 6 соединен с поверхностями 2 трения и тормозными колодками 7. Тормозные колодки 7, тормозные подвески 8 и неподвижные опоры 9 сверху покрыты слоем капиллярно-пористого материала.

Дисковый тормоз работает следующим образом.

При торможении колодки 7 прижимаются к поверхностям 2 трения и генерации теплоты. Аккумулируемая теплота отводится в атмосферу с помощью оребренного охлаждения 3. Во время дождя или во влажную сырую погоду включают источник постоянного тока, напряжение от которого с отрицательного полюса 5 подают на охладитель и неподвижную опору 9, а с положительного полюса 6 - на колодки 7, и поверхность 2 трения. При этом имеет место процесс электроосмоса и под действием электроосмотических сил влага с поверхности 2 трения перемещается в охладитель, а с тормозных колодок 7 - в неподвижную опору 9 на влагосборник 11, где собирается и рассеивается в атмосферу.

**Заключение.** Таким образом, наряду с учетом допустимой температуры для материалов фрикционной накладки пар трения тормозных устройств (бара-банно- и ленточно-колодочных, а также дисково-колодочных) необходимо учитывать тормостабилизационное состояние их металлических фрикционных элементов. Как первое, так и второе состояние можно предотвратить только с помощью устройства для принудительного удаления влаги с поверхностей пар тормозов.

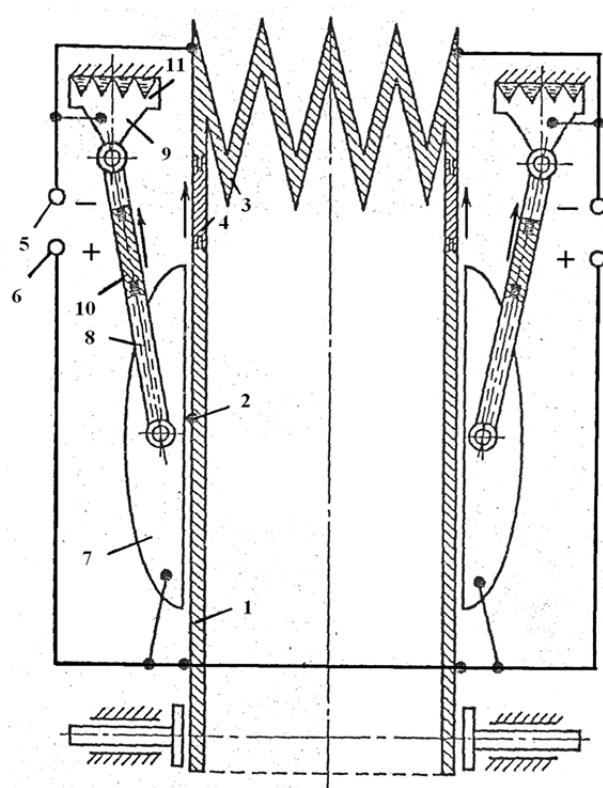


Рис. 4 а, б, в – Схема дисково-колодочного тормоза с устройством для удаления влаги с его поверхностей трения

## **REFERENCES**

1. **Garkunov D.N.** Tribotekhnika (iznos i beziznosost). – M.: Izd-vo MSHA, 2001. – 616 s.  
**Гаркунов Д.Н.** Триботехника (износ и безизносость). – М.: Изд-во МСХА, 2001. – 616 с.
2. Neobhodimost ucheta vliyaniya vodoroda na iznosostojkost materialov v tormoznyh parah treniya avtomobilej / V.A. Kolesnikov, A.V. Kalinin, A.I. Balickij, Y.V. Hmel // Visnik SNU im. V. Dalya. – 2009.- №1(141). – S. 62-65.  
Необходимость учета влияния водорода на износстойкость материалов в тормозных парах трения автомобилей / В.А.Колесников, А.В.Калинин, А.И.Балицкий, Я.В.Хмель // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2009.- №1(141). – С. 62-65.
3. Vliyanie vodovoda na iznosostojkost materialov v parah treniya tormoznyh ustrojstv / M.V. Kindrachuk, D.A. Volchenko, N.A. Volchenko [i dr.] // Fiz.-him. Mehanika materialov. – 2017. №2. – S. 135 – 141.  
Влияние водовода на износстойкость материалов в парах трения тормозных устройств / М.В. Киндрячук, Д.А. Вольченко, Н.А. Вольченко [и др.] // Физ.-хим. Механика материалов. – 2017. №2. – С. 135 – 141.
4. Proektnyj i proverochnyj raschet frikcionnyh uzlov barabanno- i diskovo-kolodochnyh tormozov transportnyh sredstv / A.Kh. Janahmadov, A.I. Volchenko, A.V. Voznyj [i dr.]. Standart. – Baku: «Apostroff», 2016. – 272 s.  
Проектный и проверочный расчет фрикционных узлов барабанно- и дисково-колодочных тормозов транспортных средств / А.Х. Джанахмедов, А.И. Вольченко, А.В. Возный [и др.]. Стандарт. – Баку: «Апострофф», 2016. – 272 с.
5. Barabanno-kolodochnye tormoznye ustrojstva / [A.A. Petrik, A.I. Volchenko, D.A. Volchenko]. – Krasnodar: Iz-vo Kubansk. gosudarstv. tehnolog. un-ta. – T.1. – 2006. – 264 s.  
Барабанно-колодочные тормозные устройства / [А.А. Петрик, А.И. Вольченко, Д.А. Вольченко]. – Краснодар: Из-во Кубанск. государств. технол. ун-та. – Т.1. – 2006. – 264 с.
6. Barabanno-kolodochnye tormoznye ustrojstva / [A.A. Petrik, A.I. Volchenko, D.A. Volchenko]. – Krasnodar: Iz-vo Kubansk. gosudarstv. tehnolog. un-ta. – T.2. – 2007. – 215 s.  
Барабанно-колодочные тормозные устройства / [А.А. Петрик, А.И. Вольченко, Д.А. Вольченко]. – Краснодар: Из-во Кубанск. государств. технол. ун-та. – Т.2. – 2007. – 215 с.
7. A. s. 1504407A1 SSSR F16D 65/813. Diskovyj tormoz // A.I. Volchenko, D.A. Volchenko, L.N. Knjazev, S.V. Balabolin; zajavitel i patentoobladatel Ivano-Frankovskij institut nefti i gaza. - №4338018/31 – 27; заявл. 07.12.1987; opubl. 30.08.1989. Bol. №32. – 2 s.  
A. c. 1504407A1 CCCP F16D 65/813. Дисковый тормоз // А.И. Вольченко, Д.А. Вольченко, Л.Н. Князев, С.В. Балаболин; заявитель и патентообладатель Ивано-Франковский институт нефти и газа. - №4338018/31 – 27; заявл. 07.12.1987; опубл. 30.08.1989. Бол. №32. – 2 с.
8. **Janahmadov A.Kh., Volchenko A.I., Pirverdiev E.S. i dr.** Raschet i konstruirovanie par treniya diskovo-kolodochnyh tormozov transportnyh sredstv (chast 1) // Vestnik Azerbaijanskoj inzhenernoj akademii. 2018. T. 10, №4. S. 7-16.  
**Джанахмедов А.Х., Вольченко А.И., Пирвердиев Э.С. и др.** Расчет и конструирование пар трения дисково-колодочных тормозов транспортных средств (часть 1) // Вестник Азербайджанской инженерной академии. 2018. Т. 10, №4. С. 7-16.

---

## **ƏYLƏC QURĞULARININ TRİBOQOVŞAĞININ İSTİSMAR PARAMETRLƏRİNƏ RÜTUBƏTİN TƏSİRİ VƏ ONLARIN SƏTHDƏN GÖTÜRÜLMƏSİ**

Ə.X. CANƏHMƏDOV, A.İ. VOLÇENKO, M.Y. CAVADOV  
N.A. VOLÇENKO, D.Y. JURAVLYOV, Y.S. FEDOTOV

Əyləc qurğuların friksion düyünlərinin texniki parametrlərinə rütubətin təsiri göstərilib. Friksion kündələrin materialı üçün buraxılabilir temperatur ilə birlikdə sürtünmə cütlərin istilik hesabına zəruri nəzərə alınan çəmbərli qasnağın və nazım qasnağın termosabitləşdirilmiş vəziyyəti müəyyən olunub. İstilik hadisələri üçün məhdudlayıcı funksiyani icra edən əyləc qurğuların sürtünmə cütlərinin səthindən rütubətin məcburi götürülməsi üçün qurğu təklif olunub.

*Açar sözlər:* əyləcli qurğu, sürtünmə cütü, rütubət, polimer və metal friksion element, rütubətin götürülməsi üçün qurğu.

## **INFLUENCE OF HUMIDITY ON EXPLOITATION PARAMETERS OF TRIBOCOUPLING OF BRAKING MECHANISMS AND ITS REMOVAL FROM SURFACES**

A.Kh. JANAHMADOV, A.I. VOLCHENKO, M.Y. JAVADOV  
N.A. VOLCHENKO, D.Y. ZHURAVLEV, E.S. FEDOTOV

The article examines the impact of humidity and moist on the tribotechnical parameters of the frictional units of braking mechanisms. The thermostabilization states of the drum and pulley rim are established, which must be included in any thermal calculations of friction pairs, along with the ultimate material temperature of the friction lining. The proposed forced moist removal device from the surfaces of friction pairs of braking mechanisms acts as a limiter for thermal phenomena.

*Keywords:* braking mechanism, friction couple, humidity, polymeric and metal frictional element, moist removal device.

УДК 621-192; 621.81-192

## АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЙ, РАБОТАЮЩИХ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

А.М. ГАФАРОВ\*, П.Г. СУЛЕЙМАНОВ\*, Ф.М. КАЛБИЕВ\*\*, В.А. ГАФАРОВ\*\*\*

---

Одним из основных методов оценки надежности и долговечности машин и оборудования, работающих в экстремальных условиях, являются математические методы. В статье рассматриваются вопросы, связанные с применением различных способов математической статистики при определении надежности машин и механизмов. Анализируются полученные закономерности.

**Ключевые слова:** оборудование, надежность, экстремальные условия, долговечность, статистика, случайная величина.

---

**Введение.** По результатам многочисленных исследований, показатели надежности и долговечности оборудования во многих случаях являются случайными величинами [1-4]. Для получения достаточной информации о случайных величинах иногда можно применять не функции распределения, а их количественные характеристики. При оценке параметров случайных величин наиболее приемлемыми их характеристиками являются: математическое ожидание, дисперсия, моменты, мода, медиана и коэффициент вариации [3-5].

**Целью работы** является использование различных математических методов статистики при оценке надежности и долговечности машин и оборудования, эксплуатируемых в экстремальных условиях.

**Постановка и решение задачи.** Для случайных величин применяются различные виды и интерпретации математических ожиданий:

– для случайных величин, имеющих скачкообразный дискретный характер, таких, например, как волнистость поверхности, можно использовать следующее описание математического ожидания:

$$M_x = x_{\text{cp}} = \sum_i x_i P(x_i) ; \quad (1)$$

---

\* Академия МЧС Азербайджанской Республики

\*\* Азербайджанская Государственная Морская Академия

\*\*\* Государственная Нефтяная Компания Азербайджана (ГНКР)

– для шероховатости поверхности, имеющей непрерывный случайный характер:

$$M_x = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x)dx = \int_{-\infty}^{+\infty} x dF(x); \quad (2)$$

– для некоторых погрешностей формы деталей, имеющих положительный непрерывный характер:

$$M_x = \int_0^{\infty} [1 - F(x)]dx = \int_0^{\infty} P(x)dx. \quad (3)$$

Принимая во внимание то, что математическое ожидание можно характеризовать как начальный момент распределения  $F(x)$ , можно записать:

$$M_n(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^n dF(x). \quad (4)$$

Дисперсия с учетом математического ожидания записывается зависимостью:

$$D(x) = M[x - M(x)]^2 = M(x^2) - M^2(x). \quad (5)$$

Для показателей качества поверхности деталей, являющихся непрерывными случайными величинами, дисперсии описываются как:

$$D(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} [x - M(x)]^2 dF(x). \quad (6)$$

Разброс результатов измерения можно характеризовать средним квадратическим отклонением  $\sigma_x$

$$\sigma_x = |\sqrt{D(x)}| . \quad (7)$$

Коэффициент вариации определяется зависимостью

$$V_x = \frac{\sigma_x}{M(x)}. \quad (8)$$

Нормированная величина  $\bar{x}$  записывается выражением

$$\bar{x} = \frac{x}{\sigma_x} \quad (9)$$

Параметры точности и качества поверхности, имеющие характер дискретности, часто анализируются с применением биномиального и Пуассоновского распределений [5–7].

Биномиальное распределение записывается зависимостью:

$$P(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} P^x (1-P)^{n-x} = C_n^x P^x (1-P)^{n-x}, \quad x = 0, 1, \dots, n \quad (10)$$

и при необходимости задается функцией  $F(x)$ :

$$F(x) = \sum_{i=0}^x P(i) = \sum_{i=0}^x \frac{i!}{i!(n-i)!} P^i (1-P)^{n-i} = \sum_{i=0}^x C_n^i P^i (1-P)^{n-i}. \quad (11)$$

При проведении экспериментов:  $P$  – вероятность испытания;  $P(x)$  – вероятность  $x$  успешных испытаний;  $C_n^x$  – биномиальные коэффициенты.

Характеристики биномиального распределения характеризуются как

$$M(x) = nP; \quad D(x) = nP(1-P); \quad V = \sqrt{\frac{1-P}{nP}}. \quad (12)$$

Распределение Пуассона описывается выражением

$$P(x) = \frac{\lambda^x}{x!} \exp(-\lambda), \quad x = 0, 1, 2, \dots . \quad (13)$$

Для распределения Пуассона интегральная функция записывается как

$$F(x) = \sum_{i=1}^x \frac{\lambda^i}{i!} \exp(-\lambda), \quad \text{где } \lambda = np. \quad (14)$$

Основные характеристики распределения Пуассона выражаются формулами:

$$M(x) = D(x) = \lambda, \quad V = \frac{1}{\sqrt{\lambda}}. \quad (15)$$

Распределение Пуассона можно применять при оценке надежности машин и оборудования, для которых свойственны постоянные интенсивные отказы.

При исследовании надежности машин и механизмов, работающих в чрезвычайных ситуациях и экстремальных условиях, распределение случайных величин может быть проанализировано с использованием отрицательного биномиального распределения (распределение Паскаля) [3]

$$P(x) = C_{R+x-1}^x P^R (1-P)^x, \quad x = 0, 1, \dots, R. \quad (16)$$

Функция распределения Паскаля записывается выражением

$$F(x) = \sum_{i=0}^x C_{R+i-1}^i P^R (1-P)^i. \quad (17)$$

Распределение Паскаля характеризуется зависимостями:

$$M(x) = \frac{R(1-P)}{P}, \quad D(x) = \frac{R(1-P)}{P^2}, \quad U = \frac{1}{\sqrt{R(1-P)}}. \quad (18)$$

Распределение Паскаля характеризует число «отрицательных» результатов предшествующему числу «положительных» результатов при проведении экспериментов по схеме Бернулли. Оно часто применяется при планировании исправных изделий при известном браке. Может быть также использовано при определении надежности машин и оборудования при известном их отказе.

При оценке надежности машин и механизмов, эксплуатируемых в чрезвычайных ситуациях и экстремальных условиях, можно использовать метод равномерного распределения. В теории надежности равномерное распределение может характеризовать параметры элементов, систем, нагрузку и др. При этом указанные показатели принимают любое значение в известном интервале  $a, b$  [2], [8], [9]:

$$F(x) = \frac{x-a}{b-a}, \quad f(x) = \frac{1}{b-a}, \quad a \leq x \leq b. \quad (19)$$

Основными характеристиками равномерного распределения являются:

$$M(x) = \frac{a+b}{2}, \quad D(x) = \frac{(b-a)^2}{12}, \quad V_x = \frac{2(b-a)}{\sqrt{3}(a+b)}. \quad (20)$$

Для определения характеристики наработки машин и оборудования, эксплуатируемых в чрезвычайных ситуациях и экстремальных условиях, при их отказе, постоянной интенсивности отказов  $\lambda = const$  и наработки  $t = \frac{1}{\lambda}$  можно использовать экспоненциальное распределение, которое характеризуется зависимостями:

$$F(x) = 1 - \exp(-\lambda x), \quad f(x) = \lambda \exp(-\lambda x), \quad x \geq 0 \quad (21)$$

Экспоненциальное распределение характеризуется следующими показателями:

$$M(x) = \frac{1}{\lambda}, \quad D(x) = \frac{1}{\lambda^2}, \quad V = 1. \quad (22)$$

Для описания износовых отказов или когда износ является следствием большого числа различных причин, часто используется нормальное распределение (распределение Гаусса). Часто нормальное распределение считается предельным для других видов распределений.

Нормальное распределение описывается следующими зависимостями:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx, \quad f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (23)$$

Основными характеристиками нормального распределения являются  $M(x) = \mu$ ,

$D(x) = \sigma^2$ ,  $V = \frac{\sigma}{\mu}$  где  $-\infty < \mu < +\infty$  и  $\sigma > 0$  – параметры сдвига и масштаба.

Иногда, при необходимости, нормальное распределение можно представить функцией Лапласа  $\Phi(z)$

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz, \quad \varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \quad (24)$$

Если при измерениях параметры характеризуются только положительными значениями, тогда получается усеченное нормальное распределение и вносятся уточнения в расчеты. Плотность вероятности характеризуется как нормальное распределение, но с коэффициентом пропорциональности  $C$ .

$$f(x) = \frac{c}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (25)$$

$C$  – определяется из условия, ограниченного пределами изменения.

Для определения коэффициента  $C$  следует применять таблицы функции Лапласа или квантилей нормального распределения.

При  $0 \leq x \leq \infty$  характеристики усеченного распределения имеют форму:

$$\bar{M}(x) = M(x) + R\sigma, \quad \bar{D}(x) = \bar{\sigma}^2 = \sigma^2 \left[1 - R^2 - R \frac{M(x)}{\sigma}\right]. \quad (26)$$

Интегральная функция для (25) записывается в виде

$$F(x) = C \left[ \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{x-x_0}{\sigma}\right) \right]. \quad (27)$$

Если это случайные величины, логарифм которых расположен по закону Гаусса, их можно характеризовать логарифмическими нормальными распределениями:

$$\begin{aligned} F(x) &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^x \frac{1}{x} \exp\left[-\frac{(lnx - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx, \\ f(x) &= \frac{1}{\sigma x \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(lnx - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx, \quad x > 0 \end{aligned} \quad (28)$$

Основные характеристики логарифмических распределений имеют некоторые особенности и описываются формулами:

$$\begin{aligned} M(x) &= \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right), \quad D(x) = \exp(2\mu + \sigma^2) [\exp(\sigma^2) - 1], \\ V &= \sqrt{\exp(\sigma^2)} - 1 \end{aligned} \quad (29)$$

Для объяснения причин отказов с монотонной интенсивностью применяется распределение Вейбулла, которое описывается зависимостями

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{a}\right)^b\right], \quad f(x) = \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{a}\right)^b\right], \quad x \geq 0 \quad (30)$$

При распределении Вейбулла изменение параметров формы приводит к изменению характера графиков распределения. Такая закономерность может обеспечить совпадение экспериментальных данных с теоретическими описаниями.

Характерные показатели распределения Вейбулла описываются следующими выражениями:

$$M(x) = aK, \quad D(x) = a^2(C - K^2), \quad V = \sqrt{\frac{c}{K^2} - 1}. \quad (31)$$

В распределении Вейбулла можно увидеть частные случаи экспоненциального распределения (при  $b = 1$ ), распределение Рэлея ( $b = 2$ ) и близость к нормальному распределению (при  $b \geq 3,5$ ).

Для записи распределения Вейбулла иногда применяется форма, отличающаяся от формулы (30)

$$F(x) = 1 - \exp(-\lambda x^\alpha), \quad f(x) = \alpha \lambda x^{\alpha-1} \exp(-\lambda x^\alpha). \quad (32)$$

где  $\alpha = b$ ,  $\lambda = \left(\frac{1}{\alpha}\right)^b$ .

$$F(x) = \frac{1}{a\Gamma(b+1)} \int_0^\infty \left(\frac{x}{a}\right)^b \exp\left(-\frac{x}{a}\right) dx, \quad f(x) = \frac{1}{a\Gamma(b+1)} \left(\frac{x}{a}\right)^b \exp\left(-\frac{x}{a}\right). \quad (33)$$

$a > 0$  и  $b \geq -1$  в гамма-распределении являются параметрами масштаба и формы.

Показателями гамма-распределения являются:

$$M(x) = a(b+1), \quad D(x) = a^2(b+1), \quad V = \frac{1}{\sqrt{b+1}}. \quad (34)$$

Если результаты измерения имеют одинаковые экспоненциальные распределения, тогда их сумма будет характеризовать гамма-распределение. Это дает возможность применять ее для описания машин и механизмов с резервированием деталей или узлов с дальнейшим замещением.

При анализе надежности машин и механизмов иногда возникают ситуации, при которых случайная величина является сочетанием более двух величин.

Тогда функции  $f_1(x_1), f_2(x_2), \dots, f_n(x_n)$  являются функциями плотности вероятности разных случайных величин и сумма вероятностей этих величин  $P_i$  будет равна единице.

$$f(x) = P_1 f_1(x_1) + P_2 f_2(x_2) + \dots + P_n f_n(x_n) = \sum_{i=1}^n P_i f_i(x_i) \quad (35)$$

является плотностью сочетаний распределений.

Тогда интегральная функция будет иметь форму

$$F(x) = P_1 F_1(x_1) + P_2 F_2(x_2) + \dots + P_n F_n(x_n) = \sum_{i=1}^n P_i F_i(x_i). \quad (36)$$

$F_i(x_i)$  – интегральные функции распределений плотности  $f_i(x_i)$ . Тогда, согласно формулы (35), математическое ожидание сочетания распределений запишется в виде

$$M(x) = P_1 M_1(x_1) + P_2 M_2(x_2) + \dots + P_n M_n(x_n) = \sum_{i=1}^n P_i M_i(x_i) \quad (37)$$

При оценке надежности машин и механизмов часто применяется центральная предельная теорема, при которой случайные величины описываются нормальным законом

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P \left\{ a < \frac{x-n\mu}{\sigma\sqrt{n}} < b \right\} = \Phi(b) - \Phi(a). \quad (38)$$

где  $n\mu$  – математическое ожидание,  $n\sigma^2$  – дисперсия.

Известно [4], что если нагрузка и прочность распределены по закону Гаусса, то запас прочности (их композиция) также будет распределяться по нормальному закону

$$f(L) = \frac{1}{\sigma_L \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(L - M(L))^2}{2\sigma_L^2} \right]. \quad (39)$$

Схожие формулы могут быть получены и для других законов распределения нагрузки и прочности [10 – 12].

При определении надежности с учетом минимальной стоимости можно использовать метод Лагранжа.

Для решения задачи методом Лагранжа целевая функция (лагранжиан) записывается в виде

$$L(R_i) = C(R_i) + y[Q(R_i) - Q_0], \quad (40)$$

где  $y$  – неопределенный множитель Лагранжа.

Решение задачи сводится к решению уравнений с неизвестными показателями  $k_1, k_2, \dots, k_n, y$  [4]:

$$\begin{cases} \frac{\partial L(k_i)}{\partial k_i} = \frac{\partial}{\partial k_i} \left[ \sum_{i=1}^n k_i c_i + y \left( \sum_{i=1}^n q_i^{R_i} - Q_0 \right) \right] = 0, & i = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n q_i^{R_i} = Q_0. \end{cases} \quad (41)$$

После дифференцирования первых  $n$  уравнений

$$c_i + y q_i^{R_i} \ln q_i = 0, \quad (42)$$

откуда

$$q_i^{R_i} = -\frac{c_i}{y \ln q_i}. \quad (43)$$

После постановки выражения (43) в (41) определяется, что

$$-\frac{1}{y} \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{\ln q_i} = Q_0, \quad (44)$$

откуда

$$y = -\frac{1}{Q_0} \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{\ln q_i}. \quad (45)$$

Тогда уравнение (43) приобретает вид

$$q_i^{R_i} = \frac{c_i Q_0}{\ln q_i \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{\ln q_i}}, \quad (46)$$

откуда

$$R_i = \frac{1}{\ln q_i} \left[ \ln \left( -Q_0 / \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{\ln q_i} \right) + \ln \left( -\frac{c_i}{\ln q_i} \right) \right] = \frac{1}{\ln q_i} [A + \ln(-h_i)], \quad (47)$$

где

$$h_i = \frac{c_i}{\ln q_i}, P \approx 1 - \frac{1}{n!} (1-p)^n. \quad (48)$$

Аналогично решается обратная задача оптимизации.

При обработке данных исследовательских испытаний используются экспериментальные данные, измеряемые параметры и их неизвестные значения. Наиболее точными данными являются точечные величины и математические ожидания, характеризующие несмешенность оценки.

Несмешенная оценка  $x^*$  является достоверной тогда, когда характеризует закон максимальных чисел, т.е.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\{|x^* - x| < \varepsilon\} = 1, \quad (49)$$

$\varepsilon$  – относительная точность исследованного параметра.

При выявлении точечных оценок часто применяют способ правдоподобия. При этом методе функция правдоподобия имеет наибольшую величину.

При расчете точечных оценок по результатам испытаний используются различные методы. Для точечной оценки при отказе объекта можно использовать экспоненциальный закон распределения

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t), \quad (50)$$

$t$  – значение наработки на отказ.

Для точечной оценки в данном случае принимается только  $\lambda$ , характеризующая интенсивность отказов.

При использовании закона Гаусса для точечной оценки основными параметрами являются показатели  $\mu$  и  $\sigma$ .

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right). \quad (51)$$

При точечной оценке параметров с применением логарифмически нормального закона

$$f(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(lnt - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (52)$$

Оценки показателей вычисляются по формулам для нормального закона [13].

При точечной оценке параметров по определению Вейбулла их можно характеризовать зависимостью

$$f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right]. \quad (53)$$

Параметры  $a$  и  $b$  выбираются в зависимости от плана испытаний указанных в работах [14-16].

Расчет ресурса при полных, усеченных и многократных усеченных испытаниях определяется по методике, изложенной в работе [4].

Например, для ходовой части гусеничных машин и цилиндропоршневой группы двигателей тракторов в доремонтное время  $V=0,3$ , для механизмов трансмиссии и двигателей тракторов  $V=0,4$ , для узлов трансмиссии и тракторов в межремонтном периоде  $V=0,6$ , для подшипниковых узлов, валов зубчатых передач, работающих в закрытых агрегатах,  $V=0,4 \div 0,6$  (при большой загрузке  $V \approx 0,4$ ), для деталей, теряющих работоспособность в основном из-за внезапных отказов,  $V=0,8$ . Если при испытаниях не отказалось не одно оборудование, тогда производится расчет нижней доверительной границы характеристик надежности [4].

Определение среднего числа отказов машин и механизмов за установленную наработку обычно рассчитывают как по отдельным машинам, так и по отдельным узлам.

Процедура испытаний предшествует их планированию, заключающемуся в определении показателей норматива и количества оборудования [15, 17].

Одним из способов, используемых для сокращения количества экспериментов, не снижающих качество проверенных изделий, является применение критерия Неймана-Пирсона. Сущность критерия заключается в сопоставление выборочной оценки  $R^*$  с приёмочным нормативом  $R_{np}$ . Учитывается предположение  $H_0$  ( $R_\Phi \geq R_0$ ) и предположение  $H_1$  ( $R_\Phi \leq R_1$ ).

Одним из применяемых способов контроля надежности является метод двухступенчатого контроля и другие методы. Партии с очень низким или высоким уровнем надежности можно определить и при меньшем количестве экспериментов. Для этого достаточно применить метод последовательного контроля надежности с использованием критерия Вальда [9, 10, 18].

**Заключение.** Все описанные выше математические методы применимы при оценке надежности и долговечности машин и оборудования, работающих в экстремальных условиях.

## REFERENCES

1. Gihman I.I., Skorohod A.V., Yadrenko M.I. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika. Kiev: Vyssh. shkola. 2008. 439 s.  
**Гихман И.И., Скороход А.В., Ядренко М.И.** Теория вероятностей и математическая статистика. Киев: Выш. школа. 2008. 439 с.
2. Ivashev-Misatov O.S. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika. M.: Nauka, 1979. 256 s.  
**Ивашев-Мисатов О.С.** Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Наука, 1979. 256 с.
3. Nevzarov V.N., Sugak E.V. Nadezhnost mashin i oborudovanij. 4.1. Krasnoyarsk: SGTU, 1998, 264 s.  
**Невзаров В.Н., Сугак Е.В.** Надежность машин и оборудования. 4.1. Красноярск: СГТУ, 1998, 264 с.
4. Nechiperenko V.I. Strukturnyj analiz i metody postroeniya nadezhnyh sistem. M.: Sov. Radio. 1968. 255 s.  
**Нечиперенко В.И.** Структурный анализ и методы построения надежных систем. М.: Сов. Радио. 1968. 255 с.
5. Babaev S.G., Kershenbaum V.Y., Gabibov I.A. Evoluciya kachestva tribosopryazhenij neftegazovoj tekhniki. M.: NING, 2018.-516 s.  
**Бабаев С.Г., Кершенбаум В.Я., Габибов И.А.** Эволюция качества трибосопряжений нефтегазовой техники. М.: НИНГ, 2018.-516 с.
6. Ventcel E.S., Ovgarov L.A. Teoriya veroyatnostej. M.: Nauka. 1973. 260 s.  
**Вентцель Е.С., Овгаров Л.А.** Теория вероятностей. М.: Наука. 1973. 260 с.
7. Ignatev V.A., Manshin G.G., Trajnev V.A. Statisticheskaya optimizaciya kachestva funkcionirovaniya elektronnyh sistem. M.: Energiya. 1974, 264 s.  
**Игнатев В.А., Маньшин Г.Г., Трайнев В.А.** Статистическая оптимизация качества функционирования электронных систем. М.: Энергия. 1974, 264 с.
8. GOST 27.003-90. Nadezhnost v tehnike. Sostav i obshchie pravila zadaniya trebovaniy po nadezhnosti.  
ГОСТ 27.003-90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности.
9. Suleymanov P.G. Povyshenie nadezhnosti mashin i oborudovaniy, ekspluatiruemyh v ekstremalnyh usloviyah. Baku: Nauka. 2018. 308 s.  
**Сулейманов П.Г.** Повышение надежности машин и оборудования, эксплуатируемых в экстремальных условиях. Баку: Наука. 2018. 308 с.
10. Suleymanov P.G. Povyshenie nadezhnosti mashin i oborudovaniy, ekspluatiruemyh v ekstremalnyh usloviyah. Baku: Nauka. 2018. 308 s.  
**Сулейманов П.Г.** Повышение надежности машин и оборудования, эксплуатируемых в экстремальных условиях. Баку: Наука. 2018. 308 с.
11. Gafarov A.M. i dr. Vliyanie ostatochnyh napryazhenij na iznos vtulok serpnyh zvezdochek brashpilej sudov razlichnogo naznacheniya // Vestnik Azerbaijanskoy Inzhenernoj Akademii. Baku. 2017. №1. S. 32-41.  
**Гафаров А.М. и др.** Влияние остаточных напряжений на износ втулок цепных звездочек брашпилей судов различного назначения // Вестник Азербайджанской Инженерной Академии. Баку. 2017. №1. С. 32-41.
12. Gafarov A.M. i dr. Issledovanie vlijaniya harakteristik poverhnostnogo sloya na iznos detailej, obrabotannyh razlichnymi metodami // Teoreticheskaya i prikladnaya mehanika. 2016. №4, s. 118-125.

- Гафаров А.М. и др. Исследование влияния характеристик поверхностного слоя на износ деталей, обработанных различными методами // Теоретическая и прикладная механика. 2016. №4, с. 118-125.
13. Gafarov A.M. Tehnologicheskie sposoby povysheniya iznosostojkosti detalej mashin. Baku: Nauka, 1998. 318 s.  
Гафаров А.М. Технологические способы повышения износостойкости деталей машин. Баку: Наука, 1998. 318 с.
14. GOST 27.503-87. Nadezhnost v tehnike. Sistema sbora i obrabotki informacii. Metody ocenki pokazatelej nadezhnosti.  
ГОСТ 27.503-87. Надежность в технике. Система сбора и обработки информации. Методы оценки показателей надежности.
15. Nadezhnost i effektivnost v tehnike: Spravochnik v 10 tomah. T, 2. 1987. 280 s.  
Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 томах. Т, 2. 1987. 280 с.
16. Gafarov A.M., Sulejmanov P.G., Gafarov V.A. Prognozirovaniye i statisticheskaya ocenka nadezhnosti mashin i oborudovanij, ekspluatiruemyh v ekstremalnyh usloviyah // Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. 2014. №11. S. 15-17.  
Гафаров А.М., Сулейманов П.Г., Гафаров В.А. Прогнозирование и статистическая оценка надежности машин и оборудования, эксплуатируемых в экстремальных условиях // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2014. №11. С. 15-17.
17. Spravochnik po nadezhnosti. T.: Mir. 1969. 340 s.  
Справочник по надежности. Т.: Мир. 1969. 340 с.
18. Volkov L.I., Shishkevich A.M. Nadezhnost letatelnyh apparatov. M.: Vyssh. shkola. 2015. 293 s.  
Волков Л.И., Шишкевич А.М. Надежность летательных аппаратов. М.: Высш. школа. 2015. 293 с.

---

## **EKSTREMAL VƏZİYYƏTLƏRDƏ İŞLƏYƏN MAŞIN VƏ AVADANLIQLARIN ETİBARLILILIĞININ VƏ UZUNÖMÜRLÜLÜYÜNÜN TƏDQİQİNDƏ RİYAZİ METODLARIN ANALİZİ**

A.M. QAFAROV, P.H. SÜLEYMANOV, F.M. KÖLBİYEV, V.A. QAFAROV

Ekstremal vəziyyətlərdə işləyən maşın və avadanlıqların etibarlılığının və uzunömürlülüğünün qiymətləndirilməsi üçün əsas metodlardan biri riyazi metodlardır. Məqalədə, maşın və avadanlıqların etibarlılığının təyin edilməsi üçün müxtəlif riyazi statistika metodlarının tətbiqi ilə bağlı məsələlərə baxılır. Alınan qanuna uyğunluqlar müzakirə edilir.

*Açar sözlər:* maşınlar, avadanlıqlar, etibarlılıq, riyaziyyat, statistika, metodlar, təsadüfi kəmiyyətlər, funksiyalar.

## **ANALYSIS OF MATHEMATICAL METHODS IN THE STUDY OF RELIABILITY AND DURABILITY OF MACHINES AND EQUIPMENT WORKING IN EXTREME CONDITION**

A.M. GAFAROV, P.H. SULEYMANOV, F.M. KALBIYEV, V.A. GAFAROV

One of the main methods of evaluating the reliability and durability of machines and equipment working in extreme condition is the mathematical methods. The application of different mathematical statistics methods to determine the reliability of the machinery and equipment is considered in this article. Obtained consequences are discussed.

*Keywords:* machines, equipment, reliability, mathematics, statistics, methods, random quantity, functions.

UOT 539.2

## OVUNTU POLADININ MAQNİT XARAKTERİSTİKALARINA ELASTİK DARTILMANIN TƏSİRİ

T.M. PƏNAHOV\*, V.İ. ƏHMƏDOV\*, A.Ə. İSAYEVA\*

Ovuntu poladından hazırlanmış məmulatların istismarı prosesində gərginliklərin səviyyəsinin maqnit metodları ilə qiymətləndirilməsinin mümkünlüğünün müəyyən edilməsi məqsədi ilə, biroxlu dərtilmanın maqnit xarakteristikalarının dəyişməsinə təsiri tədqiq edilmişdir. Termik emal zamanı və biroxlu dərtilmədə ovuntu poladının maqnit xarakteristikalarının dəyişməsində aşkar edilmiş anomaliya materialın məsaməliliyi ilə əlaqələndirilir. Maqnit xarakteristikaları poladın tablaması və tab əksilməsi zamanı baş verən quruluş dəyişmələrinə qarşı çox həssasdırular və bundan əlavə reallaşmalarının sadəliyi ilə fərqlənilərlər. Dağıtmadan müayinə etmənin maqnit metodları polad məmulatlarda və istismar zamanı konstruksiya elementlərində təsir göstərən gərginliklərin səviyyəsini qiymətləndirmək üçün perspektivli metod hesab olunur.

*Açar sözlər:* tablama, gərginlik, ovuntu polad.

**Giriş.** Mexaniki xarakteristikaların yüksəldilməsi üçün tablamaya və tab əksilməyə məruz qoyulmuş materialın həcmində məsamələrin səthinin artmasının mövcudluğu ovuntu poladının plastiki deformasiyasının inkişafının mexanikasına güclü təsir göstərir. Yüksək kefiyyətli məhsul almaq üçün termik emaldan sonra ovuntu məmulatının quruluş halının və məsaməlilik xarakteristikasının dağıtmadan müayinə üsulu aktual məsələyə çevrilir [1]. Eyni zamanda termik emal edilmiş ovuntu poladlarından olan məmulatlarda maqnitostrukturoskopiyaya həsr edilmiş işlər açıq-aşkar kifayət qədər deyil [2, 3]. Bu işlərdə, belə böyük problemin yalnız ayrı-ayrı məsələlərinə toxunulmuşdur.

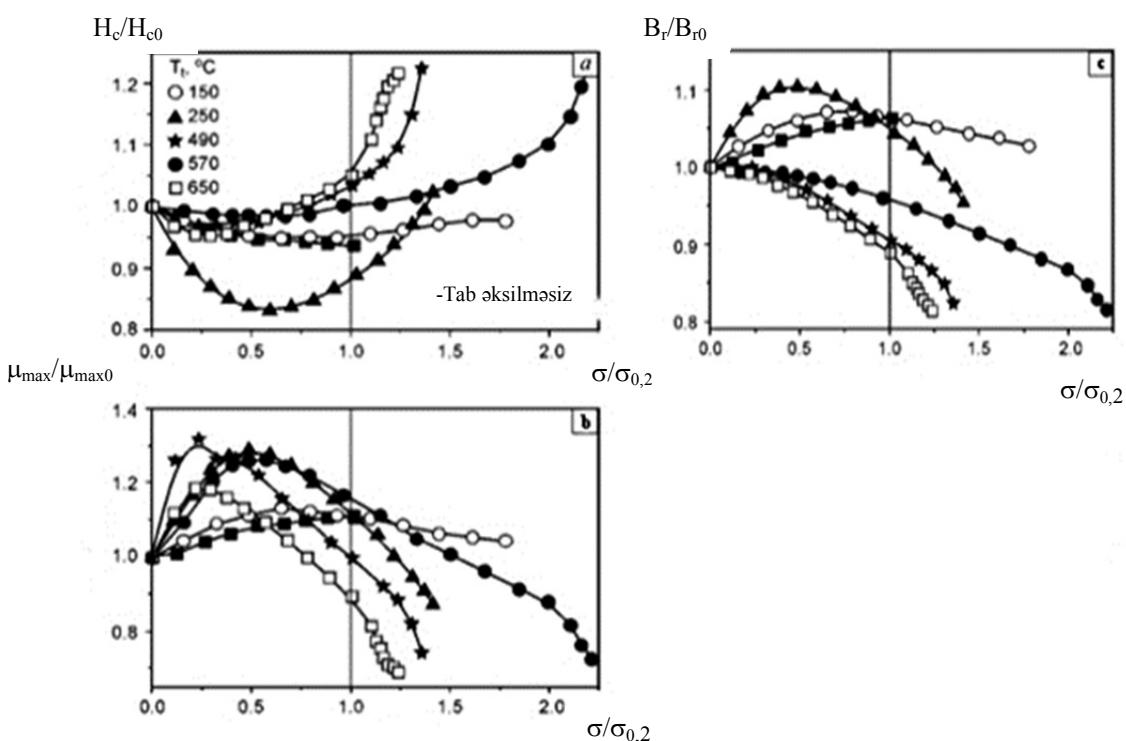
**İşin məqsədi.** Bişirilmiş ovuntu poladlarında təsir edən gərginliklərin qiymətləndirilməsi metodlarını işləmək üçün, müxtəlif quruluş halında olan, nümunələrin maqnit xarakteristikalarına deformasiyanın təsirinin öyrənilməsi maraq kəsb edir.

**Verilmiş məsələ.** Şəkil 1, a-da müxtəlif temperaturlarda tabi əksilmiş nümunələrin  $H_c/H_{c0}$  koersitiv qüvvələrin nisbi qiymətlərinin axıcılıq həddinə gətirilmiş, tətbiq edilmiş dərtici gərginlikdən asılılığı ( $H_{c0}$ -nümunələrin dərtilmədən əvvəl başlangıç halda koersitiv qüvvədir) verilmişdir. Şəkil 1, b, c-də anoloji asılılıqlar maksimal maqnit nüfuzluğu və qalıq induksiya üçün verilmişdir.

Görünürdüyü kimi, nisbi koersitiv qüvvənin xarici dərtici gərginlikdən asılılığı əsasən qeyri-monoton xarakter daşıyır: dərtilmanın başlangıç etapında koersitiv qüvvə azalır, xarici dərtici

\* Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti

gərginliyin sonrakı artması zamanı isə  $H_c/H_{c0}$  ( $\sigma/\sigma_{0,2}$ ) asılılığında minimum əmələ gətirərək artır. Dartılmanın elastiki deformaiya oblastında yaranan bu minimumun səbəbi ənənəvi tökmə karbonlu poladlar üçün ədəbiyyatda kifayət qədər ətraflı müzakirə edilib [1]. Ədəbiyyatdan məlum olanları ümumiləşdirərək söyləmək olar ki, nümunələrin dartılması zamanı  $H_c$ -in qeyri-monoton dəyişməsi əsasən iki faktorun təsiri ilə müəyyən olunur. Əvvəla, bu pay domen quruluşunun yenidən qurulması ilə əlaqədar nümunələrin elastiki deformasiyası zamanı gətirilmiş maqnit anizotropiya ilə şərtlənir. Dartılma zamanı maqnitostriksiyası və xarici gərginliyi eyni işarəyə malik materiallar üçün, dərtici elastiki gərginlik tətbiq edilmiş yükün istiqaməti boyunca yenidənmaqnitlənmə prosesini asanlaşdırır. Bu zaman 90-dərəcəli domen sərhədləri faktiki yox olur ki, bu da nümunənin koersitiv qüvvəsinin müəyyən qədər azalmasına gətirir. Dartılmanın sonrakı elastiki və daha sonrakı plastiki deformasiya oblastında materialda daxili gərginliklərin və dislokasiyaların sıxlığının artması ilə əlaqədar olaraq  $H_c$ -in artması üstünlük təşkil edir. Bu iki əks tendensiyanın rəqabəti nəticəsində  $H_c(\sigma)$  asılılığında minimum yaranır.

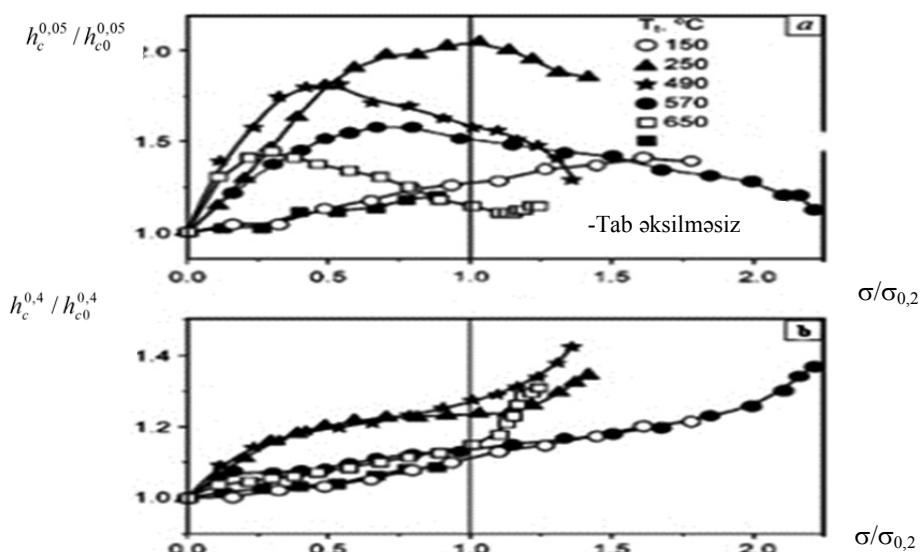


**Şəkil 1.** Tablamadan və sonrakı tab əksilmədən sonra axıcılıq həddinə gətirilmiş 50H2M ovuntu poladı nümunələrinin nisbi koersitiv qüvvəsinin (a), maksimal maqnit nüfuzluğunun (b) və qalıq maqnit indukiyasının (c) xarici dərtici gərginlikdən asılılığı.

Eyni miqdarda legirləyici elementə malik, lakin karbonun konsentrasiyası kiçik olan (0,35 küt %) ovuntu konstruksiya poladları üçün [2] işində analoji asılıqlar müşahidə edilmişdir. Aşkar edilmişdir ki,  $H_c/H_{c0}(\varepsilon)$  asılılığında “minimumun dərinliyi” ( $H_c/H_{c0}$  ( $\sigma/\sigma_{0,2}$ ) asılılığına anoloji) digər eyni şərtlərdə nümunələrin məsaməliliyi çox olduqca daha böyük olur. Bunu, əsasən 90-dərəcəli domen sərhədlərinə malik bağlayıcı domen quruluşunun formallaşması ilə izah edirlər. Bununla belə fərz edilir ki, məsaməli poladlarda 90-dərəcəli domen sərhədləri eyni quruluşlu tökmə poladlara nisbətən əhəmiyyətli dərəcədə böyük olacaq. Bir halda ki, maqnitoelastiki

anizotropiya 90-dərəcəli domen sərhədlərinin həcmini azaldır, onda da böyük məsaməliliyə və beləliklə yüksək konsentrasiyalı 90-dərəcəli domen sərhədlərinə malik ovuntu poladlarının elastiki deformasiyası zamanı bu azalma daha nəzərə çarpacaq olacaqdır. Bizim halımızda  $H_c/H_{c0}$  ( $\sigma/\sigma_{0,2}$ ) asılılığında məsaməliliyin müxtəlif qiymətinin “minimumun dərinliyinə” təsiri minimaldır. Belə ki, bütün nümunələr eyni məsaməliliyə malikdir (təqribən 5 %). Lakin, məsamələr rolunu zəifmaqnit sementit daxilolmaları o zaman oynaya bilər ki, onların ölçüsü elə olsun ki, onların yaxınlığında 90-dərəcəli domen divarlarına malik bağlayıcı domenlər əmələ gələ bilsin. Yeri gəlmışkən qeyd etmək lazımdır ki,  $H_c/H_{c0}$  ( $\sigma/\sigma_{0,2}$ ) asılılığında minimumun qiyməti və vəziyyəti müxtəlif quruluş hali ilə, məhz karbid daxilolmaların miqdarı və ölçüsü ilə əlaqədardır. Ovuntu poladlarında dərtılmanın başlangıç etapında maqnit bərkliyinin azalması maksimal maqnit nüfuzluğunun artmasına səbəb olur. Nümunələrin sonrakı dərtılmasında maqnit bərkliyinin artması ilə müşayət olunur, bu da  $\mu_{max}$  qiymətinin azalmasına gətirir (şəkil 1, b). 250 °C qədər temperaturda tabi əksilmiş nümunələrə tətbiq edilmiş gərginlikdən asılı olaraq qalıq maqnit induksiyasının dəyişməsi maksimal maqnit nüfuzluğunun özünü aparmasına anolojidir. 490 °C qədər və daha yüksək temperaturlarda tabi əksilmiş nümunələrdə  $\sigma$ -nın artması ilə  $B_r$ -in qiyməti monoton azalır (şəkil 1, c).

Şəkil 1,a və 2-dən göründüyü kimi, 50H2M ovuntu poladı üçün tətbiq edilmiş maksimal sahədə alınmış koersitiv qüvvə nümunələrin deformasiyası zamanı əvvəlcə azalır, xarici dərtici gərginliyin sonrakı artması zamanı  $H_c/H_{c0}$  ( $\sigma/\sigma_{0,2}$ ) asılılığında minimumun əmələ gətirərək azalır (şəkil 1, a). Zəif sahələrdə (Reley oblastında) yenidənmaqnitlənmə zamanı vəziyyət əksinədir: nümunələrin deformasiyasının başlangıç etapında koersitiv qüvvə əvvəlcə artır, sonra isə  $h_c^{0,05}/h_{c0}^{0,05}$  ( $\sigma/\sigma_{0,2}$ ) əyrisində maksimum əmələ gətirərək azalır (şəkil 2, a).



*Şəkil 2. Tablamadan və sonrakı tab əksilmədən sonra axıclığı həddinə gətirilmiş 50H2M ovuntu poladı nümunələrinin  $b_{max}=0,05$  (a) və 0,4 Tl (b) qiymətlərində məxsusu histerezis iləgəyindən alınmış koersitiv qüvvəsinin xarici dərtici gərginlikdən asılılığı*

Bu maksimumun vəziyyəti tab əksilmə temperaturundan asılı olaraq  $(0,3-1,0)\sigma_{0,2}$  intervalında dəyişir. Orta sahələrdə ( $b_{max}=0,4$  Tl) yenidənmaqnitlənmə zamanı xarici dərtici gərginliklərin artması ilə bütün nümunələrdə koersitiv qüvvə monoton artır (şəkil 2, b). 150, 570 və

650  $^{\circ}\text{C}$  temperaturlarda tab əksilmədən sonra nümunərin dərtılmasının elastiklik oblastında  $h_c^{0,4}$  qiyməti 10 % artır, 250 və 490  $^{\circ}\text{C}$  temperaturlarda tab əksilmədən sonra isə 20 %-dən çox artır. Tabı əksilməmiş və 150  $^{\circ}\text{C}$  temperaturda tabı əksilmiş tablanmış nümunələrin  $h_c^{0,4} / h_{c0}^{0,4} (\sigma / \sigma_{0,2})$  asılılığı üst-üstə düşür. Zəif sahələrdə ( $b_{\max}=0,05$  Tl) ölçülümiş koersitiv qüvvə tətbiq edilmiş gərginlikdən asılı olaraq elastiklik oblastında iki dəfəyə qədər arta bilər. Eyni zamanda  $H_c$ ,  $h_c^{0,4}$ ,  $\mu_{\max}$  və  $B_r$  kəmiyyətlərinin dəyişməsi 30 %-i aşırı.

**Nəticə.** Qeyd etmək lazımdır ki,  $h_c^{0,05}$  kəmiyyəti  $H_c$ ,  $h_c^{0,4}$ ,  $\mu_{\max}$  və  $B_r$  kimi xarakteristikalarla müqayisədə daha böyük xəta ilə təyin edilir. Buna görə də termik emal edilmiş 50H2M ovuntu poladından hazırlanmış məmulatlarda dərticə gərginliklərin səviyyəsini qiymətləndirmək üçün  $h_c^{0,4}$  kəmiyyəti daha üstündür. Belə ki, o əvvəla daha kiçik xəta ilə təyin edilir, ikincisi nümunə dağılına qədər monoton artır.

## REFERENCES

1. **Pənahov T.M., Quliyeva G.Ə., Pənahov N.T.** Dəqiq ərintilərin fiziki metalşunaslığı. Ali məktəblər üçün dərs vəsaiti. - Bakı, 2000. 556 s.
2. **Gorkunov E.S., Zadvorkin S.M., Mitropolskaja S.Y., Subachev Y.V., Uljanov A.I.** Vlijanie uprugoelasticheskoy deformacii na magnitnye harakteristiki konstrukcionnoj poroshkovoj stali s razlichnoj ostatochnoj porostostju // Defektoskopiya. - 2007. №12. - S.136-146.  
**Горкунов Э.С., Задворкин С.М., Митропольская С.Ю., Субачев Ю.В., Ульянов А.И.** Влияние упругоэластической деформации на магнитные характеристики конструкционной порошковой стали с различной остаточной пористостью // Дефектоскопия. - 2007. №12. - С.136-146.
3. **Pənahov T.M., Musayev Z.S., İsayeva A.Ə.** CoFe əsaslı amorf ferromaqnit ərintilərin maqnit müqaviməti effekti // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının xəbərləri. Cild 11, №1, Bakı – 2019. C.86-89.

---

## ВЛИЯНИЕ УПРУГОГО НАТЯЖЕНИЯ НА МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УТИЛИРОВАННОЙ СТАЛИ

Т.М. ПАНАХОВ, И.В. АХМЕДОВ, А.А. ИСАЕВА

С целью определения возможного оценивания величины уровня натяжения в процессе эксплуатации изделий, изготовленных из утилизированной стали, исследовано влияние одноосного натяжения на изменение магнитных характеристик. Аномалия, выявленная с изменением магнитных характеристик во время термической обработки и одноосного натяжения утилизированной стали, связана с пористостью материала. Магнитные характеристики очень чувствительны к структурным изменениям, происходящим во время отжига и закалки стали, и отличаются простотой их реализации. Магнитный метод без разрушения является перспективным методом оценки уровня натяжения стальных изделий и конструкционных элементов во время эксплуатации.

**Ключевые слова:** отжиг, натяжение, утилизированная сталь.

## EFFECT OF ELASTIC TENSION ON THE MAGNETIC CHARACTERISTICS OF RECYCLED STEEL

T.M. PANAHOV, V.I. AHMEDOV, A.A. ISAYEVA

In order to determine the possible evaluation of the level of tension during the operation of a product made of recycled steel, the effect of uniaxial tension on the changes in magnetic characteristics was investigated. The anomaly revealed with a change in the magnetic characteristics during the heat treatment and uniaxial tension of the recycled steel was associated with the porosity of the material. Magnetic characteristics are very sensitive to structural changes that occur during annealing and hardening of steel and, moreover, differ in their ease of implementation. The magnetic method in the analysis without failure is a promising method for estimating the tension level of steel products and structural elements during operation.

**Keywords:** annealing, tension, recycled steel.

**UOT 621.539**

## **PISTONLU NASOSLARDA PİSTON-OYMAQ CÜTÜNÜN YEYİLMƏ XARAKTERİSTİKASI VƏ BƏRPASI ÜÇÜN TƏKRAR EMALI PROSESİ**

N.Y. İBRAHİMOV\*

---

Pistonlu nasosların piston-silindr cütlərində abraziv, hidroabraziv və eroziya-korroziya yeyilmələrinin parametrləri təyin edilmişdir. Bu yeyilmələrdə sürtünmənin yolu, oxbodu və en kəsiklərdə yeyilmonin dərinlikləri və eləcədə yeyilmənin intensivliyinin tədqiqatları aparılmışdır. Piston və silindr-oymaq cütünün bərpa olunması üçün təkrar emalın parametrləri tədqiq edilmişdir. Bu parametrlərdən mexaniki emalın həddi meyilikləri və işçi səthlərin kələ-kötürlüyü təyin adılmışdır.

**Açar sözlər:** *Pistonlu nasoslar, piston-oymaq-cütü, yeyilmənin xarakteristikası, yeyilmənin intensivliyi, en kəsik və oxbodu yeyilmələr, bərpanın təkrar emalı, səthin kələ-kötürlüyü.*

---

**Giriş.** Pistonlu qazma nasosları mühitin yüksək təzyiqlərində və temperaturasında işləyərək öz iş qabiliyyətini sürtünmə düyünləri arasında hermetiklik pozulmayanadək saxlaya bilirlər. Bütün konstruktiv texnoloji tədbirlər bu vacib funksional tələbləri təmin edilməsinə yönəldilir. Lakin cütlərin hermetik və dəqiqlik göstəriciləri bir-biriylə bağlıdır. Hidravlik düyun hissələrinin hərtərəfli öyrənilməsinə baxmayaraq onların dəqiqliyinin göstəriciləri və istismar etibarlığının təmin edilməsi ən vacib şərtlərdən hesab edilir.

Qeyd etmək lazımdır ki, piston özəyi termiki emal oluna bilən xüsusi poladdan isti döymə ilə hazırlanır. Piston gövdəsi ən böyük təzyiqlərə hesablanmışdır. Üzərində olan yarıqlar onu göstərir ki, piston bu dərinliyə qədər yeyilə bilər. Gövdənin flansı ən az yeyilən hissələrdən biri olub uzunömürlüyə malikdir [1, 2].

Səthin xüsusi emalı isə onun oymaq səthinə sürtünmədən yeyiməsinin qarşısını alır və piston-oymaq cütünün ömrünü uzadır. Piston üzərində olan yarıqların dərinliyi 0.25-0.75 mm olmalıdır. Bu yarıqlardan istifadə etməklə emala daxil olan pistonlarda yeyilmə həddini asanlıqla təyin etmək olar. Digər tərəfdən təzyiqin düşməsi pistonların dəyişdirilməsinə lazım olduğunu bildirir. Nasazlıq tez bir zamanda məlum olur və daha mürəkkəb xətaların qarşısının alınması mümkündür.

Onlarda da 0.25-0.75 mm yeyilmə miqdarı işarə edən pilləli yarıqlar hazırlanır. Neft olmayan və ya az miqdarda neft məhsullarının iştirak etdiyi şəraitdə işləyən nasoslarda pistonlar yüksək yeyilməyə davamlı təmiz rezindən hazırlanır.

Digər bir məlum texnologiyaya görə iki pistonlu qazma nasoslarının pistonlarının hazırlan-

---

\* Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

ması üçün bütöv və plastik həlqələrdən istifadə etməklə yiğilmiş pistonlar tətbiq edilir. Qeyd etmək lazımdır ki, bütün sənaye emal üsullarının özləri müəyyən çirkənmə yaradırlar. Ona görə də səthlərin çirkənməsi onların təmizlənmə üsullarına uyğun təsnifatlaşdırmaq məqsədə uyğundur.

**Məsələnin aktuallığı.** Hissə səthlərinin paslanma izlərindən, çirkdən, o cümlədən neft məhsullarının qalıqlarından azad etmək üçün təmizlənməsi nəzərdə tutulur. İşçi səthlərində korroziya məhsullarından təmizləmək üçün mexaniki təmizləmə üçün təmizləmə üsullarından başqa tərkibində xlorid turşusu, kağız kütłəsi, formalı və su olan müxtəlif paslar və eləcə də tərkibində 1% sink daxil edilmiş xlorid turşusu və ya 15%-li sulfat turşusunun məhlulundan istifadə edilir. Hissə səthlərinin çirk və ya yağlardan təmizləmək üçün yuyucu mayelər qismində soyuq və isti sudan ( $70-90^{\circ}\text{C}$ ), isti qələvi məhlulları və yağısızlaşdırıcı mayelər (benzin, kerosin, aseton) istifadə edilir. Hissə səthlərini korroziyadan qorumaq üçün qələvi məhlullarına 0.2-0.5 % xrom anhidridi və sodium nitrit əlavə edilir.

Qələvi və turşulu məhlulların təsirini neytrallaşdırmaq məqsədi ilə təmizlənmiş hissələri qaynar suda təmizləyirlər. Yuyucu maye sərfinin miqdarını azaltmaq, yuma prosesini asanlaşdırmaq və sürətləndirmək məqsədi ilə hissələr qabaqcadan isti buxar ilə üfürülərək təmizlənir.

Hissə səthi nə qədər çirkdən və neft məhsullarından yaxşı təmizlənərsə çəkilən rezin örtük bir o qədər səthə möhkəm və etibarlı yapışır və alt təbəqə bir o qədər korroziyadan qorunmuş olur. Bununla təmizlik və yuyulma prosesləri başa çatmaqla piston və oymaq sisteminin yeyilmədən dəqiqliklərinin təyini və bərpa texnologiyasında təkrar emalın işləyib hazırlanması qarşıya qoyulan məsələnin aktuallığını özündə eks etdirir.

**Piston-oymağın yeyilməyə davamlığının təhlili.** Nasosların ən çox ağır iş şəraitində piston-silindr oymağı cütü işləyir. Qazma nasoslarının pistonları rezin metal birləşməsindən ibarət bir hissədir. Taxma plastmas həlqələrə xüsusi tələblər qoyulur, o cümlədən vurulan mayenin böyük təzyiqlərində radial istiqamətdə deformasiya edərək araboşluğun kipləşdirmək imkanı, böyük təzyiq və temperatur şəraitində mayenin sızmasının qarşısını alır. Kipləşdirici rezin materiallarının istiliyi döyümlüyü  $135-250^{\circ}\text{C}$  də təmin edilir [ 1, 2].

Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, piston-silindr cütlərində sıradan çıxma hallarından biri də kipliyn təmin olunmamasıdır. Silindr oymağının işləmə müddətində kipləşdirici element olan rezin və plastik material oymağın daxili səthlərini sürtünmə ilə yeyilməyə məruz edir. Bununla silindirin daxili divarında araboşluğu əmələ gəlir. Bu amillər silindr-piston cütlərinin iş rejimini pozaraq tez bir zamanda sıradan çıxma hallarına gətirib çıxarır. Silindr oymağının yeyilməsinin səbəbi və xarakterləri ayrı-ayrı yerlərdə abraziv hissəciklərin təsirindən yaranır. Bu əmələ gələn cizgilər daha dərindən gedərək müxtəlif dərinlikdə yarıqlar yaradırlar ki, bunların nəticəsində kiplikdən başqa, səthlərdə intensiv yeyilmə baş verir. Bunları nəzərə alsaq piston-silindr cütlərində dərinliyi müəyyən qədər olan səthlərdən intensiv yeyilmə ilə olan bu cütlərin etibarlığı və uzunmürlüyü təyin edilir. Bu amillərin aradan qaldırılması üçün əsasən hazırlanmış silindirik oymaqların daxili səthlərində möhkəmliyə və yeyilməyə davamlığının artırılması təkrar emalla **yerinə-yetirilə bilər**.

Bir çox zavodlarda hazırlanan oymaqların materialları polad-45 və polad-40X olmaqla işçi daxili səthləri yüksək tezlikli cərəyanla tablama proseslərini yerinə yetirirlər. Bir çox zavodlarda hazırlanan silindirik oymaqların istismar müddətini artırmaq üçün Polad-70 materialından yüksək tezlikli cərəyanla əlavə qızdırma ilə və yaxud sementləşmə üsulu ilə möhkəmlik və yeyilmə davamlığı bir neçə dəfə artırılır. Qeyd edək ki, elmi tədqiqat institutunda yüksək tablama prosesi ilə yanaşı azotlaşma və üz çəkməklə davamlığı artırmaq mümkün olmuşdur [3,4].

Aparılan sınaqlar göstərir ki, silindirik oymaqların bor, nikel, çuqunla üz çəkilərək (2.9%

C, 1.8% B, 3.7% Ni, 10% Mn, 0.8% Si) tərkibində oymaqların yeyilmə davamlığını artırırlar. Eyni zamanda silindirik oymaqların uzunömürlüyünü artırmaq üçün müxtəlif yeyilməyə davamlığı səthləri olan çuqunlardan istifadə edilir. Əsasən borlaşdırılmış (3% C, 2% B, 8% Mn, 1.5% W, 0.6% V) tərkibində silindirik oymaqlı detalların bərkliyini HRC=65÷75 həddinə çatdırmaq mümkün olmuşdur [5,6].

Sənayedə aparılan sınaqlardan belə görünür ki, borlaşdırılmış oymaqların uzunömürlüyü 2.5-3.0 dəfə çox olur. Nəinki, adı polad borularda hazırlanmış silindirik oymaqlı cütlərin eyni şəraitdə işlənməsinin nəticələridir.

Bunları nəzərə alsaq bir çox hallarda silindirik-oymaqların yeyilmə davamlığı və kipləşdirilməsini səthlərin möhkəmliyini və bərkliyin artırmaq vasitəsi ilə əldə etmək olar. Bu hallar həmişə müsbət nəticələri vermir, silindirik oymaqlı öz döyümlüyünü mürəkkəb şəraitdə itirərək sıradan çıxır. Uzun müddətli təmirdən sonra silindirik oymaqları təkrar emal edərək onun səthlərində bərpə texnologiyası aparırlar. Bu üsulla görə sürtünmə cütlərində olan səthlərin məlum olan ölçülərini müəyyən həndəsi formaya gətirərək, kələ-kötürlük verməsi ilə müxtəlif mexaniki emaldan istifadə edilir. Təmirə daxil olan qazma nasoslarının silindirik oymaqlarında aparılan təcrübi ölçmələrin nəticələri göstərir ki, silindir oymaqlarının böyük əksəriyyəti bir tərəfli yeyilmə, çox az qismində isə bərabər yeyilmə halları müşahidə edilir [4-6].

Texnoloji irsiyyət halından fərqli olaraq istismar irsiyyəti halı nasos və onun mexanizmlərinin iş qabiliyyətinin parametrləri ilə, iş şəraiti və iş rejimini nəzərə almaqla nasosun sərf edilmiş resursunun miqdarı arasındaki əlaqəni əks etdirir.

Hidravlik hissə səthlərinin ayrı-ayrı sahələrində yeyilmənin intensivliyi onların səthlərin strukturu və gərginlik səviyyəsindən asılıdır. Bu da hidravlik düyun hissələrinin hazırlanmasının bütün texnoloji əməliyyat ardıcılığını, istismar müddətində təsir edən qüvvələrin növlərinin ardıcılığını əhatə edir.

Müasir neft-mədən nasosları, quyuların qazılmasında və istismarında geniş diapazonda texnoloji rejimləri yerinə yetirən, müxtəlif konstuksiyalardan ibarətdir [7, 8]. Neft-mədən quyularının qazılmasında və istismarında istifadə olunan nasosların böyük bir hissəsini pistonlu nasoslar təşkil edir. Bu nasoslarda qısa müddətdə hidravlik düyunlər sıradan çıxaraq qurğunun etibarlığını və uzunömürlüyünü aşağı salır.

Piston-silindr oymağı cütündə sıradan çıxmaları təyin etmək üçün istismar şəraitini dərinləndən öyrənib, imtinanın səbəblərini təhlil edirlər. Piston-silindr cütündə oymağın səthlərində abraziv hissəciklərin təsirindən cizgilərin, sıyrımların, ovuntuların və qopmaların əmələ gəlməsi müşahidə olunmuşdur. Aparılan tətqiqatlar göstərir ki, piston-silindr oymağında intensiv yeyilmənin əsas səbəblərdən biri də yuyucu və gilli məhlulların tərkibinin və texnoloji proseslərinin dəyişilməsi ilə silindr-oymağın səthlərində qeyri-bərabər sürtünmələrin nəticələridir [7, 9].

Cədvəl 1-də silindr-oymaqların təkrar emalının parametrləri göstərilmişdir.

Silindr-oymağın eninə kəsik müstəvisində radial yeyilmə müəyyən qanuna uyğunluğa malik olur. Yeyilmənin böyük həddi əksər hallarda oymağın aşağı hissələrində müşahidə olunur. Bu yeyilmə məhlullarda olan ağırlaşdırıcıların və abraziv zərrəciklərinin çəkisinin dəyişməsinə təsiri və xassələri ilə izah edilir. Bunlara baxaraq sıradan çıxmış hissələrin tədqiqatı göstərir ki, silindr-oymağın ehtimal olunan birtərəfli radial yeyilməsinə səbəb, eyni zamanda silindr oymaqlarının metal səthlərində piston özəyinin elastik kipləşdiricisində yaranan gərginliklərdir ki, bunlarda oymaq və pistonun arasında olan ara boşluğunun ciddi artmasına böyük təsir göstərmmiş olur.

**Cədvəl 1****Silindirik oymaqların yeyilmə xarakteristikası**

Yeyilmənin növləri	Sürtünmə-nin yolu, (mm)	Oxboyu kəsikdə yeyilmə (mkm)	En kəsikdə yeyilmə dərinliyi, (mkm)	En kəsikdə - qopmaların sa-yı, (m-1)	Yeyilmənin int-tensivliyi, (mkm/saat)
Abraziv	12.82	180	125	49	0.0382
Hidroabraziv	18.94	250	234	58	0.0048
Eroziya	21.22	380	286	64	0.056
Eroziya-Korroziya	31.46	425	322	82	0.0078

Silindr-oymağın daxili səthlərində yaranan qüsurlar, yəni siyrilmalar, müxtəlif cizgilər, qopmalar və çökəklər hidroeroziya prosesləri ilə də müşahidə olunur. Bununla əlaqədar olaraq piston kipləşdiricilərinin yeyilmə növləri müxtəlif olaraq ən geniş yayılmış silindrik -oymağın işçi səthi ilə pistonun özəyinin yaratdığı ara boşluğunundan çıxan abraziv maye şırnağının yaratdığı yorulmadan dağıılma proseslərdir [9].

Bu araboşluğunun artması və təzyiqin aşağı düşməsinə səbəb olur. Göründiyi kimi, təzyiqin  $20 \div 30$  MPa qədər artması, araboşluğuna uyğun olaraq 0.50-0.75 mm cıvarında dəyişməsinə səbəb olur.

Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, piston və silindr-oymağı arasında olan araboşluğu məhlulda olan abraziv hissəciklərin ölçüsündən böyük olmalıdır. Təcrübələr göstərir ki, piston və silindirik-oymağın işçi səthləri arasındakı ilkin araboşluğunu optimal qiyməti 0.5-0.8 mm cıvarında qəbul edilir.

**Təkrar emal prosesinin tədqiqi.** Silindr oymağı işçi səthinin yeyilməsi daxili səthlərin kəsiyində, bir orta və iki kənar kəsiklərdə və ya hər kəsikdə ölçmə aparmaqla təyin edilir. Ölçmənin nəticələri göstərilmiş qiymətdən artıq olarsa silindr oymağının daxili səthləri yonulur və ya yeni oymaqlarla əvəz edilir. Digər tərəfindən rəhbər sənədlər göstərir ki, normal yeyilmə prosesi gedən silindr oymaqların yeyilmə miqdardından asılı olaraq daxili səthləri yonmaq olar. Bu zaman yonmların ümumi qalınlığı, silindr oymağının ilkin divarının qalınlığından 15 % çox olmamalıdır.

Silindirik oymağının daxili işçi səthinin 25% dək uzunlığunda 0.5 mm dək dərinlikdə olan cızıq və zədələr müxtəlif mexaniki emal üsulları ilə aradan qaldırılır. Yeyilmiş silindr oymağının daxili səthləri, ovallığı dəqiqlik kvalitet üzrə göstərilən ölçülərdən artıq olmamalıdır. Daxili silindirik səthin yonma və pardاقlanmasından sonra kələ-kötürlüyü  $R_a$  1.25-dən aşağı olmamalıdır. İç yonuşdan sonra silindirlər hidravlik sınaqlara məruz qalır. Hidravlik sınaqlar sınaq təzyiqində təlimata uyğun yerinə yetirilir. Pistonla- silindr oymağı arasında araboşluğu xüsusi alətlə, silindr oymağının daxili səthinin bir tərəfində pistona sıxmaqla ölçülür. Ara boşluğunun çıxış qiyməti aşağıdakı ifadə təyin edilir [6, 8].

$$K = (0.013-0.015) d \quad (1)$$

Burada  $d$  - silindr oymağının daxili diametridir.

Nəzərəalsaq ki, hidravlik silindirlərin divarının qalınlığı aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir.

$$S = \frac{d}{2} \sqrt{\frac{4\sigma + 3P}{4\sigma - 3P}} + K_0 \quad (2)$$

Burada  $P$  - silindirdə ən böyük təzyiqdir;  $\sigma$  - silindrin divarında yaranan ən böyük radial gərginlikdir.  $K_0$  - təkrar üç yonmaların nəzərə alan əlavə əmsaldır,  $K_0 = 0.01 \div 0.015$  qəbul edilir.

Silindirik oymaqlarının və piston özəyinin təkrar emalının iqtisadi səmərəsi olduqca çoxdur, Əsasən də hazırlanması nisbətən çətin olan silindir oymaqlarının təkrar emalı materiallara qənaət etməklə yanaşı, mexaniki emalla bağlı xərcləri də azaltmağa imkan verir. Silindirik oymaqları təkrar emal edərək istifadə etmək, yəni silindirin iş qabiliyyətinin bərpa edilməsinin mümkünlüyü nəzərə alaraq, bu hissənin bərpası üçün yeyilmiş hissələrin təmir ölçülərinin istifadəsi daha məq-sədəuyğun hesab edirlər.

Silindirik oymaqlarının daxili səthlərinin təkrar emali prosesi kobud və təmiz iç yonuş və pardaq əməliyyatlarında tələb olunan forma dəqiqliyinin və səthin kələ-kötürlüyü əldə etmək üçün yerinə yetirilir. Texnoloji proses hazırlıq əməliyyatlarından, termiki emal, təkrar emal, nəzarət və kimyəvi- termiki emal əməliyyatlarında ardıcılıqla istifadə edilir. Qeyd etmək lazımdır ki, piston özəyi termiki emal oluna bilən xüsusi poladdan isti döymə ilə hazırlanır. Piston gövdəsi ən böyük təzyiqlərə hesablanmışdır [8, 9].

Digər bir məlum texnologiyaya görə iki pistonlu qazma nasoslarının pistonlarının hazırlanması üçün bütöv və plastik həlqələrdən istifadə etməklə yiğilmiş pistonlar tətbiq edilir. Silindirik-oymağın səthlərində təkrar emalın parametrləri cədvəl-2-də göstərilmişdir.

## Cədvəl 2

**Piston-silindr cütünün təkrar emalı**

Hissənin adı	İşçi səthinin diametri, mm	Həddi meyillilikləri, mm	İşçi səthinin kələ-kötürlüyü Ra (mkm)	Materialı	Termiki Emalı
Silindr oymağı	130-200	$D^{+0,3}$	0.63	Polad 70 DST 1050	Tabayüksəltmə YCT $h \geq 3$ mm 60...64
Piston özəyi	130-200	$D_{-0,8}^{-0,5}$	1.6	Polad 45 DST 1050	Səthi möhkəmləndirmə aparılmır

**Nəticə.** Tədqiqatlar göstərir ki, silindirik-oymağın həndəsi formadan meylli hazırlanma hallarına rast gəlinir. Bu hallarda silindr-piston düyünlərində pistonun silindr boyu hərəkəti zamanı deformasiya və gərginliklərin qiymətinin dəyişməsi halları müəyyən fəsadlara gətirib çıxarda bilər. Bütün bunları nəzərə alaraq piston-oymaq cütündə yarana bilən xətaları aradan qaldırmaq üçün müxtəlif konstruktiv və texnoloji həll yolları işlənib hazırlanmalıdır. Beləliklə, bütün toplanmış məlumatlar əsasında araşdırımlar aparıb silindr-piston cütünün etibarlığının və uzunömurlüğünün artırılması üçün əsasən silindrin səthlərinin möhkəmliyə davamlığının və bərpa üsullarının seçilməsi və tətbiq edilməsi tövsiyə edilir.

Silindr-piston düyünün iş prinsipi geniş olub müxtəlif şəraitlərlə xarakterizə olunur. Bu şəraitlərin ən əsası silindr-piston düyünün kontakt sahələrində temperaturanın, təzyiqin, surətin, aktiv mühitin və s. amillərin ani dəyişilməsi nəzərdə tutulur. Bundan başqa kontakt səthlərinin funksionallığı, istismar şəraitinin, konstruksiyaların müxtəlif müxtəlifliyi mühüm yer tutması nəzərə alınmalıdır.

Sürtünən düyünlərdə yeyilmənin müxtəlifliyi də əsas şərtlərdən biridir. Ona görə də silindir-oymağın hazırlanma texnologiyası, istismar xarakteristikaları və səthlərin yeyilmə növləri mühüm rol oynayır. Bu amillərin təsir xarakteristikalarını M.M.Xruşovun, J.V.Kragelskinin, S.H. Babayevin və başqalarının elmi əsərlərində rast gəlmək olur.

## REFERENCES

1. Babaev S.G., Kerimova L.S. Povyshenie kachestva i nadezhnosti neftepomyslovogo oborudovaniya. - Baku: Elm, 1996. - 256 s.  
**Бабаев С.Г., Керимова Л.С.** Повышение качества и надежности нефтепромыслового оборудования. - Баку: Элм, 1996. - 256 с.
2. Verzlin O.I. Sovremennye burovye nasosy. - M.: Mashinostroenie, 2001. - 256 s.  
**Верзлин О.И.** Современные буровые насосы. - М.: Машиностроение, 2001. - 256 с.
3. Nadezhnost i remont mashin / V.V. Kurchatkin, N.F. Telnov, K.A. Achkasov i dr.; pod red. V.V. Kurchatkina. - M.: Kolos, 2000. - 776 s.  
Надежность и ремонт машин / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов и др.; под ред. В.В. Курчаткина. - М.: Колос, 2000. - 776 с.
4. Litvinov V.M. Povyshenie nadezhnosti neftepomyslovyh nasosov. - M.: Nedra, 2008. - 191 s.  
**Литвинов В.М.** Повышение надежности нефтепромысловых насосов. - М.: Недра, 2008. - 191 с.
5. Nikolic A.S. Porshnevye burovye nasosy. - M.: Nedra, 2003. - 224 s.  
**Николич А.С.** Поршневые буровые насосы. - М.: Недра, 2003. - 224 с.
6. İbrahimov N.Y. Maşın hissələrinin bərpa texnologiyası. Bakı, 2015, ADNSU, 127 s.
7. Gafarov A.M., Sulejmanov P.G. i dr. Metody opredeleniya iznosostojkikh harakteristik poverhnostej vysokotochnyh de-talej // Vestnik Azerbajianskoj Inzhenernoj Akademii, 2018. T. 10, № 1, S.28-35.  
**Гафаров А.М., Сулейманов П.Г. и др.** Методы определения износостойких характеристик поверхностей высокоточных деталей // Вестник Азербайджанской Инженерной Академии, 2018. Т. 10, № 1, С.28-35.
8. Aghammadova A.S. Multi-criterial estimation of the corrosive damage of the gas-pipelines sections of ambiguous expert opinions // Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2017, Vol 9, №4, Pp.55-63.
9. İbrahimov N.Y. Dişli çarxların dişlərinin səthlərində abraziv yeyilmə prosesinin tədqiqi // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri. 2018, Cild 10, №1. S.37-41.

---

## ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗНАШИВАНИЯ И ПОВТОРНАЯ ОБРАБОТКА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЦИЛИНДРА-ПОРШНЯ ПОРШНЕВЫХ НАСОСОВ

Н.Ю. ИБРАГИМОВ

Определены параметры абразивного, гидроабразивного и эрозионно-коррозионного изнашивания цилиндра-поршня поршневых насосов. Проведено исследование пути трения, глубины изнашивания поперечных и осевых сечений цилиндров.

Для восстановления изношенной поверхности цилиндра-поршня определены параметры механической повторной обработки поверхностей. Рассчитаны значения чистоты и шероховатости поверхности цилиндра насосов.

**Ключевые слова:** поршневые насосы, цилиндр-поршень, характеристика насоса, интенсивность изнашивания, поперечные и осевые изнашивания, повторная обработка при восстановлении, шероховатость поверхности.

## HARACTERISTICS AND RE-TREATMENT FOR RESTORATION OF RECIPROCATING PISTON PUMPS

N.Y. IBRAGIMOV

Parameters of abrasive, hydro-abrasive and corrosion wear of piston pumps are determined. At the same time, the friction path and the wear depth of the transverse and axial sections of the cylinder are studied. To restore the worn-out surface of the cylinder-piston, the parameters of the mechanical re-treatment of the cylinder-piston are determined. The values of purity and roughness of pump cylinder surfaces are calculated.

**Keywords:** reciprocating pumps, wear characteristics and wear intensity, transverse and axial wear, reprocessing during restoration, surface roughness.

**UOT: 621.643.053(476)**

## MAGİSTRAL BORUKƏMƏRLƏRİNİN HƏLQƏVİ QAYNAQ BİRLƏŞMƏLƏRİNİN ETİBARLILIĞININ TƏDQİQİ

M.S. RƏHİMOVA\*, F.M. QAFAROV\*, G.İ. NAMAZOVA\*

Məqalədə sadələşdirilmiş sürətləndirmə üsulu ilə termiki emalın korroziya dözümlülüyünə təsirinin tədqiqi məsələlərinə baxılır. Bütün qaynaq birləşməsinin mühüm xüsusiyyəti təkcə möhkəmliyin deyil, həm də birləşmənin hermetikliyinin təmin edilməsidir. Nümunələrdə korroziya dözümlülüyünün təyin olunması otaq temperaturunda qeyri-elektrilik mühitdə nümunələrin tam yüklənməsi həyata keçirilmişdir. Aparılmış tədqiqatların nəticəsində optimal rejimlərdə yerinə yetirilən termiki emalı zamanı qaynaq birləşməsinin korroziya sürətinin aşağı düşməsi müşahidə olunur.

*Açar sözlər: magistral boru kəmərləri, qaynaq birləşmələri, etibarlılıq, istismar.*

**Giriş.** Hal-hazırda XX əsrin 60-70-ci illərində tikilmiş magistral boru kəmərləri şəbəkəsi istismar edilir. Maye karbohidrogenlərini nəql edən magistral boru kəmərlərinin 80%-i və magistral qaz kəmərlərinin 25%-dən çoxu öz istismar müddətini başa vurmaq üzrədir. Nəzərə alsaq ki, magistral boru kəmərlərinin bir hissəsi XX əsrin 60-cı illərinin başlangıcından istismar edilir və onların istismar müddəti 50 ilə yaxınlaşır. Beləliklə, öz istismar müddətini başa çatmış magistral boru kəmərləri üçün onların etibarlı istismarı problemi kifayət qədər aktualdır.

**Məsələnin qoyuluşu.** Uzunmüddətli istismar prosesində polad boru kəmərləri ilə vurulan məhsulun və xarici mühitin təsiri nəticəsində metal boruların və qaynaq birləşmələrinin struktur halının dəyişməsi baş verir.

Materialın köhnəlməsini və degradasiyası prosesləri ilk növbədə kövrək dağılmada müqavimətin aşağı düşməsi ilə müşayiət edilir. On çox nəzərə çarpan effekt magistral boru kəmərlərinin qaynaq birləşmələrinin bircins olmayan sahələrində qeyd edilir. Zərbə özlülüyünün səviyyəsinin xeyli aşağı düşməsi nəticəsində çatların yaranması və inkişafı potensialı artmış olur. Beləliklə, qəza dağılmasının ehtimalı artır.

**Məsələnin həlli.** Hal-hazırda möhkəmlik etibarlığının saxlanması üzrə əsas tədbirlərə yüksək təzyiqli sınaqlar, müayinə nəticələrinə görə seçmə təmir və mövcud boru kəmərlərinin dəyişdirilməsi daxildir. Qeyd olunan üsullardan hər biri kifayət qədər yüksək effektivliyə malik ol-

\* Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

masına baxmayaraq, xeyli qüsurlara malikdir. Belə ki, yüksək təzyiqli hidrostatik sınaqlar nəinki boruların müxtəlif qüsurlarını aşkar edir, qismən isə möhkəmlik xassələrini bərpa etmiş olur [1].

Eyni zamanda bu sınaqlar aşağıdakı çatışmazlıqlara malik olur: qısa, lakin dərin korroziya zədələnmələrini aşkar etmir, bu da öz növbəsində sızmaların əmələgəlməsinə gətirib çıxarır. Metal borularda yüksək gərginliklərin təsiri nəticəsində plastiki deformasiyalar metalin tez sinmasına gətirir. Borudaxili təftişin nəticələri üzrə seçmə təmir texnologiyasının tətbiq edilməsi təhlükəli zədələnməyə malik etibarlı sahələrin müəyyən edilməsini təmir edir.

Ancaq hal-hazırda istifadə olunan borudaxili təftiş birinci növbədə qaynaq birləşmələrində bütün təhlükəli qüsurları tapmağa imkan vermir, diaqnostik tədqiqatlar üzrə hesabatlar həndəsi ölçülərin izahı sahəsində səhvələr malik olur; defektoskoplarda qeyd olunan bütün qüsurlar yekun hesabatında eks olunmurlar [2]. Bundan başqa bu cür yanaşma mexaniki xassələri aşağı səviyyəli sahələrin aşkar olunmasına və bərpa edilməsinə imkan vermir.

Bu vəziyyətləri nəzərə alaraq, magistral boru kəmərləri sistemi üçün aktual məsələ uzunmüddətli istismar olunan boru kəmərlərinin etibarlığının yüksəldilməsi üzrə yeni effektiv tədbirlərin işlənməsi və tətbiq olunmasıdır, həm də dağılma olmayan metodlarla metalin faktiki vəziyyətinin qiymətləndirilməsi və bütün boru kəməri sisteminin təhlükəsiz istismarı ehtiyatının uzadılması problemidir.

Borunun əsas metalının və qaynaq birləşmələri metalının mexaniki və istismar xassələrinin bərpa edilməsi xüsusi termiki emalın həyata keçirilməsi hesabına baş verir. Uzunmüddətdə işləmiş magistral boru kəmərlərinin həlqəvi qaynaq birləşmələrinin istismar xassələrinin bərpa edilməsinin optimal şəraitlərinin təyin edilməsi məqsədilə təcrübə tədqiqatlar aparılmışdır. Magistral boru kəmərlərinin uzunmüddətli istismarından sonra həlqəvi qaynaq birləşmələrinin bərpaedici termiki emalının üsulu işlənmiş və texnoloji rejimləri müəyyən edilmişdir [3].

Boru kəmərlərinin qaynaq birləşmələrinin, korroziya döyümlülüyünün mexaniki xassələri və mikrostruktur barədə aparılmış tədqiqatları təkrübədə təklif olunan üsulun yaxşı perspektivləri olduğunu sübut edir.

Optimal rejim üzrə işləmiş metalin zərbə özlülüyünün qiymətləri 50% artırılır. Bu zaman möhkəmlik həddinin qiymətlərinin aşağı düşməsi cüzdidir və möhkəmlik hesabatlarının aparılmasında nəzərə alınmaya bilər. Mexaniki xarakteristikaların dəyişməsi metalin qaynaq birləşməsinin mikrostrukturunda uyğun dəyişikliklərlə təsdiq olunur.

Sadələşdirilmiş sürətləndirmə üsulu üzrə termiki emalın korroziya döyümlülüyünə təsiri barədə tədqiqatlar aparılmışdır. Korroziya döyümlülüyünün təyini əsas metaldan kəsilmiş nümunələrdə, termiki təsir zonasının və qaynaq tikişinin, açıq qab otaq temperaturunda qarışdırmadan korroziya mühitində-qeyri elektrolitdə tam yükləmə yolu ilə aparılmışdır. Aparılmış tədqiqatların nəticəsində aşkar edilmişdir ki, optimal rejimlərdə yerinə yetirilən termiki emal qaynaq birləşməsinin korroziya sürətini 4%-ə qədər aşağı salmış olur [4].

Bərpaedici termiki emalın istifadə olunması onun effektivliyinin dağılmayan üsulla qiymətləndirilməsini tələb edir. Magistral boru kəmərlərinin həlqəvi qaynaq birləşmələrinin yerinə yetirilmiş bərpaedici termiki emalın effektivliyinin qiymətləndirilməsinin əsas meyarı kimi səyyar bərklik ölçənlərlə bərkliyin ölçmələri qiymətlərinin aşağı düşmə göstəricilərini istifadə etmək heç də doğru deyildir, çünkü bərkliyin qiyməti möhkəmliklə əlaqəlidir və zərbə özlülüyünün dəyişməsi barədə məlumat vermir. Mexaniki xassələrin dağıdıcı üsullarla qiymətləndirilməsi növbəti təmir işlərinin aparılması zərurətini məqsədyönlü sayır. Bununla əlaqədar olaraq, boru kəmərlərinin

həlqəvi qaynaq birləşmələrinin bərpaedici termiki emalının effektivliyini ən çox obyektiv şəkildə təyin edən zərbə özlülüyünün xarakteristikasının qiyməti ilə əlaqələndirilir.

Üsulan mahiyyəti ondan ibarətdir ki, zərbə özlülüyünü materialın nisbi daralmasından asılı olaraq aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$A = \gamma \cdot \frac{\psi}{1-\psi}, \text{ mKc/m}^2 \quad (1)$$

Burada  $A$ -zərbə özlülüyü,  $\text{mKc/m}^2$ ;  $\psi$  -nisbi daralma, nis.vah.;  $\gamma$  -dəqiqləşdirici əmsal, aşağıdakı qiymətlərə malikdir:  $\gamma = 0,61$  olanda  $\psi > 0,8$ ;  $\gamma = 0,76$  olanda  $0,6 < \psi \leq 0,8$ ;  $\gamma = 0,81$  olanda  $0,4 < \psi \leq 0,6$ ;  $\gamma = 1,19$  olanda  $0,2 < \psi \leq 0,4$ ;  $\gamma = 1,66$  olanda  $\psi \leq 0,2$ .

Bu zaman materialın nisbi daralmasının qiymətini [5]-da olduğu kimi təyin edirlər:

$$\psi = \frac{16,4 + 80 \cdot k \cdot S}{100} \quad (2)$$

Burada  $\psi$  -nisbi daralma, nis.vah.;  $S$  - izin enidir, mm;  $k$  - tam bölünmə əmsalı olub, aşağıdakı qiymətlərə malikdir: yük 1000 N olanda  $k = 1$ ; yük 500N olanda  $k = 1,414$ ; yük 300N olanda  $k = 1,825$ ; yük 200N olanda  $k = 2,235$ ; yük 100N olanda  $k = 3,161$ ; yük 50N olanda  $k = 4,472$ .

Magistral boru kəmərlərində həlqəvi qaynaq birləşmələrində termiki emalın aparılması keyfiyyətinə nəzarət üçün verilmiş üsulan tətbiqinin imkanının yoxlanılması uzunmüddət işləmiş magistral boru kəmərlərinin həlqəvi qaynaq birləşmələrindən hazırlanmış makroşiflərlə aparılmışdır. WPM tipli bərklik ölçənin piramidal identoru 200N qüvvə basılmasından sonra alınmış izlər PMT-3 tipli mikrobərklik ölçən okulyar-mikrometrinin köməyiylə ölçülmüşdür. Bundan sonra zərbə özlülüyünə sınaqlar üçün nümunələr hazırlanmış və standart üsulla sınaqlar aparılmışdır [5].

Aparılmış sınaqların nəticəsində aşkar edilmişdir ki, təklif olunan üsulla zərbə özlülüyünün təyininin xətası (dağıılma olmayan metodla) DÜİST 9754 üzrə təyin edilmiş baza qiymətlərilə müqayisədə 15%-dən çox yüksəlmir [6]. Bu zaman dağıdıcı olan metodla alınan hesabi qiymətlər təyin edilən qiymətlərindən aşağı olmuşdur ki, bu da dağıılma olmayan üsulla həlqəvi qaynaq birləşməsinin zərbə özlülüyünün təyini zamanı magistral boru kəmərinin istismarının etibarlığına müsbət təsir göstərir: zərbə özlülüyü üzrə özünə məxsus ehtiyat əmsalı alınır.

Beləliklə, zərbə özlülüyünün dağıılma olmayan üsulla nəzarətinin verilənləri əsasında magistral boru kəmərlərinin həlqəvi qaynaq birləşmələrinin bərpaedici termiki emalının aparılma üsulu özünün texniki effektivliyini göstərir. Üsulan istehsalatda tətbiqi onun iqtisadi məqsədyönlü hələnda mümkündür. Bu zaman təklif edilmiş üsulla təmir işlərinin aparılmasının iqtisadi cəhətdən qiymətləndirilməsi məsəlesi yaranır [7].

**Nəticə.** Beləliklə, uzunmüddət işlənmiş magistral boru kəmərlərinin həlqəvi qaynaq birləşmələrinin istismar etibarlığının təklif edilən bərpəetmə üsulu bərpaedici termiki emalın aparılması yolu ilə öz tətbiqinin potensial texniki-iqtisadi səmərəliliyini göstərir və təmir işlərinin aparılma təcrübəsində tətbiq edilə bilər.

## REFERENCES

1. Birger I.A., Shorr B.F., Iosilevich G.B. Raschet na prochnost detalej mashin. – M.: Mashinostroenie, 1979.  
Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин. – М.: Машиностроение, 1979.
2. Qnilke W. Lebensader Berechnender Maschinenelemente. VEB Verlag Technik Berlin, 1981. 464 p.
3. Kapur K., Lamberson L. Nadyozhnost i proektirovanie sistem (per. s angl). M.: «Mir», 1980. 604 s.  
Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем (пер. с англ). М.: «Мир», 1980. 604 с.
4. Zhunev P.A. i dr. Krany dlya truboprovodov. - M.: Mashinostroenie, 1967. - 165 s.  
Жунев П.А. и др. Краны для трубопроводов. - М.: Машиностроение, 1967. - 165 с.
5. Babaev S.G. Nadezhnost neftepromyslovogo oborudovaniya. - M.: Nedra, 1987. 264 s.  
Бабаев С.Г. Надежность нефтепромыслового оборудования. - М.: Недра, 1987. 264 с.
6. Metally. Metod ispytaniya na udarnyj izgib pri ponizhennyh, komnatnoj i povyshennyh temperaturah: GOST 9454. - Vved. 01.01.79 - M.: Izd-vo standartov, 1979. - 15 s.  
Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах: ГОСТ 9454. - Введ. 01.01.79 - М.: Изд-во стандартов, 1979. - 15 с.
7. Əhmədov Ə.C., Qafarov F.M., Rəhimova M.S., Namazova G.İ. Uzunömürlülük hesablamalarında istifadə olunan korroziya yorğunluq əyrisinin riyazi modelləri // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri. №3, 2018. S.40-44.

---

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ КОЛЬЦЕВЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

М.С. РАГИМОВА, Ф.М. ГАФАРОВ, Г.И. НАМАЗОВА

В статье рассматриваются вопросы исследования влияния термической обработки на коррозионную стойкость по упрощенному ускоренному методу. Важной особенностью всех сварных соединений является обеспечение не только прочного, но и плотного, то есть герметичного соединения. Определение коррозионной стойкости проводилось на образцах, изготовленных из основного металла, путем полного погружения в неэлектролит – коррозионную среду, находящуюся в открытом сосуде при комнатной температуре без перемешивания. В результате проведенных исследований выявлено, что термическая обработка на оптимальных режимах приводит к снижению скорости коррозии металла сварного соединения.

**Ключевые слова:** магистральные трубопроводы, сварные соединения, надежность, эксплуатация.

## RESEARCH OF RELIABILITY OF RING WELD OF PIPELINE CONNECTIONS

M.S. RAGIMOVA, F.M. GAFAROV, Q.I. NAMAQZOVA

The article deals with the investigation of the effect of heat treatment on corrosion resistance using a simplified accelerated method. An important feature of all welded joints is the provision of not only a durable, but also a dense, that is, a sealed connection. Determination of corrosion resistance was carried out on samples made of base metal, by completely immersing in a corrosive medium-nonelectrolyte, which is in an open vessel at room temperature without stirring. As a result of the conducted studies, it was found that heat treatment at optimal conditions leads to a decrease in the corrosion rate of the weld metal.

**Keywords:** main pipelines, welded joints, reliability, operation.

UOT: 622.276

## SOYUDUCU QURGUDA İSTİLİKÖTÜRMƏ PROSESİN MODELLƏŞMƏSİ ƏSASINDA YEKUN TEMPERATURUN PAYLANMASININ QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

İ.Ə. HƏBİBOV\*, R.S. NƏCƏFQULİYEVA\*

Məqalədə dəniz yataqlarında hasil olunan qazın sahilə ötürülməsində, eləcə də istismar quyularında hasilatın səviyyəsinin saxlanması məqsədilə istifadə olunan kompressorlarda işçi agentin (səmt qazı) sixılması nəticəsində temperaturun yüksəlməsini nəzərə alaraq yeni quruluşlu soyuducu qurğu təklif edilmiş və qurğuda istilik mübadilə prosesinin modelləşməsi, çıxış temperaturların (soyuducu su və soyudulan qaz) qiymətləndirilməsinə imkan verən riyazi modellər verilmişdir.

*Açar sözlər.* qaz mühərrik kompressorları, kompressor stansiyaları, istilik mübadilə edicisi, soyuducu, dəniz suyu, sixılmış və qızılış qaz, istilik daşıyıcıları.

**Mövzunun aktuallığı.** Neftqaz və qaz kondensat yataqlarının işlənməsində və yenidən quşulmasında neft sektorunun qarşısında duran əsas məsələlər sırasında “qazın hasilatı, yiğilması, hazırlanması və nəqli” sistemində yüksək keyfiyyətli neft-mədən avadanlıqlarının təminini və onların mükəmməl yerləşdirilməsidir [1]. Hazırda Azərbaycan Respublikasında hasil olunan qazın əsas həcmi dəniz yataqlarında formalasdır və onun bir hissəsi sahilə ötürülür, digər hissəsi isə istismar quyularında hasilatın səviyyəsinin saxlanması məqsədilə tətbiq olunan qazlift istismar üsulunun ehtiyaclarını ödəmək üçün istifadə edilir. Bu məqsədlə tələb olunan təzyiq çoxpilləli kompressorlar (iki və üç pilləli) vasitəsi ilə yaradılır [2, 3, 4].

Azərbaycan şəraitində hasil olunan qazın nəqli üçün istifadə olunan kompressor stansiyalarında (KS) təzyiqin tənzimlənməsində əsasən qaz mühərrik kompressorlarından (QMK) istifadə olunur. Burada qaz QMK-nun 1-ci pilləsində  $P_{six.} = 0,45 \dots 0,5$  MPa yüksəldilərək  $P_{six.} = 1,8 \dots 2,0$  MPa qədər çatdırılır. Bu zaman sixılan qazda temperatur göstəricisi  $T = 115 \div 118^\circ\text{C}$  qədər yüksəlir. Məhsulun sonrakı istifadəsi üçün, onu QMK-nun 2-ci pilləsinin girişinə ötürməzdən əvvəl temperaturun  $T = 35 \div 38^\circ\text{C}$  qədər soyudulması vacibdir. Bu məqsədlə KS-da soyuducu sistem nəzərdə tutulur.

\* Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Sistemin əsas elementi soyuduculardır və həzirdə neft-kimya, neft-qaz emalı və neftqaz çıxarma sənaye sahələrindəki KS-da boru-futlyar tipli soyuduculardan istifadə olunur [5, 6].

Hazırda SOCAR-in KS-da əsasən futlyar boru-futlyar soyuduculardan istifadə olunur. Onlar bir sıra müsbət keyfiyyətlərə (yük-sək istilik vermə əmsalı, aşağı və yuxarı təzyiqlər rejimində iş görmə qabiliyyətinə görə, konstruksiyanın sadəliyi və servisi)

fərqlənsələr də, irihəcmli və metal tutumlu olmaları, istismar prosesində yüksək səs-küylüyü və titrəmələr yaratdıqlarına görə, eləcə də təmir prosesinin çətinliyi səbəbindən müəyyən məhdudiyyətlərlə tətbiq olunurlar [7, 8].

Məqalə təklif olunmuş yeni quruluşlu soyuducuda [9] (bax şək.) istilikötürmə prosesinin modelləşməsi əsasında yekun temperaturun paylanması qiyamətləndirilməsinə həsr olunmuşdur.

Sxemdən göründüyü kimi soyuducu agent (dəniz suyu) birinci borunun girişindən (A) qurğuya daxil olaraq ikinci borunun sferik dibinə tərəf istiqamətlənir. Sonradan birinci və ikinci boruların arasındaki boşluğu dolduraraq ikinci və üçüncü borular arasında hərəkət edən qızmış qazı soyudaraq (B) çıxışından qurğudan kənarlaşdırılaq yenidən soyutma sisteminə göndərilir. Bu zaman (C) girişindən qurğuya ötürülən qızmış qaz soyudulduğdan sonra (D) çıxışından kompressorun 2-ci pilləsinə ötürülür.

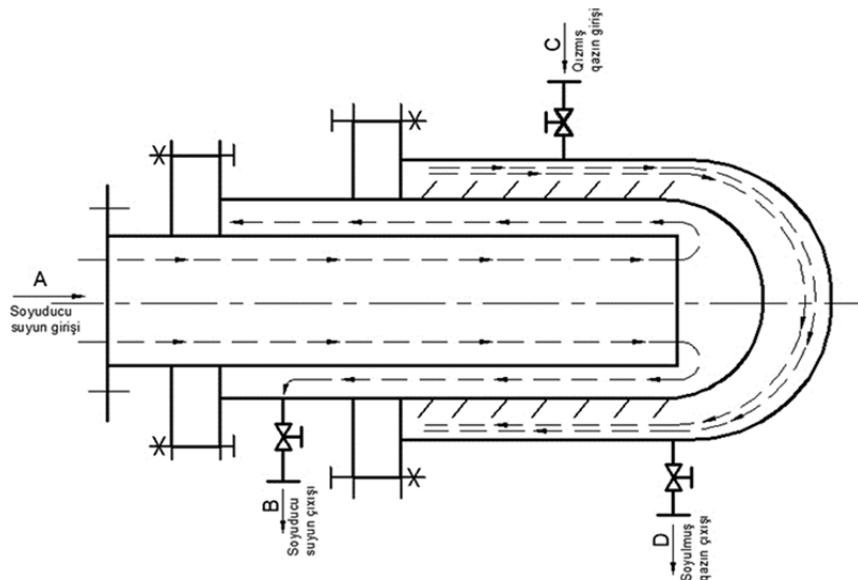
Soyuducu qurğunun etibarlı iş rejimi prosesdə iştirak edən hər iki agentin son temperaturlarının verilən şərtlər daxilində təminindən asılıdır.

**Tədqiqatın məqsədi.** Tədqiqat işində təklif olunan soyuducu qurğuda istilik mübadilə prosesinin modelləşməsi və sonda temperaturların (soyuducu suda və soyudulan qazda) qiyamətləndirilməsinə imkan verən riyazi modellərin alınması məsələsi qoyulmuşdur.

**Məsələnin həlli.** Şək.1-dən göründüyü kimi istilik mübadiləsində iştirak edən hər iki agent: dəniz suyu və qaz, qurğunun daxilində hərəkət etdikləri zaman silindrik və sferik konstruksiyaya malik metal səthlər boyunca hərəkət edirlər və mübadilə prosesində, eləcə də onun riyazi modelinin işlənməsində onların birgə təsirinin nəzərə alınması vacibdir.

İstilik mübadiləsi qurğusunda hər iki agent üçün istiliyin yayılmasında istilikkeçirmənin rolunun çox kiçik olmasını və istiliyin başlıca olaraq konvektiv köçürmə yolu ilə yayılmasını qəbul edək. Onda qurğunun silindrik zonasında borular arasında istilik mübadiləsini nəzərə almaqla istiliyin yayılması prosesinin riyazi modelini aşağıdakı şəkildə yazmaq olar [10]:

qurğunun silindrik zonasında hərəkət edən soyuducu agent (dəniz suyu) üçün



Şək. Yeni quruluşlu soyuducunun funksional sxemi

$$C_w \cdot \rho_w \cdot \frac{\delta T_w}{\delta t} = -v_w \cdot C_w \cdot \rho_w \cdot \frac{\partial T_w}{\partial x} + \alpha (T_g - T_w) \quad (1)$$

Soyudulan agent (sıkılmış qaz) üçün

$$C_g \cdot \rho_g \cdot \frac{\delta T_g}{\delta t} = -v_g \cdot C_g \cdot \rho_g \cdot \frac{\partial T_g}{\partial x} - \alpha (T_g - T_w). \quad (2)$$

Burada  $C_w$  və  $C_g$  uyğun olaraq soyuducu suyun və qazın istilik tutumudurlar;

$\rho_w$  və  $\rho_g$  uyğun olaraq soyuducu suyun və qazın sıxlığıdır;

$T_w$  və  $T_g$  uyğun olaraq soyuducu suyun və qazın temperaturudurlar.

(1), (2) tənliklər sistemi üçün

$$T_w(x, o) = \gamma_w(x), \quad (3)$$

$$T_g(x, o) = \gamma_g(x) \quad (4)$$

başlanğıc şərtlərinin verildiyini fərz edək. Soyudulan agentin qurğuya daxil olduğu hissədə temperaturu məlum olduğu üçün (2) tənliyi üçün sərhəd şərtini

$$T_g(o, t) = f_g(t) \quad (5)$$

şəklində yazmaq olar.

(1) tənliyi üçün sərhəd şərti, şək.1-dən göründüyü kimi, qurğunun sferik konstruksiyanın başlanğıcında verilməlidir. Bu sərhəd şərtini almaq üçün sferik konstruksiyanın yerləşdiyi hissə üçün istilik balansı tənliyini yazaq

$$\pi R^2 v_w \cdot C_w \cdot \rho_w \cdot (T_w(0, t) - T_w^0(t)) = 2\pi r^2 R \alpha ((T_g(l, t) - T_w(0, t)).$$

Buradan soyuducu agentin hərəkət etdiyi silindrik borunun başlanğıcındaki sərhəd şərtini almaq olar

$$T_w(0, t) = \frac{4r\alpha T_g(l, t) + Rv_w \cdot C_w \cdot \rho_w T_w^0(t)}{Rv_w \cdot C_w \cdot \rho_w + 4r\alpha} \quad (6)$$

Burada  $T_w^0(t)$  – soyuducu agentin qurğuya daxil olduğu hissədəki temperaturudur.

Beləliklə, məsələ (1), (2) tənliklər sistemini, (3), (4) başlanğıc və (5), (6) sərhəd şərtlərini ödəyən  $T_w(x, t)$  və  $T_g(x, t)$  funksiyalarının tapılmasıdan ibarət olur. Lakin qoyulan məsələnin ümumi halda analitik həllini qurmaq mümkün olmadığından ədədi həll üsullarından istifadə edilməsi zərurəti yaranır.

(1)–(6) məsələsinin ədədi həllini tapmaq üçün sonlu-fərqlər üsulundan istifadə edək [11, 12].

Bu məqsədlə  $\{0 \leq x \leq l, 0 \leq t \leq T\}$  oblastında

$$\bar{\omega}_{ht} = \{(x_i, t_j) : x_i = ih, t_j = j\tau, i = 0, 1, 2, \dots, n, j = 0, 1, 2, \dots, m\}$$

şəbəkəsini daxil edək.

Burada  $h = l/n$ ,  $\tau = T/m$  – uyğun olaraq  $x$  və  $t$  dəyişənlərinə görə şəbəkə addımlarıdır. Daxil edilmişən  $\bar{\omega}_{ht}$  şəbəkəsində (1)–(6) məsələsinin sonlu-fərq analoqunu aşağıdakı şəkildə yazaq

$$C_w \cdot \rho_w \frac{T_{wi}^j - T_w^{j-1}}{\tau} = -\vartheta_w \cdot C_w \cdot \rho_w \frac{T_{wi}^j - T_{wi}^{j-1}}{h} + \alpha (T_{wi}^{j-i} - T_{wi}^{j-i}) \quad (7)$$

$$C_g \cdot \rho_g \cdot \frac{T_{gi}^j - T_{gi}^{j-1}}{\tau} = -\vartheta_g \cdot C_g \cdot \rho_g \frac{T_{gi}^j - T_{gi}^{j-1}}{\tau} - \alpha (T_{gi}^{j-1} - T_{gi}^{j-1}) \quad (8)$$

$$i = \overline{1, n}, j = \overline{0, m},$$

$$T_{wi}^0 = \gamma_{wi}, \quad (9)$$

$$T_{gi}^0 = \gamma_{gi}, \quad (10)$$

$$T_{w0}^j = \frac{4r\alpha T_{gn}^{j-1} + Rv_w \cdot C_w \cdot \rho_w T_w^0}{Rv_w \cdot C_w \cdot \rho_w + 4r\alpha}, \quad (11)$$

$$T_{g0}^j = f_g^j . \quad (12)$$

Göründüyü kimi, (1)–(6) diferensial məsələsinin diskret analoqu (7)–(12) xətti cəbri tənliklər sistemindən ibarətdir. Bu sistemin dəyişənləri isə axtarılan  $T_w(x, t)$  və  $T_g(x, t)$  funksiyalarının  $\bar{\omega}_{h\tau}$  şəbəkəsinin düyün nöqtələrindəki təqribi  $T_{w_i}^j$  və  $T_{g_i}^j$  qiymətlərindən ibarətdir. Alınmış bu sistemdən  $T_{w_i}^j$  və  $T_{g_i}^j$  dəyişənlərinin qiymətlərini aşağıdakı aşkar düsturlarla tapıla bilir

$$\begin{aligned} T_{w_i}^j &= \frac{h \cdot C_w \cdot \rho_w}{h \cdot C_w \cdot \rho_w + \tau \cdot \vartheta_w \cdot C_w \cdot \rho_w} \cdot T_{w_i}^{j-1} + \frac{\tau \cdot \vartheta_w \cdot C_w \cdot \rho_w}{h \cdot C_w \cdot \rho_w + \tau \cdot \vartheta_w \cdot C_w \cdot \rho_w} \cdot T_{w_{i-1}}^j \\ &\quad + \frac{\alpha \cdot h \cdot \tau}{h \cdot C_w \cdot \rho_w + \tau \cdot \vartheta_w \cdot C_w \cdot \rho_w} (T_{g_i}^{j-1} - T_{w_i}^{j-1}). \\ T_{g_i}^j &= \frac{h \cdot C_g \cdot \rho_g}{h \cdot C_g \cdot \rho_g + \tau \vartheta_g \cdot C_g \cdot \rho_g} T_{g_i}^{j-1} + \frac{\tau \cdot \vartheta_g \cdot C_g \cdot \rho_g}{h \cdot C_g \cdot \rho_g + \tau \vartheta_g \cdot C_g \cdot \rho_g} T_{g_{i-1}}^j + \\ &\quad + \frac{\alpha \cdot h \cdot \tau}{h \cdot C_g \cdot \rho_g + \tau \cdot \vartheta_g \cdot C_g \cdot \rho_g} (T_{g_i}^{j-1} - T_{w_i}^{j-1}) \end{aligned}$$

Təklif edilmiş model əsasında aparılan hesablamalar nəticəsində soyuducu və soyuyan agentlərin temperatur göstəricilərinin qurğunun çıxışındakı və eksperimental ölçmələrlə müəyyən edilmiş eyni adlı parametrlə müqayisəli təhlili cədvəldə verilmişdir.

### Cədvəl

#### Parametrlərin müqayisəli təhlili

İstilik daşıyıcıları	Soyuducu suyun axın sürəti, m/san.					
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Qazın temperaturunun dəyişməsi, °C	59,8 <sup>*</sup> 58,3	53,1 52,6	36,8 35,7	36,1 35,5	35,7 35,3	35,3 35,1
Suyun temperaturunun dəyişməsi, °C	39,2	34,3	27,7	25,3	22,2	22,1

**Qeyd:** Kəsrin sürətində hesabatdan alınan, məhrəcində isə eksperimental müəyyən edilmiş göstəricilərdir.

**Nəticə.** Beləliklə, alınmış nəticələrin təhlilindən göründüyü kimi soyuducu agentin axın sürətinin dəyişməsi ilkin mərhələdə ( $\vartheta = 0,5\text{--}1,5$  m/san) soyudulan qazın temperaturunun azalmasına intensiv təsir etdiyi halda, sonrakı sürət hədlərində bu göstərici kiçik intervalda dəyişir. Soyuducu qurğuda istilik mübadilə prosesinin modelləşməsi və sonda temperaturların müəyyənləşdirilməsi məqsədi ilə alınmış riyazi modellər prosesin adekvat qiymətləndirilməsinə imkan yaradır.

### REFERENCES

- Asadov O.S., Aliev V.I., Makarov V.V. Novyj nauchnyj podhod k opredeleniju real noj proizvoditel nosti porshnevyh kompressorov v sistemah gazlifta i transporta gaza. - M.: «Sputnik +», 2011. – 386 c.  
**Асадов О.С., Алиев В.И., Макаров В.В.** Новый научный подход к определению реальной производительности поршневых компрессоров в системах газлифта и транспорта газа. - М.: «Спутник +», 2011. - 386c.
- Krec V.G. Mashiny i oborudovanie gazonefteprovodov / V.G. Krec, A.V. Rudachenko, V.A. Shmurygin. - SPb: Lan , 2016. - 376 s.  
**Крец В.Г.** Машины и оборудование газонефтепроводов / В.Г. Крец, А.В. Рудаченко, В.А. Шмургин. - СПб: Лань, 2016. - 376 с.
- Kantukov R.A. Kompressory v tehnologicheskikh processakh: gazoraspredelitelnye, kompressornye stancii magistralnyh gazoprovodov i avtomobilnye gazonakopitelnye kompressornye stancii: uchebnik. - Kazan : Kazan. nac. issled. tehnolog. un-t, 2014. - 645 s.  
**Кантюков Р.А.** Компрессоры в технологических процессах: газораспределительные, компрессорные станции магистральных газопроводов и автомобильные газонакопительные компрессорные станции: учебник. - Казань: Казан. нац. исслед. технол. ун-т, 2014. - 645 с.

4. **Seidahmedov N.S.** Prichiny otkazov porshnevых kompressorov v sisteme gazliftnoj ekspluatacii neftyanyh mestorozhdenij. Uchenye zapiski NII «Geotekhnologicheskie problemy nefti, gaza i himii», Baku, 2015, tom VII. S.223-233.  
**Сеидахмедов Н.С.** Причины отказов поршневых компрессоров в системе газлифтной эксплуатации нефтяных месторождений. Ученые записки НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химии», Баку, 2015, том VII. С.223-233.
5. **Kasatkin A.G.** Osnovnye processy i apparaty himicheskoy tehnologii. - M.: Himiya, 2012. - 752s.  
**Касаткин А.Г.** Основные процессы и аппараты химической технологии. - M.: Химия, 2012. - 752c.
6. **Najafkulieva R.S.** Opredelenie konstruktivnyh razmerov novoj kozhuho-dvuhkanalnoj holodil noj ustanovki s vintoobraznym dvizheniem ohlazhdajushhego gaza // Izvestija VTUZ Azerbaijana, №3, 2016, S.89-98.  
**Наджафкулиева Р.С.** Определение конструктивных размеров новой кожухо-двухканальной холодильной установки с винтообразным движением охлаждающегося горячего газа // Известия ВТУЗ Азербайджана, №3, 2016, С.89-98.
7. **Bulygin Y.A., Baranov S.S.** Teploobmennye apparaty v neftegazovoj promyshlennosti: kursovoe proektirovanie. Voronezh: FGBOU VPO «Voronezhskij gosudarstvennyj tehnicheskij universitet», 2015. 100 s.  
**Булыгин Ю.А., Баранов С.С.** Теплообменные аппараты в нефтегазовой промышленности: курсовое проектирование. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2015. 100 c.
8. **Dytnereskij Y.I.** Osnovnye processy i apparaty. Posobie po proektirovaniyu. - M.: Himiya, 1983. 380 s.  
**Дытнерский Ю.И.** Основные процессы и аппараты. Пособие по проектированию. - M.: Химия, 1983. 380 c.
9. **Aliev V.I., Gabibov I.A., Najafkulieva K.S.** Patent AR.  
**Алиев В.И., Габибов И.А., Наджафгулиева К.С.** Патент АР.
10. **Samarskij A.A., Vabishhevich P.N.** Vychislitel'naya teploperedacha. – M.: Editorial URSS, 2003. 784 s.  
**Самарский А.А., Вабищевич П.Н.** Вычислительная теплопередача. – M.: Едиториал УРСС, 2003. 784 c.
11. **Samarskij A.A.** Teoriya raznostnyh shem. - M.: Nauka, 1989. 616 s.  
**Самарский А.А.** Теория разностных схем. - M.: Наука, 1989. 616 c.
12. **Shahverdiev A.Kh.** Innovacionnyj potencial nestacionarnogo zavodneniya v celyah povysheniya nefteotdachi plastov // Vestnik Azerbaijanskoy inzhenernoj akademii. T.11, №1, 2019. S.32-41.  
**Шахвердиев А.Х.** Инновационный потенциал нестационарного заводнения в целях повышения нефтеотдачи пластов // Вестник Азербайджанской инженерной академии. Т.11, №1, 2019. С.32-41.

---

## **ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЕЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТЕПЛООБМЕННИКЕ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ**

И.А. ГАБИБОВ, Р.С. НАДЖАФГУЛИЕВА

Учитывая повышение температуры при передаче добываемого в морских месторождениях газа на берег, а также в результате сжатия рабочего агента (попутного газа) в компрессорах, используемых с целью поддержания уровня добычи в эксплуатируемых скважинах, в статье предложено холодильное устройство новой конструкции и приведены математические модели, позволяющие оценивать выходные температуры (охлаждающей воды и охлаждаемого газа).

**Ключевые слова:** газомоторные компрессоры, компрессорные станции, теплообменник, холодильник, морская вода, сжатый и подогретый газ, теплоносители.

## **ESTIMATION OF THE FINAL TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE HEAT EXCHANGER BASED ON THE HEAT TRANSFER PROCESS**

I.A. HABIBOV, R.S. NAJAFQULIYEVA

Considering the increase in temperature during the transfer of gas produced in offshore fields to the coast, as well as a result of compression of the working agent (associated gas) in compressors used to maintain the level of production in the exploited wells, the article proposed a new design refrigeration device evaluate outlet temperatures (cooling water and cooled gas).

**Keywords:** gas compressors, compressor stations, heat exchanger, refrigerator, sea water, compressed and heated gas, coolants.

---

**UOT:665.61.033**

## **NEFTLƏRİN QARIŞMASININ VƏ SULAŞMASININ DONMA TEMPERATURUNA TƏSİRİNİN TƏDQİQİ**

**Q.Q. İSMAYILOV\*, E.X. İSKƏNDƏROV\*,  
F.B. İSMAYILOVA\*, M.A. MƏLİKOV\***

---

Məqalədə neftlərin qarışma və sulaşmasının donma temperaturuna təsiri tədqiq edilmişdir. Ağır neftlərin nisbətən yüngül və aşağı donma temperaturuna malik neft və kondensatla qarışdırılması nəticəsində sulaşma amilinin donma temperaturuna təsiri öyrənilmiş, bəzi hallarda donma temperaturunun anomal olaraq dəyişməsi müəyyən edilmişdir. Bəzi qarışıqlara additivlik qaydasının tətbiq edilməsinin yolverilməzliyi göstərilmişdir.

**Açar sözlər:** *Neft qarışıqları, donma temperaturu, ağır neftlər, sulaşma amili, reoloji xassələr, neft-kondensat qarışığı, asfalten-qatran-parafın birləşmələrei.*

---

**Giriş.** Neft-mədən praktikasından məlumdur ki, neftlərin qarışmadan və ya qarışdırılmadan yiğilması, hazırlanması və nəqli prosesləri, demək olar ki, istisna təşkil etmir. Son zamanlar aparılan tədqiqat işləri sübut edir ki, neftlərin qarışması və sulaşması onların reoloji və fiziki-kimyəvi xassələrinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir [1, 2, 3, 8]. Bir çox hallarda ağır, tez donan neftlərin nəql prosesini yaxşılaşdırmaq məqsədilə onlar yüngül neftlər və kondensatla qarışdırılaraq nəql olunur. Bu cür qarışmalar reoloji mürəkkəb neftlərin axıncılıq qabiliyyətinə yaxşı təsir etdiyi üçün enerji xərclərini aşağı salır. Buna baxmayaraq, texnoloji neft kəmərlərinin istismar təcrübəsi göstərir ki, neftlərin qarışması ilə bağlı kəmərlərin işində mürəkkəbləşmələr, enerji və nəql xərclərinin çoxalması baş verir ki, bu da onların istismar səmərəliliyini azaltmış olur [4 – 7].

**Tədqiqat obyekti.** Bəzi hallarda, hətta neftlərin “donması” nəticəsində boru xətlərinin işi tam dayanmış olur. Qeyd olunanları nəzərə alaraq qarışma və sulaşma amillərinin neftlərin donma temperaturuna təsiri laboratoriya sınaqları əsasında tərəfimizdən araşdırılmışdır.

Yüksək özlülüklü, tez donan ağır neftlərin nisbətən yüngül və aşağı donma temperaturuna malik neft və kondensatla qarışması zamanı donma temperaturu parametrinin dəyişilməsinin tədqiqi Bulla-dəniz, Siyəzən yataqlarında çənlərdən götürülmüş neftlərinin və “Ümid” yatağının kondensatı nümunələrinin qarışması timsalında baxılmışdır. Bu məqsədlə, standart şəraitdə, sıxlığı  $973,4 \text{ kg/m}^3$ , kinematik özlülüyü  $16,0 \text{ mm}^2/\text{s}$  olan və Bulla yatağında çəndən götürülmüş qarışq

---

\* Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

neftin, sıxlığı  $978,4 \text{ kg/m}^3$ , kinematik özlülüyü  $8,0 \text{ mm}^2/\text{s}$  olan, Siyəzən yatağı nefti ilə və sıxlığı  $806 \text{ kg/m}^3$ , kinematik özlülüyü  $11,4 \text{ mm}^2/\text{s}$  olan Ümid yatağı kondensatı ilə müxtəlif qarışıqlarının fiziki-kimyəvi xassələri tədqiq olunmuşdur. Qeyd olunan sistemlər, kondensat istisna olmaqla sulaşmış olmuş və onlarda suyun faizi uyğun olaraq  $43,2\%$  və  $35,7\%$  təşkil etmişdir. Hər üç nümunə tərkibində asfalten, qatran və parafin (AQP) birləşmələrinin olması ilə səciyyələnmiş və həmin nümunələrdə onların miqdarı uyğun olaraq  $0,23; 10,27; 13,34, 0,81; 11,12; 1,18$  və  $0; 1,0; 28,0$  təşkil etmişdir.

**Məsələnin qoyuluşu.** Tədqiq olunan neftlərin və kondensatın, eləcə də onların müxtəlif qarışıqlarının donma temperaturları GOCT 20287-91-ə uyğun olaraq laboratoriya sınaqları əsasında təyin edilmişdir. Qarışmadan əvvəl neftlərin və kondensatın donma temperaturunun uyğun olaraq  $+13, -6$  və  $-1,6 {}^\circ\text{C}$  olması müəyyən edilmişdir. Neftlərin və neftlə kondensatın qarışıqları üçün donma temperaturunun təyin edilmiş qiymətləri uyğun olaraq cədvəl 1 və 2-də verilmişdir.

*Cədvəl 1*

**Siyəzən neftinin müxtəlif kütlə payında Bulla-dəniz nefti ilə qarışıqları  
üçün donma temperaturunun qiymətləri**

Yüngül neftin kütlə payı	0,01	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
Donma temperaturu, ${}^\circ\text{C}$	+9	+9	+6	+6	+3	+3	+3	0	0
Yüngül neftin kütlə payı	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,75	0,8	0,9	1,0
Donma temperaturu, ${}^\circ\text{C}$	+3	+9	+3	0	0	-3	-3	-6	-6

*Cədvəl 2*

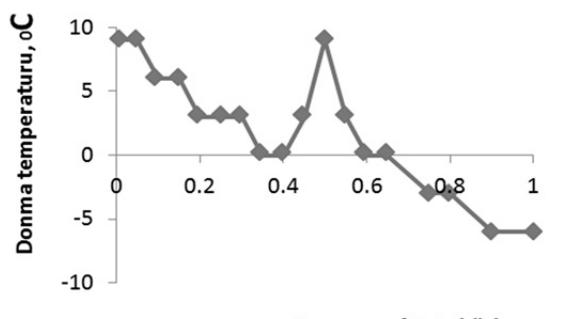
**Kondensatın müxtəlif kütlə paylarında ağır Bulla-dəniz nefti ilə qarışıqları  
üçün donma temperaturunun qiymətləri**

Kondensatın - kütlə payı	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	0,98	1
Donma tempe- raturu, ${}^\circ\text{C}$	+13	+16	+15	+14,5	+14	+13,5	+10	+7	+4	+1	-1	-1,6

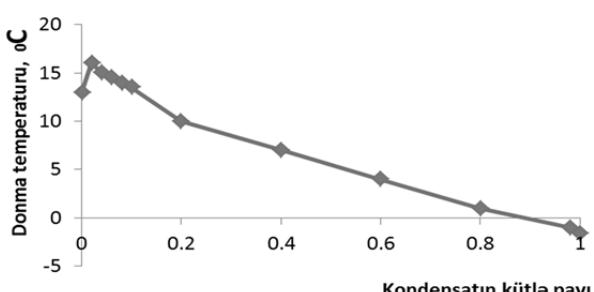
Yüksək özlülüklü ağır Bulla-dəniz neftinin Siyəzən nefti və kondensatla sonuncuların müxtəlif kütlə paylarında qarışıqları üçün donma temperaturunun dəyişməsini xarakterizə edən asılılıqlar uyğun olaraq şəkil 1-də və 2-də göstərilmişdir. Şəkil 1-dən göründüyü kimi, neftlərin qarışması zamanı donma temperaturu neftlərin hansı nisbətdə qarışmasından asılı olaraq anomal dəyişikliyə məruz qalır. Belə ki, Siyəzən neftinin  $40\%-dək$  qarışma halına kimi donma temperaturu azalır ( $9 {}^\circ\text{C}-dən 0 {}^\circ\text{C}-yə$  kimi düşür),  $40\%-dən 50\%-dək$  kəskin olaraq  $+9 {}^\circ\text{C}-kimi$  artır, daha sonra donma temperaturunun  $-6 {}^\circ\text{C}-dək$  azalması baş verir. Beləliklə, ağır neftin yüngül neftlə qarışdırılaraq səmərəli şəkildə nəql edilməsi üçün onların rasional nisbətdə qarışdırılması lazımdır. Şəkil 1-dən də göründüyü kimi, neftlərin yarı-yarı qarışmayan bütün halları məqbul hesab edilə bilər. Ən əlverişli qarışma isə donma temperaturunun mənfi olduğu – qarışan neftin  $0,6$ -dan çox olduğu kütlə paylarına uyğun gəlir. Donma temperaturunun anomal dəyişməsi hali ağır neftlə kondensatın qarışdırılması zamanı da baş vermişdir. Belə ki, şəkil 2-dən göründüyü kimi, neft-kondensat qarışıqlarının heç də bütün nisbətlərində additivlik qaydası özünü doğrultmur. Neftlə kondensatın qarışdırılaraq boru kəməri ilə nəqli özlülüyünün azalması hesabına səmərəli hesab edilsə də, kondensatın  $15\%-dən$

dən aşağı qatılıqlarında qarışığın donma temperaturunun anomal artması ( $4\text{--}5^{\circ}\text{C}$ ) arzuolunmazdır. Beləliklə, şəkil 2-dən göründüyü kimi, neft-kondensat qarışığının donma temperaturu, sonuncunun 20%-dən çox olan qatılıq hallarında additivliyə əsasən, xətaya yol verilmədən təyin edilə bilər və onlar arzuolunan qarışqlardır.

Qeyd etmək lazımdır ki, tədqiq olunan Bulla-dəniz ağır neftinin digər bir ağır neftlə (Qaraçuxur,  $\rho=915 \text{ kg/m}^3$ ), tərkibində yüksək molekullu AQP (uyğun olaraq 0,64; 13, 28 və 2,53%) birləşmələr olan və donma temperaturu  $+3^{\circ}\text{C}$  təşkil edən neftlə də qarışqları laboratoriya sınaqları əsasında yoxlanılmış və nəticə etibarı ilə additivlik qaydasının pozulması halları aşkar edilmişdir. Neftlərin müxtəlif kütlə paylarında qarışmaları zamanı donma temperaturunun ayrı-ayrı qarışqlar üçün təyin edilmiş qiymətləri cədvəl 3-də, qrafiki asılılıq isə şəkil 3-də göstərilmişdir.



*Şəkil 1. Siyəzən neftinin müxtəlif kütlə payında Bulla-dəniz nefti ilə qarışqları üçün donma temperaturunun dəyişməsi*



*Şəkil 2. Kondensatın müxtəlif kütlə paylarında ağır Bulla-dəniz nefti ilə qarışqları üçün donma temperaturunun dəyişməsi*

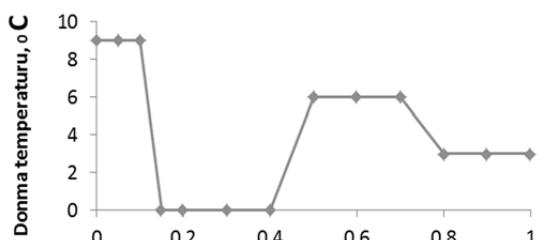
### Cədvəl 3

#### Qaraçuxur neftinin müxtəlif kütlə paylarında olan qarışqlar üçün donma temperaturunun qiymətləri

Qaraçuxur neftinin kütlə payı	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Donma temperaturu, °C	+9	+9	+9	0	0	0	0	+6	+6	+6	+3	+3	+3

Şəkil 3-dən göründüyü kimi, Qaraçuxur neftinin 10 %-dək qatılığında donma temperaturu dəyişməz olaraq  $+9^{\circ}\text{C}$ , 15 %-dən 40 %-dək olan intervalda  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $50\text{ -- }70\%$  intervalında  $+6^{\circ}\text{C}$ , da-ha sonra isə azalaraq  $+3^{\circ}\text{C}$  təşkil edir. Beləliklə, baxılan neftlərin qarışması zamanı əlverişli, rasionall variant kimi Qaraçuxur neftinin  $15\text{ -- }40\%$  qatılıq hədlərini göstərmək olar. Belə ki, bu qatılıqlar zamanı qarışığın donma temperaturu ən aşağı olmaqla  $0^{\circ}\text{C}$  təşkil edəcəkdir.

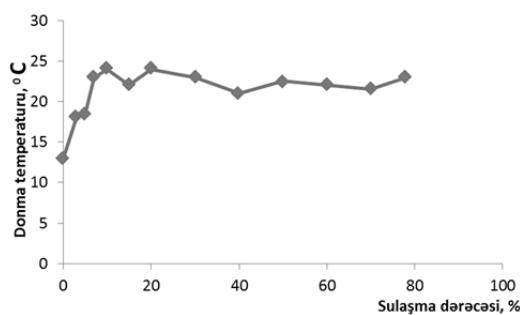
Xam neftlər üçün sulaşma amilinin də vəcibliyini nəzərə alaraq müxtəlif sulaşma dərəcələrində donma temperaturunun necə dəyişməsi də tədqiq olunmuşdur.



*Şəkil 3. Qaraçuxur neftinin müxtəlif kütlə paylarında Bulla-dəniz nefti ilə qarışqları üçün donma temperaturunun dəyişməsi*

**Məsələnin həlli və müzakirəsi.** Sulaşmasının neftlərin donma temperaturuna təsiri Ələt-dəniz yatağında 44 sayılı quyudan götürülmüş xam neft nümunəsinin sınağı əsasında tədqiq edilmişdir. İlkin olaraq götürülən neft nümunəsinin laboratoriyada analizi aparılmış, neftin sıxlığı, donma temperaturu və tərkibində olan ballastların – suyun, mexaniki qarışıqlarının və xlor duzlarının miqdarı təyin edilmişdir. Alınan məlumatlar cədvəl 4-də verilmişdir. Cədvəl 4-dən göründüyü kimi, neftin ilkin sulaşması 7 %, donma temperaturu isə  $23^{\circ}\text{C}$  təşkil etmişdir. Sonra tədqiq olunan neft nümunəsi süni olaraq 80 % sulaşdırılmış və hər bir sulaşma dərəcəsində neftin donma temperaturu təyin edilmişdir. Donma temperaturu, həmçinin neftin ilkin sulaşma dərəcəsindən aşağı sulaşmalarda da təyin edilmiş və donma temperaturunun müxtəlif sulaşma dərəcələrində dəyişməsi cədvəl 5-də və şəkil 4-də göstərilmişdir.

Şəkli 4-dən göründüyü kimi, neftin donma temperaturuna ən çox təsir aşağı sulaşma dərəcəsində baş verir (10 %-dək). Daha sonra bu təsir, demək olar ki, özünü göstərmir. Sınağı aparılan susuz neft nümunəsinin donma temperaturu  $+13^{\circ}\text{C}$ -dən sulaşma nəticəsində  $23^{\circ}\text{C}$ -dək artır. Bu amilin mədən yığım-nəql sistemlərinin boru xətlərində (əsasən, dəniz şəraitində) nəzərə alınması çox vacibdir.



**Şəkil 4. Neftin donma temperaturunun sulaşma dərəcəsindən asılılığı**

**Ələt-dəniz yatağı, 44 sayılı quyudan götürülmüş neft nümunəsinin ilkin analizinin nəticələri**

Adı	Suyun miqdəri, %	Sıxlıq, kq/m <sup>3</sup>	Donma temperaturu, 0C	Mexaniki qarışıq, %	Xlor duzları, mq/dm <sup>3</sup>
Quyu - 44	7	851,1	23	0,121	253,34

**Cədvəl 4  
Neft nümunəsinin müxtəlif sulaşma dərəcələrində donma temperaturunun təyin olunmuş qiymətləri**

Sulaşma dərəcəsi, %	0	3	5	7	10	15	20	30	40	50	60	70	78
Donma temperaturu, 0C	13	18	18,5	23	24	22	24	23	21	22,5	22	21,5	23

**Nəticə.** Beləliklə, yüksək özlülüklü, ağır neftlərin bir-biri, yüngül neftlə və kindensatla qarışdırılaq nəql olunması zamanı bir sıra hallarda donma temperaturunun anomal olaraq dəyişməsi, bu baxımdan bəzi qarışıqların hətta “arzuolunmazlığı” aşkar edilmişdir. Bu cür qarışıqlara additivlik qaydasının tətbiq edilməsinin yolverilməzliyi nəzərə alınmalıdır və rasional qarışıqların seçilməsi, sulaşma amilinin donma temperaturuna təsirinin təyini məqsədilə neftlərin laboratoriya şəraitində geniş tədqiq olunması çox vacibdir.

## REFERENCES

1. **Ismayılov Q.Q., Nurmamedova R.G.** Ob izmenenii pokazatelej kachestva neftej pri ih smeshenii // Vestnik Kazahstansko-Britanskogo tehnicheskogo universiteta, № 1 (24), 2013, S. 19-27.  
**Исмайылов Г.Г., Нурмамедова Р.Г.** Об изменении показателей качества нефти при их смешении // Вестник Казахстанско-Британского технического университета, № 1 (24), 2013, С. 19-27.
2. **Ismayılov Q.Q., Nurməmmədova R.Q., Zeynalov R.L.** Neft qarşıqlarının yığılması və nəqlə hazırlanması zamanı sinergizm və antoqonizm meylləri haqqında / ANT, № 4, 2014. S.31–35.
3. **Ismayılov Q.Q., Nurməmmədova R.Q., Nurullayev V.X., Zeynalov R.L.** Neftlərin qarışması zamanı spesifik problemlər / ANT, № 10, 2015. S. 30 – 36.
4. **Ismayılov Q.Q., Serkebaeva B.S., Adygezalova M.B.** O nekotoryh problemah promyslovoj podgotovki nefti i vody // Izvestija VTUZA, T. 18, № 1, 2016. S. 29-38.  
**Исмайылов Г.Г., Серкебаева Б.С., Адыгезалова М.Б.** О некоторых проблемах промысловой подготовки нефти и воды // Известия ВТУЗА, Т. 18, № 1, 2016. С. 29-38.
5. **Evdokimov I.N.** T – C Phase Diaqram of Asphaltenes in Solutions. // Petroleum Science and Technology, 2007 25 (1-2): 5-17.
6. **Holmes J.W., Bullin J.A.** Fuel oil Compatibiliti Probed //Hydrokarbon Processing, 1983, 62(9): Pp. 101-103.
7. **Kremer L.** Non Standart Tests for Predist Impact of Crude Oil Quality on Desalting. // Crude Oil Quality Group Meeting, Houston, TX, 2003, May 29.
8. **Ismayılov Q.Q., Nurullayev V.X., Adığözəlova M.B.** Neft qarşıqlarının reo-nano-kimyəvi xüsusiyyətləri haqqında // // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri. T. 9, №4, 1917, c.75-85.

---

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБВОДНЕНИЯ И СМЕШЕНИЯ НЕФТЕЙ НА ТЕМПЕРАТУРУ ЗАСТЫВАНИЯ

Г.Г. ИСМАЙЫЛОВ, Э.Х. ИСКЕНДЕРОВ, Ф.Б. ИСМАЙЛОВА, М.А. МЕЛИКОВ

В статье исследовано влияние факторов смешения и обводнения на температуру застывания нефти. Изучено влияние фактора обводненности при смешении тяжелых нефти на температуру застывания. В некоторых случаях выявлено аномальное изменение температуры застывания и непригодность применения правила аддитивности для нефтяных смесей.

**Ключевые слова:** нефтяные смеси, температура застывания, тяжелые нефти, фактор обводненности, rheологические свойства, нефтеконденсатная смесь, асфальтосмолопарафинистые соединения.

## INVESTIGATION OF INFLUENCE OF WATER ENCROACHMENT AND COMBINATION OF OILS ON FREEZING POINT

Q.Q. ISMAYILOV, E.Kh. ISKENDEROV, F.B. ISMAYLOVA, M.A. MELIKOV

The influence of water encroachment and combination of oils on freezing point is studied in the article. It was studied the influence of the water encroachment at the mixing of heavy oils on the freezing point. In some cases, it was identified an abnormal change of freezing point and impossibility of the application of the additivity rule for oil mixtures.

**Keywords:** oil mixtures, freezing point, heavy oils, water encroachment, rheological properties, oil-condensate mixture, asphalt-resin-paraffin compounds.

**UOT 665.71**

## **NEFTLƏRİN QRUP TƏRKİBİNİN QARIŞMASININ TƏSİRİ**

M.B. ADIGÖZƏLOVA\*

Məqalədə bir neçə neftlərin qarışması zamanı qrup tərkibinin dəyişməsi məsələləri tədqiq olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, neftlərin müxtəlif nisbətlərdə qarışmasından asılı olaraq onların tərkibindəki aromatik, naften və parafin karbohidrogenlərinin miqdarının dəyişməsi müəyyən qanunauyğunluqla müşahidə olunur.

**Açar sözlər:** *neft qarışıqları, keyfiyyət göstəriciləri, qrup tərkibi, aromatik karbohidrogenlər, naften karbohidrogenlər, parafin karbohidrogenlər, fraksiya tərkibi, qaynama temperaturu.*

**Giriş.** Məlumdur ki, neftin istehsalı, nəqli və saxlanması proseslərində müxtəlif çeşidli neftlərin qarışması və bu zaman yaranan çökmə prosesləri çoxsaylı amillərlə xarakterizə olunur ki, bu da nəql prosesi zamanı daha ciddi və aktual bir problemə çevrilir. Müxtəlif çeşidli və xassəli neftlər bir qayda olaraq, eyni boru kəməri ilə nəql olunması, eyni bir çənə yığılması nəticəsində onların qarışması baş verir ki, bu da onların keyfiyyət göstəricilərinə xeyli təsir edir. Bəzi neft qarışıqları üçün sıxlıq, özlülük, həcm və digər praktiki əhəmiyyət kəsb edən parametrlərin hətta anomal şəkildə, kəskin dəyişməsi halları son illərin təcrübəsində tez-tez rast gəlinən hallardandır [1, 2, 3, 8]. Dünyada olduğu kimi, Azərbaycanda da tərkibində asfalten, parafin və qatran olan neftlərin çıxarılması, nəqli və saxlanması proseslərində, xüsusilə də aşağı temperaturlarda onların reoloji xüsusiyyətləri pisləşdiyi üçün “lay-quyu-boru kəmərləri” sisteminde yüksək molekullu birləşmələrin çökməsi baş verir. Bu da öz növbəsində texnoloji proseslərin pisləşməsinə gətirib çıxarır. Bu cür neftlərin yığımı, nəqli və emalı zamanı texnoloji proseslərin səmərəliliyini artırmaq və iqtisadi baxımdan yaxşı nəticələr əldə etmək məqsədilə ağır xam neftlərin yüngül neftlərlə qarışdırılmasını həyata keçirilir. Lakin müxtəlif çeşidli xam neftlərin bir-biri ilə və ya yüngül neftlə qarışdırılması zamanı xüsusi problemlərin yaranması halları danılmazdır. Tədqiqatlar göstərir ki, bu problemlərin yaranmasının əsas səbəbi müxtəlif xam neftlərin qarışması ilə onlarda çökmə ehtimallı asfaltenlər kimi üzvi bərk hissəciklərin ol-

\* Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

masıdır. Hələlik bunun səbəbi öz izahını, müxtəlif versiyaların olmasına baxmayaraq tam tapmayıb. Məlumdur ki, xam neftlər tərkibində olan digər ballastların - su, mexaniki qarışıqlar, xlor duzlarının miqdarına görə də müxtəlif olur. Bir çox hallarda neftlərin qarışması zamanı asfalten, parafin, və qatranlarla yanaşı qeyd olunan ballastların da çökməsi baş verir.

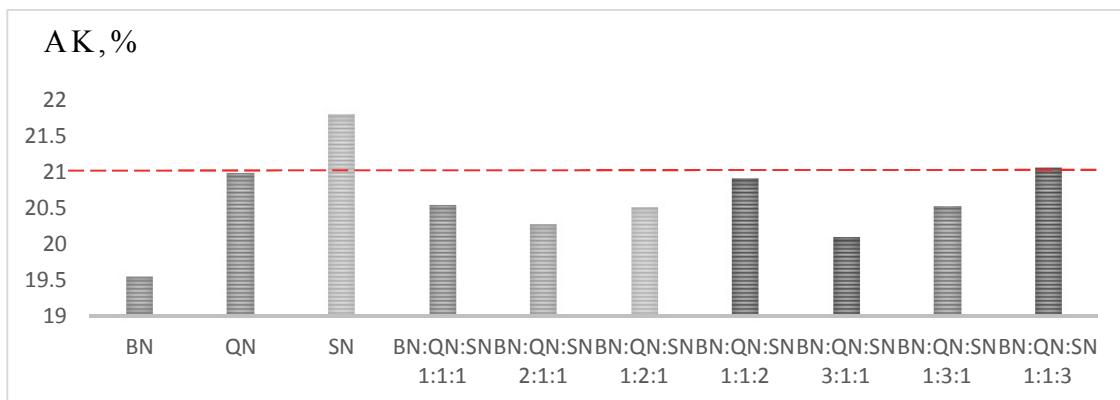
**İşin məqsədi.** Azərbaycana məxsus müxtəlif xam neftlərin əsasında götürülmüş ayrı-ayrı neft qarışıqlarının keyfiyyət göstəricilərinə qarışan neftlərin kimyəvi tərkibinin təsirinin tədqiqi.

**Məsələnin qoyuluşu.** Azərbaycan neftlərinin timsalında hal-hazırda neft qarışıqları üçün keyfiyyət göstəricilərinin neftlərin çeşidliyindən və qarışma nisbətində asılı olaraq qarışması nəticəsində texnoloji problemlərin yaranması ilə bağlı aparılan elmi-tədqiqat işlərinin əhatə dairəsi genişlənməkdədir. Neftlərin qarışması, yığılması, hazırlanması və nəqli zamanı texnoloji proseslərdə ciddi problemlər yaranması, additivlik qaydasının tətbiqinin yolverilməzliyi bu cür neft qarışıqlarının yaranmasına səbəb olan amillərin geniş və hərtərəfli tədqiq olunmasını gündəmə gətirməklə məsələnin aktuallığı və problemin həllinin vacibliyi və əhəmiyyətindən xəbər verir. Məqalədə Azərbaycana məxsus müxtəlif xam neftlərin əsasında götürülmüş ayrı-ayrı neft qarışıqlarının keyfiyyət göstəricilərinə qarışan neftlərin kimyəvi tərkibinin təsirinin tədqiqi əsasında əldə olunmuş nəticələrin təhlili öz əksini tapmışdır. Bu məqsədlə Bulla (BN), Qaraçuxur (QN) və Siyəzən (SN) neftlərini seçərək onların keyfiyyət göstəriciləri təhlil edilmişdir. Neftlərin qarışması zamanı qarışan neftin kütlə payından asılı olaraq qarışıqların keyfiyyət göstəricilərinin necə dəyişməsi aparılan tədqiqat işlərində geniş şərh edilmişdir [ 4-7,9].

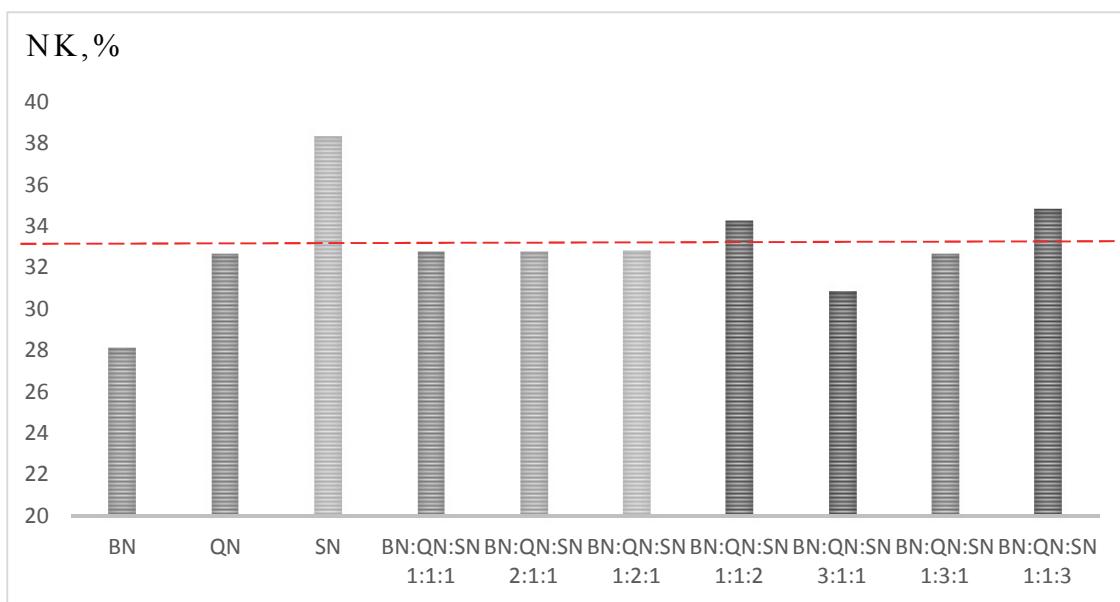
**Məsələnin həlli.** Məqalədə müxtəlif çeşidli Azərbaycan neftlərinin timsalında neftlərin fraksiya tərkibinin və karbohidrogenlərin, fraksiyalarda ümumi miqdarının təyininə baxılmış və bu tərkib əsasında qarışmasının diaqnostikası həyata keçirilmişdir. Bu məqsədlə müxtəlif Bulla, Qaraçuxur və Siyəzən yataqlarından istehsal olunan xam neftlərdən istifadə olunmuşdur. Bulla-BN və Qaraçuxur-QN və Siyəzən - SN neftlərinin, eyni zamanda onların müxtəlif nisbətlərdə qarışımlarının müxtəlif temperaturlarda fraksiya tərkibi və karbohidrogen miqdarını əks etdirən tədqiqatların nəticələri cədvəldə verilmişdir. Cədvəldən göründüyü kimi, seçilmiş neftlər sulaşmış olmaqla tərkiblərinə görə bir-birindən xeyli fərqlənir.

Bu göstəricilərdən neftlərin qarışması zamanı onların qarşılıqlı təsirini tədqiq edən zaman istifadə olunmuşdur.

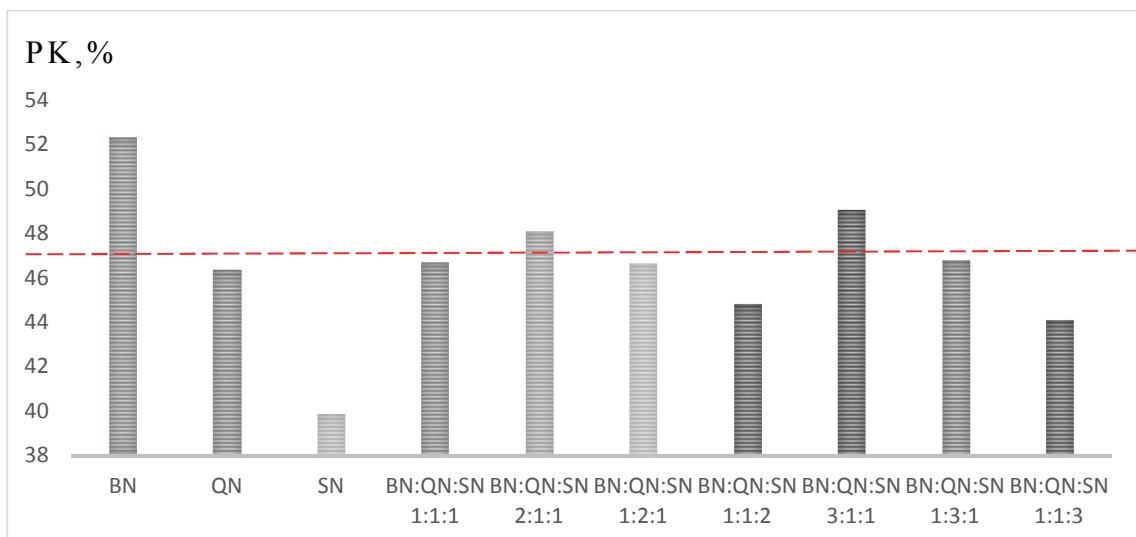
Araşdırımlar nəticəsində komponentlərin nisbətlərdən asılı olaraq neftlərin qarışması zamanı tərkiblərindəki aromatik (AK), naften (NK) və parafin (PK) karbohidrogenlərin miqdarının dəyişməsi müşahidə olunmuşdur (Şəkil 1-3). Şəkil 1-dən göründüyü kimi, qarışma nisbətindən asılı olmayaraq, bütün hallarda AK-nın miqdarı additivlik qaydasına əsasən təyin edilmiş qiymətdən (21%) az olur. Naften və parafin karbohidrogenlərin dəyişməsi də bir çox hallarda additivliyə uyğun gəlmir. Belə ki, naftenlər üçün bu hal BN: QN: SN=3:1:1 nisbətində, parafin karbohidrogenlər üçün isə bu uyğun olaraq 1:1:2 və 1:1:3 nisbətlərində, yəni əsasən SN neftinin miqdarının çoxalması ilə müşahidə olunur. Hər iki halda PK-nın miqdarı azalır.



*Şəkil 1. BN, QN VƏ SN neftlərinin müxtəlif qarışmalarında aromatik karbohidrogenlərin (%) dəyişməsi*



*Şəkil 2. BN, QN VƏ SN neftlərinin müxtəlif qarışmalarında naften karbohidrogenlərin (%) dəyişməsi*



*Şəkil 3. BN, QN VƏ SN neftlərinin müxtəlif qarışmalarında parafin karbohidrogenlərin (%) dəyişməsi*

*Cədvəl***Analizlər üçün ilkin götürülən, Bulla nefti (BN), Qaraçuxur nefti (QN) və Siyəzən neftinin (SN)fraksiya tərkibinin və karbohidrogenlərin, fraksiyalarda ümumi miqdarının təyini**

<b>Neftlər üçün aparılmış analizlərin adları</b>	<b>BN</b>	<b>QN</b>	<b>SN</b>	<b>BN:QN:SN 1:1:1 nisbətdə</b>	<b>BN:QN:SN 2:1:1 nisbətdə</b>	<b>BN:QN:SN 1:2:1 nisbətdə</b>	<b>BN:QN:SN 1:1:2 nisbətdə</b>	<b>BN:QN:SN 3:1:1 nisbətdə</b>	<b>BN:QN:SN 1:3:1 nisbətdə</b>	<b>BN:QN:SN 1:1:3 nisbətdə</b>	<b>Aparılmış sınaq üsulları</b>
Sixlıq 20°C – də, kq/m <sup>3</sup>	817,8	838,4	868,3	842,7	836,2	840,1	849,1	831,6	840,9	851,8	QOST 3900 QOST 2177
Fraksiya tərkibi:											
Qay.baş. °C.	51	62	77	68	61	64	69	59	64	70	
100°C % - lə həcm.	4,5	6,0	8,5	7,5	6,0	7,0	7,5	8,0	6,5	7,5	
120°C % - lə həcm.	9,0	12,0	15,5	13,0	12,0	12,5	13,5	11,0	12,5	14,0	
150°C % - lə həcm.	13,5	17,0	18,5	16,5	16,0	16,5	17,0	15,5	17,0	17,5	
160°C % - lə həcm.	16,5	20,5	21,0	19,0	19,0	20,0	20,0	18,0	19,5	20,5	
180°C % - lə həcm.	19,0	24,0	25,0	23,5	22,0	23,0	23,5	21,5	23,5	24,0	
200°C % - lə həcm.	23,5	26,5	29,0	27,0	26,0	26,5	27,5	25,5	26,5	27,5	
220°C % - lə həcm.	26,5	29,0	33,5	29,5	29,0	30,0	30,5	28,5	29,5	31,5	
240°C % - lə həcm.	29,0	32,5	38,5	35,5	22,0	33,5	35,0	31,5	33,0	36,0	
260°C % - lə həcm.	31,5	35,0	41,0	37,5	35,0	36,0	37,0	34,0	35,5	38,0	
280°C % - lə həcm.	35,0	38,5	45,5	41,5	38,0	39,0	41,0	38,0	39,0	42,5	
300°C % - lə həcm.	37,5	41,0	50,5	43,0	41,5	42,5	45,0	40,5	42,5	46,0	
320°C % - lə həcm.	40,0	44,5	54,5	47,5	44,5	46,0	48,5	44,0	46,0	49,5	
340°C % - lə həcm.	43,5	48,0	57,5	50,5	48,5	46,5	52,0	47,5	49,0	53,0	
350°C % - lə həcm.	46,5	52,5	61,0	54,0	52,0	53,5	55,5	51,0	53,5	56,5	
Neftlərin fraksiyalarda karbohidrogenlərin %-lə (kütłə) miqdarı											QOST 11244
Aromatik k/h-lər. (AK)	19,54	20,97	21,78	20,53	20,26	20,49	20,89	20,08	20,51	21,04	
Naften k/h-lər. (NK)	28,12	32,64	38,32	32,78	31,63	32,84	34,29	30,85	32,69	34,82	
Parafin k/h-lər. (PK)	52,34	46,39	39,90	46,69	48,11	46,67	44,82	49,07	46,80	44,14	
AK/PK	0,373	0,452	0,546	0,439	0,421	0,439	0,466	0,409	0,438	0,476	
AK+NK/PK	0,910	1,155	1,529	1,142	1,078	1,142	1,231	1,038	1,136	1,265	

**Nəticə.** Beləliklə, müxtəlif çeşidli neftlərin qarışması zamanı onların qrup tərkiblərinin dəyişməsinin bir çox hallarda additivlik qaydasına uyğun gəlməməsi aşkar edilmiş və neft qarışıqlarında qrup tərkibinin dəyişməsinin diaqnostikası əsasında ayrı-ayrı neftlərin qarışmasının rasional variantının seçilməsinin mümkünülüyü göstərilmişdir.

## REFERENCES

1. **Tronov V.P.** Promyslovaja podgotovka nefti. - Kazan: Izd. Fjen. 2000. - 416 s.  
**Тронов В.П.** Промысловая подготовка нефти. - Казань: Изд. Фэн. 2000. - 416 с.
2. **Hafizov A.R. Pestreco N.V., Chebotarev V.V. i dr.** Sbor i podgotovka nefti i gaza. Tehnologiya i oborudovanie // Uchebnoe posobie. Pod red. A.R.Hafizova, N.V. Pestrecova, V.V.Shajdakova. - Ufa, 2002. - 551 s.  
**Хафизов А.Р. Пестрецов Н.В., Чеботарев В.В. и др.** Сбор и подготовка нефти и газа. Технология и оборудование // Учебное пособие. Под ред. А.Р.Хафизова, Н.В. Пестрецова, В.В.Шайдакова. - Уфа, 2002. - 551 с.
3. **Sharifullin A.V., Baybekova L.R., Suleymanov A.T.** Osobennosti sostava i stroenija neftjnyh otlozhenij // Tehnologiya nefti i gaza. 2006, № 6, S. 19-24.  
**Шарифуллин А.В., Байбекова Л.Р., Сулейманов А.Т.** Особенности состава и строения нефтяных отложений // Технология нефти и газа. 2006, № 6, С. 19-24.
4. **İsmayılov Q.Q., Nurməmmədova R.Q. Zeynalov R.L.** Neft qarışıqlarında sinerqizm effekti// "Xəzərneftqazyataq-2014" elmi-təcrübə konfransın məqalələr toplusu, Bakı, 2014, 44-53.
5. **İsmayılov Q.Q., Nurməmmədova R.Q., Zeynalov R.L.** Neft qarışıqlarının yiğilması və nəqlə hazırlanması zamanı sinerqizm və antaqonizm meylləri haqqında // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, Bakı, 2014, № 4, s. 31-35.
6. **İsmayılov Q.Q., Nurməmmədova R.Q., Nurullayev V.X. Zeynalov R.L.** Neftlərin qarışması zamanı yaranan spesifik problemlər haqqında // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, Bakı, 2015, №10, s.30-37.
7. **Ismailov G.G., Adygezalova M.B., Zeynalov R.L.** Proyavlenie «nesovmestimosti» v neftyanyh smesyah // Teoreticheskaya i prikladnaja mehanika, 2016, № 3-4, s.114-117.  
**Исмаилов Г.Г., Адыгезалова М.Б., Зейналов Р.Л.** Проявление «несовместимости» в нефтяных смесях // Теоретическая и прикладная механика, 2016, № 3-4, с.114-117.
8. **Ismayılov Q.Q., Nurullayev V.X., Adığözəlova M.B.** Neft qarışıqlarının reo-nano kimyəvi xüsusiyyətləri haqqında // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, cild 9. № 4, s. 75-85.
9. **Evdokimov I.N., Losev A.P.** Osobennosti analiza associativnyh uglevodorodnyh sred. Primenimost refraktometricheskikh metodov // Himiya i tehnologiya topliva i masel. 2007, №2, s.38-41.  
**Евдокимов И.Н., Лосев А.П.** Особенности анализа ассоциативных углеводородных сред. Применимость рефрактометрических методов // Химия и технология топлива и масел. 2007, №2, с.38-41.

---

## О ВЛИЯНИИ СМЕШЕНИЯ НЕФТЕЙ НА ИХ ГРУППОВОЙ СОСТАВ

М.Б. АДЫГЕЗАЛОВА

В статье исследованы процессы изменения группового состава нефтей при их смешивании. Установлено, что в зависимости от соотношения смешиваемых нефтей изменение количества ароматических, нафтеновых и парафиновых углеводородов в их составе происходит с определенными закономерностями.

**Ключевые слова:** нефтяные смеси, показатели качества, групповой состав, ароматические углеводороды, нафтеновые углеводороды, парафиновые углеводороды, фракционный состав, температура кипения.

## THE EFFECT OF OIL MIXING ON THEIR GROUP STRUCTURE

M.B. ADYGEZALOVA

The article examines the changes in the group structure of oils while mixing. It was determined, that depending on the difference of oil mixing ratios the change of amount of aromatic, naphthenic and paraffin hydrocarbons follow the certain rules.

**Keywords:** oil mixtures, quality indicators, group structure, aromatic hydrocarbons, naphthenic hydrocarbons, paraffin hydrocarbon, fractional structure, boiling temperature.

---

UOT 536.77:547.442

## GENİŞ HAL PARAMETRLƏRİNDE BUTANOL-1 VƏ DİZEL B0 YANACAĞI QARIŞIĞININ İSTİLİK TUTUMU

B.C. ƏHMƏDOV\*

Butanol-1 və dizel B0 yanacağı xususi kolbalarda deqazasiya olunur və təmizliyi Karl Fischer 756 KF titratorundan istifadə etməklə yoxlanılır. Sonra xususi birləşdirilmiş kolbalardan istifadə etməklə müvafiq  $x_{b-1}=(0.0, 0.1773, 0.3493, 0.5514, 1.0)$  mol fraksiyalarında və ya  $V_{b-1}=(0.0, 7.0, 15.79, 30.04 \text{ və } 100.0)\%$  həcm faizlərində binar qarışqlar hazırlanır. Butanol-1, dizel B0 yanacağı və onların qarışqlarının atmosfer və doymuş buxar təzyiqlərində izobarik istilik tutumunun  $c_p/(C \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$  ölçülməsi üçün aparılan təcrübələr Pyris 1 tipli differential skaner kalorimetriندə yerinə yetirilmişdir. Ölçü yuvası  $T=573.15 \text{ K}$  temperatura və 24 bar təzyiqə qədər davamlıdır. Ölçmələr  $(263.15 \pm 468.15) \text{ K}$  temperaturlarda, atmosfer  $p=0.101 \text{ MPa}$  və doymuş buxar  $P/\text{MPa}$  təzyiqlərində aparılmışdır. Butanol-1 və dizel B0 yanacağı qarışqlarının istilik tutumunun təcrübə olaraq alınmış nəticələri analitik olaraq empirik polinom tənlik vasitəsi ilə yazılmışdır.

*Açar sözlər:* Dizel B0, butanol-1, izobarik istilik tutumu, izoxar istilik tutumu, differential skaner kalorimetr, geniş hal parametri.

**Giriş.** Dünyada ənənəvi yanacaqların miqdarı tükənməyə doğru getdiyi üçün onların qiymətlərinin qeyri-stabilliyi, istehsal və istifadə zamanı ətraf mühitə dəyən zərər və s. kimi amillər alternativ enerji mənbələrinin inkişafı zərurətini yaradır. Eyni zamanda ətraf mühitə atılan karbon qazı iqlim dəyişmələrinə səbəb olur [1]. Alternativ enerji mənbələrinin istifadəsi kimi ənənəvi yanacaqlara müxtəlif alternativ əlavələr etməklə həm ümumi yanacağın miqdarı artırılır, həm də yanmadan sonra ətraf mühitə atılan zərərli xaric qazların miqdarı azalır. Təqdim olunan məqalədə dizel yanacağına alternativ əlavə kimi butanol-1 götürülmüşdür. Butanol-1 biokütlə əsaslı yenilənə bilən yanacaqlar qrupuna aiddir və etanol istehsalı zamanı biokütlə xammalından spirtlərin fermentləşməsi yolu ilə alınır.

Bildiyimiz kimi, dizel mühərrikləri ilə işləyən avtomobilərində yanacaq 220 MPa-a qədər təzyiq altında vurulur. Gələcəkdə daxiliyanma mühərrikləri texnologiyasının inkişafı istiqamətində bu təzyiqin 400 MPa və daha yüksəyə qaldırmaq nəzərdə tutulmuşdur. Bu da mühərrikin və sonda avtomobilin sürətinin artmasına və qısa zaman anında optimal sürətin alınmasına gətirib çıxarır. Son illərdə butanol-1 – in dizel yanacağına alternativ kimi əlavə edilməsi, bir-başa mühərrikdə istifadəsi və mühərrikin xassələrinin analizi bir çox elmi işlərdə öz əksini tapmışdır [2]. Bəzi alternativ əlavələr isə mühərrikin ümumi konstruksiyasına və texniki göstəricilərinə elə də təsir etmirlər və müvəffəqiyyətlə istifadə edilirlər [3–8].

\* Azərbaycan Texniki Universiteti

Butanol-1 klassik kimyəvi maddə və geniş istifadə sahələrinə malik olduğu üçün onun istilik-fiziki xassələri ətraflı öyrənilmişdir. Lakin dizel yanacağı stabil kimyəvi maye olmadığı üçün müxtəlif mənbələrdən çıxan neftdən alınan dizel yanacağı da müxtəlifdir. Tək bunu demək bəs edər ki, dizel yanacağının sıxlığı  $820\text{-}850 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  intervalında dəyişir. Buna görə dizel B0 yanacağının və onun butanol-1 ilə müvafiq fraksiyalarında və seçdiyimiz geniş hal parametrləri intervalında istilik tutumunu ilk dəfə biz ölçəcəyik.

**Təcrübə materialları.** Ultra təmiz butanol-1 ( $w=99.995\%$ , absolute for analysis EMPLURA®, CAS No. 71-36-3, Art. Nr. 8.22262.2500) Merck Schuchardt OHG (Almaniya) və dünyada standartlı dizel B0 yanacağı (Shell Global Solution DK5037).

*Cədvəl 1.*

**Butanol-1 və dizel B0 yanacağı qarışıqlarının konsentrasiyaları**

<b>Mərhələ</b>	<b>qram</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>
Vakuumda olan kolba	147.1955	
Vakuumda olan kolba + Dizel B0	312.2430	
Dizel B0	165.0475	201.18421
Vakuumda olan kolba + Dizel B0 + Butanol-1	324.5030	
Butanol-1	12.2600	15.14253
Qarışık	177.3075	216.3267
Butanol-1 – in konsentrasiyası, %	<b><math>w_{b-1}=6.9145\%</math></b>	<b><math>V_{b-1}=6.9998</math></b>
	kütlə %	həcm, %
Butanol-1 – in $x$ mol fraksiyası	<b><math>x=0.1773</math></b>	
<b>Mərhələ</b>	<b>qram</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>
Vakuumda olan kolba	135.1763	
Vakuumda olan kolba + Dizel B0	260.9620	
Dizel B0	125.7857	153.32614
Vakuumda olan kolba + Dizel B0 + Butanol-1	284.2370	
Butanol-1	23.2750	28.74734
Qarışık	149.0607	182.0735
Butanol-1 – in konsentrasiyası, %	<b><math>w_{b-1}=15.6144</math></b>	<b><math>V_{b-1}=15.7889</math></b>
	kütlə %	həcm, %
Butanol-1 – in $x$ mol fraksiyası	<b><math>x=0.3493</math></b>	
<b>Mərhələ</b>	<b>qram</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>
Vakuumda olan kolba	110.9190	
Vakuumda olan kolba + Dizel B0	229.6580	
Dizel B0	118.7390	144.73659
Vakuumda olan kolba + Dizel B0 + Butanol-1	279.9740	
Butanol-1	50.3160	62.14614
Qarışık	169.0550	206.8827
Butanol-1 – in konsentrasiyası, %	<b><math>w_{b-1}=29.7631</math></b>	<b><math>V_{b-1}=30.0393</math></b>
	kütlə %	həcm, %
Butanol-1 – in $x$ mol fraksiyası	<b><math>x=0.5514</math></b>	

Seçdiyimiz nümunələr xüsusi kolbada vakuum altında deqazasiya olunduqdan və Karl Fischer 756 KF titratronunda təmizliyi yoxlanılır. Sonra xususi kolbaların köməyi ilə aşağıdakı

cədvəl 1-də göstərilən fraksiyalarda qarışqlar hazırlanır. Hazırlanmış qarışqların çəkisi xüsus elektron tərzidə - ED224S (Sartorius, Almaniya) 0.0001 q dəqiqliklə ölçülür.

Bu qayda ilə bütün qarışqların bütün konsentrasiyaları hazırlanmışdır. Qarışqların həcm, kütlə və mol fraksiyaları aşağıda cədvəl 2-də verilmişdir:

Cədvəl 2.

### Butanol-1 və dizel B0 yanacağı qarışqlarının konsentrasiyaları

$V_{b-1}$ , həcm %	0.0000	6.9998	15.7889	30.0393	100.0000
$w_{b-1}$ , kütlə %	0.0000	6.9145	15.6144	29.7631	100.0000
$x_{b-1}$ /mol fr.	0.0000	0.1773	0.3493	0.5514	1.0000
$M/\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$	0.2150	0.2053	0.1930	0.1731	0.0741

**Təcrübə prosesi.** Butanol-1, dizel B0 yanacağı və onların qarışqlarının atmosfer və doymuş buxar təzyiqlərində izobarik istilik tutumunun  $c_p/(C \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$  ölçülməsi üçün aparılan təcrübələr Pyris 1 tipli differensial skaner kalorimetriində yerinə yetirilmişdir (Şəkil 1).

Diferensial skaner kalorimetri materiallara temperaturdan asılı verilən istiliyi çox yüksək dəqiqliklə ölçməyə imkan verir. Qurğunun əsas elementi daxilində ölçüləcək maddə olan platin-iridium ərintisi ilə örtülmüş paslanmayan poladdan hazırlanmış yuva, qızdırıcılar və platin termorezistorlardır. Ölçü yuvası  $T=573.15$  K temperatura və 24 bar təzyiqə qədər davamlıdır. Ölçü yuvasına təxminən 30-70 mq nümunə yerləşdirilir və iki paralel ölçü yuvasından istifadə etməklə yerinə yetirilir. Birinci ölçü yuvasında ölçüləcək maddə, ikincisində isə etalon maddə (sapfir) yerləşdirilir. Təcrübələr temperaturun sabit sürətlə dəyişməsi metodu ilə yerinə yetirildiyi üçün hər iki ölçü yuvasının temperaturu bir-birinə bərabər saxlanılır. İstilikvermə sürəti təcrübələrdə 3 K/dəq. seçilmişdir [9]. Ölçü yuvalarında nümunələr müxtəlif (ölçüləcək nümunə və ədəbiyyat qiymətləri əvvəlcədən dəqiq məlum olan etalon nümunə) olduqlarına görə, yuvaların hər ikisinin sabit temperaturda saxlanması üçün onlara verilən istiliyin miqdarı fərqli olur. Bu istilik fərqlərinə görə istilik tutumu hesablanır:

$$c_p(T) = \frac{dq}{dt}, \quad (1)$$



Şək.1. Pyris 1 tipli differensial skaner kalorimetri [9].

Ölçü yuvası əvvəlcə boş, sonra doldurulmuş maye ilə birlikdə tərəzidə çəkilir və onun daxilindəki mayenin miqdarı tapılır. Eyni qayda ilə ikinci ölçü yuvası da tərəzidə çəkilir [9]. Hər iki ölçü yuvası qurğunun xüsusi hissəsinə yerləşdirildikdən sonra qurğu tam avtomatik olaraq işə düşür, ilk önce ölçü yuvaları iki dəfə 150 °C-dən -70 °C-yə qədər soyudulur və qızdırılır. Bu zaman istiliyin verilmə sürəti 10 K/dəq. həddində saxlanılır. İkinci proses halında nümunələr 50 K intervalı ilə 150 °C-dən -70 °C-yə qədər soyudulur və qızdırılır. Yenə də istiliyin verilmə sürəti 10 K/dəq. həddində saxlanılır. Daha sonra verilmiş istilik miqdarının əsasında [istilik axını – vaxt əyrisi,  $\Phi(t)$ ] izobar istilik tutumunu aşağıdakı düsturların köməyi ilə hesablamaq olur [9]:

$$c_p(T) = c_{p\text{ sapfir}}(T) \frac{m_{\text{sapfir}} \cdot \beta}{m_{\text{nüümune}} \cdot \beta} \cdot \frac{\Phi_{\text{nüümune}}(T) - \Phi_{\text{bos}}(T)}{\Phi_{\text{sapfir}}(T) - \Phi_{\text{bos}}(T)} = K(T) \cdot \frac{\Phi_{\text{nüümune}}(T) - \Phi_{\text{bos}}(T)}{m_{\text{nüümune}} \cdot \beta}, \quad (2)$$

Burada  $K(T)$  temperaturdan asılı kalibrəlmə əmsalı olub aşağıdakı kimi tapılır [9]:

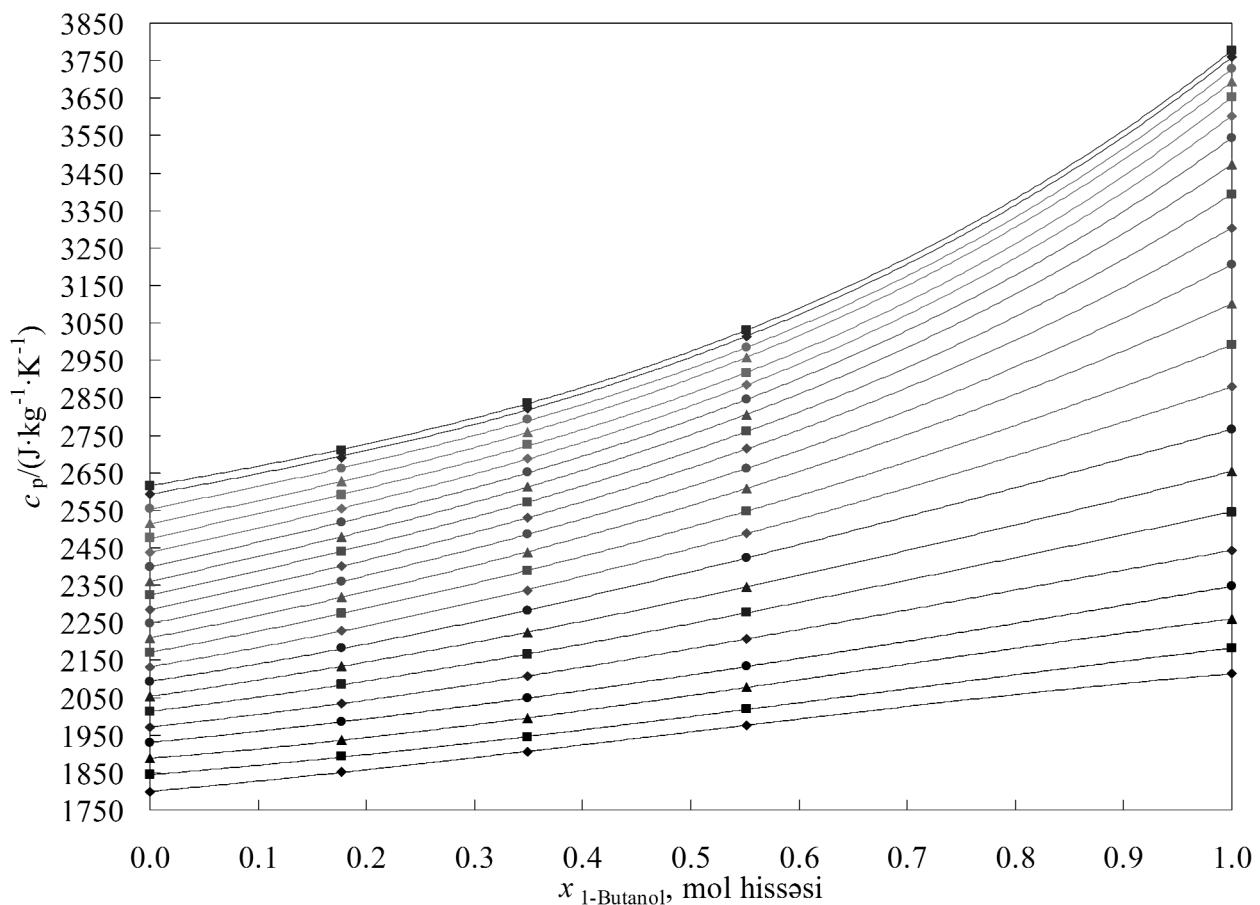
$$K(T) = c_{p\text{ sapfir}}(T) \cdot \frac{m_{\text{sapfir}} \cdot \beta}{\Phi_{\text{sapfir}}(T) - \Phi_{\text{bos}}(T)}. \quad (3)$$

Təqdim olunan məqalədə butanol-1, dizel B0 yanacağı və onların qarışıqlarının  $T=(263.15 - 468.15)$  K temperatur intervalında və atmosfer və doymuş buxar təzyiqlərində izobarik istilik tutumu  $c_p/(C \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$  təcrubi olaraq ölçülmüşdür. Təcrübələr dəfələrlə təkrar edilmişdir. Alınmış nəticələr cədvəl 3-də hər 10 K-dən bir verilmişdir. Şəkil 2-də butanol-1, dizel B0 yanacağı və onların qarışıqlarının atmosfer və doymuş buxar təzyiqlərində təcrubi olaraq analiz edilmiş izobarik istilik tutumunun  $c_p/(C \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$  müxtəlif temperaturda  $T/K$  konsentrasiyadan asılılığı verilmişdir.

Cədvəl 3.

**Butanol-1 – dizel B0 qarışığının atmosfer təzyiqində istilik tutumunun  $c_p/(C \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$  təcrubi qiymətləri.**

$T/K$	$x_{\text{butanol-1}}$ , mol hissəsi				
	0.0000	0.1773	0.3493	0.5514	1.0000
	$V_{\text{butanol-1}}$ , % - həcm faizi				
	0.0	7.0	15.79	30.04	100.0
$c_p/(C \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$					
263.15	1799.53	1851.83	1905.20	1977.02	2113.63
273.15	1844.22	1892.45	1945.28	2019.03	2182.20
283.15	1887.84	1937.61	1994.28	2078.02	2260.21
293.15	1930.49	1985.57	2049.02	2133.02	2347.41
303.15	1972.26	2034.98	2106.93	2206.94	2443.01
313.15	2013.23	2084.74	2165.99	2276.93	2545.74
323.15	2053.50	2134.05	2224.66	2346.00	2653.95
333.15	2093.16	2182.36	2281.84	2423.83	2765.75
343.15	2132.29	2229.30	2336.79	2488.77	2879.03
353.15	2170.99	2274.69	2389.12	2547.92	2991.62
363.15	2209.35	2318.48	2438.66	2609.00	3101.36
373.15	2247.45	2360.74	2485.48	2662.00	3206.17
383.15	2285.38	2401.60	2529.78	2714.00	3304.20
393.15	2323.25	2441.24	2571.86	2760.06	3393.85
403.15	2361.12	2479.86	2612.06	2806.00	3473.95
413.15	2399.11	2517.62	2650.67	2845.91	3543.77
423.15	2437.29	2554.63	2687.93	2884.00	3603.17
433.15	2475.75	2590.91	2723.93	2917.03	3652.70
443.15	2514.59	2626.37	2758.58	2958.00	3693.62
453.15	2553.90	2660.75	2791.53	2983.86	3728.10
463.15	2593.76	2691.00	2822.12	3013.12	3759.23
468.65	2615.95	2710.80	2837.59	3030.09	3776.37



**Şəkil 2.** Butanol-1 – dizel B0 qarışığının izobarik istilik tutumunun  $c_p/(J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$  müxtəlif temperaturda  $T/K$  konsentrasiyadan asılılığı:  $\blacklozenge$ , 263.15 K;  $\blacksquare$ , 273.15 K;  $\blacktriangle$ , 283.15 K;  $\bullet$ , 293.15 K;  $\blacklozenge$ , 303.15 K;  $\blacksquare$ , 313.15 K;  $\blacktriangle$ , 323.15 K;  $\bullet$ , 333.15 K;  $\blacklozenge$ , 343.15 K;  $\blacksquare$ , 353.15 K;  $\blacktriangle$ , 363.15 K;  $\bullet$ , 373.15 K;  $\blacklozenge$ , 383.15 K;  $\blacksquare$ , 393.15 K;  $\blacktriangle$ , 403.15 K;  $\bullet$ , 413.15 K;  $\blacklozenge$ , 423.15 K;  $\blacksquare$ , 433.15 K;  $\blacktriangle$ , 443.15 K;  $\bullet$ , 453.15 K;  $\blacklozenge$ , 463.15 K;  $\blacksquare$ , 468.65 K.

**Təcrübi nəticənin ümumiləşdirilməsi:** Tədqiq olunan butanol-1 və dizel B0 yanacağının atmosfer və doymuş buخار təzyiqlərində  $c_p(p_0 \text{ ya } s, T, x)$  istilik tutumu empirik polinom tənlik vasitəsi ilə yazılmışdır:

$$c_p / (J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}) = \sum_{i=0}^n a_i T^i, \quad (4)$$

burada:  $a_i$  polinomun əmsallarıdır və cədvəl 4-də verilmişdir.

Alınmış təcrübi nəticələrin empirik tənlik vasitəsi ilə yazılıması butanol-1 üçün  $\Delta c_p/c_p = 100 \cdot (c_p \text{ exp} - c_p \text{ cal})/c_p \text{ exp} = \pm 0.01\%$ , dizel B0 yanacağı üçün  $\Delta c_p/c_p = 100 \cdot (c_p \text{ exp} - c_p \text{ cal})/c_p \text{ exp} = \pm 0.02\%$  orta nisbi xəta vermişdir.

Qarışığın təşkil edən butanol-1 və dizel B0 yanacağının izobarik istilik tutumunun təcrübi nəticələrinin tənlik ilə yazılımasından sonra qarışıqlar üçün atmosfer və doymuş buخار təzyiqlərində istilik tutumunun konsentrasiya və temperaturdan asılılığı üçün aşağıdakı formada empirik tənlik hazırlanmışdır:

$$c_p(p_{0 \text{ or } s}, T, x) = \sum_{i=0}^3 (x/\text{mol fr.})^i \sum_{j=0}^3 q_{ij}(T/K)^j, \quad (5)$$

burada:  $q_{ij}$  – (5) tənliyinin əmsallarıdır və cədvəl 5-də verilmişdir.

Cədvəl 4.

(4) tənliyində  $a_i$  əmsallarının qiymətləri.

a) butanol-1

$a_0$	$a_1$	$a_2$
-23502.8045706606	423.127542637313	-2.77467824697277
$a_3$	$a_4$	$a_5$
$0.883160039558228 \cdot 10^{-2}$	$-0.13436353941981 \cdot 10^{-4}$	$0.785140077009 \cdot 10^{-8}$

b) dizel B0

$a_0$	$a_1$	$a_2$
63.4177019498666	10.6715485019306	-0.0175932706258731
$a_3$		
$0.14982929595897 \cdot 10^{-4}$		

Cədvəl 5.

(5) tənliyində  $q_{ij}$  əmsallarının qiymətləri

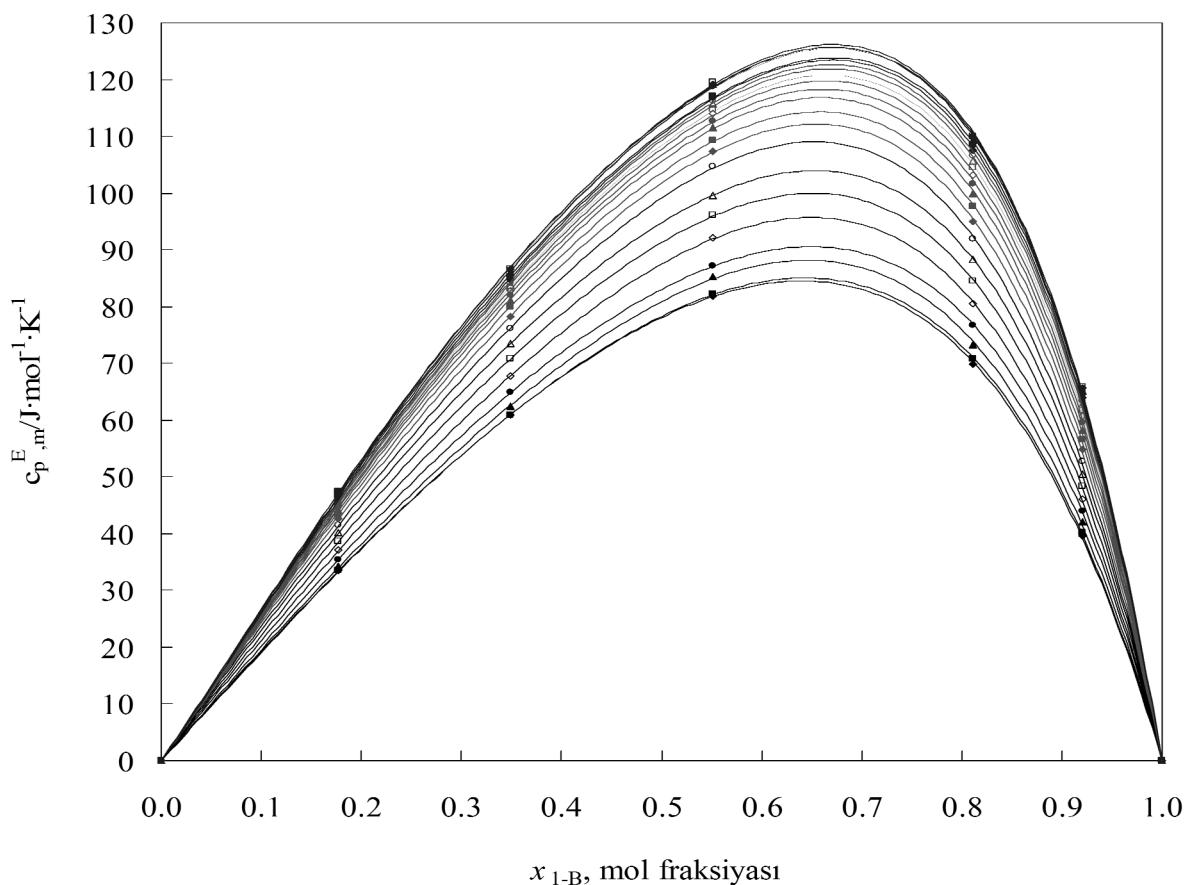
$q_{00} = 455.9261019$	$q_{12} = 135.1477835$	$q_{30} = 0.1497809549 \cdot 10^{-5}$
$q_{01} = 4977.747691$	$q_{13} = -157.328961$	$q_{31} = -0.1461735009 \cdot 10^{-3}$
$q_{02} = -16154.10817$	$q_{20} = -0.3783420129 \cdot 10^{-2}$	$q_{32} = 0.3010091204 \cdot 10^{-3}$
$q_{03} = 18288.20477$	$q_{21} = 0.150583102$	$q_{33} = -0.3742342538 \cdot 10^{-3}$
$q_{10} = 6.008842245$	$q_{22} = -0.3571181928$	
$q_{11} = -47.63529006$	$q_{23} = 0.4312149091$	

Butanol-1 və dizel B0 yanacağı qarışıqlarının istilik tutumunun (5) tənliyi ilə yazılması zamanı  $u_r(\Delta c_p/c_p) = \pm 0.18\%$  nisbi orta xəta alınmışdır. Bu tənliklər butanol-1, dizel B0 yanacağı və onların qarışıqlarının müxtəlif istilik-fiziki xassələrinin (izotermal sıxılma  $\kappa_T/\text{MPa}^{-1}$ , izobarik termiki genişlənmə  $\alpha_p/\text{K}^{-1}$ , xüsusü izobarik və izoxorik istilik tutumu fərqləri  $(c_p - c_v)/\text{C} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , termal təzyiq əmsalı  $\gamma/\text{MPa} \cdot \text{K}^{-1}$ , daxili təzyiq  $p_{int}/\text{MPa}$ , izobarik istilik tutumu  $c_p/\text{C} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , izoxorik istilik tutumu  $c_v/\text{C} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , səs sürəti  $u/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  və izoentrop genişlənmə əmsalı  $\kappa_s$ ) hesablanması üçün vacib tənlikdir.

Butanol-1 və dizel B0 yanacağının izafî molyar istilik tutumu  $c_{p,m}^E/\text{C} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  eyni zamanda molekulların qarşılıqlı cazibəsi haqqında ətraflı informasiya üçün vacib parametridir və aşağıdakı kimi hesablanır:

$$c_{p,m}^E = c_{p,m BL} - x \cdot c_{p,m a} - (1-x) \cdot c_{p,m D}, \quad (6)$$

burada:  $c_{p,m}^E$  - butanol-1-in və dizel B0 yanacağının izafî molyar istilik tutumu,  $c_{p,m,BL}$ ,  $c_{p,m,a}$  və  $c_{p,m,D}$  uyğun olaraq qarışığın, butanol-1-in və dizel B0 yanacağının molyar istilik tutumu,  $x$  butanol-1-in mol fraksiyasıdır. Şəkil 3-də butanol-1 və dizel B0 yanacağı binar qarışığının  $T=(273.15-468.15)$  K temperatur intervalında izafî molyar istilik tutumunun  $c_{p,m}^E/\text{C} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  butanol-1 – in mol fraksiyasından asılılığı verilmişdir.



**Şəkil 3.** Butanol-1 və dizel B0 yanacağı binar qarışığının  $T=(273.15-468.15)$  K temperatur intervalında izafî molyar istilik tutumunun  $c_{p,m}^E / \text{C} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^1$  butanol-1-in mol fraksiyasından asılılığı:  $\blacklozenge$ , 263.15 K;  $\blacksquare$ , 273.15 K;  $\blacktriangle$ , 283.15 K;  $\bullet$ , 293.15 K;  $\lozenge$ , 303.15 K;  $\square$ , 313.15 K;  $\triangle$ , 323.15 K;  $\circ$ , 333.15 K;  $\blacklozenge$ , 343.15 K;  $\blacksquare$ , 353.15 K;  $\blacktriangle$ , 363.15 K;  $\bullet$ , 373.15 K;  $\lozenge$ , 383.15 K;  $\square$ , 393.15 K;  $\triangle$ , 403.15 K;  $\circ$ , 413.15 K;  $\blacklozenge$ , 423.15 K;  $\blacksquare$ , 433.15 K;  $\blacktriangle$ , 443.15 K;  $\bullet$ , 453.15 K;  $\lozenge$ , 463.15 K;  $\square$ , 468.15 K.

Qeyri-polyar molekulların iştirakı ilə əlaqədar olaraq spirt molekullarında H-rabitələri zəifləyir və sistem zəif molekullararası qarşılıqlı təsir göstərir. Izafî molyar istilik tutumunun  $c_{p,m}^E / \text{C} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  müsbət qiyməti göstərir ki, istilik tutumunun genişləndirilməsi spirt molekulları arasında hidrogen rabbitərinin qırılması hesabına mümkün olur.

**Nəticə.** Butanol-1-in, dizel B0 yanacağıının  $x_{b-1}=(0.0, 0.1773, 0.3493, 0.5514, 1.0)$  mol fraksiyalarında və ya  $V_{b-1}=(0.0, 7.0, 15.79, 30.04 \text{ və } 100.0)\%$  həcm faizlərində binar qarışıqlarının  $T=(263,15 \div 468,15)$  K temperatur, atmosfer  $p=0,101$  MPa və doymuş buخار  $p_s/\text{MPa}$  təzyiqlərində istilik tutumu təcrübü olaraq ölçülmüşdür. Alınmış təcrübə nəticələri əsasında istilik tutumunun ( $c_p, T, x$ ), asılılıqlarının butanol-1-in mol fraksiyasından asılı analitik təsvirləri üçün empirik tənlikləri alınmışdır. Butanol-1 və dizel B0 yanacağı binar qarışıqlarının dizel mühərriklərində alternativ yanacaq kimi istifadə edildiyi zamanı mühərrikin püskürmə sisteminin layihələndirilməsi, digər istilik-fiziki xassələri arasında bilmək üçün vacib təcrübə nəticələr alınmışdır və cədvəl şəklində tərtib edilmişdir.

## REFERENCES

1. **Əhmədova Ş.Ə., Əhmədova M.Ş.** Karbon qazının iqlim dəyişmələrinə təsiri, Beynəlxalq elmi-texniki jurnal. Cild 9. №4, Bakı. 2017.
2. **Gershon D.G.** Vliyanie sostava topliva, soderzhashhego butanol, na pokazateli rabochego processa dizelya // Nauka i tehnika, 2017, t.16, № 3, s.225-231.  
**Гершань Д.Г.** Влияние состава топлива, содержащего бутанол, на показатели рабочего процесса дизеля // Наука и техника, 2017, т.16, № 3, с.225-231.
3. **Ajav E.A., Akingbehin O.A.** A Study of some Fuel Properties of Local Ethanol Blended with Diesel Fuel // Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development, 2002, Manuscript EE 01 003.
4. **Akoh C.C., Chang S. Shu-Wie, Lee G. Guan-Chin et al.** Enzymatic Approach to Biodiesel Production // Journal of Agriculture Food Chemistry, 2007, v.55, 22, pp.8995-9005.
5. **Lapuerta M, Armas O, Herreros JM.** Emissions from a diesel–bioethanol blend in an automotive diesel engine // Fuel, 2008, v.87, pp.25–31.
6. **Lave L., MacLean H., Hendrickson Ch., Lankey R.** Life-Cycle Analysis of Alternative Automobile Fuel/Propulsion Technologies // Environ Sci. Technol. 2000, v.34, No 17, pp.3598-3605.
7. **Papaioannou D., Panayiotou C.** Viscosity of Binary Mixtures of Propylamine with Alkanols at Moderately High Pressures // Journal of Chemical and Engineering Data, 1995, v.40, pp.202-209.
8. **Rakopoulos D.C., Rakopoulos C.D., Giakoumis E.G., Dimaratos A.M., Kyritsis D.C.** Effects of butanol–diesel fuel blends on the performance and emissions of a high-speed DI diesel engine // Energy Conversion and Management, 2010, v.51, pp.1989–1997.
9. **Safarov J., Ahmadov B., Mirzayev, S., Shahverdiyev A., Hassel E.** Thermophysical Properties of 1-Butanol + Diesel Mixtures at High Pressures / VDI "Thermodynamik-Kolloquium" und "Ingenieurdaten", 5-7 October 2015, Bochum, Germany.

---

## ТЕПЛОЕМКОСТЬ РАСТВОРОВ БУТАНОЛ-1 И ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА B0 В ШИРОКОМ ДИАПОЗОНЕ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ

Б.Д. АХМЕДОВ

Впервые в широком диапазоне параметров состояния бинарных смесей топлива бутанол-1 и дизельного топлива B0 с мольными долями  $x_{b-1}=(0.0, 0.1773, 0.3493, 0.5514, 1.0)$  или объемными процентами  $V_{b-1}=(0.0, 7.0, 15.79, 30.04 \text{ и } 100.0)\%$  были изучены экспериментальные значения теплоемкости при температурном диапазоне  $T=(273.15 \div 468.15) \text{ K}$  и атмосферном давлении  $p = 0.101 \text{ MPa}$ , давлении насыщенного пара  $P_s/\text{MPa}$ , получены эмпирические уравнения для аналитической записи изобарической и изохорной теплоемкости.

**Ключевые слова:** дизель B0, бутанол-1, изобарические теплоемкости, изохорные теплоемкости, дифференциальный сканирующий калориметр, широкий диапазон параметров.

## SPECIFIC HEAT CAPACITY OF 1-BUTANOL AND DIESEL B0 FUEL BLENDS AT WIDE RANGE OF STATE PARAMETERS

B.C. AHMADOV

For the first time in a wide range of parameters of the state of binary mixtures of butanol-1 fuel and diesel fuel B0 with molar fractions  $x_{b-1} = (0.0, 0.1773, 0.3493, 0.5514, 1.0)$  or volume percentages  $V_{b-1} = (0.0, 7.0, 15.79, 30.04 \text{ and } 100.0)\%$ , experimental values of the specific heat at a temperature range of  $T = (273.15 \div 468.15) \text{ K}$  and atmospheric pressure  $p=0.101 \text{ MPa}$  and saturated vapor pressure  $P_s / \text{MPa}$  were studied, obtaining empirical equations for analytical recording of isobaric and isochoric heat capacities.

**Keywords:** diesel B0, butanol-1, isobaric heat capacity, isochoric heat capacity, differential scanning calorimeter, wide range of parameters.

УДК 543.272.75

## ГРУППОВОЙ СОСТАВ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПРОДУКТАХ ОКСИКРЕКИНГА ВАКУУМНОГО ГАЗОЙЛЯ

Э.А. ГУСЕЙНОВА\*

Методом хром-масс-спектрометрии определены особенности группового состава и молекулярно-массового распределения ароматических углеводородов в продуктах оксикрекинга вакуумного газойля, полученных в условиях 1% и 2%-ной степени окисления сырья. Установлено, что ароматические углеводороды представлены молекулами, включающими до 40 атомов углерода в алкильном окружении, и включают моно-, би- и трициклические, а также серосодержащие структуры. Отмечено, что в образцах оксикрекинга концентрация моноароматических углеводородов в 2 раза выше, чем у традиционного катализитического крекинга, тогда как концентрация полиароматических и серосодержащих (бензтиофена и его C<sub>2</sub>-C<sub>3</sub>-гомологов) ниже, и уменьшается тем сильнее, чем выше степень окисления сырья (за исключением нафталина, который в условиях 1%-ной степени окисления сырья незначительно выше).

**Ключевые слова:** оксикрекинг, вакуумный газойль, ароматические углеводороды, нафталин, фенантрен, бензтиофен.

**Введение.** С многообразием углеводородов, получаемых на нефтеперерабатывающих заводах в ходе деструктивных процессов, связаны возможности расширения ассортимента выпускаемой продукции, а также перспективы развития нефтехимического комплекса. В этой связи процесс окислительного каталитического крекинга (оксикрекинга) вакуумного газойля [1-4] представляет собой перспективный метод переработки нефтяного сырья. В ходе проведенных ранее исследований установлено, что использование оптимальных условий оксикрекинга позволяет увеличить отбор фракций: при 1%-ной степени окисления вакуумного газойля возрастает выход бензиновой фракции; при 2%-ной степени окисления вакуумного газойля – углеводородных газов. Методом хром-масс-спектрометрии установлено, что образующиеся при этом жидкие продукты по групповому составу отличаются от продуктов, получаемых в ходе традиционного каталитического крекинга [5].

**Целью** настоящей работы является детальное изучение структурно-группового состава ароматических углеводородов (АрУ) жидких фракций продуктов оксикрекинга, а также их молекулярно-массовое распределение.

**Методика эксперимента.** В качестве объекта исследований был выбран ВГ (н.к.270-

\* Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

к.к. 500°C) как наиболее типичное сырье установок каталитического крекинга. Физико-химическая характеристика вакуумного газойля, соответствующего ТУ 38.1011304-2004, а также условия проведения традиционного и окислительного каталитического крекинга приведены в работах [2-5].

Выход газа крекинга определяли по его объему и плотности, выход кокса – весовым методом по адсорбции диоксида аскаритом, качественный выход жидких продуктов (бензиновой фракции н.к. – 195 °C, легкого газойля 195 – 350 °C и тяжелого газойля - остатка > 350 °C) по результатам дистилляции (фракционирования). Определение фракционного состава продуктов традиционного и окислительного каталитического крекинга проводили в соответствии с ГОСТ 2177-99.

Количественный анализ продуктов реакции осуществляли методом хром-масс-спектроскопии [5].

**Результаты и их обсуждение.** В ходе исследований, прежде всего, был определен групповой состав АрУ жидких фракций продуктов оксикрекинга при 1% и 2% степени окисления сырья (табл. 1). Кроме этого, для того, чтобы иметь возможность провести сравнительный анализ, были получены результаты группового состава сырья процесса, а также продуктов превращения этого же сырья в условиях традиционного каталитического крекинга.

**Таблица 1**  
**Групповой состав АрУ в жидких фракциях**

Наименование групп углеводородов	Содержание, мг/л			
	Вакуумный газойль (сырец)	Традиционный каталитический крекинг	Степень окисления сырья в условиях оксикрекинга	
			1 %	2 %
МАУ*	64	12 620 935	25 621 090	8 315 120
ПАУ ** Нафталин и его гомологи	8 272 678	10 403 840	11 402 023	4 669 028
ПАУ** Фенантрен и его гомологи	11 318 547	11 263 575	10 806 413	5 813 837
ПАУ**, с мас.весом 202	2 083 125	2 298 746	1 637 233	1 118 151
ПАУ**, с мас.весом 228	1 291 103	947 128	1 026 982	441 044
ПАУ**, с мас.весом 252	721 705	286 713	408 815	154 487
ПАУ**, с мас.весом 276	5124	8636	4329	3408
Бензотиофены	1 972 342	1 426 720	1 607 683	799 600

\* МАУ – моноциклические ароматические углеводороды;

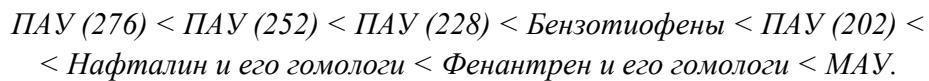
\*\* ПАУ – полициклические ароматические углеводороды.

По данным хром-масс-спектрометрии установлено, что в состав всех 4-х исследуемых образцов входят до 40 атомов углерода в алкильном окружении. Выявлено, что во всех исследуемых образцах АрУ представлены моно-, би- и трициклическими структурами. Отмечено также присутствие серосодержащих АрУ.

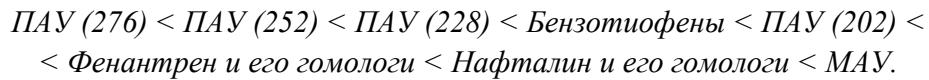
В составе сырья – вакуумного газойля – наибольшее количество приходится на фенантрен и его гомологи, наименьшее – на моноциклические ароматические углеводороды. Так, в порядке возрастания группы АрУ вакуумного газойля можно распределить в ряд:

$$\begin{aligned} \text{МАУ} < \text{ПАУ (276)} < \text{ПАУ (252)} < \text{ПАУ (228)} < \text{Бензотиофены} < \text{ПАУ (202)} < \\ &< \text{Нафталин и его гомологи} < \text{Фенантрен и его гомологи}. \end{aligned}$$

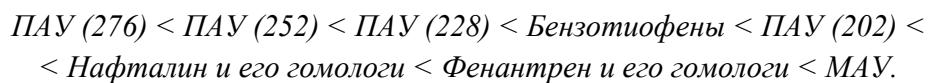
В условиях традиционного каталитического крекинга полученный катализат, в отличие от исходного сырья, содержит в основном МАУ. Следует отметить, что данная тенденция сохранится и для продуктов оксикрекинга. Концентрация фенантрена и его гомологов осталась практически прежней. Принимая это во внимание, следует, что в порядке возрастания содержание групп АрУ остается прежним, за исключением диаметрально-противоположного положения МАУ:



Условия оксикрекинга вносят свои корректизы: относительно традиционного каталитического крекинга концентрация МАУ и ПАУ (252) увеличивается, а ПАУ (276) – уменьшается почти вдвое. Кроме того, увеличивается содержание нафталина и его гомологов, бензотиофенов и ПАУ (228). Концентрация фенантрена и его гомологов, в отличие от вышеперечисленных групп, снижается. Таким образом, группы АрУ в продуктах оксикрекинга при 1%-ной степени окисления сырья представлены:



Группы АрУ в продуктах оксикрекинга при 2%-ной степени окисления вакуумного сырья, так же, как и при 1%, представлены в основном МАУ, но в значительно меньшей концентрации (снизилось в более чем в 3 раза). Уменьшение концентрации характерно для всех без исключения групп АрУ данных условий оксикрекинга, и, как мы увидим далее (табл. 2), суммарная концентрация индивидуальных углеводородов у 2%-ной степени окисления оксикрекинга также минимальная среди всех исследуемых образцов. Согласно полученным концентрациям, группы АрУ при 2%-ной степени окисления сырья по возрастанию располагаются в ряд, идентичный 1%-ной степени окисления оксикрекинга, с той разницей, что в данных условиях концентрация фенантрена и его гомологов выше, чем нафталина и его гомологов:



Детальный анализ распределения индивидуальных ПАУ представлен в таблице 2. В сырье доминируют следующие 5 компонентов: флуорен, фенантрен, антрацен, бенз(а)антрацен, кризен. В продуктах традиционного каталитического крекинга количество флуорена и антрацена увеличилось на 40% и 17%, соответственно, кризена уменьшилось на 60%, а фенантрацена осталось практически неизменным. Основное же отличие заключалось в более чем 6-кратном увеличении концентрации нафталина и снижении всех без исключения бенз-содержащих ПАУ.

Рассмотрение результатов распределения индивидуальных ПАУ в продуктах оксикрекинга позволило выявить целый ряд отличительных особенностей в сравнении с показателями традиционного каталитического крекинга. Так, в условиях при 1%-ной степени окисления количество нафталина превышает показатели традиционного каталитического крекинга почти в 2 раза, тогда как при 2%-ной степени окисления этот показатель снижает-

ся в 4 раза, что является наименьшим среди исследуемых образцов. Также значительно возросло содержание кризена.

Таблица 2

**Влияние условий каталитического крекинга на распределение индивидуальных ПАУ**

Полициклические ароматические углеводороды, мл/л	Вакуумный газойль (сырец)	Традиционный каталитический крекинг	Степень окисления сырья в условиях оксикрекинга	
			1 %	2 %
Нафталин	12 433	79 641	148 854	34 475
Аценафтилен	6 963	6 292	5 519	2 028
Аценафтен	16 502	21 776	26 727	9 152
Флуорен	128 222	179 494	143 006	84 390
Фенантрен	737 779	743 199	654 512	389 202
Антрацен	58 313	68 178	63 336	37 074
Флуорантен	22 677	26 981	22 299	12 251
Пирен	48 166	44 521	41 010	23 287
Бенз(а)антрацен	53 402	44 640	47 203	21 128
Кризен	239 552	97 956	178 299	72 603
Бенз(b+j+k)флуорантен	20 273	12 182	16 117	5 476
Бенз(а)пирен	13 439	4 099	4 123	1 302
Инден(1,2,3-cd)пирен	5 181	1 136	2 531	294
Бенз(ghi)перилен	2 894	1 721	979	784
Дибенз(ah)антрацен	2 993	1 699	6 013	1 335
<b>Σ 15 индивидуальных у/в</b>	<b>1 368 789</b>	<b>1 333 514</b>	<b>1 360 528</b>	<b>694 781</b>

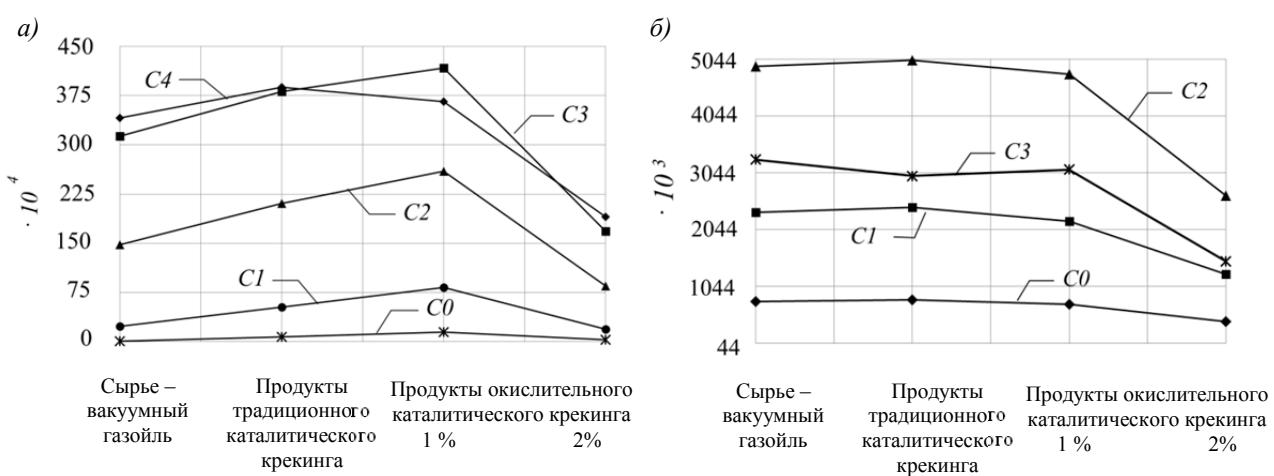


Рис.1. Сравнительное молекулярно-массовое распределение нафталинов (а) и фенантренов (б) в сырье и продуктах традиционного и окислительного каталитического крекинга.

Концентрация флуорена, фенантрена и антрацена снижается, но незначительно. В продуктах оксикрекинга при 2%-ной степени окисления вакуумного газойля содержание всех групп ПАУ является наименьшим среди рассматриваемых образцов. Тенденция снижения бенз-содержащих ПАУ, отмеченная для продуктов традиционного каталитического крекинга, является справедливой и для этого образца.

Зависимость группового состава нафталинов и фенантренов от биографии образца имеет унимодальный характер и имеет ряд особенностей (рис. 1). Так, максимальная концентрация нафталинов в продуктах оксикрекинга при 1%-ной степени окисления сырья приходится на его  $C_3$ , а при 2%-ной – на  $C_4$ -гомологи (рис. 1, а). Основное количество фенантренов, вне зависимости от степени окисления вакуумного газойля, составляют  $C_3$ -фенантрены (рис. 1, б). Сравнительный анализ свидетельствует, что массовое содержание этих гомологов в продуктах оксикрекинга ниже, чем при традиционном каталитическом крекинге.

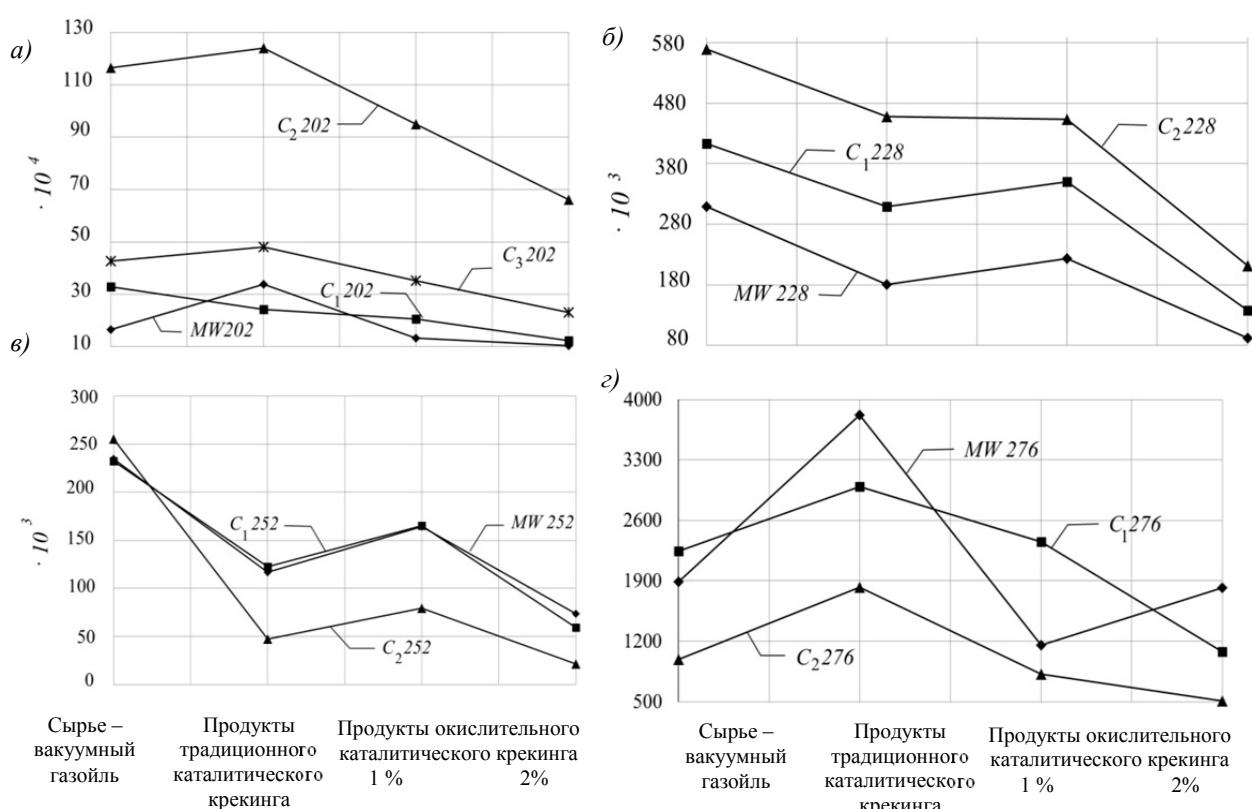


Рис.2. Сравнительное молекулярно-массовое распределение высокомолекулярных полиароматических углеводородов (а - MW 202; б - MW 228; в - MW 252; г - MW 276) в сырье и продуктах традиционного и окислительного каталитического крекинга.

Сравнение изменения содержания высокомолекулярных неидентифицированных ПАУ от степени окисления сырья в условиях оксикрекинга свидетельствует об антибатном изменении концентраций всех гомологов этого типа углеводородов, т.е. при 2%-ном ОКК их концентрация ниже, чем при 1%-ном, за исключением голоядерного MW 276 (рис. 2).

Проведение сравнительного анализа данных, полученных в ходе изучения неидентифицированных высокомолекулярных ПАУ с молекулярным весом более 202, показывает, что продукты оксикрекинга сохраняют тенденцию на уменьшение концентрации этого типа ПАУ также и относительно традиционного крекинга. В продуктах оксикрекинга у ПАУ с молекулярным весом 202 и 228 преобладают C<sub>2</sub>-гомологи, а у ПАУ с молекулярным весом 252 и 276 при 1%-ной степени окисления сырья – C<sub>1</sub>, при 2%-ной – голоядерные.

Среди прочих особенностей, обнаруженных при исследовании образцов оксикрекинга, обращает на себя внимание значительно более низкая концентрация бензтиофена и его C<sub>2</sub>–C<sub>3</sub>-гомологов, уменьшающаяся тем сильнее, чем выше степень окисления сырья (рис.3). Исключение составляет только C<sub>1</sub>-бензтиофен, при 1%-ной степени окисления вакуумного газойля эта степень превышает показатели, отмеченные для продуктов традиционного крекинга, однако с повышением степени окисления до 2%, C<sub>1</sub>-бензтиофен тоже начинает подчиняться общей закономерности снижения серосодержащих ароматических структур. Низкое содержание этого класса соединений особенно важно ввиду их отрицательного влияния на качество продуктов нефтехимии, а в случае получения промежуточных продуктов затрудняют и удорожают их последующую переработку [6-8]. А если принять во внимание, что данные процессы в подавляющем большинстве являются крупнотоннажными, то их присутствие оказывает негативное влияние и на экологию.

**Заключение.** Таким образом, в ходе проведенного детального изучения структурно-группового состава ароматических углеводородов (АрУ) жидких фракций продуктов оксикрекинга, а также их молекулярно-массового распределения были выявлены следующие особенности: в состав сырья – вакуумного газойля, а также жидких продуктов его оксикрекинга и традиционного каталитического крекинга входят одинаковые гомологические ряды ароматических углеводородов; в образцах оксикрекинга преобладают моноциклические ароматические углеводороды; концентрационные изменения в моноциклических ароматических углеводородов: 1% ОКК > КК > 2% ОКК; среди идентифицированных полiarоматических углеводородов при 1% ОКК доминирует нафталин и его гомологи, а при 2% ОКК – фенантрен и его гомологи; в образцах оксикрекинга концентрация АрУ ниже, чем традиционного каталитического крекинга (за исключением нафталина при 1% ОКК, который незначительно выше); серосодержащие полiarоматические углеводороды в продуктах оксикрекинга представлены бензтиофеном и его C<sub>1</sub>-C<sub>3</sub>-гомологами, концентрация которых ниже, чем в образце традиционного каталитического крекинга, и уменьшается тем сильнее, чем выше степень окисления сырья в процессе оксикрекинга.

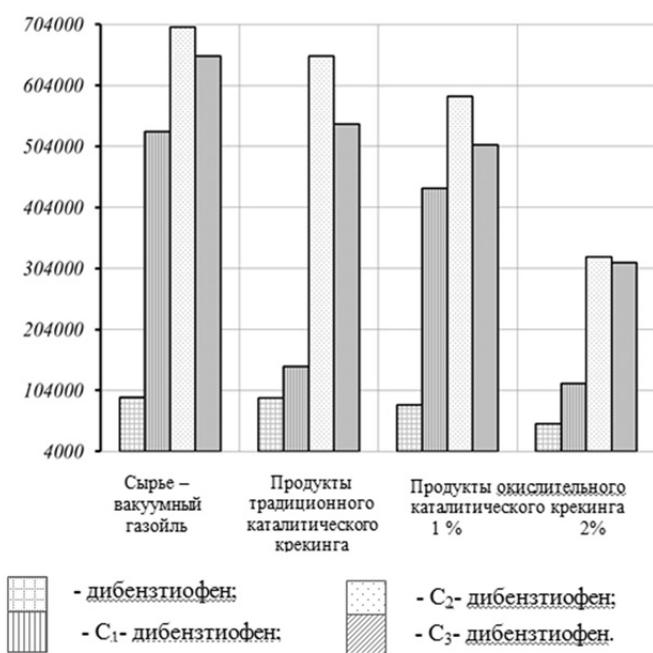


Рис.3. Сравнительное молекулярно-массовое распределение дibenзтиофенов в сырье и продуктах традиционного и окислительного каталитического крекинга.

## REFERENCES

1. Kolesnikov S.I., Zvyagin V.O., Kolesnikov I.M. Kataliticheskie kreking i riforming v prisutstvii kisloroda vozduha // HTTM. 1999. №2. - S.10-12.  
**Колесников С.И., Звягин В.О., Колесников И.М.** Каталитические крекинг и риформинг в присутствии кислорода воздуха // ХТТМ. 1999. №2. - С.10-12.
2. Guseinova E.A., Mursalova L.A., Ajamov K.Y. Issledovanie kislotno-osnovnyh svojstv ceolitsoderzhashhego katalizatora krekinga v hode processa izomerizacii buten-1 // Zhurnal fizicheskoy himii, 2016, №8. S.1163-1169.  
**Гусейнова Э.А., Мурсалова Л.А., Аджамов К.Ю.** Исследование кислотно-основных свойств цеолитсодержащего катализатора крекинга в ходе процесса изомеризации бутен-1 // Журнал физической химии, 2016, №8. С.1163-1169.
3. Guseinova E.A. O prirode aktivnyh centrov biceolitnogo katalizatora v processe (okislitel'nogo kataliticheskogo) oksikrekinga vakuumnogo gazojlya // Vestnik Azerbaijanskoy Inzhenernoy akademii, 2017, T.9, №3. S.104-110.  
**Гусейнова Э.А.** О природе активных центров бицеолитного катализатора в процессе (окислительного каталитического) оксикрекинга вакуумного газойля // Вестник Азербайджанской Инженерной академии, 2017, Т.9, №3. С.104-110.
4. Mürsəlova L.A. Oksigen və ozonun iştirakı ilə katalitik kreking prosesinin tədqiqi : kimya üzrə fəlsəfə dok. ... dis. avtoreferat: 2316.01 – Kimyəvi kinetika və kataliz, AMEA akad. M. F. Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutu. - Bakı, 2017. - 24 s.
5. Guseinova E.A. Vlijanie uslovij oksikrekinga vakuumnogo gazojlya na pokazateli processa // Vestnik Azerbaijanskoy Inzhenernoy akademii, 2018, T. 10, №4. S. 82-89.  
**Гусейнова Э.А.** Влияние условий оксикрекинга вакуумного газойля на показатели процесса // Вестник Азербайджанской Инженерной академии, 2018, Т. 10, №4. С. 82-89.
6. Brunet S., Mey D., Pérot G., Bouchy C., Diehl F. On the hydrodesulfurization of FCC gasoline: a review. // Applied Catalysis A: General. – 2005. – V. 278. – № 2. – P. 143-172.
7. Siddiqui M.A.B., Aitani A.M. FCC Gasoline Sulfur Reduction by Additives: A Review. // Petroleum Science and Technology. – 2007. – V. 25. – № 3. – P. 299-313.
8. Bryden K., Weatherbee G., Habib E.T., Jr. Flexible Pilot Plant Technology for Evaluation of Unconventional Feedstocks and Processes. // Grace Catalysts Technologies Catalogram. – 2013. – V. – № 113. – P. 1-21.

---

## VAKUUM QAZOYLUNUN OKSİKREKİNQ MƏHSULLARINDA AROMATİK KARBOHİDROGENLƏRİN QRUP TƏRKİBİ

E.A. HÜSEYNOVA

Xrom - mass-spektrometriya metodla vakuum qazoylunun oksikrekinqində xammalın 1% və 2% oksidləşmə zamanı alınmış məhsullarında aromatik karbohidrogenlərin qrup tərkibinin xüsusiyyətləri və molekulyar-kütləvi bölgüsü müəyyən edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, aromatik karbohidrogenlər karbonun 40-a qədər atomlu alkil mühəsirədə olan molekullardan, mono-, bi- və trisiklik, həmçinin kükürdtərkibli strukturlardan ibarətdir. Qeyd edilmişdir ki, oksikrekinq nümunalarından monoaromatik karbohidrogenlərin qatılığı ənənəvi katalitik krekingə nisbətən 2 dəfə daha yuxarı, halbuki poliaromatic və kükürdtərkibli daha aşağıdır (benztiofen və onun C<sub>2</sub>-C<sub>3</sub> – homoloqları), onların azalması xammalın oksidləşmə dərəcəsi nə qədər yuxarı olsa da daha güclü baş verir (naftalindən başqa, hansı ki, xammalın oksidləşmə dərəcəsinin 1%-lıq şəraitində bir az yuxarı).

*Açar sözlər:* oksikreking, vakuum qazoylu, aromatik karbohidrogenlər, naftalin, fenantren, benztiofen.

## GROUP COMPOSITION OF AROMATIC HYDROCARBONS IN VACUUM GASOLINE OXYCRACKING PRODUCTS

E.A. GUSEINOVA

The characteristics of the group composition and molecular weight distribution of aromatic hydrocarbons in the vacuum gas oil oxycracking products obtained under conditions of 1% and 2% oxidation of the raw materials were determined by chromium-mass spectrometry. It has been found that aromatic hydrocarbons are represented by molecules comprising up to 40 carbon atoms in the alkyl environment and include mono-, bi- and tricyclic, as well as sulfur-containing structures. It was noted that the concentration of monoaromatic hydrocarbons is 2 times higher in traditional samples than in traditional catalytic cracking, while polyaromatic and sulfur-containing (benzothiophene and its C<sub>2</sub>-C<sub>3</sub> homologues) are lower and decreasing the stronger the higher the oxidation state of the feedstock (naphthalene, which under conditions of 1% degree of oxidation of raw materials, slightly higher).

*Keywords:* oxycracking, vacuum gas oil, aromatic hydrocarbons, naphthalene, phenanthrene, benzothiophene.

**UOT 541;678.046.3**

## XARİCİ VƏ SERT MÜHİTƏ DAVAMLI POLİMER KOMPOZİSİYALARIN YARADILMASI

V.C. CƏFƏROV\*, S.Ə. BEKTASI\*, S.M. XƏLİLOVA\*,  
G.R. BABAYEVA\*, G.N. QULİYEVA\*

Poliolefinlər (tullantıları) və təbii mineral süxurların atqları əsasında müxtəlif küt% nisbətlərdə kompozisiyalar hazırlanmış, onların fiziki-mexaniki xassələri-möhkəmlik həddi ( $\sigma$ ), nisbi uzanma ( $\epsilon$ ), ərintinin axıcılıq göstəriciləri (ƏAG) təyin edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, sintez edilmiş poliakrilat appret kimi kompozisiyaya 5-7% daxıl edildikdə və doldurucunun miqdarmı 80%-dək artırıldıqda nümunənin möhkəmlik həddi daha yüksək qiymət alır. 11.3 MPa-dan 17.4 MPa-dək artır. Kompozisiyada appretin təsiri ilə doldurucu: mətris səth arasında əlaqə yaranmaqla həm də tam qablaşdırılmanın təmin olunması və fazalararası səthdə adgeziya xassəsinin yüksəldilməsi ilə səciyyələnir. Belə ki, uyuşmaya daha yaxşı şərait yaranır.

*Açar sözlər:* aşağı sıxlıqlı polietilen, polimer kompozisiya, mətris, appret, doldurucu, vezuvian, ərintinin axıcılıq göstəricisi, möhkəmlik həddi, nisbi uzanma, uyuşma

**Giriş.** Respublikamız təbii sərvətlərdən ibarət zəngin ölkədir. Müxtəlif quruluş və tərkibə malik təbii sərvətlərin səmərəli istifadə olunması ən aktual problemdir.

Təbii ehtiyatların tükənməsi – (təbii mühitin dağılımasına) - ən əsas ətraf mühitin mühafizəsində (ƏMM) təhlükəli neqativ halların baş verməsinə ən əsası ekoloji tarazlığın pozulmasına gətirib çıxarır və gələcək nəsillərə sağlam, saf təbiət çatdırmaq ciddi problem qarşısında qalır.

Belə ki, planetin ekoloji tarazlığının pozulması – ətraf mühitin qeyri sağlam mühitin əmələ gəlməsi təbiətdə ciddi qlobal təhlükənin baş verməsi deməkdir və belə təhlükənin qarşısının alınması yalnız ətraf mühitin qorunması- ətrafa atılan tullantıların minimum həddə endirilməsi ən əsas təbiətin mühafizəsinin mümkün ola biləcəyinə ümid edilir. Ətraf mühitin mühafizəsi probleminin həllində əsas cəhətlərindən başlıcası təbii təsirlərlə yanaşı antropogen amildir. Problemin həllinin müxtəlif üsulları məlumdur. Polimer və plastik kütlə tullantılarının təkrar emalı, istehsal zamanı standarta uyğun gəlməyən polimer və məişətdə yaranan polimer tullantıları və təbii süxurların atqlarından doldurucu kimi istifadə edərək texniki məqsədlər üçün polimer kompozisiya materiallarının müvafiq polimer sorbentlərdən istifadə edərək lövhə-örtüklərin yaradılması və

\* AMEA Polimer Materialları İnstitutu

məqsədyönlü istifadəsi məsələnin qismən də olsa həllinə təkandır, həm də ekoloji, iqtisadi və texnoloji cəhətdən əlverişli hesab olunur. Polimer kompozisiya materiallarının (PKM) sərt şəraitdə istifadəsi məhdud miqyasda tədqiq olunub. Xarici və sərt mühitin təsiri zamanı material öz xassəsini kəskin dəyişir və keyfiyyəti aşağı düşür, nəticədə istismar göstəriciləri tələbata cavab verə bilmir, beləliklə ətrafdə zərərli polimer tullantıları çoxalır.

**Elmi tədqiqat işinin məqsədi.** Təqdim olunan məqalədə ətrafi çirkənləndirən polimer tullantılarının utilşədirilməsi nəticəsində yüksək istismar xassələrinə malik polimer kompozisiya materiallarının yaradılması işin əsas məqsədi kimi qarşıya qoyulmuşdur. Polimerlərin-aşağı sıxlıqlı polietilen (ASPE), seçilmiş təbii sūxurlar və məqsədyönlü sintez edilmiş müvafiq appretin iştirakı ilə funksionallaşdırılması nəticəsində xarici və sərt mühitə dözümlü kompozisiya materiallarının alınmasına nail olunmasının mümkünəşdirilməsi, problemin həllində istifadə olunan polimerin quruluş və tərkibindən, funksionallığından, temperatur və ionlaşdırıcı amillərin destruksiyaedici xüsusiyyətlərindən, eləcə də, doldurucu kimi istifadə edilən sūxurun tərkibindən, dispersliyindən, komponentlərin optimal miqdardan asılı olur [1,2].

Respublikada nəzərə çarpacaq miqdarda aşağı sıxlıqlı polietilen istehsal olunur ki, onların istehsalat və məişət tullantıları da müvafiq olaraq çoxalır. Onlardan məqsədyönlü istifadə etməklə, problemin həlli istiqamətində elmi tədqiqat işlərinin aparılması məqsədə uyğun hesab olunur. Qeyd edilən sahədə poliolefinlər, əsasən aşağı sıxlıqlı polietilen və mineral sūxurların atqları əsasında eləcə də, müvafiq polimer appretlərin sintezi və tətbiqi ilə yeni nəsil polimer kompozisiya materialların yaradılması böyük əhəmiyyət kəsb edir [3,4]. Kompozisiyanın hazırlanmasında istifadə olunan metal və metal oksid tərkibli doldurucular əsasında kompozitlərin alınması və onların sərt mühitə qarşı davamlılığının qismən də olsa təmin edilməsi, elmi və təcrübə əhəmiyyət kəsb etməklə ən vacib və aktual məsələlərdəndir [5-7]. Məhz bu baxımdan poliolefinlər-aşağı sıxlıqlı polietilen və yerli təbii sūxurların atqları –seolit, vezuvian, perlit, bentonit, kaolin, vulkan külü və s. əsasında xüsusi xassələrə malik polimer kompozisiya materiallarının hazırlanması və onların sərt mühitə qarşı davamlılığının tədqiqi, nəzəri və təcrübə elmi əhəmiyyət kəsb edir.

**İşin yerinə yetirilməsi.** Tədqiqat işində ASPE və onun tullantıları, yerli mineral sūxurlar və onların atqları əsasında o cümlədən vezuvian ilə müxtəlif küt.% nisbətlərdə doldurulmuş sistemlərin yaradılması onların sənaye və texnikanın müvafiq sahələrində texniki məqsədlər üçün istifadə mümkün-lüy işin əsas mahiyyəti hesab edilir.

Bununla əlaqədar:

- yeni nəsil polimer kompozitlərin yaradılması;

Cədvəl 1

Vezuvianın kimyəvi tərkibi

Kimyəvi birləşmələr	Miqdari, %	
	VV-1	VV-2
Na <sub>2</sub> O	0.050	0.060
MgO	3.250	3.440
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.860	15.370
SiO <sub>2</sub>	36.710	35.240
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.018	0.017
SO <sub>3</sub>	0.027	0.031
K <sub>2</sub> O	0.030	0.260
CaO	30.540	32.440
TiO <sub>2</sub>	0.051	0.047
MnO	0.032	0.029
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.820	4.240
YTİ	8.400	8.600

Qeyd: VV-1 – qurudulmuş vezuvian;

VV-2 – qurudulmamış vezuvian

Cədvəl 2

Vezuvianın mineraloji tərkibi (%-lə)

Nümunənin şərti adı	Ca <sub>19</sub> MgFe <sub>2</sub> Al <sub>10</sub> (Si <sub>18</sub> O <sub>70</sub> )(OH) <sub>8</sub> (vesuvianit)	(Mg,Al) <sub>6</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub> (xlorit-serpentin)
VV-1	71.3	28.7
VV-2	75.4	24.6

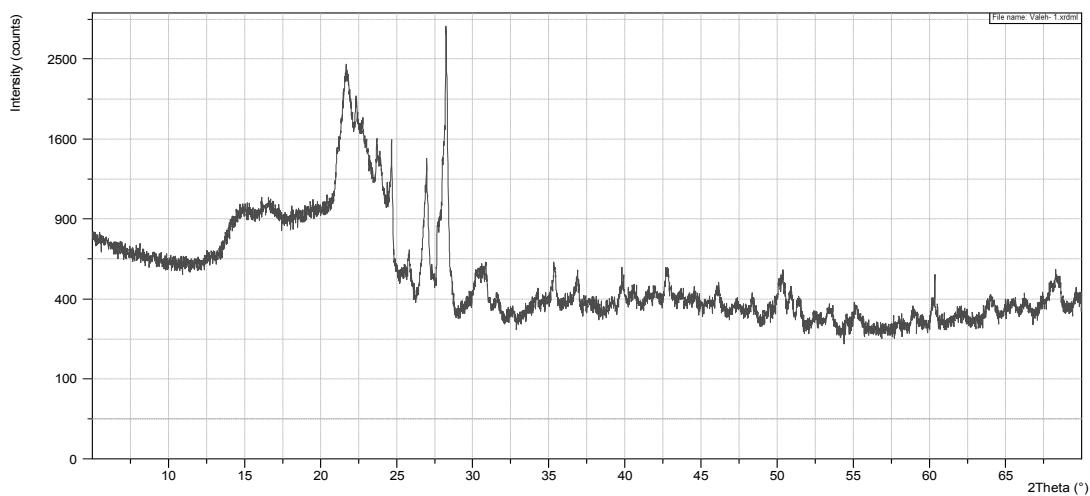
Qeyd: VV-1 – qurudulmuş vezuvian;

VV-2 – qurudulmamış vezuvian

- kompozisiyada istifadə edilən doldurucuların tərkibi, dispersliyi, optimal miqdarının müəyyənləşdirilməsi;
- polimer kompozitlərin yaradılmasında seçilmiş polimer appretlərin sintezi və kompozitlərdə optimal miqdarının müəyyənləşdirilməsi;
- hazırlanmış nümunələrdə müqayisə məqsədi ilə appretsiz və appretin iştirakı ilə keyfiyyətli kompozitlərin alınması, onların quruluş dəyişikliyinin nəticələrinin aşdırılması və tədqiq imkanlarının müəyyənləşdirilməsi;
- müvafiq tövsiyələrin təklif olunması əsas mahiyyəti hesab olunur.

ASPE və mineral doldurucular əsasında sərt və xarici mühitə qarşı davamlı kompozisiyaların alınması sahəsində tədqiqatların aparılması nəzərə alaraq, müqayisə məqsədi ilə appretsiz və appretləşdirilmiş keyfiyyətli kompozitlərin alınmasına nail olunması üçün coxsayılı kompozisiyalar hazırlanıb və onların fiziki-mexaniki göstəriciləri təyin edilmişdir.

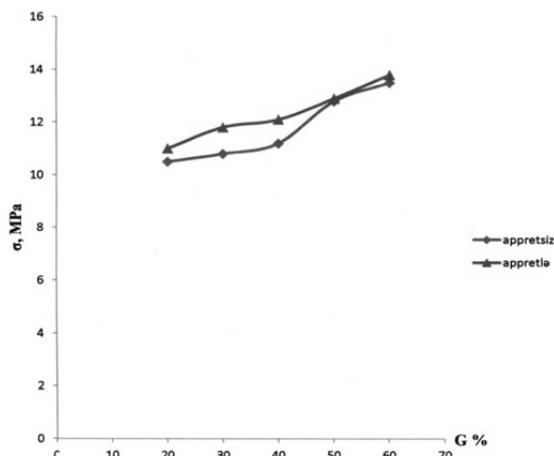
Doldurulmuş sistemdə doldurucu kimi alunit (mədi), seolit, bentonit, vezuvian, kaolin, vulkan külü və s. istifadə edilmişdir. Məqalədə doldurucu kimi vezuvian suxurundan istifadə edilmişdir (cədvəl 1,2). Vezuvian süxuru Respublikamızda müxtəlif qiymətli kimyəvi elementlərdə zəngin təbii mineraldır. Tərkibi əsasən kalsium və alimunium silikatlarla mürəkkəb quruluşa malikdir. Vezuvian süxuru Azərbaycanın Gədəbəy rayonunun ərazisinin mis filizi yatağı silsiləsində rast gəlinir; hələ tam ətraflı tədqiq edilməmişdir. Geniş tətbiq imkanları sahəsində tədqiqatlar aparılır. Vezuvian süxurunun atqlarından polimer kompozisiya materiallarının alınmasında ilk dəfə doldurucu kimi istifadəsi tərəfimizdən həyata keçirilmişdir. Vezuvian süxurunun kimyəvi və mineraloji tərkibi və difraktoqram tərkibi aşağıda verilmişdir (şək.1) [8].



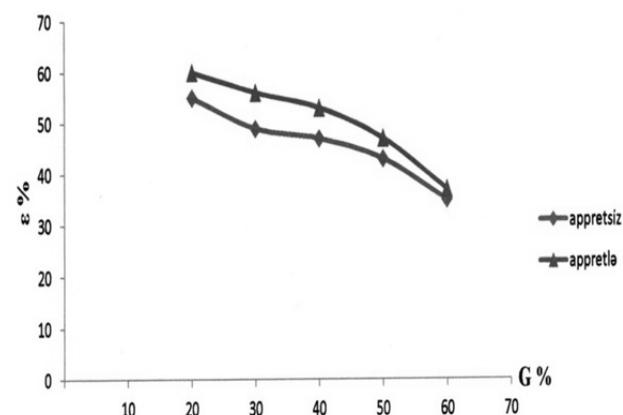
Şək. 1. Vezuvianın difraqtoqramması

Difraqtoqramdan göründüyü kimi süxurun əsas tərkibi  $\alpha$ -kvarts  $\text{SiO}_2$  ( $25-30^\circ$ ) və müvafiq digər oksidlərdən, əsasən Al, Ca, Fe və s. oksidlərdən ibarətdir.

Alınan kompozisiyaların doldurucunun miqdarının ( $G$ ), dərtılma zamanı möhkəmlik həddindən ( $\sigma$ ) və nisbi uzanmadan ( $\varepsilon$ ) asılıqları şəkillərdə verilmişdir. (appretsiz və appretin iştirakı ilə) (şək.2, 3).



Şək. 2. Kompozisiyanın möhkəmlik həddinin doldurucunun miqdardan asılılığı



Şək. 3. Kompozisiyada nisbi uzanmanın doldurucunun miqdardan asılılığı

**Qeyd.** Eyni nisbət kompozisiyaların appretsiz və appretlə müqayisəsi zamanı appretin iştirakı ilə alınan nümunələri möhkəmlik həddi daha yüksək qiymət aldığı müşahidə edilir. Bu hal appret kimi istifadə olunan poliakrilatın mətris doldurucu səthi arasında adgeziya xassəsinin yüksəlməsi ilə əlaqədardır.

Şəkillərdən göründüyü kimi nümunələrin müxtəlif küt.% nisbətlərində doldurucunun miqdarı müəyyən həddədək möhkəmlik həddinin qiyməti ilə düz, nisbi uzanma ilə tərs mütənasiblik qanuna uyğunluqları ilə səciyyələnir.

Alınan nümunələrin fiziki-mexaniki xassələrini ( $\sigma$ ) daha da yüksəltmək məqsədi ilə onların tərkibinə laboratoriya da məqsədyönlü istiqamətdə sintez edilmiş polimer appret-poliakrilat daxil edilərək müqayisə məqsədi üçün həm appretsiz, həm də appretin iştirakı ilə nümunələr hazırlanmış və tədqiq edilmişdir. Aparılan tədqiqatların nəticələrinə əsasən müəyyən edilmişdir ki, ASPE:Vezuvian əsaslı kompozitin möhkəmlik həddi ilkin xammala nisbətən 11,3 MPa-dan 15,84 MPa-dək (appretsiz), 17,4 MPa-dək appretin iştirakında artır, nisbi uzanma isə 630%-dən 24% və 28%-dək müvafiq olaraq azalır. Nəticələrə əsasən appretləşdirilmiş kompozitlərin tərkibinə metal oksidlərinin ( $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $PbO$  və.s) daxil edilməsi ilə daha keyfiyyətli polimer kompozisiya materiallarının alınmasına nail olunur. Aparılan təcrübələrin nəticələri cədvəllərdə verilmişdir (cədvəl 3, 4).

### Cədvəl 3

#### Aşağı sıxlıqlı polietilen və vezuvian əsaslı kompozisiyaların fiziki-mexaniki xassələri (appretsiz)

Kompozisiyalar %	Möhkəmlik həddi	Nisbi uzanma	ƏAĞ q/10dəq
	$\sigma$ , MPa	$\epsilon$ , %	
PE-100	11,30	630	2,6
PE-70 D*-30	10,62	57	1,4
PE-60 D-40	11,90	50	0,5
PE-40 D-60	13,86	36	0,6
PE-30 D-70	14,25	32	0,4
PE-25 D-75	15,0	24	0,6
PE-20 D-80	15,84	24	1,7

\*vezuvian

Cədvəl 3-dən göründüyü kimi mətris-doldurucu 20:80% nisbətində ilkin xammala-ASPE-ə nisbətən möhkəmlik həddi 11,3 MPa-dan 15,84 MPa-dək artır, nisbi uzanma isə 630%-dən 24%-dək azalır.

Cədvəl 4-dən göründüyü kimi, kompozisiyada doldurucunun 80% miqdarında appretin (poliakrilatın) iştirakı ilə ilkin xammala nisbətən möhkəmlik həddi 11,3 MPa-dan 17,4 MPa-dək artır, nisbi uzanma isə 630%-dən 28%-dək azalır.

Alınan nəticələr həm doldurucunun optimal miqdarı ilə, həm də seçilmiş və istifadə edilən polimer appretin mətris:doldurucu səth arasındaki əlaqənin yaranması-adgeziya xassəsinin artması ilə səciyyələnir.

**Nəticə.** ASPE(tullantılar), vezuvian süxurunun atqları əsasında müxtəlif küt.% nisbətlərdə kompozisiyalar hazırlanmışdır. Kompozisiyaların optimal küt.% nisbəti ASPE:Vezuvian=20:70

müəyyən edilmişdir. Həmin nisbətdə nümunənin dərtılma zamanı möhkəmlik həddi 17,4MPa daha yüksək qiymət alır.

Alınmış kompozisiyalar sənayenin və məişətin müvafiq sahələrində texniki məqsədlər üçün konstruksiya materiallarında istifadəsi tövsiyə olunur.

Tədqiqat işi iqtisadi və ekoloji cəhətdən əlverişli hesab edilir.

Cədvəl 4

Aşağı sıxlıqlı polietilen və vezuvian əsası kompozisiyaların fiziki-mexaniki xassələri (appretlə)

Kompozisiyalar %	Möhkəmlik həddi	Nisbi uzanma	ƏAG
	$\sigma$ , MPa	$\epsilon$ , %	q/10dəq
PE-70 D*-30 Appret** -5	9,59	115	2,8
PE-60 D-40 Appret-5	10,92	83	2,3
PE-50 D-50 Appret-5	13,03	28	1,7
PE-40 D-60 Appret-5	13,86	30	0,7
PE-30 D-70 Appret-5	15,3	32	0,4
PE-20 D-80 Appret-5	17,4	28	-

\* vezuvian

\*\* poliakrilat

## REFERENCES

1. Napolniteli dlja polimernyh kompozicionnyh materialov: Spravochnoe posobie; pod red. G.S.Kaca. / Per. s angl. O.V.Buharova; pod red. Babaevskogo P.T. - M.: Himiya. 1981. - 736 s.  
Наполнители для полимерных композиционных материалов: Справочное пособие; под ред. Г.С.Каца. / Пер. с англ. О.В.Бухарова; под ред. Бабаевского П.Т. - М.: Химия. 1981. - 736 с.
2. Jafarov V.D., Gusejnova A.N., Ahmedova A.G., Halilova S.M., Veliev I.V. Vlijanie dispersnosti napolnitelej na svojstva polimernyh kompozicij / VII Bakinskaya Mezhdunarodnaya Mamedalievskaya konferenciya po neftehimii, Baku. 2009, c.244-245.  
**Джафаров В.Д., Гусейнова А.Н., Ахмедова А.Г., Халилова С.М., Велиев И.В.** Влияние дисперсности наполнителей на свойства полимерных композиций / VII Бакинская Международная Мамедалиевская конференция по нефтехимии, Баку. 2009, с.244-245.
3. Jafarov V.D, Bektashi S.A., Babaeva G.R., Musaeva G.H., Bektashi N.R. Influence of low-molekulartermary copolymers of  $\alpha$ -olifines on regularity of formation of structure of polymer componites on the basis of polyethylem of high pressure and mineralfillers American Scientific journal №2(2) 2016, s.48-54.

4. **Jafarov V.D.** Napolnennye polimernye kompozicii na osnove polietilena nizkoj plotnosti, appretirovannogo sopolimerami maleinovogo angidrida // Himicheskij zhurnal Gruzii, 2004, №3, t.4, s.230-234.  
**Джафаров В.Д.** Наполненные полимерные композиции на основе полиэтилена низкой плотности, аппретированного сополимерами малеинового ангидрида // Химический журнал Грузии, 2004, №3, т.4, с.230-234.
  5. **Jafarov V.D., Babaeva G.R., Veliev I.V.** Sozdanie vysokonapolnennyh kompozicij na osnove polietilena nizkoj plotnosti, kaolina i polimernogo appreta // Vestnik Azerbayjanskoj inzhenernoj akademii, 2013, №2, s.83-87.  
**Джафаров В.Д., Бабаева Г.Р., Велиев И.В.** Создание высоконаполненных композиций на основе полиэтилена низкой плотности, каолина и полимерного аппрета // Вестник Азербайджанской инженерной академии, 2013, №2, с.83-87.
  6. **Cəfərov V.C., Rəcəbova M.C., Alxanov P.Ş., Mənəfov M.Ə., Musayeva G.H.** İstifadə olunmuş aşağı sixlıqli polietilenin utilşdırılması ilə polimer kompozitlərin alınması // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının xəbərləri, 2018, №4, s.77-81.
  7. **Danilina L.I., Shavlenkova U.V., Novikov S.N., Provednikov A.N.** Vlijanie razmerov chastic Al(ON) na svojstva PEVD // Plastmassy. 1984, №9, s.62-63.  
**Данилина Л.И., Шавленкова У.В., Новиков С.Н., Проведников А.Н.** Влияние размеров частиц Al(OH) на свойства ПЭВД // Пластмассы. 1984, №9, с.62-63.
  8. **Babayeva G.R.** Malein anhidridinin sopolimerləri ilə appretləşdirilmiş aşağı sixlıqli polietilen və mineral doldurucular əsasında kompozitlərin alınması və tədqiqi// k.ü.f.d. dis., Sumqayıt 2017.
- 

## СОЗДАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, УСТОЙЧИВЫХ К ВНЕШНИМ И АГРЕССИВНЫМ СРЕДАМ

В.Д. ДЖАФАРОВ, С.А. БЕКТАШИ, С.М. ХАЛИЛОВА, Г.Р. БАБАЕВА, Г.Н. ГУЛИЕВА

На основе отходов полиолефинов и минеральных пород приготовлены композиции в различных массовых соотношениях и определены их физико-механические свойства, в частности, предел прочности ( $\sigma$ ), относительное удлинение ( $\epsilon$ ) и показатели текучести расплава. Установлено, что при добавке 5-7% синтезированного полимерного аппрета-полиакрилата в композиции и повышении количества наполнителя до 80 масс. % полученные материалы обладают более высоким пределом прочности - от 11,3 до 17,4 МПа. Действием аппрета между матрицей и наполнителем обеспечивается полная упаковка и высокая адгезия на поверхности раздела фаз, улучшается совместимость.

**Ключевые слова:** полиэтилен низкой плотности, полимерная композиция, матрица, аппрет, наполнитель, визуиан, показатель текучести расплава, предел прочности, относительное удлинение, совместимость.

## THE CREATION OF POLYMER COMPOSITIONS RESISTANT TO EXTERNAL AND AGGRESSIVE MEDIA

V.D. JAFAROV, S.A. BEKTASHI, S.M. KHALILOVA, G.R. BABAYEVA, G.N. GULIYEVA

Based on the waste of polyolefins and mineral rocks compositions were prepared in various mass ratios and their physico-mechanical properties were determined, in particular, the tensile strength ( $\epsilon$ ), relative elongation ( $\sigma$ ) and melt flow rates. It was found that , with the addition of 5-7% synthesized polymer finish polyacrylate in the composition and increasing the amount of filler to 80% of resulting materials have a higher tensile strength and grows from 11,3 to 17,4 MPa. Action between the matrix and filler ensures complete packaging and high adhesion on the surface of the phase separation, improves compatibility.

**Keywords:** low density polyethylene, polymer composition, matrix, appret, filler, visual, current melt ratio, tensile strength, rerative elongation, compatibility.

---

**УДК 678.762.3**

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОГО КАУЧУКА МЕТОДОМ МНОГОФАКТОРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Р.Э. МУСТАФАЕВА \*

---

Методом многофакторного планирования процесса модификации бутадиен-стирольного каучука олигомером эпихлоргидрина установлено, что наилучший выход модифицированного каучука – при проведении реакции в течение 6 часов, температуре 65<sup>0</sup>С и добавлении в реакционную массу 0.07066 mol эпихлоргидрина.

**Ключевые слова:** бутадиен-стирольный каучук, олигоэпихлоргидрин, планирование эксперимента, модификация.

---

**Введение.** Исследование является экспериментом, если входные переменные изменяются исследователем в точно учитываемых условиях, позволяя управлять ходом опытов и воссоздавать их результаты каждый раз при повторении с точностью до случайных ошибок [1-3]. Под планированием эксперимента понимается процедура выбора числа опытов и условий их проведения, необходимых для решения поставленной задачи с требуемой точностью. Все переменные, определяющие изучаемый объект, изменяются одновременно по специальным правилам. Результаты эксперимента представляются в виде математической модели, обладающей определенными статистическими свойствами, например минимальной дисперсией оценок параметров модели [4-8]. В многофакторных планах одновременно варьируются несколько факторов, а не каждый в отдельности.

В планировании эксперимента сам эксперимент рассматривается как объект исследования и оптимизации. Здесь осуществляется оптимальное управление ведением эксперимента; в зависимости от характера изучаемого объекта и целей исследования обоснованно выбираются тип планирования эксперимента, метод обработки данных.

---

\* Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности.

Планирование многофакторных экспериментов – новый подход к организации и проведению экстремальных исследований сложных систем. Планирование эксперимента позволяет соразмерить число опытов поставленной задаче.

Планирование многофакторных экспериментов с сокращением перебора вариантов является мощным средством повышения эффективности исследований и уменьшения затрат времени и средств на эксперимент [9-11].

**Цель статьи** – спланировать процесс модификации бутадиен-стирольного каучука олигомером эпихлоргидрина извлечением максимума информации при заданных затратах на эксперимент и минимизации затрат при получении информации, достаточной для решения задач.

**Решение задачи.** Методом планирования многофакторного эксперимента получена математическая модель процесса химической модификации бутадиен-стирольного каучука олигоэпихлоргидрином.

На реакцию взаимодействия бутадиен-стирольного каучука с олигоэпихлоргидрином и на выход модифицированного каучука влияют следующие факторы:  $Z_1$  – время реакции, час;  $Z_2$  – температура реакции,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $Z_3$  – содержание ЭХГ в растворе, моль; концентрация раствора БСК в бензоле постоянна (5%-ный раствор бензола).

Для усовершенствования процесса использован симплексный метод планирования экспериментов, который позволяет в любое время введение в эксперимент еще одного фактора, не учтенного в процессе предварительных опытов [2]. Это необходимо в тех случаях, когда изучаемый процесс рассматривается в зависимости только от « $X$ » факторов (в то время как он зависит еще от  $(X+1)$ -го фактора, и величина этого  $(X+1)$ -го фактора по каким-то причинам не вписывается в эксперимент). При этом в эксперимент по существу вводят только одну точку, которая вместе с исходными образует симплекс уже в  $(X+1)$  пространстве.

Из предварительных опытов была выбрана исходная точка – центр начального симплекса и масштабы по осям переменных факторов. Основной уровень и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1.

Произведем преобразование координат, приводящее «натуральные переменные к безразмерным», используя формулу кодирования:

$$X_j = \frac{Z_i \cdot Z'_i}{\Delta Z_j} \quad (1)$$

Для практического использования симплексной матрицы заранее подсчитали числовые значения ее элементов.

Используя выделенную часть числовой матрицы симплекса ( $X$ ) и формулы кодирования, получим матрицу исходного комплекса 5 натуральных переменных.

В табл.2 приведена матрица исходного симплекса в натуральном масштабе и получены экспериментальные данные по содержанию связанного хлора в результате проведения опытов в точках симплекса (строка опытов № 1-6). Каждый опыт в матрице симплекса повторен два раза, т.е. средние экспериментальные значения содержания хлора получены по двум параллельным измерениям (табл.2).

Как видно из табл.2, наилучшим является опыт №4. Заменим точку 4 ее зеркальным отражением точкой 7 и найдем условия для проведения нового опыта взамен исключительного.

Условия проведения опыта в отраженной точке находим с помощью формул.

$$X_j^{(k+2)} = 2 \cdot X_j^{(c)} - X_j^{(e)} \quad j=1, 2, 3, \dots k \quad (2)$$

$$X_j^{(c)} = \frac{\sum_{i=1}^{k+1} X_j^{(i)}}{k} \quad i=e \quad (3)$$

Сначала находим координаты точки 2 – центра грани, образованной точками 1,2,3,5,6.

Таким образом, точка 7 вместе с оставшимися образует симплекс 1, 2, 3, 5, 6, 7 (см. табл.2). После проведения опытов в точке 7 наилучшей точкой симплекса 1, 2, 3, 5, 6, 7 оказалась точка 5. Ее отражение относительно грани 1, 2, 3, 6, 7 дает условия следующего опыта и т.д. Опыты № 8 и 9 были рассчитаны и проведены вместо худших по результату опытов № 5 и 6, соответственно. Результаты этих экспериментов отражены в табл.3. Из данных таблицы видно, что система симплексов начинает вращаться вокруг некоторой точки (5,0-5,2% связанного хлора), которая близка к наиболее высокому критерию качества (опыт № 7).

Повторяем опыт № 7, имеющий наиболее высокое значение критерия качества. Повторный эксперимент повторяет эту величину, что означает, что мы уже находимся в точке оптимума, т.е. симплекс закруглился. Поэтому после опыта № 3 было решено добавить еще один фактор, а именно:  $Z_i$  – концентрация БСК в растворе, %.

До сих пор фактор  $Z_6$  поддерживался на постоянном уровне ( $Z_6 = 5\%$ ). Для того чтобы ввести этот фактор в схему планирования, необходимо дополнить серию опытов, входящих в симплекс 1, 2, 3, 7, 8, 9 опытом №10. За единицу варьирования принимаем  $\Delta Z_6 = 2\%$ , за основной уровень  $Z_6 = 5\%$ . Тогда формула кодирования для фактора  $Z_i$  будет иметь вид:

$$X_6 = \frac{Z_6 - 5}{2} \quad X_6 = 0 \quad (4)$$

Высоту шестимерного комплекса получили по формуле

**Таблица 1**  
**Уровень и интервалы варьирования**  
**факторов**

	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$
$Z_i$	6,0	6,5	0,0540
$\Delta Z_j$	2,0	15	0,0162

**Таблица 2**  
**Матрица исходного симплекса**

№ опыта	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$
1.	7,0	69	0,0573
2.	5,0	69	0,0573
3.	6,0	56	0,0573
4.	6,0	65	0,0441
5.	6,0	65	0,0540
6.	6,0	65	0,0540
7.	6,0	65	0,0679

**Таблица 3**  
**Матрица последующего симплекса**

№ опыта	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	Y, %
1.	7,0	69	0,0373	3,5
2.	5,0	69	0,0573	3,6
3.	6,0	56	0,0573	6,0
7.	6,0	65	0,0679	6,8
8.	6,0	65	0,0635	5,2
9.	6,0	65	0,0673	5,0
10.	6,0	65	0,0618	5,2

Высоту шестимерного комплекса получили по формуле

$$h_k = \frac{k+1}{\sqrt{2k(k+1)}} \quad (5)$$

где:  $k$  – размерность симплекса. При  $k=6$  имеем  $h_6=0,764$ .

Рассчитаем значения других факторов для опыта № 10. Значения первых пяти факторов находим как среднее арифметическое из соответствующих значений координат матрицы симплекса 1, 2, 3, 7, 8, 9 (см.табл.3).

$$Z_1^{(10)} = Z_1^{(0)} = 6,0 \text{ час} \quad Z_2^{(10)} = Z_2^{(0)} = 65^0 C \quad (6)$$

$$Z_3^{(10)} = 0,0618; \quad Z_4^{(10)} = 0,000537; \quad Z^{(10)} = 0,688 \quad (7)$$

Значение дополнительного фактора находим, используя формулу перехода:

$$Z_6^{12} = 5 + 2X_6^{(12)} = 5 + 2(X_6^{(0)} + h_6) = 5 + 2(0 + 0,764) = 6,50\% \quad (8)$$

Опыт № 10 совместно с точками 1, 2, 3, 7, 8, 9 образует уже шестимерный симплекс 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10. После реализации опыта и проведения анализа полученных результатов принимаем решение завершить процесс, так как возобновление процесса «отражения» уже с учетом шести варьируемых факторов нецелесообразно вследствие того, что полученный результат опыта №10 ( $y=5,2\%$  хлора) с учетом уже шести факторов почти на 2% хуже результата опыта № 7. Таким образом, в качестве оптимального рекомендуются условия процесса опыта № 7. Для составления (вывода) уравнения регрессии рассчитаем значения варьируемых факторов в безразмерном виде по формулам кодирования. Полученные значения  $X_{ij}$  приведены в табл.4

**Таблица 4**

**Значение варьируемых факторов по формулам кодирования**

№ опытов	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$y^*$	$y_i$
1.	0,5	0,2867	0,2037	3,5	3,49
2.	-0,5	0,2867	0,2037	3,6	3,39
3.	0	-0,58	0,2037	6,0	6,04
4.	0	0	-0,611	0,75	0,77
5.	0	0	0	3,3	3,26
6.	0	0	0	3,4	3,34
7.	0	0	0,8580	0,8	7,04
10.	0	0	0,4815	5,2	5,47

Симплексные планы – насыщенные планы, число опытов в которых равно числу коэффициентов в уравнении регрессии. Коэффициенты регрессии определяются по формулам:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N}; \quad b_j = 2 \sum_{i=1}^N X_{ij} y_i \quad (9)$$

где  $N=k+1$  – число опытов;  $k$  – размерность симплекса (число факторов).

Рассчитанные по этим уравнениям (опыты № 1-6) коэффициенты регрессии оказались равными:

$$\epsilon_0 = 3,378; \quad \epsilon_3 = 4,236;$$

$$\epsilon_1 = 0,20; \quad \epsilon_4 = 0,132$$

$$\varepsilon_2 = -3,061; \varepsilon_5 = -0,06.$$

Тогда уравнение регрессии имеет вид (в безразмерных единицах):

$$\hat{y} = 3,375 + 0,20X_1 - 3,061 \cdot X_2 + 4,296 \cdot X_3 + 0,132 \cdot X_4 - 0,06X_5 \quad (10)$$

Проводим статистический анализ полученных результатов. Исходные данные для такого анализа и некоторые результаты расчетов приведены в табл.5.

**Таблица 5**

**Исходные данные для статистического анализа**

№ опыта	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Ȳ <sub>эксп.</sub>	S <sub>i</sub> <sup>2</sup>	Ŷ <sub>расч.</sub>	(Ȳ - Ŷ) <sup>2</sup>
1.	4,25	2,75	3,5	1,1250	3,49	0,0169
2.	2,9	4,3	3,6	0,98	3,39	0,0529
3.	6,35	5,65	6,0	0,245	6,04	0,000625
4.	0,57	0,93	0,75	0,0647	0,77	0
5.	2,65	3,95	3,3	0,845	3,26	0,00652
6.	4,0	2,8	3,4	1,72	3,34	0,000625
	-	-	-	3,9788	-	0,07667

Проверяем однородности дисперсии S<sub>i</sub><sup>2</sup> по критерию Кохрена. Сумма дисперсии равна:

$$\sum_{i=1}^6 S_i^2 = 3,9798; \quad S_i^2 = \frac{\sum_{m=1}^m (y_{in} - \bar{y}_i)^2}{m-1} \quad (11)$$

где m=2 – число параллельных опытов.

Критерий Кохрена будет:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2} = \frac{1,125}{3,9788} = 0,2827 \quad (12)$$

Табличное значение критерия Кохрена для уровня значимости P=0,05 и чисел степеней свободы f<sub>1</sub>=1 и f<sub>2</sub>=6, так как (f<sub>1</sub>=m-1=1); (f<sub>2</sub>=N=6)/

$$G_{1-p}(f_i : S_i) = G \cdot 0,95(1,6) = 0,7808 \quad (13)$$

Следовательно, дисперсии однородны и дисперсия воспроизводимости определяется как средняя арифметическая:

$$S_{\text{воспр.}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n S_i^2}{N} = \frac{3,9788}{6} = 0,6633 \quad (14)$$

При этом число степеней свободы дисперсии воспроизводимости равно:

$$f_{\text{воспр.}} = N(m-1) = 6(2-1) = 6 \quad (15)$$

Оценим значимость полученных коэффициентов уравнения регрессии по критерию Стьюдента. Для симплексного плана дисперсия коэффициентов рассчитывается по формуле:

$$S_{bj}^2 = 2 \cdot S_{\text{воспр.}}^2 \quad (16)$$

т.е. коэффициенты уравнения регрессии, полученные по симплексному плану, определяются с меньшей точностью.

$$S_{bj}^2 = 2 \cdot 0,6633 = 1,3266, \quad S_{bj} = 1,1518 \quad (17)$$

Определяем  $t$  – отношение для всех коэффициентов уровня регрессии:  $t_j = \frac{|b_j|}{S_{bj}}$ , которое сравнивается с табличным  $t_{1-p}(f)$ , где  $f = N(m-1)$ . Если  $t_j < t_{1-p}(f)$ , то соответствующий коэффициент  $b_j$  как незначимый отсеивается из уравнения регрессии.

$$t_0 = \frac{3,375}{1,1518} = 2,930 \quad t_3 = \frac{4,296}{1,1518} = 3,7298 \quad (18)$$

$$t_1 = \frac{0,20}{1,1518} = 0,1736 \quad t_4 = \frac{0,132}{1,1518} = 0,1146 \quad (19)$$

$$t_2 = \frac{3,061}{1,1518} = 2,6576 \quad t_5 = \frac{0,06}{1,1518} = 0,0521 \quad (20)$$

Табличное значение критерия Стьюдента  $t_{0,05}(6) = 2,57$ . Таким образом, коэффициенты  $b_1, b_4$  и  $b_5$  незначимы, т.е. определенные для них  $t$ -отношения меньше табличного. После исключения незначимых коэффициентов уравнение регрессии примет вид:

$$\hat{y} = 3,375 - 3,061 \cdot X_2 + 4,296 \cdot X_3 \quad (21)$$

Проверяем адекватность этого уравнения по критерию Фишера. Дисперсия адекватности определяется по уравнению:

$$S_{ad}^2 = \frac{m \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \hat{y})^2}{N - \ell} \quad (22)$$

где  $\ell=3$  – число значимых коэффициентов в уравнении регрессии.

Табличные значения критерия Фишера для  $p = 0.05$ .

$f_i = N - \ell = 6 - 3 = 3$  - число степеней свободы дисперсии адекватности.

$f_2 = N(m-1) = 6 \cdot 1 = 6$  - число степеней свободы дисперсии воспроизводимости.

Если  $F < F_{1-p}(f_i, f_2)$ , то уравнение адекватно эксперименту.

Табличное значение критерия Фишера  $p = 0,05; f_1 = 3, f_2 = 6$  будет  $F(0,95)(3,6) = 4,8$  и уравнение регрессии, таким образом, адекватно эксперименту.

Теория планирования многофакторного эксперимента позволяет разработать методику проведения необходимых экспериментов и получить нужные зависимости. Каждая гори-

зонтальная строка матрицы – это условия опыта. Условия опытов чрезвычайно разнообразны. Известно, что при планировании многофакторного эксперимента все факторы изменяются одновременно.

Планирование опытов методом многофакторного эксперимента было осуществлено на основе экспериментального плана. Традиционным способом были проведены эксперименты в лабораторном реакторе, вследствие чего составлена матрица планирования.

В таблицах 6 и 7 показан основной уровень факторов, изменение пределов и дана матрица планирования многофакторного эксперимента.

**Таблица 6**

**Основной уровень факторов и изменение пределов**

Название	Масштабы естественных факторов		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
Главный уровень	5,0	63	0,07
Изменение предела	1,0	2	0,002
Нижний предел изменения	4,0	61	0,068
Верхний предел изменения	6,0	65	0,072

**Таблица 7**

**Матрица планирования эксперимента и результаты опытов**

№	Кодированные значения независимых переменных			Вход			Выход	
				Натуральные значения			Y <sub>min</sub> , гр.	Y <sub>max</sub> , гр.
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Z <sub>1</sub> , Час.	Z <sub>2</sub> , °C	Z <sub>3</sub> , моль.		
1	-1	-1	-1	6,0	65	0,0540	3,49	3,50
2	+1	-1	-1	8,0	65	0,0540	3,39	3,60
3	-1	+1	-1	6,0	75	0,0540	6,04	6,40
4	+1	+1	-1	8,0	75	0,0540	0,77	0,79
5	-1	-1	+1	6,0	65	0,0702	3,34	5,20
6	+1	-1	+1	8,0	65	0,0702	7,04	7,50
7	-1	+1	+1	6,0	75	0,0702	5,47	6,50
8	+1	+1	+1	8,0	75	0,0702	5,60	6,70
9	-1,68	0	0	10,08	70	0,0621	3,415	4,35
10	+1,68	0	0	13,44	70	0,0621	5,2517	5,55
11	0	-1,68	0	7,0	109,2	0,0621	5,755	5,45
12	0	+1,68	0	7,0	126,0	0,0621	3,185	3,75
13	0	0	-1,68	7,0	70	0,0972	6,14	6,2
14	0	0	+1,68	7,0	70	0,1179	7,16	7,4
15-20	0	0	0	7,0	70	0,0621	6,1	6,4

Как известно, процесс модификации выражается следующим уравнением регрессии:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 \quad (23)$$

Здесь x - фактор процесса, b - коэффициенты уравнения. Показанные коэффициенты характеризуют линии факторов взаимодействия влияющего эффекта.

По уравнению регрессии (23) рассчитаны коэффициенты, в результате выведено следующее уравнение регрессии:

$$(Y_2)_{\max} = 7,18 + 0,062 \cdot x_1 - 0,01 \cdot x_2 + 2,96 \cdot x_3 - 0,024 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (24)$$

$$(Y_2)_{\max} = 7,2038$$

Статистически проанализировано уравнение регрессии: а) неточности опыта; б) соответствие коэффициентов уравнения регрессии; в) адекватность модели для рассмотренного процесса.

Эксперименты дисперсного планирования с центра матрицы были выявлены на основе проведенных параллельно опытов:

$$S^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (Y_k - Y_{or})^2 = 0,00186$$

где  $m$  – число параллельных опытов  $Y_{or}$  – среднее значение выхода.

Распределение коэффициента уравнения регрессии выражено следующей формулой:

$$S^2_b = S^2/N = 0,000093 \quad (25)$$

Полученные результаты позволяют на основе критерия Стьюдента найти правильный предельный коэффициент:

$$|b_i| = \frac{t \cdot S_{or}}{\sqrt{N}} = t \cdot S_b^2 = 0,000093 \cdot 2 = 0,000186 \quad (26)$$

Здесь  $t=1,7-3$  изменяется в пределах. Таким образом, получено следующее уравнение регрессии:

$$Y = 7,18 + 0,062 \cdot x_1 - 0,01 \cdot x_2 + 2,96 \cdot x_3 - 0,024 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (27)$$

Расчеты показывают, что показатели  $b_{12}, b_{13}$  непригодны. Для проверки адекватности предлагаемой математической модели процесса модификации использована следующая формула:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{hes})^2}{N-l} = 0,00364 \quad (28)$$

Здесь  $l$  – число пригодных коэффициентов  $l=5$ .

Критерий Фишера определяется по следующей формуле:

$$F = S_{ad}^2 / S^2 = \frac{0,00364}{0,00186} = 1,956 \quad (29)$$

Если значения свободных критериев  $f_1=2$  и  $f_2=3$ , тогда табличные значения критерия Фишера:  $F(12,3)=8,74$

Из неравенства  $F_c > F = 8,74 > 1,956$  следует адекватность предлагаемой математической модели процесса модификации бутадиен-стирольного каучука олигоэтихлоридрином.

На основе предлагаемой математической модели осуществлена оптимизация данного процесса. Выявлены оптимальные значения показателей технологического процесса. Значения оптимального показателя выхода установлены:  $Y_{op}=6,751$  гр.

Максимальному выходу соответствуют оптимальные значения показателей:

$$x_1=6,0 \text{ час.}, x_2=65^{\circ}\text{C}, x_3=0,07066 \text{ моль.}$$

**Заключение.** Методом многофакторного планирования процесса модификации бутадиен-стирольного каучука олигомером эпихлоргидрина установлено, что наилучший выход модифицированного каучука достигается при проведении реакции в течение 6 часов, температуре  $65^{\circ}\text{C}$  и в реакционной массе 0.07066 моль эпихлоргидрина. Проведенные в условиях оптимального режима опыты подтверждают достоверность полученных результатов. Метод планирования многофакторных экспериментов сокращает количество опытов, при этом уменьшая затраты времени и средств на эксперименты. Данный метод повышает эффективность исследований и позволяет получить модифицированный олигомером эпихлоргидрином бутадиен-стирольный каучук с максимальным выходом.

## REFERENCES

1. **Onishhenko Z.V.** Modifikaciya elastomerov soedinenijami s epoksidnymi, gidroksilnymi i aminogruppami. Tem.obzor. - M.:Cniiiteneftehim, 1984. – 72 s.  
**Онищенко З.В.** Модификация эластомеров соединениями с эпоксидными, гидроксильными и аминогруппами. Тем.обзор. - М.:Цнитэнэфтехим, 1984. – 72 с.
2. **Doncov A.A., Kanauzova A.A., Litvinova T.V.** Kauchuk-oligomernye kompozicii v proizvodstve rezinovyh izdelij. - M.: Himiya, 1986.-216s.  
**Донцов А.А., Канаузова А.А., Литвинова Т.В.** Каучук-олигомерные композиции в производстве резиновых изделий. - М.: Химия, 1986.-216с.
3. Ahnazarova S.L., Kafarov V.V. Metody optimizacii eksperimenta v himii i himicheskoi tehnologii. - M., 1985. - 327 s.  
**Ахназарова С.Л., Кафаров В.В.** Методы оптимизации эксперимента в химии и химической технологии. - М., 1985. - 327 с.
4. Bonder A.G. Matematicheskoe modelirovanie v himicheskoi tehnologii.- Kiev: Vsh, 1973. – 215 s.  
**Бондер А.Г.** Математическое моделирование в химической технологии.- Киев: Вш, 1973. – 215 с.
5. Kuzichkin N.V. i dr. Metody i sredstva avtomatizirovannogo rascheta himiko-tehnologicheskikh sistem. - L.: Himiya, 1981. – 152 s.  
**Кузичкин Н.В. и др.** Методы и средства автоматизированного расчета химико-технологических систем. - Л.: Химия, 1981. – 152 с.
6. Ruzinov L.P., Slobadchinova R.I. Planirovanie eksperimenta v himii i himicheskoi tehnologii. - M.: Himiya, 1980. – 280 s.  
**Рузинов Л.П., Слобадчинова Р.И.** Планирование эксперимента в химии и химической технологии. - М.: Химия, 1980. – 280 с.
7. Hartman K., Leckij E., Shefer V. Planirovanie eksperimenta v issledovanii tehnologicheskikh processov. - M.: Mir, 1977. – 552 s.  
**Хартман К., Лецкий Э., Шефер В.** Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. - М.: Мир, 1977. – 552 с.
8. Bilalov Y.M., Abdullaeva I.T., Kaibova T.M., Yusubov F.V. Issledovanie sinteza modificirovannogo FFP oligomera i ego otverzhdeniya metodom planirovaniya mnogofaktornogo eksperimenta // Azerb. him. zhurn., №1, 2003, s . 160-164.  
**Билалов Я.М., Абдуллаева И.Т., Каибова Т.М., Юсубов Ф.В.** Исследование синтеза модифицированного ФФП олигомера и его отверждения методом планирования многофакторного эксперимента // Азерб. хим. журн., №1, 2003, с . 160-164.
9. Bilalov Y.M., Yusubov F.V., Mamed Gasanzade D.S. Issledovanie svojstv kompozicij na osnove modificirovannyh elastomerynyh smesej // Azerb.him.zhurn., №4, 2003, s. 38-41.  
**Билалов Я.М., Юсубов Ф.В., Мамед Гасанзаде Д.С.** Исследование свойств композиций на основе модифицированных эластомерных смесей // Азерб.хим.журн., №4, 2003, с. 38-41.
10. Bilalov Y.M., Yusubov F.V., Ragimova A.A. Issledovanie svojstv elektroprovodjashhih kompozicij na osnove modificirovannyh smesej termoplastov mnogofaktornym planirovaniem // Izv. VTV Azerb., №3, 2003, s. 38-42.  
**Билалов Я.М., Юсубов Ф.В., Рагимова А.А.** Исследование свойств электропроводящих композиций на основе модифицированных смесей термопластов многофакторным планированием // Изв. ВТВ Азерб., №3, 2003, с. 38-42.

11. Ibragimov Ch.Sh., Babaev A.I., Gulieva S.N. Modelirovaniye processov sistemy razdeleniya komponentov frakcij piroliza neftyanyh uglevodorodov // Vestnik Azerbaijanskoy Inzhenernoj Akademii, T. 5, № 4, 2013. S.73-85.  
Ибрагимов Ч.Ш., Бабаев А.И., Гулиева С.Н. Моделирование процессов системы разделения компонентов фракций пиролиза нефтяных углеводородов // Вестник Азербайджанской Инженерной Академии, Т. 5, № 4, 2013. С.73-85.
- 

## KAUÇUKUNUN KİMYAVI MODİFİKASIYASI PROSESİNİN PLANLAŞDIRILMASI ÜSULU İLƏ TƏDQİQİ

R.E. MUSTAFAYEVA

Çoxamilli təcrübənin planlaşdırılması üsulu ilə butadien-stirol kauçukunun epixlorhidrin oligomeri ilə modifikasiyası prosesi tədqiq edilmişdir. Riyazi modelin tədqiqi ilə müyyəyən edilmişdir ki, modifikasiya prosesi 6 saat müddətində,  $65^{\circ}\text{C}$ -də və EXH-nin reaksiya mühitində 0.07066 mol qatılığında aparıldığda modifikasiya edilmiş BSK-nin yüksək çıxımı əldə edilir.

*Açar sözlər:* butadien-stirol kauçuku, epixlorhidrin oligomeri, təcrübənin planlaşdırılması, modifikasiya.

## STUDY OF PROCESS CHEMICAL MODIFICATION RUBBER BY A METHOD OF PLANNING EXPERIMENT

R.E. MUSTAFAYEVA

By method of multifactor planning of process of modification of styrene butadiene rubber epiclorohydrin oligomer it is positioned that the best yield modification rubber is reached at carrying out of reaction within 6 hours, temperature  $65^{\circ}\text{S}$  with and the introducing in reactionary mass 0.07066 pier of epichlorohydrin.

*Keywords:* styrene-butadiene rubber, oligoepichlorohydrin, experiment planning, modification.

---

УДК 621:311

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ УРАВНЕНИЙ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА И ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

А.Б. БАЛАМЕТОВ\*, Э.Д. ХАЛИЛОВ\*

В традиционных расчетах установившегося режима электрической сети не учитываются зависимости активных сопротивлений провода воздушной линии от температуры окружающей среды и токов в ветвях. Для повышения точности расчетов установившегося режима требуется температурная коррекция сопротивления ветвей. В данной работе представлен метод, основанный на совместном решении нелинейных уравнений установившегося режима электрической сети и теплового баланса проводов воздушных линий. Результаты проведенных расчетов установившегося режима на различных тестовых схемах показали, что, неучет температурной зависимости активных сопротивлений может привести к ошибкам в потере мощности для отдельных нагруженных линиях до 10% и для суммарных потерь системы до 30%, что является недопустимым в моделировании режимов электрической сети. Приведены результаты моделирования установившихся режимов с учетом температурной зависимости сопротивлений проводов на примере 6 узловых схем.

**Ключевые слова:** установившийся режим, уравнения теплового баланса, электрическая сеть, погодные условия, ток линии, активное сопротивление, температура провода, решение нелинейных уравнений.

**Введение.** В связи с высокими темпами роста нагрузки максимальное использование пропускной способности воздушных линий (ВЛ) может быть достигнуто при наличии достоверной информации о состоянии линии, а также фактических данных о температуре проводов и плотности протекающего тока.

Для повышения точности расчета переменных потерь электроэнергии в воздушных линиях электропередачи необходима оценка активных сопротивлений проводов с учетом протекающего по линиям рабочего тока, температуры окружающего воздуха, скорости ветра и теплоты солнечного излучения.

При определении технологических потерь электрической энергии по электрическим сетям необходимо учитывать температуру провода, влияющую на величину активного сопротивления. Температура провода, в свою очередь, зависит от режимных и климатических

\* Азербайджанский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт энергетики

факторов: плотности тока, температуры окружающего воздуха  $t_b$ , силы и направления ветра, интенсивности солнечной радиации и др. [1–10]. Однако известные алгоритмы расчета установившегося режима электрических сетей (РУРЭС) и оценки состояния пренебрегают температурными зависимостями и в соответствующих программах сопротивления трансформаторов, воздушных линий и кабелей представляются постоянными. В связи с этим результаты РУРЭС имеют некоторую ошибку. В [1-10] показано, что пренебрежение коррекцией сопротивления ветви в зависимости от температуры может привести к существенным ошибкам в потерях при сильно загруженных режимах до 10% для общей схемы, а для отдельных ветвей до 30%.

Моделирование воздушных линий обычно предполагает постоянное сопротивление провода при исходно заданной температуре 20°C. Однако фактическая температура провода ВЛ обычно достигает 90-120°C и более. Таким образом, важно анализировать влияние повышения температуры при эксплуатации линии электропередачи на такие электрические величины, как потери и потоки мощности.

**Целью данной работы** является разработка алгоритма и оценка количественного влияния тока нагрузки, температуры провода, скорости ветра, солнечной радиации на активное сопротивление проводов, а также определение погрешностей расчета годовых переменных потерь электроэнергии.

В [6] предложена модель ВЛ, основанная на упрощении уравнения теплового баланса (УТБ) IEEE Std.738. При этом предполагается, что потери тепла из-за излучения и конвекции можно аппроксимировать как линейную функцию от температуры окружающей среды.

В [7] рассматривается температурная зависимость потокораспределения.

В традиционном сопротивления проводов линий принимаются постоянными, потому что они оказывают небольшое влияние на изменение напряжения ЭС. Однако температура провода, сопротивление и потери являются взаимозависимыми и изменяются значительно при нормальном функционировании. Отказ от учета изменения сопротивления относительно температуры может привести к существенным ошибкам в результатах расчета.

В работах [4, 7, 10] исследуются различные алгоритмы температурно-зависимого потокораспределения:

- полный метод Ньютона-Рафсона;
- частично разделенный алгоритм, в котором температура обновляется отдельно от обычных переменных;
- быстрый разделенный метод;
- последовательно разделенный метод.

Учет температуры провода ВЛ необходим для мониторинга линий электропередач для учета тепловых ограничений и допустимости провисания (габарита), оценки потерь в рамках оценки состояния для распределения затрат в рыночных условиях (по узлам), оптимизации режима ЭЭС, изучения влияния температурной зависимости кольцевых ЭС на неоднородность ЭС.

Существует несколько методов для снижения ошибки в сопротивлении в зависимости от температуры, которые уже используются.

В данной работе предлагается подход для учета температурной зависимости сопротивлений энергетической системы. Температура является функцией потерь, потери

являются функцией сопротивления и тока, а сопротивление является зависит от температуры. В данном случае эти соотношения связываются с обычным потокораспределением с помощью одновременных уравнений для стационарных режимов сопротивлений, потерь и температур.

Удельное активное сопротивление проводов воздушных линий равно

$$R = R_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (t_{np} - 20)]$$

где  $R_{20}$  - удельное активное сопротивление при температуре провода 20°C, Ом/км;  $\alpha = 0.00403$  - температурный коэффициент электрического сопротивления стальалюминиевых проводов, 1/град;  $t_{np}$  - температура провода, °C.

Температура провода в формуле (1), как правило, неизвестна. Она зависит от большого числа факторов и, в первую очередь, от протекающего по проводу электрического тока, температуры окружающего воздуха и скорости ветра. В традиционных расчетах переменных потерь электроэнергии активные сопротивления принимаются по справочникам, в которых они приведены к температуре 20°C. В лучшем случае активные сопротивления пересчитываются с учетом температуры воздуха  $t_b$ .

**Метод решения.** Зависимость температуры провода от параметров внешней среды может быть представлена в виде уравнения теплового баланса провода, к коэффициенты которого для различных случаев впервые были получены Бургсдорфом [1].

Уравнение теплового баланса для установившегося теплового режима ВЛ записывается следующим образом [5, 8]:

$$I^2 \cdot R_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (t_{np} - 20)] + P_c = \pi d_{np} (k_k + k_l) (t_{np} - t_e) \quad (1)$$

где  $I$  - ток линии, А;  $R_{20}$  - сопротивление провода при 20°C, Ом/м;  $\alpha$  - температурный коэффициент сопротивления провода, 1/°C;  $t_{np}$  - температура провода, °C;  $t_e$  - температура воздуха, °C;  $k_k$ ,  $k_l$  - коэффициент теплоотдачи провода при конвективном и лучистом теплообмене, Вт/(м²°C);  $P_c$  - теплота солнечного излучения, поглощаемая 1 м провода в единицу времени, Вт;  $d_{np}$  - диаметр провода, м.

В уравнении (2) левая часть представляет собой поглощаемую теплоту солнечного излучения и теплоту от токовой нагрузки, а правая часть состоит из суммы конвективных потерь и потерь на радиацию.

Коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием определяется по формуле Стефана-Больцмана [3,5]:

$$k_l = \frac{5.67\epsilon}{t_{np} - t_e} \left[ \left( \frac{273 + t_{np}}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + t_e}{100} \right)^4 \right] \quad (2)$$

где  $\epsilon$  - постоянная лучеиспускания (степень черноты провода).

Коэффициент теплоотдачи конвекцией в общем виде определяется исходя из критериальных уравнений конвективного теплообмена. Однако в реальных условиях всегда есть некоторое движение воздуха. Согласно результатам исследований, при антициклоническом характере погоды минимальную скорость ветра можно принять равной

0.6 м/с, при циклоническом характере погоды - 2 м/с [6]. По опубликованным материалам сессии СИГРЕ также рекомендуется принимать минимальную скорость ветра 0.6 м/с [5].

Большинство авторов [1, 5] сходятся на том, что при малых скоростях ветра ( $v < 5$  м/с) коэффициент теплоотдачи конвекцией приближенно рассчитывается по выражению:

$$\alpha_k = 3.5\psi \sqrt{\frac{\gamma}{d}} \quad (3)$$

где  $\psi$  - коэффициент зависимости теплоотдачи при конвективном теплообмене от угла атаки ветра  $\psi$

**Тепловое моделирование элементов энергетических систем.** Сопротивление проводов пропорционально температуре в соответствии с [6]:

$$R_t = R_{20} \cdot \left( \frac{t_{np} + T_F}{20 + T_F} \right) \quad (4)$$

где  $R_t$  - сопротивление провода;  $T$  - температура провода;  $R_{20}$  - сопротивление провода при температуре 20°C;  $T_F$  - температурная константа.

Температурная константа  $T_F$  зависит от металла провода: 234,5 °C для меди, 228,1 °C для алюминия [6].

В модели теплового сопротивления, повышение температуры устройства принимается линейно пропорциональной тепловой мощности устройства, то есть потерям устройства:

$$\frac{t_{np} - t_e}{\Delta P_t} = R_\theta. \quad (5)$$

Температура провода не может быть ниже, чем температура окружающей среды  $t_b$ . Температура провода  $t_{np}$  равна сумме температуры окружающей среды  $t_b$  и повышения температуры провода  $\Delta t$  над окружающей средой  $t_{np} = t_b + \Delta t$ . Таким образом, для температуры провода из (2) получаем

$$t_{np} = t_e + R_\theta \cdot \Delta P_t \quad (6)$$

Выражая  $\Delta P$  в виде функции от напряжения энергосистемы и температуры состояния Т, выражение (3) может быть непосредственно включено в алгоритм расчета УУР.

Согласно [7], при нормальных условиях эксплуатации  $Q_l$  и  $Q_k$  могут быть аппроксимированы как линейные функции повышения температуры провода над окружающей воздухом, то есть

$$Q_l \approx K_l(t_{np} - t_e), \quad Q_k \approx K_k(t_{np} - t_e). \quad (7)$$

Коэффициенты конвективного и лучистого теплообмена  $Q_l$  и  $Q_k$  постоянны для заданных условий: температуры окружающей среды, барометрического давления и скорости ветра [7]. Используя  $Q_l$  и  $Q_k$ , (5) можно представить в виде:

$$Q_l + Q_k = (K_l + K_k) \cdot \Delta t. \quad (8)$$

Использование нагрева провода солнечным излучением (радиацией)  $Q_p = P_p d_{np}$  позволяет модифицированную версию (3) написать для проводов воздушной линии:

$$t_{np} = t_e + (\Delta P + Q_p) \cdot \frac{1}{K_a + K_k}. \quad (9)$$

Для любого заданного провода  $Q_a$ ,  $Q_k$  и  $Q_p$  могут быть определены по заданным погодным условиям принимаемыми постоянными для решения УУР ЭС с учетом изменений температуры проводов.

**Уравнения установившихся режимов с учетом температурной зависимости сопротивлений.** Как было отмечено выше, уравнения установившихся режимов с учетом температурной зависимости сопротивлений используют три основные модификации обычного УУР методом Ньютона-Рафсона:

$$P_i(\delta, U, T) = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij}(T) \cdot \cos(\delta_i - \delta_j) + B_{ij}(T) \cdot \sin(\delta_i - \delta_j)) = P_{e,i} - P_{h,i} \quad (10)$$

$$Q_i(\delta, U, T) = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij}(T) \cdot \sin(\delta_i - \delta_j) - B_{ij}(T) \cdot \cos(\delta_i - \delta_j)) = Q_{e,i} - Q_{h,i} \quad (11)$$

$$H_{ij}(\delta, U, T) = T_{ij} - (T_e + R_{\theta,ij} \cdot g_{ij}(T) \cdot (U_i^2 + U_j^2)) - 2g_{ij}(T) \cdot U_i \cdot U_j \cos(\delta_i - \delta_j). \quad (12)$$

УУР (10) – (11) отличаются от обычных тем, что  $G_{ij}$  и  $B_{ij}$  являются функцией температуры согласно (1).

Вычисление небалансов производится по уравнениям:

$$\Delta P_i = (P_{e,i} - P_{h,i}) - P_i(\delta, U, T) \quad (13)$$

$$\Delta Q_i = (Q_{e,i} - Q_{h,i}) - Q_i(\delta, U, T) \quad (14)$$

$$\Delta H_{ij} = 0 - H_{ij}(\delta, U, T). \quad (15)$$

Небалансы, полученные по (13-15), позволяют уточнить вектор состояния решением уравнений (10-12) методом Ньютона-Рафсона. В связи с добавлением температуры к вектору состоянию матрица Якоби представляется следующим образом:

$$J(\delta, U, T) = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial U} & \frac{\partial P}{\partial T} \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial U} & \frac{\partial Q}{\partial T} \\ \frac{\partial H}{\partial \delta} & \frac{\partial H}{\partial U} & \frac{\partial H}{\partial T} \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Составляющие частных производных  $H$  относительно  $\delta$  и  $U$  могут быть рассчитаны из (12).

Активная и реактивная проводимости ветви  $ij$  являются функцией параллельного активного и реактивного сопротивлений:

$$g_{ij} = \frac{r_{ij}}{r_{ij}^2 + x_{ij}^2}, \quad b_{ij} = \frac{x_{ij}}{r_{ij}^2 + x_{ij}^2}.$$

Частные производные неявной функции по температуре провода определяются по

$$\frac{\partial P}{\partial T_{kn}} = \frac{\partial P_i}{\partial g_{kn}} \cdot \frac{\partial g_{kn}}{\partial R_{kn}} \cdot \frac{\partial R_{kn}}{\partial T_{kn}} \cdot \frac{\partial P_i}{\partial b_{kn}} \cdot \frac{\partial b_{kn}}{\partial R_{kn}} \cdot \frac{\partial R_{kn}}{\partial T_{kn}}. \quad (17)$$

После определения матрицы Якоби уточняются зависимые переменные уравнений:

$$\begin{bmatrix} \delta^{(v+1)} \\ U^{(v+1)} \\ T^{(v+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta^{(v)} \\ U^{(v)} \\ T^{(v)} \end{bmatrix} + J(\delta^{(v)}, U^{(v)}, T^{(v)})^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P^{(v)} \\ \Delta Q^{(v)} \\ \Delta H^{(v)} \end{bmatrix} \quad (18)$$

**Полные температурно-зависимые УУР.** Уравнения узловых напряжений и теплового баланса решаются как единая система методом Ньютона-Рафсона.

На рис. 1 приведен алгоритм полных температурно-зависимых УУР, который выполняет следующие шаги:

1. сопротивления ветвей уточняются в соответствии с последним уточнением температуры проводов;
2. уточняется матрица узловых проводимостей;
3. вычисляется матрица Якоби;
4. вычисляются небалансы по (13) - (15);
5. переменные уравнений уточняются в соответствии с (18).

Цикл повторяется до получения желаемой точности по пунктам 1-5.

Из-за различий уравнений теплового баланса от уравнений узловых напряжений ухудшается сходимость вычислительного процесса.

В частично разделенном методе температурно-зависимого решения УУР уравнения вектора напряжения состояния отделены от уравнений температурного состояния:

$$\begin{bmatrix} \delta^{(v+1)} \\ U^{(v+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta^{(v+1)} \\ U^{(v+1)} \end{bmatrix} + J_{PQ}(\delta^{(v)}, U^{(v)}, T^{(v)})^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P^{(v)} \\ \Delta Q^{(v)} \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$[T^{(v+1)}] = [T^{(v+1)}] + J_H(\delta^{(v)}, U^{(v)}, T^{(v)})^{-1} \cdot [\Delta H^{(v)}]. \quad (20)$$

Затем производится уточнение вектора состояния в соответствии с

$$[\delta^{(v+1)}] = [\delta^{(v)}] + J_P^{-1} \cdot [\Delta P^{(v)}] \quad (21)$$

$$[U^{(v+1)}] = [U^{(v)}] + J_Q^{-1} \cdot [\Delta Q^{(v)}] \quad (22)$$

$$[T^{(v+1)}] = [T^{(v)}] + J_H^{-1} \cdot [\Delta H^{(v)}]. \quad (23)$$

Разделенные алгоритмы могут быть включены в существующие программы УУР, так как расчеты температуры можно рассматривать как отдельный модуль.

**Алгоритмы последовательного уточнения температуры** сначала решают обычные УУР на основе оценок фиксированной температуры. Далее вычисляются температуры ветвей на основе результатов РУРЭС и используют температуру для обновления сопротивлений и  $Y_{узл}$ . Небалансы мощности и температуры затем пересчитываются по уточненным проводимостям. Процесс продолжается с традиционными УУР с использованием уточненного  $Y_{узл}$ . Основными преимуществами последовательного подхода являются простота, а также возможность легко использовать известные алгоритмы потока мощности. Недостатком является решение УУР при каждом изменении температуры. Алгоритм может требовать больше времени. Однако может быть сходиться быстрее, так как требуется минимальное время для оценки температур и решения УУР.

Практическая реализация УУР-ТЗ такова: температуру окружающей среды по всей системе можно получить по датчикам, установленным в ВЛ. Эти измерения могут быть получены из системы сбора данных (SCADA). Другим вариантом было бы получить данные о температуре от подсистемы «прогноз погоды» в сочетании с нагрузкой.

**Моделирование.** Разработана MATLAB программа расчета РУРЭС-ТМ. Алгоритмы РУРЭС с учетом температурной зависимости активного сопротивления применялись для двух тестовых систем:

1. 6-узловая эквивалентная схема 110 кВ (рис.2).
2. Модифицированная версия тестовой 6-узловой системы IEEE (рис.3).

Все ветви были смоделированы с использованием общей термической модели согласно (3). Все провода считаются алюминиевыми. Температура окружающей среды принята 25°C. Номинальные нагружочные потери  $P_h = I^2R$ , получены при напряжении 1.0 о.е.

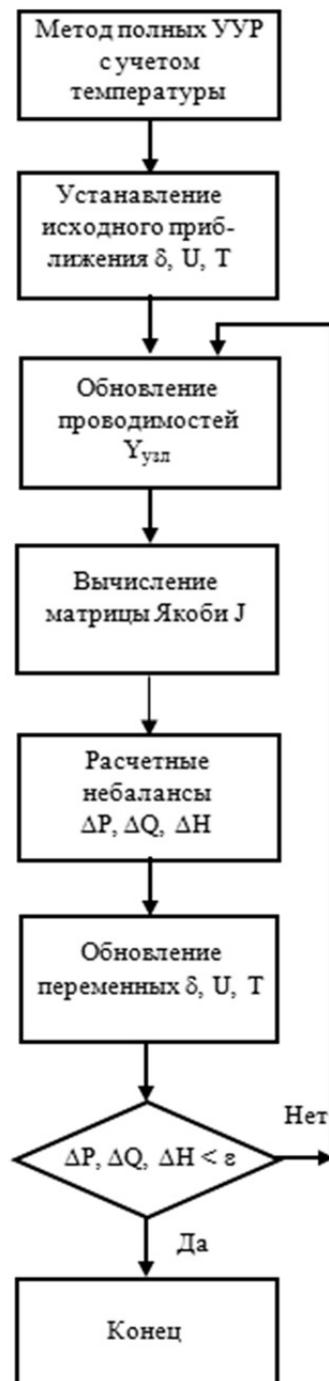


Рис. 1. Алгоритм температурно-зависимых УУР

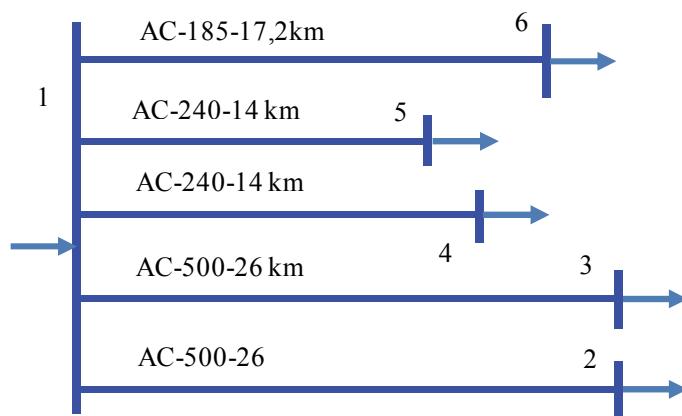


Рис. 2. 6-узловая эквивалентная схема 110 кВ

В таблице 1 представлены результаты расчета потерь мощности с учетом изменения температуры провода от потока мощности для схемы рис.2.

**Таблица 1.**

**Результаты расчета установившегося режима по разработанной программе для эквивалентной схемы с 6 узлами.**

Ветви	Мощность МВА	Тр <sub>р</sub> °C	Сопро- тивление о.е	Результаты потерь мощности РУР		
				Традиционные, МВт	С учетом темпе- ратуры, МВт	Относительное повышение,%
1-2	180	53.60	0.0140	4.27	4.785	11.928
1-3	170	50.12	0.0139	3.80	4.201	10.424
1-4	100	45.38	0.0155	1.41	1.53	8.511
1-5	80	37.86	0.0150	0.92	0.96	4.348
1-6	45	29.60	0.0227	0.38	0.39	2.632
Суммарные потери				10.79	11.87	9.97

Учет температурной зависимости в УУР увеличивает суммарные потери в нагруженных линиях. Суммарные потери по традиционному РУРЭС 10.79 МВт и в зависимости от температуры для отдельных ветвей приводят до 12%, а для общей схемы 10%.

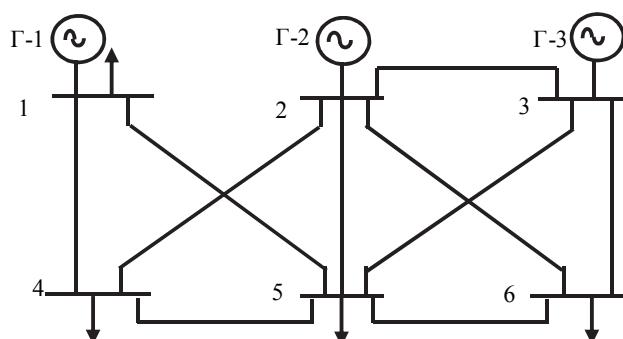


Рис. 3. 6-узловая тестовая схема IEEE

Генерация и потребление в узлах 6-и узловой схемы в о.е. приведены в таблице 2.

**Таблица 2.**

**Нагрузки узлов 6-и узловой тестовой схемы IEEE.**

№ узлов/мощности		1	2	3	4	5	6
Генерация	P <sub>ген</sub>	1.0569	0.5	0.6	0	0	0
	Q <sub>ген</sub>	0.1715	0.74	0.8812	0	0	0
Потребление	P <sub>наг</sub>	0	0	0	0.75	0.68	0.65
	Q <sub>наг</sub>	0	0	0	0.7	0.7	0.7

В таблице 3 представлены результаты расчета потерь мощности с учетом изменения температуры провода от потока мощности для схемы рис.3.

**Таблица 3.**

**Результаты расчета установившегося режима для схемы рис. 3.**

Номера ветвей	Темпера- тура, °C	Результаты потерь мощности РУР		
		Традиционные, МВт	С учетом темпе- ратуры, МВт	Относительное повышение, %
1-2	37.75	0.9049	0.9773	7.99
1-4	40.1	1.0876	1.1574	6.42
1-5	44.2	1.0735	1.1678	8.78
2-3	26.01	0.0403	0.0407	1.00
2-4	47.02	1.5051	1.6289	8.23
2-5	37.82	0.4979	0.5274	5.91
2-6	27.06	0.5833	0.5888	0.94
3-5	29.33	1.0936	1.1275	3.10
3-6	43.3	1.0034	1.0806	7.69
4-5	25.57	0.0362	0.0385	6.18
5-6	25.69	0.0496	0.0528	6.49

Различия в расчетной потере являются наиболее выраженным для сильно нагруженных линий. Максимальное увеличение потерь мощности для ветвей тестовой схемы IEEE составило  $0.94 \div 8.78\%$ . Суммарные потери увеличились на 6.5%.

Практическое решение уравнений установившегося режима ЭС с учетом теплового баланса можно проводить по температуре окружающей среды по датчикам, установленным и эксплуатируемым в реальных условиях и по данным SCADA системы.

Другим вариантом является получение данных о температуре от внешних подсистем, таких как модуль прогноза погоды в сочетании с нагрузкой.

Более высокое разрешение при измерении температуры по всем элементам исследуемой системы может повысить достоверность расчетов установившегося режима ЭС.

**Заключение.** В настоящее время есть необходимость специальных компьютерных программ, включающих модели электрической сети, включающих УУР и уравнения теплового баланса для анализа установившихся режимов, позволяющих осуществлять непосредственную оценку значений температуры элементов ЭС.

Исследованы алгоритмы решения уравнений электрического и теплового режимов. Предложены алгоритмы, учитывающие температурные зависимости активных сопротивлений, которые улучшают оценку потерь по сравнению с традиционным потокораспределением.

Проведено сравнение полных и разделенных алгоритмов потокораспределения и проведено их сравнение на тестовых задачах. Результаты анализа на тестовых схемах электрической сети показывают, что температура оказывает существенное влияние на распределение потоков и потерь мощности.

## REFERENCES

1. Burgsdorf V.V., Nikitina L.G. Opredelenie dopustimykh tokov nagruzki vozдушnyh linij elektroperedachi po toku ih provodov // Elektrichestvo. 1989. № 11. с. 1–8.  
**Бургдорф В.В., Никитина Л.Г.** Определение допустимых токов нагрузки воздушных линий электропередачи по току их проводов // Электричество. 1989. № 11. с. 1–8.
2. Guide for Thermal Rating Calculations of Overhead Lines. WG B2.43, Tech. Rep. 601, CIGRE, 2014, 95 p.
3. Figurnov E.P., Zharkov Y.I., Petrova T.E. Utochnennaja metodika rascheta nagreva provodov vozдушnyh linij elektroperedachi // Elektricheskie stancii. 2013. № 9. S. 54–59.  
**Фигурнов Е.П., Жарков Ю.И., Петрова Т.Е.** Уточненная методика расчета нагрева проводов воздушных линий электропередачи // Электрические станции. 2013. № 9. С. 54–59.
4. J. R. Santos, A. G. Exposito, and F. P. Sanchez, “Assessment of conductor thermal models for grid studies,” IET Generation Transmission & Distribution, vol. 1, no. 1, pp. 155–161, Jan. 2007.
5. Levchenko I.I. Nagruzochnaja sposobnost vozдушnyh linij elektroperedachi v ekstremalnyh pogodnyh uslovijah / I.I. Levchenko, E.I. Sacuk // Elektrichestvo. – 2008. – №4. – С. 2–8.  
**Левченко И.И.** Нагрузочная способность воздушных линий электропередачи в экстремальных погодных условиях / И.И. Левченко, Е.И. Сацук // Электричество. – 2008. – №4. – С. 2–8.
6. IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature of Bare Overhead Conductors, IEEE Std. 738, 2006.
7. S. Frank, J. Sexauer, and S. Mohagheghi, “Temperature dependent power flow source code,” 2013. [Online]. Available: <https://github.com/TDPF/TDPF>.
8. Balametov A.B., Bajramov M.P. Modelirovaniye temperatury provoda dlya rascheta poter elektroenergii vozдушnyh linij // Problemy energetiki, 2013, № 2, s. 3-12.  
**Баламетов А.Б., Байрамов М.П.** Моделирование температуры провода для расчета потерь электроэнергии воздушных линий // Проблемы энергетики, 2013, № 2, с. 3-12.
9. Balametov A.B., Halilov E.D., Bajramov M.P., Agahanova K.A. Programma modelirovaniya temperatury provoda i poter moshhnosti na osnove ucheta rezhimnyh i atmosfernyh faktorov. Programmnye produkty i sistemy / Software & Systems 2 (31) 2018.  
**Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Байрамов М.П., Агаханова К.А.** Программа моделирования температуры провода и потерь мощности на основе учета режимных и атмосферных факторов. Программные продукты и системы / Software & Systems 2 (31) 2018.
10. Balametov A.B., Halilov E.D., Isaeva T.M. Uchet temperaturnoj zavisimosti soprotivlenij vozдушnyh linij pri ustanovivshihся rezhimah elektricheskoy seti / Fyodorovskie chteniya - 2017: XLVII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya. Moskva, 15-17 noyabrya 2017 g. - M.: Izdatelskij dom MEI, 2017. - 340 s.  
**Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Исаева Т.М.** Учет температурной зависимости сопротивлений воздушных линий при установившихся режимах электрической сети / Фёдоровские чтения - 2017: XLVII Международная научно-практическая конференция. Москва, 15-17 ноября 2017 г. - М.: Издательский дом МЭИ, 2017. - 340 с.

**ELEKTRİK ŞƏBƏKƏLƏRİNİN REJİMLƏRİNİN MODELLƏŞDİRİLMƏSİ ÜÇÜN QƏRARLAŞMIŞ  
REJİM VƏ İSTİLİK BALANSI TƏNLİKLƏRİNİN BİRGƏ TƏTBİQİ**

Ə.B. BALAMETOV, E.D. XƏLİLOV

Qərarlaşmış rejimlərin ənənəvi həllində hava xətti məftilinin aktiv müqavimətinin ətraf mihitin temperaturundan və budaqlardakı cərəyanlardan asılılığı nəzərə alınır. Qərarlaşmış rejimlərin həllinin dəqiqliyinin artırılması üçün budaqların müqavimətinin temperatur correksiyası tələb olunur. Bu məqalədə qərarlaşmış rejimlərin və hava xətti məftilinin istilik balansının qeyri-xətti tənliliklərinin birgə həllinə əsaslanan metod təklif olunmuşdur. Müxtəlif test sxemləri üzərində yerinə yetirilən hesablamaların nəticələri göstərir ki, aktiv müqavimətlərin temperatur asılılığının nəzərə alınmaması ayri-ayrı yükənmiş xətlərdəki itkilerin qiymətində 10%, sistem üzrə isə 30%-ə qədər xətalara gətirir ki, bu da elektrik şəbəkələri rejimlərinin modelləşdirilməsində yol verilməzdür. 6 düyünlük test sxemləri nümunəsində müqavimətlərin temperatur asılılığını nəzərə almaqla yerinə yetirilmiş hesabatların nəticələri verilmişdir.

*Açar sözlər:* qərarlaşmış rejimlər, istilik balansı tənlilikləri, elektrik şəbəkəsi, pogodnye hava şəraiti, xəttin cərəyanı, aktiv müqavimət, məftilin temperaturua, qeyri-xətti tənliliklərin həlli.

**APPLICATION OF COMBINED EQUATIONS OF THE STEADY-STATE AND THERMAL BALANCE  
FOR MODELING ELECTRICAL NETWORK MODES**

A.B. BALAMETOV, E.D. HALILOV

In the traditional calculations of the steady-state mode of the electrical network, the dependences of the active resistances of the air-line wire on the ambient temperature and currents in the branches are not taken into account. To increase the accuracy of steady-state calculations, a temperature correction of the resistance of the branches is required. In this paper, we present a method based on the joint solution of nonlinear equations of the steady-state electric network regime and the thermal balance of the wires of overhead lines. The results of the calculations of the steady-state regime on various test circuits showed that the non-account of the temperature dependence of the active resistances can lead to errors in power loss for individual loaded lines up to 10% and for total losses of the system up to 30%, which is unacceptable in modeling the modes of the electric network. The results of simulation of steady-state regimes with allowance for the temperature dependence of the resistance of wires are presented using the example of 6-node circuits.

*Keywords:* steady state, heat balance equations, electric network, weather conditions, line current, active resistance, wire temperature, solution of nonlinear equations.

---

### **UOT 681.3**

## **NEFTİN İLKİN EMALI TEXNOLOJI KOMPLEKSİNİN ƏSAS APARATLARI ÜÇÜN EKSPERİMENTLƏRİN TƏŞKİLİ**

**A.A. SƏFƏROVA\***

Avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin layihələndirilməsində mürəkkəb və əhəmiyyətli mərhələlərdən biri də idarəetmə obyektlərinin identifikasiyasıdır. Təqdim olunan məqalədə identifikasiya məsələsi kimi tənzimləmə sisteminin simtezi məsələsinin həlli nəzərdə tutulur. Məhz idarəetmə obyektiinin ötürmə funksiyası tapıldığdan sonra tənzimləmə sisteminin parametrik sintezi həyata keçirilir. Məlumdur ki, belə sistemlərin sintezi üçün obyekti idarəedici və həyacanlandırıcı təsir kanalları üzrə identifikasiya etmək lazımdır. Obyektin hər hansı bir kanal üzrə ötürmə funksiyasının alınması üçün sistemdə bərabər intervallarla informasiyının yığıımı tələb olunur. Bu problemin həlli məqsədi ilə neftin ilkin emalı qurğusunda müəyyən plan üzrə eksperimentlər təşkil olunmuş və nəticələr alınmışdır.

*Açar sözlər:* identifikasiya, tənzimlənən parametr, ötürmə funksiyası, idarəetmə obyekti

**Giriş.** Respublikamızın yanacaq-enerji kompleksinə daxil olan müəssisələr arasında ən vacib texnoloji sistemlərdən biri neftin ilkin emalını təmin edən yağı istehsalı profilli neft emalı qurğularıdır [1]. Bu qurğuların əsas məqsədi xam neftdən yüksək keyfiyyət göstəricilərinə malik geniş çeşiddə sürtkü yağlarının istehsalını təmin etməkdən ibarətdir. Neftin ilkin emalı qurğularının idarəetmə sistemlərinə həsr edilmiş elmi-tədqiqat işlərinin təhlili göstərilmişdir ki, bu texnoloji sistemlər idarəetmə obyekti nöqtəyi-nəzərindən özündə bir-biri ilə müxtəlif texnoloji əlaqələrdə birləşmiş çox ölçülü aqreqatları birləşdirir və hər bir texnoloji aparat rejim parametrləri baxımından geniş diapozonda işlədiyindən mürəkkəb sistemlərdir.

Məlumdur ki, belə sistemlərin sintezi üçün obyekti idarəedici və həyacanlandırıcı təsir kanalları üzrə identifikasiya etmək lazımdır. Identifikasiya məsələləri dedikdə idarəetmə obyektləri üçün ötürmə funksiyalarının alınması nəzərdə tutulur. Məhz idarəetmə obyektiinin ötürmə funksiyası tapıldığdan sonra tənzimləmə sisteminin parametrik sintezi həyata keçirilir. Obyektin hər hansı bir kanal üzrə ötürmə funksiyasının alınması üçün sistemdə bərabər intervallarla

\* Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

informasiyanın yiğimi tələb olunur. Bu problemin həlli məqsədi ilə texnoloji obyektlərdə müəyyən plan üzrə eksperimentlər təşkil olunur və aparılır [2, 3].

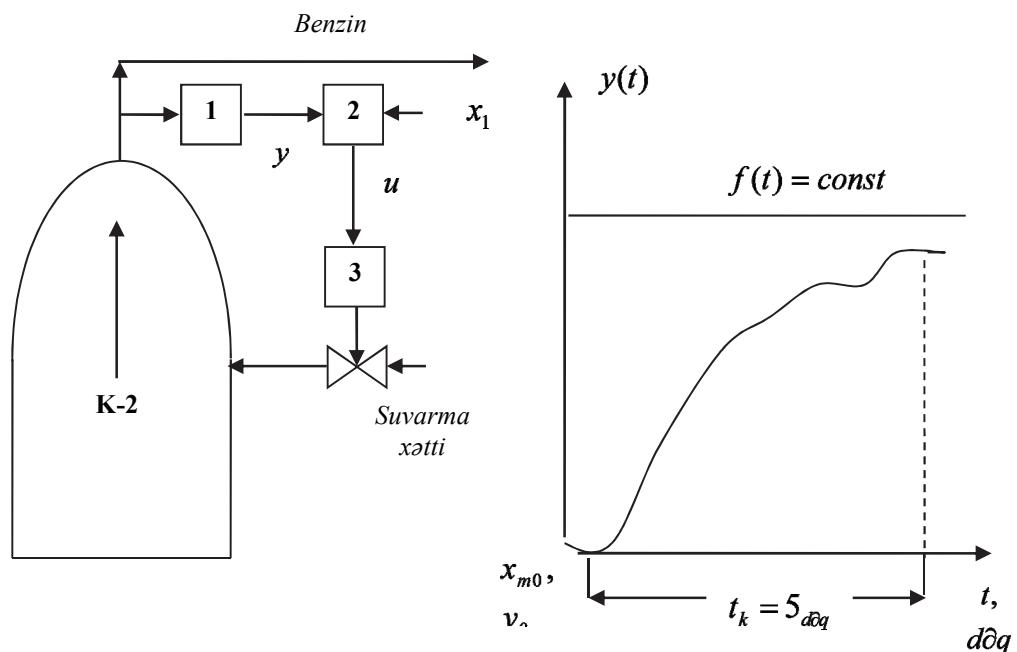
**Məsələnin qoyuluşu.** Obyektin ötürmə funksiyasının alınmasında adətən aktiv təcrübə metodlarından istifadə olunur. Çünkü, hər hansı bir obyektin müəyyən bir kanal üzrə (idarəedici və həyəcanlandırıcı təsir kanalları üzrə) dinamik modelini alarkən bu obyektin girişinə təkan şəkilli siqnal verilir. Bu məsələnin qoyuluşu zamanı əsas problem ondan ibarətdir ki, elə etmək lazımdır ki, obyektə həyəcanlandırıcı təsir veriləndən sonra texnoloji proses öz reqlamentini pozmasın. Ona görə də təcrübəni başlamamışdan əvvəl prosesin texnologiyası və onun reqlamenti diqqətlə araşdırılmalıdır və öyrənilməlidir.

Digər bu problem isə odur ki, adətən belə təcrübələr aparıllarkən tədqiq olunan obyektin daxil olduğu dövrə açıq vəziyyətdə saxlanılır. Bu da öz növbəsində hər hansı bir kənar təsir nəticəsində prosesin öz reqlamentini pozması ehtimalını artırır. Bu, xüsusilə birdövrəli sistemlərə aiddir. Ona görə də məsələnin qoyuluşu texnoloji prosesin öz reqlamentini pozulmaması şərti ilə təcrübəni qapalı dövrə üzrə aparılmaqla, tənzimləyicinin sazlama parametrlərinin tələb edilən keyfiyyət göstəricilərini ödəyən optimal qiymətlərinin hesablanmasından ibarətdir. Bu isə tənzim sistemlərinin sintezi zamanı təklif olunan metodikanın üstün cəhədlərindən biridir.

**Məsələnin həlli.** Təcrübənin aparılması zamanı obyektin girişinə müəyyən standart siqnal verilmişdir və bu zaman verilən siqnal elə seçilmiştir ki, texnoloji rejim öz buraxıla bilən həddindən kənara çıxmazın. Adətən hər hansı bir təcrübənin aparılması üçün maksimum bir saat kifayət edir. Obyektlərin identifikasiyası üçün aparılan təcrübələrin bir qismi qapalı dövrə üzrə aparılmışdır. Bu zaman tədqiq olunan obyektdə tənzimlənən parametrin tapşırıq giyməti buraxıla bilən hədd daxilində müəyyən qədər dəyişdirilmişdir və obyektin giriş və çıxış parametrləri müəyyən intervallarla ölçülərək qeyd olunmuşdur [4]. Təcrübənin sonunda isə bütün tənzimlənən parametrlər öz əvvəlki qiymətlərinə gətirilmişdirler.

- Ilkin olaraq sistemə qoşulmuş tənzimləyicinin sazlama parametrləri dəyişdirilir:  
 $W(p) = K_t, (T_{in} \rightarrow \infty, T_{dif} \rightarrow 0)$
- Idarəetmə obyektinin ötürmə funksiyası hesablanır.
- Müvafiq metodlardan birinin köməyi ilə tənzimləyicinin sazlama parametrlərinin tələb edilən keyfiyyət göstəricilərini ödəyən optimal qiymətləri hesablanır [5].

Aşağıdakı nümunədə, ELOU-AVT-2 qurğusunun K-2 rektifikasiya kalonunun yuxarısında temperaturun tənzimlənməsi üçün birdövrəli tənzim sisteminin sintezi məsələsinə baxılmışdır. Kalonun yuxarısında temperatur 2 tənzimləyicisi ilə tənzimlənir. Tənzimləyiciyə temperaturun cari qiyməti 1 vericisindən daxil olur. Tənzimləyicinin çıxış siqnalı isə suvarma xətti üzərində qoyulmuş 3 icra mexanizminə verilir. Qapalı tənzim sisteminə Pİ tənzimləyici qoşulmuşdur. İzdrom vaxtının bağlanılmasından sonra ( $T_{in} \rightarrow \infty$ ) texnoloji prosesdə tənzimləyicinin çıxış siqnalı  $u=59\%$ , kalonun yuxarısında temperatur (tənzimlənən parametr)  $y_0=120^{\circ}\text{S}$ , bu parametrin tapşırıq qiyməti isə  $x_{t0}=120^{\circ}\text{S}$  olmuşdur.



**Şəkil.** Kalonda temperaturun tənzimlənməsi sxemi və tənzimləmə prosesinin keçid prosesi əyrisi

Alınmış keçid prosesi əyrisi və temperaturun tənzimlənməsi sxemi şəkildə göstərilmişdir. Bu əyri əsasında ATS (avtomatik tənzimləmə sistemi)-ə qoşulmuş tənzimləyicinin sazlama parametrlərinin optimal qiymətlərinin hesablanması üçün genişləndirilmiş amplitud-faza tezlik xarakteristikasının köməyi ilə aparılan analitik metoddan istifadə olunmuşdur.

**Nəticə.** 2-tənzimləyicisinin tapşırıq qiymətinin təkan şəkilli artırılmasından sonra yeni qərarlaşmış rejimə aşağıdakı qiymətlər uyğun olmuşdur:

$$u_1 = 63\%, y_1 = 124,5^0 S, x_{m1} = 125^0 S$$

Hesabatdan alınmış nəticələr belə olmuşdur:

Qapalı sistemin ötürmə funksiyası:

$$W_{sis}^{gap}(p) = 0.86 \frac{0.134p + 1}{0.554p^2 + 1.173p + 1}$$

Tənzimləmə obyektiinin ötürmə funksiyası:

$$W_{ob}(p) = 2.93 \frac{0.134p + 1}{3.958p^2 + 7.553p + 1} e^{-0.45p}$$

Pİ tənzimləyicisinin sazlama parametrlərinin optimal qiymətləri:

$$K_p = 3.099; T_u = 2.226$$

Sistemə  $P$  tənzimləyici qoşmuş olsaq, onda bu tənzimləyicinin sazlama parametrinin optimal qiyməti

$$K_p = 4.436$$

olar.

Qeyd edək ki, bu tənzimləyicinin sazlama parametrlərinin alınmış optimal qiymətləri sönmə dərəcəsi 75% ( $m = 0.221$ ) olan hal üçün hesablanmışdır.

## REFERENCES

1. Nurullayev V.X., Seyfiyev F.Q. Neft məhsullarının qarışmasının təhlili və yanacaq resurslarının artırılmasının iqtisadi səmərəli yolları // «Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri», cild 8. №1. 2016. C.
2. Ivashhenko N.N. Avtomaticheskoe regulirovanie. Teoriya i elementy sistem / N.N. Ivashchenko. - M.: Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatelstvo mashinostroitelnoj i sudostroitelnoj literatury, 2015. - 630 c.  
Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем / Н.Н. Иващенко. - М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной и судостроительной литературы, 2015. - 630 с.
3. Voronov A. Elementy teorii avtomaticheskogo regulirovaniya. - M.: Voenizdat, 2015. - 472 c.  
Воронов А. Элементы теории автоматического регулирования. - М.: Воениздат, 2015. - 472 с.
4. Besekerskiy V.A., Popov E.P. Teoriya sistem avtomaticheskogo upravleniya. - M.: «Nauka», Glavnaya redakciya fiziko-matematicheskoy literatury, 2007.  
Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. - М.: «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 2007.
5. Kim D.P. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. Mnogomernye, nelinejnye, optimalnye i adaptivnye sistemy: Ucheb. posobie. T.2. - M.: Fizmatlit, 2009. – 64 s.  
Ким Д.П. Теория автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: Учеб. пособие. Т.2. - М.: Физматлит, 2009. – 64 с.

---

## ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ДЛЯ ОСНОВНЫХ АППАРАТОВ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

А.А. САФАРОВА

Одним из сложных и важных этапов проектирования автоматизированных систем управления является идентификация объектов управления. В статье рассматривается проблема идентификации как задача синтеза системы регулирования. Параметрический синтез системы регулирования осуществляется после нахождения передаточной функции объекта управления. Известно, что для синтеза таких систем объект необходимо идентифицировать по каналам управления и возмущения. Для того чтобы получить передаточную функцию любого объекта по какому-либо каналу, необходим сбор данных в системе с равными интервалами. Для решения этой задачи были проведены эксперименты по конкретному плану и получены приемлемые результаты.

**Ключевые слова:** идентификация, регулируемый параметр, передаточная функция, объект управления.

## ORGANIZATION OF EXPERIMENTS FOR THE MAIN APPARATUS OF OIL REFINING TECHNOLOGY COMPLEX

A.A. SAFAROVA

One of the complicated and important stages in the design of automated management systems is the identification of management objects. The article identifies the problem of identification as the simplification of the regulatory system. Parameterization synthesis of the regulatory system is performed after the control object is found. It is known that for the synthesis of such systems, the object must be identified in terms of managing and exciting effects channels. In order to receive the transfer function of any object on the channel, it is required to collect data in equal intervals in the system. In order to solve this problem, experiments on a specific plan were made and the results were obtained.

**Keywords:** identification, adjustable parameter, transfer function, control object.

УДК 517.983

## ЭКОНОФИЗИКА – НОВЕЙШИЙ МЕТОД МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЭКОНОМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНЦЕПЦИИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ<sup>\*</sup>

Р.Г. ВЕЛИЕВ<sup>\*\*</sup>, О.А. ДЫШИН<sup>\*\*</sup>, А.А. ДЖАНАХМЕДОВ<sup>\*\*</sup>

---

Дан анализ преимуществ применения законов эконофизики с использованием методов квантовой статистики, нелинейного осреднения и когерентных мер риска для описания фондовых и валютных рынков. Показаны возможности исследования поведения финансовых временных рядов на основе их фрактальных показателей, позволяющих рассматривать в качестве идеологической базы современной финансовой теории и финансового бизнеса концепцию фрактального рынка, альтернативную гипотезе эффективного и саморегулируемого рынка.

**Ключевые слова:** *конофизика, фрактальный рынок, биржевое время, индекс фрактальности, квантовая экономика.*

---

**Введение.** При рассмотрении одномерных мер риска измеряется риск одномерных случайных величин, имеющих смысл стоимости портфелей, выраженной в единицах некоторой базовой валюты. Такой подход оправдан в том случае, когда имеется базовая валюта, или в том случае, когда в конечный момент времени все финансовые позиции ликвидируются, т.е. превращаются в некоторое количество единиц базового актива. Однако такой подход неудобен, например, при описании портфеля, состоящего из нескольких валют, когда нет единой «канонической» валюты, к которой должен приводиться портфель. В таком случае гораздо естественнее пользоваться подходом, предложенным Ю.М. Кабановым [71-72], при котором портфель описывается не как число, а как вектор,  $i$  – я компонента которого имеет смысл количества единиц  $i$  – й валюты в портфеле.

Если описывать портфели как векторы, то возникает необходимость рассмотрения многомерных мер риска. Понятие многомерной когерентной меры риска было введено в работе Э.Жуни, М.Меддеба, Н.Тузи [73], а также было рассмотрено в работах [74, 75]. Их

---

\* Продолжение статьи. Начало – в № 1, Т.11, 2019.  
\*\* Азербайджанская инженерная академия

подход нацелен на то, чтобы учесть операционные издержки при обмене одной валюты на другую. Однако в их модели операционные издержки являются неслучайными. Таким образом, не учитывается риск, связанный с изменением обменных курсов, являющийся на сегодняшний день одним из важнейших финансовых рисков.

Понятие многомерных когерентных мер риска, учитывающее риск обменных курсов, введено в работе [75] и развито в [76]. В отличие от [73], матрица обменных курсов считается в [76] случайной. Помимо задачи измерения собственного риска портфеля, важной является задача распределения риска между несколькими частями портфеля (например, распределение риска портфеля большой фирмы между портфелями различных отделов этой фирмы). Задача распределения риска тесно связана с проблемой определения риска – вклада. Геометрическое решение этих задач для многомерных когерентных мер риска дано в работе [76]. Полученные результаты являются многомерными аналогами результатов из [76].

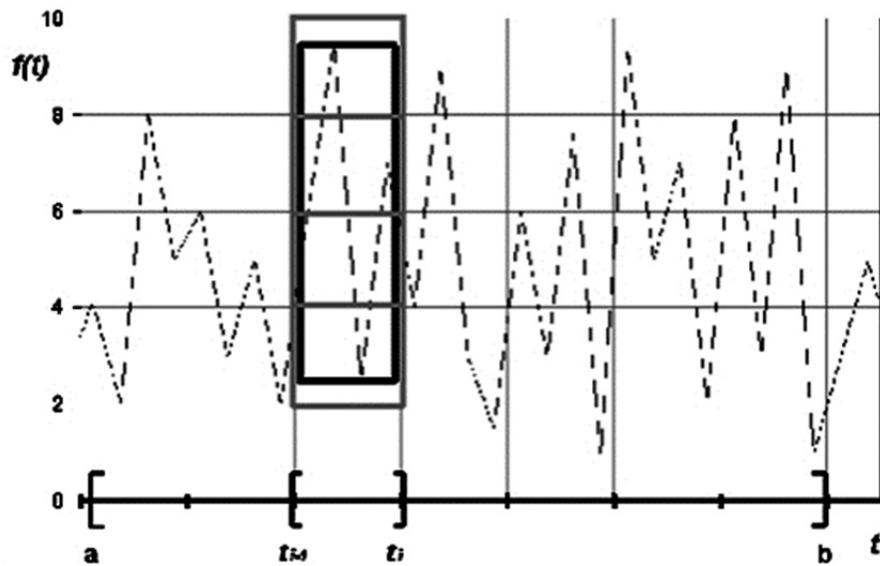
### **Фрактальный анализ финансовых временных рядов**

Начиная еще с 1950-х годов среди специалистов хорошо был известен тезис о том, что «*движения цен большинства финансовых инструментов на разных масштабах времени и цены внешне похожи. По внешнему виду графика наблюдатель не может сказать, относятся ли данные к недельным, дневным или часовым изменениям*» [77]. Указанное самоподобие на современном языке означает, что финансовые временные ряды являются *фракталами* [78]. Основной характеристикой таких структур, как известно, является фрактальная размерность Хаусдорфа–Безиковича  $D$  [79]. В случае хаотических временных рядов этот показатель определяет индекс Херста  $H$  ( $D = 2 - H$ , который является показателем персистентности (способности сохранять определенную тенденцию временного ряда. Однако для надежного вычисления  $D$  (а также  $H$ ) требуется слишком большой репрезентативный масштаб, что исключает возможность использования  $D$  в качестве показателя, определяющего локальную динамику временного ряда.

Простейший способ вычисления фрактальной структуры *хаотических временных рядов*, имеющих крайне нерегулярный характер поведения, основан на вычислении клеточной размерности  $D_M$  (размерности Минковского) [79]. Для нахождения  $D_M$  плоскость, на которой определен график временного ряда, разбивается на клетки размером  $\delta$ . Затем при различных  $\delta$  строится функция  $N(\delta)$ , равная числу клеток размера  $\delta$ , в которых содержится хотя бы одна точка графика. Размерность  $D_M$  определяется по углу наклона линии регрессии  $N(\delta)$  в двойном логарифмическом масштабе.

Известно, что в общем случае  $D_M \geq D$ , но очень часто выполняется равенство  $D_M = D$ .

Для определения локальной динамики в работе [80] вводятся новые фрактальные показатели: *размерность минимального покрытия*  $D_\mu$  и связанный с ней *индекс фрактальности*  $\mu$ . Для нахождения  $D_\mu$  график временного ряда покрывается прямоугольниками с основанием  $\delta$  таким образом, чтобы это покрытие было минимальным по площадке, см. рисунок 2 [80].



*Рис.2. Фрагмент клеточного (серый прямоугольник) и минимального (черный прямоугольник) покрытий графика фрактальной функции на отрезке  $[t_{i-1}, t_i]$ . Очевидно, что минимальное покрытие точнее клеточного.*

Тогда высота прямоугольника на отрезке  $[t_{i-1}, t_i]$ ,  $t_i < t_{i-1} = \delta$  ( $i = 1, \dots, m$ ) будет равна амплитуде  $A_i(\delta)$ , которая равна разности между максимальным и минимальным значениями функции  $f(x)$  на этом отрезке. где  $f(x)$  – функция, определяющая график исследуемого временного ряда. Введем величину

$$V_f(\delta) \equiv \sum_{i=1}^m A_i(\delta). \quad (13)$$

Полную площадь минимального покрытия  $S_\mu(\delta)$  можно записать в виде  $S_\mu(\delta) = V_j(\delta) \cdot \delta$ . Так как площадь аппроксимации покрытия прямоугольниками с основанием  $\delta$  при  $\delta \rightarrow 0$  удовлетворяет степенному закону

$$S(\delta) \sim \delta^{2-D} \text{ при } \delta \rightarrow 0,$$

то

$$V_j(\delta) \sim \delta^{-\mu} \text{ при } \delta \rightarrow 0, \quad (14)$$

где  $\mu = D_\mu - 1$  и  $D_\mu = D_M = D$ . Однако, несмотря на последнее равенство, для реальных фрактальных функций минимальные и клеточные покрытия могут давать различные приближения величины  $S(\delta)$  к асимптотическому режиму (13), причем это различие может быть весьма значительным. Величину  $\mu$  естественно называть *индексом фрактальности*.

Исследование поведения ценовых рядов акций, проведенное в работе [81] на основе базы данных с 1970 г. по 2002 г. тридцати компаний, входящих в индекс Доу–Джонс (Dow Jones Industrial Index DJI I). Показало, что быстрый выход величины  $V_f(\delta)$  на степенной асимптотический режим (13) позволяет вполне надежно вычислять индекс фрактальности  $\mu$  и на малых интервалах. Дальнейшие исследования показали, что степенной закон для функции  $V_f(\delta)$  выполняется с удивительной точностью на интервале масштабов времени от нескольких минут до нескольких лет. По этой причине репрезентативный масштаб, необходимый для определения размерности  $D_\mu$  и связанного с ней индекса фрактальности  $\mu$  с при-

емлемой точностью, содержит на два порядка меньше данных, чем масштаб для определения показателя Херста  $H$ . Это позволяет существенно продвинуться в решении двух основных задач анализа финансовых временных рядов – задачи идентификации и задачи прогноза.

### Концепция фрактального рынка

Базовой моделью финансового временных рядов является модель случайногоблуждания, которая впервые была построена Луисом Башелье [82] в 1900 г. (за пять лет до модели броуновского движения, предложенной Эйнштейном) и использована им для описания поведения цен акций на Парижской фондовой бирже. В результате переосмысления этой модели возникла концепция эффективного рынка (Effective Market Hypothesis, EMH), на котором цена в полной мере отражает всю доступную информацию. Для существования такого рынка достаточно предположить, что на нем действует большое число полностью информированных, рациональных агентов, имеющих однородные предпочтения, которые мгновенно корректируют цены, приводя их в состояние равновесия. Естественно, что основной моделью такого рынка является модель случайногоблуждания. Все основные результаты классической теории финансов (портфельная теория, модель САМР (Capital Asset Pricing Market), модель Блэка–Шоулза и др.) были получены в рамках именно такого подхода. В настоящее время концепция эффективного рынка все еще продолжает играть доминирующую роль и в финансовой теории, и в финансовом бизнесе [14].

Однако уже к началу 60-х годов прошлого века эмпирические исследования показали, что сильные изменения ряда доходностей происходят значительно чаще, чем следовало бы ожидать, исходя из нормального распределения, вследствие так называемой проблемы «толстых хвостов», причем такие изменения обычно следовали друг за другом, демонстрируя эффект кластеризации волатильности. Одним из первых, кто подверг всесторонней критике указанную концепцию, был Бенуа Мандельброт [23]. Действительно, если вычислить значение показателя Херста  $H = 1 - \mu$  для какой-либо акции, то это значение скорее всего будет отлично от значения  $H = 0,5$ , соответствующего модели случайногоблуждания.

В основе модели случайногоблуждания лежат два постулата. Во-первых, приращение цены (или логарифмов приращений цены, которые рассматривались в различных модификациях модели Башелье [84,85]; указанное различие не является существенным) на любом интервале времени имеют нормальное (гауссово) распределение, которое следует из центральной предельной теоремы как результат суммирования достаточно большого числа независимых случайных величин с конечной дисперсией. Во-вторых, эти приращения на непересекающихся интервалах являются статистически независимыми. Именно отказ от первого постулата при сохранении второго привел Мандельброта к рассмотрению случайногопроцесса, который он назвал *полетом Леви* (*Levi flight*) [83]. Отказ от второго постулата при сохранении первого привел его к введению понятия *обобщенного броуновского движения* (Fractional Brownian Motion) [86]. Поведение временного ряда, для которого  $H \neq 0,5$ , можно описать с помощью любого из этих процессов. При этом в качестве идеологической базы обычно, используют концепцию фрактального рынка (Fractal Market Hypothesis, FMH), которую принято рассматривать в качестве альтернативы EMH. Эта концепция предполагает, что на рынке имеется широкий спектр агентов с разными инвестиционными горизонтами и, следовательно, с разными предпочтениями. Эти горизонты изменяются от одной минуты для *внутридневных* трейдеров до нескольких лет для банков и корпораций. Устойчивым

положением равновесия на таком рынке является режим, при котором средняя доходность не зависит от масштаба, если не считать умножения на соответствующий масштабный коэффициент [83]. Поскольку указанный коэффициент имеет неопределенный степенной показатель

$$dP \sim (dt)^H. \quad (15)$$

( $dP$  – изменение цены, соответствующее интервалу времени  $dt$ ), то речь фактически идет о целом классе режимов, каждый из которых определяется своим значением показателя  $H$ . При этом значение  $H = 0,5$  оказывается вполне равноправным с любым другим значением  $0 < H < 1$ .

Близкие соображения стали поводом для серьезных сомнений (см, например, [87,88]) относительно существования действительного равновесия на фондовом рынке, а следовательно, и относительно обоснованности теории финансов.

Для финансовых временных рядов специалисты выделяют три типа локальных состояний: тренд (направленное движение вверх или вниз), флет (относительно стабильное состояние), случайное блуждание (промежуточное состояние между трендом и флетом). Для того чтобы соотнести значение индекса фрактальности  $\mu$  с состояниями финансового временного ряда, в [81] вводится функция  $\mu(t)$  как такое значение  $\mu$ , которое еще может быть вычислено с приемлемой точностью на минимальном, предшествующем  $t$  интервале  $\tau_\mu$ . В случае непрерывного аргумента  $t$  в качестве такого интервала можно было бы взять произвольно малый интервал. Однако поскольку на практике финансовый временный ряд всегда имеет минимальный масштаб (например, один день), то  $\tau_\mu$  имеет конечную длину.

На рис.3 [81] представлен типичный фрагмент ценового ряда для акций одной из компаний, входящих в индекс Доу – Джонса, вместе с вычисленной для этого фрагмента функцией  $\mu(t)$

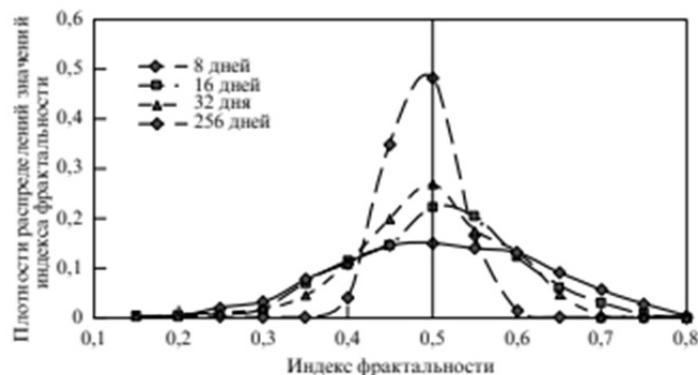


Рис.3. Ежедневные цены акций компании “Exxon Mobil Corporation” (японские свечи, правая шкала) и график функции  $\mu(t)$  (сплошная кривая, левая шкала)

Из рис.3 видно, что на интервале между 1-м и 39-м днем, где цены ведут себя относительно стабильно (флет),  $\mu(t) > 0,5$ . Далее одновременно с развитием тренда на графике

цен,  $\mu(t)$  резко падает до значений, меньших 0,3. Наконец, после 56-го дня, когда цены находятся в промежуточном состоянии между трендом и флэтом,  $\mu(t)$  возвращается к значению  $\mu \approx 0,5$ . Таким образом, исходный ряд оказывается тем стабильнее, чем больше  $\mu$ . При этом если  $\mu > 0,5$ , то наблюдается флэт, а если  $\mu < 0,5$ , то наблюдается тренд. Наконец, если  $\mu \approx 0,5$ , то ряд находится в состоянии случайного блуждания, которое является промежуточным между трендом и флэтом. Теоретическое обоснование указанной корреляции приведено, например, в [89].

Исследование функции  $\mu(t)$  на основе базы российских (входящих в индекс ММВБ) и американских (входящих в DJI) компаний вместе с соответствующими индексами за десять лет позволяет с очевидностью показать выделенность значения  $H=0,5$  [81]. На рис.4. [81] представлены типичные распределения вероятности значений индекса  $\mu$  для временного ряда одной из акций, входящих в DJI, на участках с различной длительностью (от 8 до 256 дней). Все распределения являются асимметричными. Это означает, что в среднем значение индекса фрактальности для этой акции на соответствующих интервалах отлично от значения  $\mu = 0,5$  (и, следовательно,  $H=0,5$ ). Однако, все указанные распределения имеют главную моду именно при  $\mu = 0,5$ .



*Рис.4. Распределение вероятностей значений индекса  $\mu$  для ряда дневных изменений цены акций компании "Ford" за период с 03.01.2000 г. по 30.11.2010г. (всего 2745 записей торговых дней, содержащих информацию о ценах открытия и закрытия, а также о максимальной и минимальной ценах за каждый день). Функция  $\mu(t)$  рассчитывалась по предшествующим интервалам, содержащим от 8 до 256 значений, затем строились эмпирические плотности распределения по значениям  $\mu$  в каждом случае*

В первом приближении общая картина, наблюдаемая во всех рядах, оказывается следующей. Функция  $\mu(t)$  совершает квазипериодические колебания около положения  $\mu = 0,5$  между значениями  $\mu < 0,5$  и  $\mu > 0,5$ . При этом временной ряд непрерывно изменяет свой режим, переходя из тренда через состояние случайного блуждания во флэт и обратно. Время от времени для каждого ряда появляются и исчезают состояния с относительно стабильными значениями  $\mu$  (см. рис.3). Среди таких состояний режим  $\mu = 0,5$  занимает явно привилегированное положение. Для каждого временного ряда он является самым длительным на всех интервалах, содержащих 8 и более точек. Неизменный характер указанных колебаний воспроизводится на всех масштабах, начиная от самых малых. При этом основным состоянием является именно случайное блуждание, которое остается главным режимом притяжения на всех масштабах.

При прогнозировании будущего поведения временного ряда особый интерес представляет задача определения ранних предвестников критического поведения ряда. Один из подходов к решению этой задачи состоит в следующем [81]. На основе (13) вводится средняя амплитуда  $A(\delta)$  по формуле

$$A(\delta) \equiv \langle A(\delta) \rangle = m^{-1} V_f(\delta) \quad (16)$$

Умножая (13) на  $m^{-1} \sim \delta$  и подставляя в (14), получим

$$A(\delta) \sim \delta^{H_\mu} \text{ при } \delta \rightarrow 0, \quad (17)$$

где  $H_\mu \equiv 1 - \mu$ . Сопоставляя  $H_\mu$  с рис.3, мы получаем подтверждение того, что этот индекс является показателем персистентности временного ряда и прямым обобщением показателя Херста для случая малых интервалов.

Степенная функция в (17) обладает особым свойством: чем медленнее она уменьшается (по сравнению с функцией с другим степенным показателем) при  $\delta \rightarrow 0$ , тем быстрее она возрастает при  $\delta \rightarrow \infty$ . Отсюда следует, что изменение режима системы, связанное с резким уменьшением  $\mu$  (увеличением показателя  $H_\mu$ ), приводит в дальнейшем к подавлению мелкомасштабных колебаний и одновременно к увеличению крупномасштабных колебаний ряда. Это означает, что *резкое уменьшение мелкомасштабных колебаний в настоящем при определенных условиях может стать предвестником сильных крупномасштабных колебаний в будущем*.

По существу, указанный эффект увеличения крупномасштабных колебаний при уменьшении мелкомасштабных означает, что тенденции в сложных системах (природных, социальных и технологических), формирующиеся очень медленно и незаметно, но имеющие повышенную неуклонность, со временем часто становятся глобальными, определяя основной вектор развития таких систем. Следует отметить, что данный эффект аналогичен явлению самоорганизованной критичности [90], а хорошо известный *эффект затишья* (подавление высокочастотной компоненты шума), который обычно предшествует природным катастрофам (например, землетрясениям), является частным проявлениями указанного эффекта.

Модель изменения цен (15) можно охарактеризовать как *унифрактальную* (монофрактальную), имеющую постоянный показатель Херста. Напротив, предложенную Б.Мандельбротом в работе [91] модель

$$P(t + dt) - P(t) \sim (dt)^{H(t)}, \quad (18)$$

где показатель  $H(t)$  непрерывно изменяется со временем и принимает *множество* значений, можно характеризовать как *мультифрактальность* с переменным показателем Херста.

В последующей работе [92] Мандельброт приходит к ключевой идеи: можно отказаться от выражения цены с помощью переменного показателя, основанного на обычном времени, которое показывают часы, а представить себе изменчивость с постоянным показателем, но в «биржевом времени», которое течет в очень неправильном ритме. Эта концепция совершенно законна, поскольку, как и большая часть человеческой деятельности, биржа не подчиняется времени, которое измеряют физические часы; совсем наоборот, ее активность постоянно то ускоряется («разогревается»), то замедляется («охлаждается»).

В вышеуказанной работе Мандельброт указывает на опрометчивость предложенного в [78] и первом издании книги [77] «наглядного» или «тактического» математического определения концепции фрактала: множество  $E$  фрактально, если два числа  $D_{HB}$  и  $D_T$ , которое можно сопоставить любому множеству, удовлетворяют неравенству

$$D_{HB} > D_T, \quad (19)$$

где  $D_{HB}$  – размерность Хаусдорфа–Безикова, и величина  $D_T$  представляет собой топологическую размерность  $D_T = 0,1,2,3$  для точки, прямой, квадрата и куба, соответственно.

Однако существенные недостатки этой концепции, ставшие вскоре явными, заставили Мандельброта отказаться во втором издании книги [77] от этого определения. Тем не менее его продолжают цитировать, а оно продолжает сбивать всех с толку.

По определению [92], некоторая функция  $y = f(x)$  обладает *диагональной самоаффинностью*, если ее редуцированная форма, полученная сжатием графика функции в отношении  $r_x$  по аргументу  $x$  и в каком – либо другом отношении  $r_y$  по  $y$ , будет полностью идентична (точно или только статистически) любой ее части, менее протяженной во времени. Такое аффинное преобразование называется диагональным, так как его матрица имеет только диагональные элементы, не равные между собой.

На основе этого определения, в [92] дается набросок моделей, образованных самоаффинными рекурсивными конструкциями. Используя интервалы, проекции которых равны  $x_m$  и  $y_m$ , можно всегда определить величину  $D_T$  как положительный корень следующего фундаментального порождающего уравнения

$$\sum_m |y_m|^{D_T} = 1. \quad (20)$$

Тогда рисунок, образованный  $x_m$  и  $y_m$ , должен будет ассоциировать с другим «укороченным» рисунком, образованным интервалами  $y_m$  и

$$x_m^* = |y_m|^{D_T}. \quad (21)$$

По самому своему построению эта модель будет унифрактальной с показателем

$$H_T = 1/D_T. \quad (22)$$

Время, на которое она ссылается, будет биржевым временем. Оно изменяется пропорционально  $x_m^*$ , тогда как обыкновенное время (время, которое показывают часы) изменяется пропорционально  $x_m$ . Выполнив рекурсивную интерполяцию, получаем, что биржевое время, если отсчитывать его в единицах обыкновенного времени, представляет собой функцию, которая будет не только возрастающей (что разумеется само собой), но и мультифрактальной с показателем

$$H_m = \log y_m / \log x_m. \quad (23)$$

Унифрактальность означает те случаи, когда все  $H_m$  идентичны, а мультифрактальность – противоположные случаи.

Таким образом, из вышеизложенного можно сделать следующий вывод: мультифрактальные модели могут быть представлены в виде унифрактальных моделей, изменяющихся в мультифрактальном биржевом времени с постоянным показателем Херста, определяемым формулой (22).

**Заключение.** Результаты теоретических и экспериментальных исследований показал, что увеличение крупномасштабных колебаний временных рядов при уменьшении мелкомасштабных в настоящем при определенных условиях может стать прекурсором (предвестником) сильных крупномасштабных колебаний в будущем. Частным проявлением этого эффекта является хорошо известный эффект затишья (подавление высокочастотной компоненты шума), который обычно предшествует природным катастрофам.

Полученные мультифрактальные модели могут быть представлены в виде унифрактальных моделей, изменяющихся в мультифрактальном биржевом времени с постоянным показателем Херста.

Получена новая модель поведения финансовых цен, в соответствии с которой мультифрактальные модели финансовых временных рядов могут быть представлены в виде унифрактальных моделей, изменяющихся в мультифрактальном биржевом времени.

## REFERENCES

71. **Kabanov Yu.M.** Hedging and liquidation under transaction costs in currency markets // Finance Stoch, 1999, v.3. №2, p.237-248.
72. **Kabanov Y.M., Sticker Ch.** The Harrison –Pliska arbitrage pricing theorem under transaction costs. /J.Math. Econom., 2001, v.35, №2, p.185-196.
73. **Jouini E., Meddev M., Touzi N.** Vector – valued ciherent risk measures // Finance Stoch., 2004, v.8, №4, p.531-552.
74. **Cascos I., Molchanov I.** Multivariate risks and depth – trimmed regions. // Finance Stoch, 2007, v.11, №3, p.373-397
75. **Hamel A.H., Heyde F., Höhne M.** Set-valued measures of risk. Preprint №15-2007. Halle: Martin Luther-Universität Halle – Wittenberg, Institut für Mathematik, 2007
76. **Kulikov A.V.** Mnogomernye kogerentnye i vypuklye mery riska // Teoriya verojatnosti i ee primeneniya, 2007, t.52, vyp.4.c.685-710.  
**Куликов А.В.** Многомерные когерентные и выпуклые меры риска // Теория вероятности и ее применения, 2007, т.52, вып.4.с.685-710.
77. **Mandelbrot B.B.** The Fractal Geometry of Nature (San Francisco: W.H. Freeman 1982)
78. **Mandelbrot B.** Les objects fractals (Paris: Flammarion, 1975) [Fractals (San Francisco: W.H.Freeman, 1977)].
79. **Kronover R.M.** Fraktaly i haos v dinamicheskikh sistemah. Osnovy teorii. – M.:Postmarket, 2000.-352s.  
**Кроновер Р.М.** Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. – М.:Постмаркет, 2000.-352c.
80. **Starchenko N.V.** Indeks fraktalnosti i lokalnyj analiz haoticheskikh vremennyh ryadov. Dis.na soisk. Uch. Step.kand. fiz.-mat. Nauk. – Moskva: Moskovskij inzhenerno-fizicheskij institut (gosudarstvennyj universitet), 2005.  
Старченко Н.В. Индекс фрактальности и локальный анализ хаотических временных рядов. Дис.на соиск. Уч. Степ.канд. физ.-мат. Наук. – Москва: Московский инженерно-физический институт (государственный университет), 2005
81. **Dubovikov M.M., Starchenko N.V.** Ekonofizika i fraktalnyj analiz finansovyh vremennyh ryadov // Uspehi fizicheskikh nauk, 2011, t.181, №7, s.779-786.  
Дубовиков М.М., Старченко Н.В. Эконофизика и фрактальный анализ финансовых временных рядов // Успехи физических наук, 2011, т.181, №7, с.779-786.
82. Bachelier L/ in the Random Character of Stock Market Prices (Ed. P.H. Cootner) (Cambridge, Mass: M.I.T. Press. 1964) p.17.
83. Mandelbrot B.J. The variation of certain speculative prices // Business 36 394 (1963)
84. **Kendal M.G.R.** // Statistical Soc. 96 11 (1953)
85. **Samuelson P.A.** Industrial Management Rev. 6 (13) 1965
86. **Mandelbrot B.B., Van Ness J.W.** // SIAM Rev. 10 422 (1968).
87. **Shiryayev A.N.** // Obozrenie priklad. i promysh. mat, 1 780 (1994)

- Ширяев А.Н. // Обозрение приклад. и промышл. мат, 1 780 (1994)
88. Polterovich V.M. // Ekonomicheskaya nauka sovremennoj Rossii (1) 46 (1998)  
Полтерович В.М. // Экономическая наука современной России (1) 46 (1998)
89. Dubovikov M.M., Starchenko N.S., Dubovikov M.S. Dimension of the minimal cover and fractal analysis of time series // Physica. 2004. A 339. P. 591 – 608.
90. Bak P., Tang C., Wiesenfeld K. Self – organized critically: An explanation of 1/f noise // Phys. Rev. Lett. 1987, v.59
91. Mandelbrot B.B. (1972). Correction of an error in “The variation of certain speculative prices (Mandelbrot, 1963. Journal of Business) 40, 542-543.
92. Mandelbrot B.B. Fraktaly, sluchaj i finansy (1959-1977) – Moskva-Izhevsk, 2004, 256 c. (Benoit Mandelbrot Fractales, Hasard et Finance (1959-1977), Flammarion, 1997).  
Мандельброт Б.Б. Фракталы, случай и финансы (1959-1977) – Москва-Ижевск, 2004, 256 c.

---

## EKONOFİZİKA – STATİSTİK FİZİKANIN KONSEPSİYASININ TƏTBİQİ İLƏ RİYAZİ İQTİSADİYYATIN YENİ METODU

R.G. VƏLİYEV, O.A. DIŞİN, A.Ə. CANƏHMƏDOV

Fond və valyuta bazarlarının təsviri üçün kvant statistikası, orta qeyri xətti və riskin koherent dərəcəsi metodlarından istifadəsi ilə ekonofizika qanunlarının tətbiqinin üstünlüğünün analizi verilib. Səmərəli və özü nizamlanan bazarın fərziyyəsinə alternativ müasir maliyyə nəzəriyyəsinin ideoloji bazası və maliyyə biznesi kimi fraktal bazarın konsepsiyasını araşdırmağa imkan verən fraktal göstəricilər əsasında maliyyə müvəqqəti sıraların xasiyyətinin tədqiqinin imkanları göstərilib.

*Açar sözlər:* ekonofizika, fraktal bazar, birja vaxtı, fraktal indeksi, kvant iqtisadiyyatı.

## ECONOPHYSICS – THE NEWEST METHOD OF MATHEMATICAL ECONOMY WITH USE OF CONCEPTS OF STATISTICAL PHYSICS

R.Q. VELIEV, O.A. DYSHIN, A.A. JANAHMADOV

The analysis of advantages of application of laws of econophysics with use of methods of quantum statistics, nonlinear averaging and coherent measures of risk for the description of the stock and foreign exchange markets is given. Possibilities of a research in the behavior of financial temporary ranks on the basis of their fractal indicators, allowing to consider the concept of the fractal market alternative to a hypothesis of the effective and self-regulating market as ideological base of the modern financial theory and the financial business, are shown.

*Keywords:* econophysics, fractal market, exchange time, index of fractality, quantum economy.

---

**УДК 351.82**

## **К ВОПРОСУ О ПРАВОВОМ РЕГУЛИРОВАНИИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛИЗАЦИИ ТОВАРОВ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ**

Р.А. ИСМАЙЛОВА\*

---

Рассмотрено использование товарных знаков и географических указаний как средств индивидуализации товаров и их различительных особенностей. Представлен анализ правомерности зарегистрированных географических указаний в свете их определения, данного в законе Азербайджанской Республики «О товарных знаках и географических указаниях».

**Ключевые слова:** интеллектуальная собственность, средства индивидуализации товара, товарный знак, географические указания.

---

**Введение.** Жесткая конкуренция за мировой рынок сбыта товаров предполагает обеспечение их конкурентоспособности. По модели американского ученого Джерома Маккарти, на конкурентоспособность влияют четыре фактора: продукт, цена, каналы распространения и продвижение. По мнению специалистов, не менее важным фактором является узнаваемость товара или услуг [1]. В этой связи повысился интерес к использованию средств индивидуализации товаров, в частности тех, репутация которых связана с их особым качеством, что обязывает национальное законодательство вводить принятые в мировой практике обозначения. Регистрация товарных знаков и географических указаний должна стать защитой интересов отечественных производителей, которые могут претендовать на нее.

**Постановка задачи.** Принятый закон Азербайджанской Республики «О товарных знаках и географических указаниях» регулирует регистрацию, правовую защиту и использование товарных знаков и географических указаний. Несмотря на то, что правовая охрана этих двух различительных объектов интеллектуальной собственности (ИС) объединена одним законом, следует различать как их идентифицирующую составляющую, так и границы права на них.

Товарный знак, хотя и является обозначением для отличия товара одного производителя от соответствующего товара другого производителя, служит для идентификации предприятий, поставляющих на рынок этот товар. При этом правообладатель наделен исключи-

---

\* Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

тельным правом, запрещающим другим предприятиям использовать зарегистрированный товарный знак [2].

Географическое указание идентифицирует товар и привязано к географической местности, где он произведен. Производить один и тот же товар могут одновременно несколько предприятий, находящихся в той же географической местности.

Правовая охрана товарного знака как объекта ИС существует со дня принятия первых международных конвенций и соглашений, без изменения его понятия. Термин «географические указания» в международной практике появился относительно недавно, тогда как в Парижской конвенции по охране промышленной собственности 1883 г. среди объектов индивидуализации товара были «указания происхождения» и «наименования мест происхождения». Постановление Европейского Совета от 14 июля 1992 г. регулирует охрану географических указаний и наименований мест происхождения сельскохозяйственной продукции и продовольственных товаров. Женевский акт Лиссабонского соглашения, принятый 20 мая 2015 г., предусматривает правовую охрану географического указания, устанавливающего связь определенного качества товара с его географическим происхождением [2].

Использованное в законе Азербайджанской Республики «О товарных знаках и географических указаниях» определение географического указания полностью согласуется с его определением в Соглашении по торговым аспектам интеллектуальной собственности (ТРИПС), принятом в 1994 г.

Представляется интересным проанализировать процесс регистрации географического указания в свете его определения в законе «О товарных знаках и географических указаниях».

**Обсуждение.** Закон Азербайджанской Республики «О товарных знаках и географических указаниях» был принят в 1998 г., однако только 28.12.2010 г. было зарегистрировано первое географическое указание. На сегодняшний день в Азербайджане проведена регистрация 35 географических указаний, 3 из них – минеральные воды России «ЕСЕНТУКИ», «ЕСЕНТУКИ-14», «ЕСЕНТУКИ-17», 1 – итальянский сыр «PARMIGIANO REGGIANO», 6 – грузинские вина «АХАШЕНИ», «КИНДЗМАРАУНИ», «МУКУЗАНИ», «ТВИШИ», «ХВАНЧКАРА», «ЦИНАНДАЛИ», остальные географические указания – на имя местных предпринимателей.

Согласно статьи 1 главы 1 закона Азербайджанской Республики географическое указание – это обозначение, указывающее на связь происхождения товара с определенным географическим объектом и связывающее особое качество и другие качества товара с его географическим происхождением [4].

В мировой практике географические указания используют для обозначения сельскохозяйственных продуктов, продуктов питания, вин и крепких напитков, ремесленных и промышленных изделий. Несмотря на то, что в рассматриваемом законе не оговорены товары, которые могут быть обозначены географическим указанием, однозначно указано на их предназначение для обозначения **товара**.

Как известно, под товаром в широком смысле понимается материальная или нематериальная собственность, реализуемая на рынке и составляющая объем сделок в рыночных отношениях между продавцом и покупателем.

В этой связи обращают на себя внимание географические указания, внесенные в реестр №№ С 20170003 - С 20170012 под названием «Lənkaran limon dolması», «Qax quru dolma», «Bakı ağ şanı dolması», «Abşeron zeytun dolması», «Kəngərli qırı dolması», «Qələbə qoz dolması», «Quba alma dolması», «Salyan balıq dolması», «İsmayıllı pip dolması», «Ordubad gura dolması». В качестве заявителя выступила Ассоциация национальной кулинарии Азербайджана.

Азербайджанская кухня принадлежит к одной из самых интересных кухонь мира, рецепты азербайджанской кухни вошли в меню международных кухонь. Несомненно, заслуживает уважения стремление Ассоциации национальной кулинарии Азербайджана защитить приоритет нашего народа на традиционные кулинарные рецепты и сохранить их для будущего поколения. Действительно, у кулинарных рецептов существует географическая локализация, указывающая на связь с определенным географическим объектом, и, без сомнения, особые качества каждого блюда связаны с его географическим происхождением. Однако отсутствие как такового объекта рыночных отношений – товара – не позволяет отнести кулинарные рецепты к обозначению «географические указания». В данном случае для информирования общества о традиционных рецептах азербайджанской кухни целесообразно подготовить иллюстрированный альбом «Azərbaycan dolması», включающий все рецепты этого блюда, и защитить его издание **свидетельством об авторском праве**. Таким образом, будет осуществлена «косвенная защита» кулинарных рецептов. Огромные возможности для информирования общества предоставляют интернет-ресурсы, а также гастрономические туры.

Другое дело, когда кулинарный рецепт использован при изготовлении конкретного товара как в случае шекинской пахлавы, являющейся исключительным образцом азербайджанской кухни. Эту орехово-медовую сладость практически невозможно приготовить в домашних условиях, детали рецепта держатся в секрете и передаются из поколения в поколение. Обозначение товара «Шекинская пахлава» должно занять свое достойное место в реестре географических указаний.

Хотелось бы остановиться на географических указаниях № С 20110003 и № С 20110004, зарегистрированных под одним и тем же названием «DUZDAĞ». Первое относится к экологически чистой, не содержащей тяжелые металлы пищевой соли, добываемой из рудников горы Дуздаг, расположенной в 12 км от г. Нахичевань. Второе географическое указание зарегистрировано для медицинских услуг, оказываемых в физиотерапевтической подземной лечебнице, расположенной в этой же горе. Не могут быть два объекта зарегистрированы под одним и тем же названием. Регистрация данного обозначения для пищевой соли оправдана, поскольку объект представляет собой товар. Трудно представить, насколько в мировом масштабе название данной горы даст представление о происхождении товара. Если учесть, что под географическим объектом понимается какая-либо территория с официальными границами (страна, регион, населенный пункт, местность и т. д.), то правильней было бы назвать географическое указание как «NAXÇIVAN DUZDAĞ». Повторная реги-

страгия обозначения «DUZDAĞ» для медицинских услуг, вероятно, обусловлена неправильной трактовкой статьи 8 закона, указывающей на возможность использования географического указания как характерного **элемента** товара или услуги. Принимая во внимание, что лечение производится в соляных пещерах того же происхождения, географическое указание «DUZDAĞ» не будут вводить в заблуждение желающих воспользоваться уникальными лечебными свойствами при лечении астмы, аллергии, бронхита. Без повторной регистрации оно может быть использовано для наименования санатория, расположенного вблизи него отеля, для рекламных проспектов, роликов и прочего.

Вызывает восхищение регистрация географических указаний под названием «Baskal kələğayı YALXI İSPİRƏK», «Baskal kələğayı DUVAG», «Baskal kələğayı HEYRARI», «Baskal kələğayı -7 rəng», «Baskal kələğayı Abbasali» (№№ С 201019/01 – С 20160007-023/01). Предметом регистрации этих географических указаний являются кялагай – национальный традиционный женский головной платок, снискавший свою известность и репутацию рынка благодаря своему качеству. Весом 125 г, он легко проходит через отверстие обручального кольца. Заявителем выступила фирма «Джахангир-Т», производящая кялагай в селении Баскал Исмаиллинского района Азербайджана.

Не менее значима регистрация географических указаний для обозначения ковров под названием “İrəvan qrupu İrəvan şəhər xalçası”, “İrəvan qrupu Əştərik xalçası“, “İrəvan qrupu Zəngəzur xalçası” (№№ С 20150002 - 2015004). Оригинальный орнамент, тонкость узоров, насыщенность цветов, большая плотность узлов и другие качества прославили азербайджанские ковры на весь мир. В настоящее время по художественно-техническим особенностям выделяют семь признанных ковровых школ Азербайджана, каждая из которых должна по праву занять свое место в реестре географических указаний.

Азербайджан богат традициями, среди которых важное место занимают народные ремесла и декоративно-прикладное искусство. Среди них можно отметить гончарное дело, плетение циновок, корзин, изготовление расписных сундуков, тамбурную вышивку и т.п. Возросший интерес к нашей стране в последнее время способствует притоку туристов, которые стремятся приобрести памятную вещь, сувенир, изделия народного промысла и другие товары. Это обязывает нас активизировать работу по обеспечению правовой охраны товаров, наделенных особыми свойствами, с помощью географических указаний регионов, а также защитить права предпринимателей от недобросовестной конкуренции.

Азербайджанскому Государственному Агентству по интеллектуальной собственности совместно с инициативной группой следует оказывать помощь предпринимателям для выявления продукции, подлежащей охране с помощью географических указаний.

**Заключение.** Использование географических указаний позволит региональным товаропроизводителям укрепить свои позиции как на рынках нашей страны, так и на внешнем рынке, благотворно скажется на экономическом развитии каждого региона, а также защитит права предпринимателей от недобросовестной конкуренции.

Стратегическим направлением должно стать заключение двусторонних и многосторонних договоров о взаимном признании регистрации географических указаний, а также присоединение к международным договорам по охране средств индивидуализации товара.

## REFERENCES

1. **Markova O.N.** Analiz konkurentosposobnosti avtotransportnyh predpriatij s ispolzovaniem metoda 7R // Vestnik Azerbaijanskoy inzhenernoy akademii. T.11, №1, 2019. S.102-110.  
**Маркова О.Н.** Анализ конкурентоспособности автотранспортных предприятий с использованием метода 7Р // Вестник Азербайджанской инженерной академии. Т.11, №1, 2019. С.102-110.
2. **Gorlenko S.A.** Tovarnyj znak i naimenovanija mesta proishozhdenija tovara: shodstva i razlichija // Patenty i licenzii. – M., 2003, №12. - S.11-16.  
**Горленко С.А.** Товарный знак и наименования места происхождения товара: сходства и различия // Патенты и лицензии. – М., 2003, №12. - С.11-16.
3. **Sokolova M.N.** Pravovye problemy ohrany sredstv individualizacii tovarov, soderzhashhih geograficheskie oboznachenija. Avtoref. dis. kand. jurid. nauk. - M., 2002. - 28 s.  
**Соколова М.Н.** Правовые проблемы охраны средств индивидуализации товаров, содержащих географические обозначения. Автореф. дис. канд. юрид. наук. - М., 2002. - 28 с.
4. “Əmtəə nişanları və coğrafi göstəricilər” haqqında Azərbaycan Respublikasının qanunu.

---

## AZƏRBAYCANDA MƏHSULLARIN FƏRDİLƏŞDİRİMƏ VASİTƏLƏRİNİN HÜQUQI TƏNZİMLƏNMƏSİ BARƏDƏ MƏSƏLƏLƏRƏ

R.A. İSMAYILOVA

Məhsulların fərdiləşdirilməsi vasitəsi və onların fərqləndirici xüsusiyyəti kimi əmtəə nişanları və coğrafi göstərişlərin istifadəsi nəzərdən keçirilmişdir. Azərbaycan Respublikasının “Əmtəə nişanları və coğrafi göstəricilər haqqında” qanununda göstərilmiş onların təyini zamanı qeydə alınmış coğrafi göstəricilərin doğruluq analizi təqdim edilmişdir.

*Açar sözlər: əqli mülkiyyət, məhsulların fərdiləşdirmə vasitələri, əmtəə nişanı, coğrafi göstəriş.*

## ABOUT LEGAL REGULATION OF GOODS INDIVIDUALIZATION MEANS IN AZERBAIJAN

R. A. ISMAYILOVA

In article discussed the usage of trademarks and geographical indications as means of individualization and their distinctive ability. Presented analysis of the legality of registered geographical indications in their definitions given in “On Trademarks and Geographical Indications” law of Azerbaijan Republic.

*Keywords: Intellectual property, means of individualization of goods, trademark, geographical indications.*

---

UDK 551.501:551.507.362

## **QLOBAL İQLİMİN ÇOXİLLİK DƏYİŞMƏLƏRİNİN MÖVSÜMİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ VƏ ONLARIN SƏBƏBLƏRİ**

Ş.Ə. ƏHMƏDOV\*, M.Ş. ƏHMƏDOVA \*\*

Məqalədə müxtəlif məkan-zaman miqyaslarında iqlim tədqiqatlarının nəticələrinin təvsiri məsələlərinə baxılmışdır. Əsas diqqət, parnik qazlarının və aerozolların Şimal və Cənub yarımkürələrində temperatur dəyişməsinin fəsli xüsusiyyətlərinin formallaşmasındaki roluna verilir.

*Açar sözlər: parnuk qazları, aerozollar, iqlim dəyişmələri, fəsli xüsusiyyətlər.*

**Ümumi müddəalar.** Çox sayılı tədqiqat işləri [1-3, 5-9] göstərir ki, iqlimin qlobal və regional dəyişmələrinin mümkün xarici və daxili səbəbləri atmosferin qaz və aerozol tərkibinin, günəş sabitinin, Yerin fırınma sürətinin, atmosfer və okeanın ümumi sirkulyasiyاسının, okean və atmosferin qarşılıqlı əlaqəsinin dəyişmələri [10], həmçinin iqlim sistemində düzünə və əks əlaqələrdir. Müasir iqlim dəyişmələrinin ən aktual məsələləri, 2010-cu il Kiyev şəhərində “İqlimin qlobal və regional dəyişmələri” adı altında keçirilən Beynəlxalq konfransda müzakirə edilmişdir [4]. Konfransda 14 ölkənin 150 tanınmış alimi iştirak edirdi.

İqlimin orta aylıq və mövsümi xarakteristikaları, həmçinin temperaturun sutkalıq və illik gedişinin dəyişməsinin amplitudu üzərində aparılan analiz, qlobal və regional iqlim dəyişmələrinin ən “incə” xüsusiyyətlərini üzə çıxartdı [6, 7]. Bu isə öz növbəsində belə dəyişmələrin mümkün səbəblərini müəyyən dərəcədə başa düşməyə imkan verir.

Karbon qazının miqdarının iki dəfə artmasını nəzərə almaqla iqlim modelləri, temperaturun qlobal illik amplitudunun azalmasını göstərir [8]. Eyni zamanda, atmosferin aerozollardan təmizlənməsi yay aylarında temperaturun qalxmasına və nəticə olaraq, temperaturun illik amplitudunun artmasına gətirib çıxartmalıdır.

Əksər tədqiqatlarda müasir istiləşmə, ən azı onun trend komponenti, atmosferdəki parnik qazlarının mənbə və axınlarının, insanın təsərrüfat fəaliyyəti nəticəsində dəyişməsi ilə əlaqələndirilir [8].

\* AzTU, Beynəlxalq Ekologiya və Həyat Fəaliyyətinin Təhlükəsizliyi Akademiyası  
\*\* AMEA, H.Əliyev adına Coğrafiya İnstitutu

Məlum olduğu kimi [4-8] təbii və antropogen mənşəli aerozollar iqlim sisteminin radiasiya rejiminə isti mövsümdə, xüsusilə yayda təsir edirlər.

Qeyd olunan tədqiqat işlərini təhlil edib, aerozolların məlum olan mövsümi xüsusiyətlərini nəzərə alaraq, son 130 il müddətində elə dövrlər seçilmişdir ki, atmosferin aerosol çirkənməsi minimal olsun. Üç belə dövr ayrılmışdır: 1881-1901, 1924-1945 və 1996-2012 illər. Atmosferin maksimal aerosol çirkənməsi 1962-1995 dövründə müşahidə edilmişdir (cədv.).

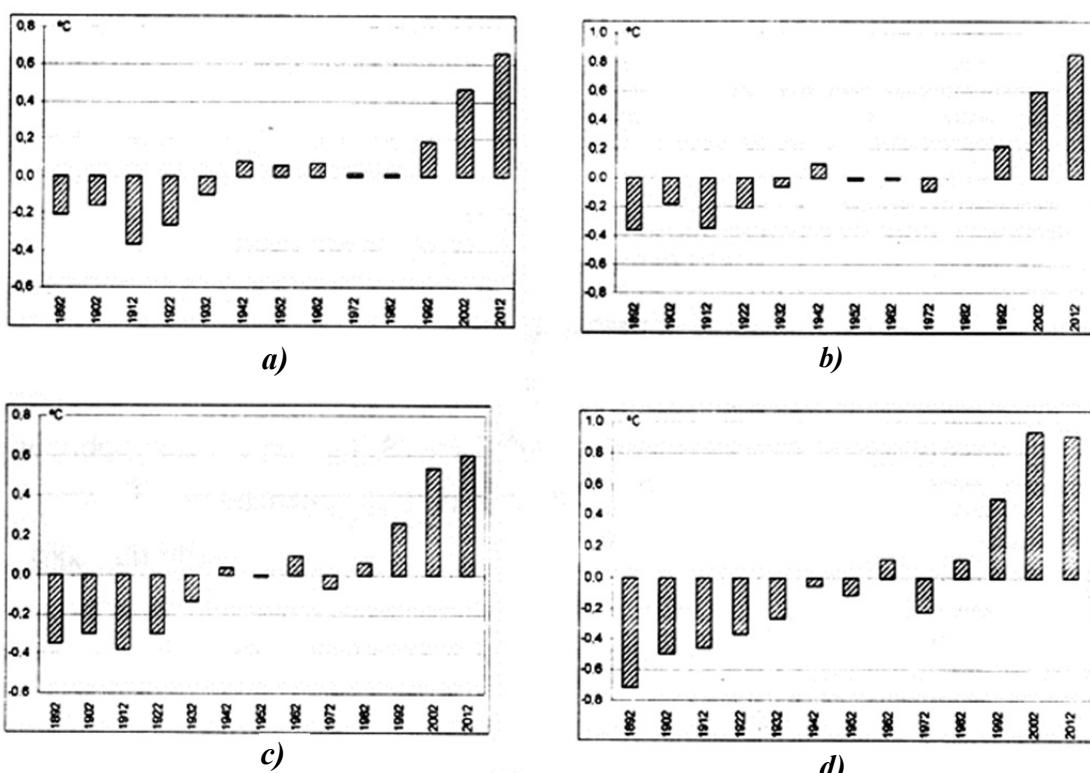
**Əsas materialın təqdimatı.** Ayrılmış dövrlər üçün (cədv.) temperatur anomaliyalarının dəyişməsinə baxmamışdan əvvəl, 1883-cü ildən 2012-ci illərə kimi ardıcıl olaraq hər onilliklər üçün Şimal yarımkürəsində yay və qışda və bütövlükdə Şimal yarımkürəsində temperatur anomaliyalarının xarakterini təhlil edək.

#### Cədvəl

##### Aerozolların və karbon qazının iqlimə radiasiya təsirinin indeks qiymətləri

Göstəricilər	Atmosferin aşağı və yüksək çirkənmə dövrləri			
	1881-1901	1924-1945	1996-2012	1962-1995
Aerozolların radiasiya təsirinin indeksləri, $Vt/m^2$ (1881-2010 –cu illər üçün norma $-0,33 Vt/m^2$ )	-0,26	-0,14	-0,21	-0,59
Karbon qazının radiasiya təsirinin indeksi, $Vt/m^2$	0,09	0,30	1,50	0,79
Karbon qazının və aerozolların iqlimə radiasiya təsirinin fərqi	-0,17*	+0,16	+1,29	+0,20

\* Aerozolların radiasiya təsirinin rolü, karbon qazının radiasiya təsirinin rolundan böyük idi.



**Şəkil 1.** Şimal yarımkürəsi üçün bütönlükdə (sol) və Şimal yarımkürəsinin quru hissəsi üçün (sağ) onilliklər üzrə yayda (a, b) və qışda (c, d) temperatur anomaliyaları.

Şək.1-dən göründüyü kimi yuxarıda qeyd olunan dövr üçün qışda temperaturun mənfi anomaliyaları ilk 40 ildə və son 30 ildə maksimum qiymət almışdır. Lakin, son onilliklərdə (2003-2012 illər) temperaturun anomaliya kəmiyyətləri qışda və yayda uyğun olmuşlar. Quruda isə temperaturun anomaliya qiymətləri yayda qısa nisbətən hətta böyük idilər. Yayda ilk qırx illikdə temperaturun mənfi anomaliyaları qısa nəzərən əhəmiyyətli dərəcədə az olmuşdur. 30-cu və 40-cı illərdə isə temperaturun müsbət anomaliyaları yayda əksinə, qısa nəzərən yüksək idi.

1963-dən 1982-ci illərə kimi olan zaman kəsiyi özünün müəyyən mənfi və ya müsbət temperatur anomaliyaları ilə fərqlənir. Ancaq növbəti onillikdə (1983-1992-ci illər) yayda və qışda temperaturun müsbət anomaliyalarının orta qiymətləri müşahidə olunmuşdur. Əvvəllər qeyd olunmuşdur ki, 1963-dən 1992-ci illərin dövrünə kimi karbon qazının və aerozolların iqlimə orta radiasiya təsiri, işarə cəhətdən əks olsa da, qiymətcə yaxın olmuşdur ( $0,65 \text{ Vt/m}^2$  yaxın) [9].

Baxılan dövr üçün, karbon qazının və aerozolların radiasiya təsirinin dəyişməsinin müqayisəli qiymətləndirilməsi üçün radiasiya təsirinin uyğun indekslərindən istifadə olunmuşdur [9]. Şəkil 2-də karbon qazının və aerozolların onilliklər üzrə (a) və seçilmiş dövr (b) üçün cəm radiasiya təsirinin diaqramları verilmişdir. Bütünlüklə, cəm radiasiya təsirinin gedişatı son 40 ildə artım ilə xarakterizə olunur. Bu isə atmosferdə karbon qazının artmasına uyğun gəlir (şək.2a). Lakin, ayrı-ayrı dövrlərdə (1924-1945-ci illər) atmosferin aerozollarla azacıq cirkənmə xüsusiyyətləri üzə çıxır.

130 ildən artıq dövr üçün atmosferdə temperaturun, karbon qazının və aerozolların çoxillik dəyişmə xüsusiyyətlərinə baxaq.

#### **Aşağı temperaturlar dövrü (1881-1922-ci illər).**

Bu dövrdə qışda temperaturun mənfi anomaliya qiymətləri, yay fəslindəki temperaturun anomaliya qiymətlərindən təqribən 1,5 dəfə çox olmuşdur. Bu dövrün son hissəsi daha çox atmosferin aerozollarla cirkənməsi ilə xarakterizə olunduğu halda,  $\text{CO}_2$ -nin miqdarı az olmuşdur. Karbon qazının miqdarının aşağı olduğu dövrə aşağı qış temperaturları uyğun gəlməlidir.

#### **Yüksək yay temperaturlar dövrü (1924-1945-ci illər).**

Yay temperaturlarının anomaliyalarının, qış temperaturlarının anomaliyalarından yüksək olmuşdur. Bu ən “təmiz” atmosfer dövrü idi. Aerozolların miqdarı minimal qiymətlər almışdır (indeks  $A=-0,14 \text{ Vt/m}^2$ ). Temperaturun dəyişməsində karbon qazının radiasiya təsirinin rolu çox olmayıb, aerozolun rolu ilə bir səviyyədə olmuşdur.

#### **Yay və qış temperaturlarının azacıq anomaliya dövrü (1960-1980-ci illər).**

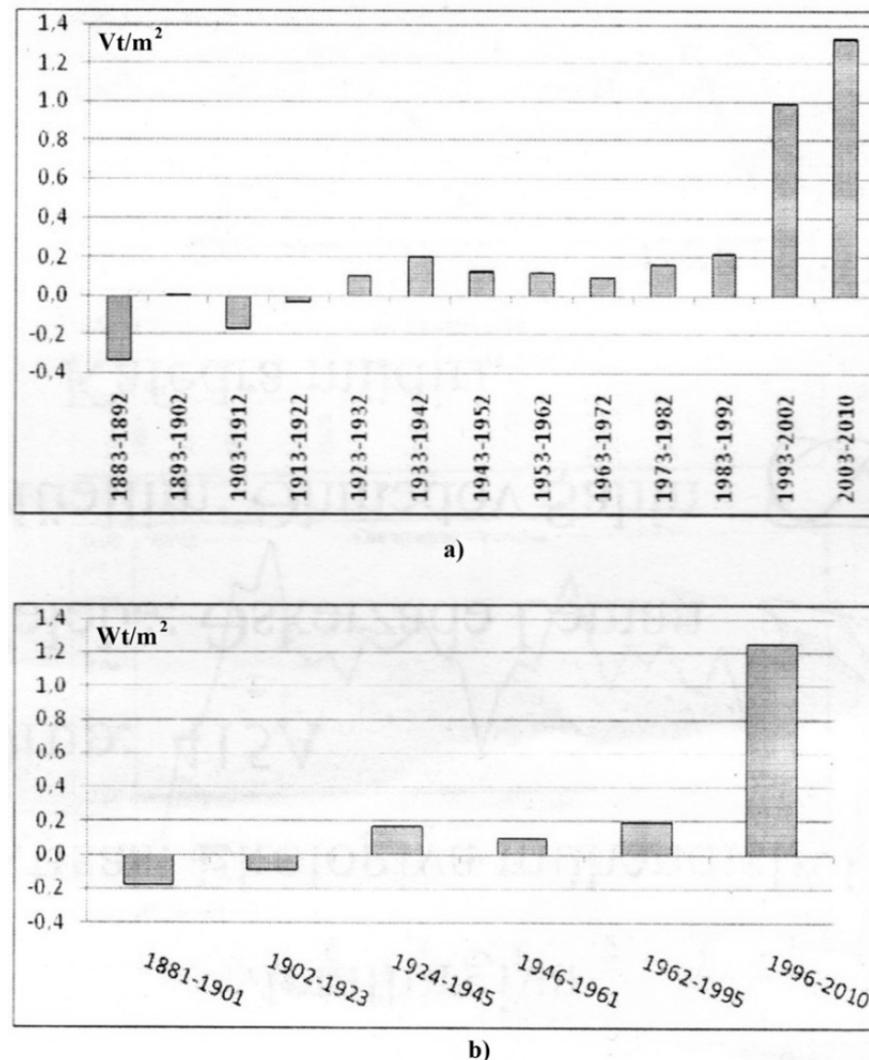
Temperaturun dəyişməsində karbon qazının və aerozolların rolu eyni dərəcədə olmuşdur.

#### **Yay və xücsüslə də qış temperaturlarının yüksək anomaliya dövrü (1983-2012-ci illər).**

Bu elə bir dövr idi ki, karbon qazının rolu, aerozolların rolunu əhəmiyyətli dərəcədə üstələyirdi ( $1 \text{ Vt/m}^2$ -dan çox). Bu dövrdə qış temperaturları daha çox artmalı idilər.

Məlumdur ki, iqlimin parnik istiləşməsi nəzəriyyəsi nöqtəyi-nəzərinə yanaşsaq, temperaturun yüksəlməsi daha çox yuxarı enliklərdə olmalıdır. Bu, albedo əks əlaqənin rolu və yer səthi yaxınlığında soyumanın yaratdığı güclü qravitasiya sabitliyinin təsiri ilə əlaqədardır.

Yuxarıda qeyd etdiklərimizi nəzərə alaraq söyləmək olar ki, əgər iqlimin müasir istiləşməsi parnik təbiətlidirsə, onda o, özünü daha çox ilin soyuq fəslində yuxarı enliklərdə bürüzə verməlidir. Lakin, daha tez-tez kontinentin mərkəzində hündürlüyə görə inversiya paylanması müşahidə olunur.



*Şəkil 2. Karbon qazının və aerozolların 1881–2010-ci illərin müxtəlif dövrlərində cəm radiasiya təsirinin qiymətləri.*

Son 10–15 ildə, atmosferin vulkanik aerozollardan təmizləndiyi bir vaxtda, yay anomaliyaları, qış anomaliyalarına nisbətən daha sürətli templə artmağa başlamışdır (2003–2012-ci il dövründə yay temperaturlarının anomaliya qiymətləri qışdakından yüksək olmuşdur).

1962-dən 1995-ci illərə kimi olan dövr atmosferin ən güclü aerozol çirkənməsi ilə xarakterizə olunurdu. Bu dövrün sonunda qış temperaturlarının yay temperaturları ilə müqayisədə anomaliyalarının əhəmiyyətli artması müşahidə olunmuşdur. Bu dövrün böyük bir hissəsində qışda olduğu kimi, yayda da temperaturun qiymətcə çox olmayan müsbət və mənfi anomaliyaları qeyd olunmuşdur. Qeyd etmək lazımdır ki, bu dövrdə karbon qazının radiasiya təsiri, aerozolun işarəcə əks radiasiya təsirindən az fərqlənirdi (cədv.). Çox ehtimal ki, bu qışda olduğu kimi, yayda da qiymətcə böyük olmayan anomaliyaların formalşmasına gətirib çıxarmışdır.

Son dövrdə ( 1996–2012-ci illər ) daha əsas antropogen parnik qazının ( $\text{CO}_2$ ) miqdarı və nəticə kimi onun iqlimə radiasiya təsiri əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır (cədv.). Bu isə temperaturun ilin yay fəslində artması ilə müqayisədə, qışda temperaturun daha çox artmasına gətirib çıxartmalıdır.

Bələliklə, əgər yuxarıda dediklərimizi nəzərə alsaq, onda iqlimin dəyişməsində atmosferin aerozol çirkənməsinin rolü, atmosferin təmizlənməsinin sonuncu dövründən (1996–2012-ci illər) fərqli olaraq, birinci (1881–1901-ci illər) və ikinci (1924–1945-ci illər) dövrdə daha çox nəzərə çarpırdı.

Qiş temperaturlarının yay temperaturlarına nisbətən sürətlə artması hesabına “yay – qış” temperaturlarının anomaliya fərqi azalması 1996-dan 2012-ci ilə kimi dövrdə karbon qazının və digər parnik qazlarının miqdarının daha intensiv artması ilə əlaqədardır. Bu zaman onun orta radiasiya effekti aerozolun radiasiya effektindən  $1,3 \text{ } Vt/m^2$  qədər çox idi.

Əsasən okeanlar ilə əhatə olunmuş Cənub yarımkürəsində, haradakı iqlim sistemi Şimal yarımkürəsindən fərqli olaraq daha ətalətlidir, iqlimin dəyişməsində aerozol çirkənməsinin özünü göstərmə xüsusiyətləri, XIX əsrin son dövründən XX əsrin 70-ci illərinə kimi zəif hiss olunurdu. Keçən əsrin 20-40-ci illərində iqlimin istiləşməsi burada praktiki olaraq hiss olunmazdır. Cənub yarımkürəsində “yay-qış” temperaturunun anomaliya qiymətlərinin fərqi Şimal yarımkürəsindən orta hesabla 1,5 dəfə azdır. Dövrün sonrakı ardıcıl onilliklərinin temperatur anomaliyalarının qiyməti, burada da həmçinin Şimal yarımkürəsindən 1,5 dəfə azdır. Temperatur anomaliyalarının daha çox müsbət və uyğun qiymətləri sonuncu 40 ilin həm qışında, həm də yayında xarakterikdir.

Qeyd etmək lazımdır ki, son onillikdə (2003–2012-ci illər) Şimal yarımkürəsində olduğu kimi, Cənub yarımkürəsinin quru hissəsində temperaturun müsbət anomaliya qimətləri qışdan fərqli olaraq, yayda çox olmuşdur.

Son 50 illik dövrdə yay və qış temperaturlarının artma sürətinin dəyişməsini təyin etmək məqsədi ilə 15 illik ortalama intervalından istifadə etməklə sürüşən trendlər hesablanmışdır.

Şimal və Cənub yarımkürəsi, həmçinin ayrı-ayrılıqda Şimal və Cənub yarımkürəsinin quru hissəsi üçün, qış və yay temperaturlarının anomaliyalarının xətti trendlərinin təhlili göstərdi ki, onlar əhəmiyyətli dərəcədə zaman dəyişmələrinə malikdir. Trendin qiyməti məlum xətti trend tənliyinin  $y = \alpha x + b$   $\alpha$  əmsalının qiyməti ilə xarakterizə olunur.

Şəkil 3-də 15 illik ortalama intervalı üzrə xətti trendin  $\alpha$  əmsalının qiyməti verilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, 15 illik intervalın əksər hallarında temperaturun anomaliya trendləri müsbət olmuşdur. Lakin, onların dəyişmə xarakteri, yay və qış fəsilləri, həmçinin Şimal və Cənub yarımkürələri üçün fərqlənir. Temperaturun yay anomaliyaları üçün 70-ci illərin ortalarından cari yüzilliyin başlangıcına kimi trend qiymətlərinin artması müşahidə olunur.

Son onilliklər havanın temperatur anomaliyalarının xətti trend qiymətlərinin azalmaları qeyd olunmuşdur.

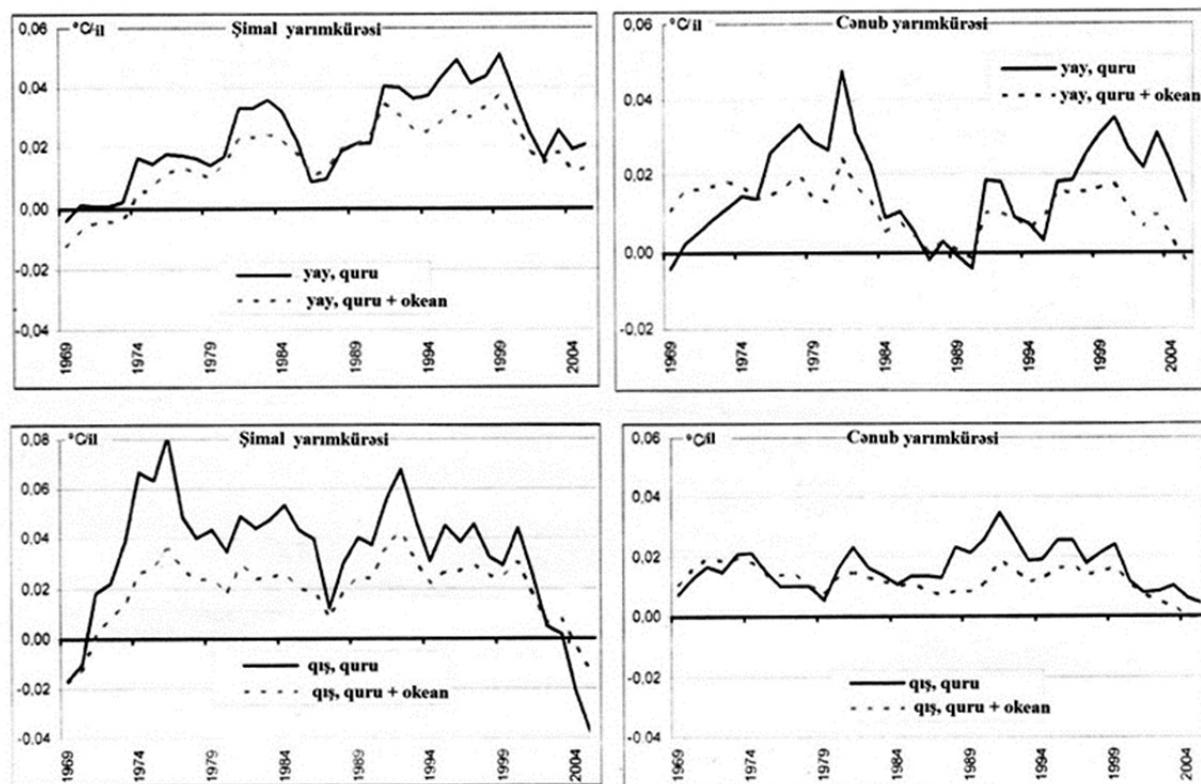
Qiş vaxtı Şimal yarımkürəsində temperaturun anomaliya qiymətlərinin dəyişmə xarakteri müəyyən qədər fərqli olmuşdur: onillik ardıcılığın kəskin sıçrayışı, sonra xətti trendlərin qiymətləri zəif dəyişir, sonuncu 10–15 ildə isə temperatur anomaliyalarının xətti trendlərinin xətti trendlərinin qiymətlərinin intensiv azalması müşahidə olunmuşdur. On sonuncu illərdə temperatur anomaliyalarının trendi hətta mənfi olmuşdur.

Bu o deməkdir ki, iqlim dəyişməsinin fəsli xüsusiyətlərində yeni faza başlanır. Həmçinin qeyd etmək lazımdır ki, Şimal yarımkürəsində temperatur anomaliyalarının qiymətinin aşağı düşməsi, elə bir dövrdə baş vermişdir ki, bu dövrdə atmosferdə parnik qazlarının miqdarının sürətli artımı müşahidə olunurdu.

Yüksək en dairələrində temperaturun dəyişməsinin bir az fərqli xarakteri müşahidə olunur: burada temperatur anomaliyalarının qiyməti 2002-ci ildən başlayaraq, ən yüksək olmuşdur. Hətta

ayrı-ayrı illerdə normadan  $2,5^{\circ}\text{C}$  artıq olmuşdur. Arktik en dairələrində ( $60\text{--}90^{\circ}$ ) temperatur ilk dəfə olaraq, keçən yüzilliyin 40-ci illərin əvvəllerindəki temperaturundan (Arktikanın maksimum istiləşməsi [5]) yüksək olmuşdur.

Şimal yarımkürəsinin quru hissəsində temperatur anomaliyalarının xətti trendinin qiyməti bütövlükdə Şimal yarımkürəsindən fərqli olaraq, qışda orta hesabla 2 dəfə yüksək, yayda isə bir qədər az olmuşdur.



*Şəkil 3. Hava temperaturunun anomaliyalarının trend qiymətlərinin dəyişməsi.*

Cənub yarımkürəsində temperaturun anomaliya trend qiymətlərinin dəyişməsinin zaman quruluşu daha ifadəli dövrü xarakter daşıyır. 70-ci illerdə 90-ci illərin sonuna kimi olan dövrdə trend çox zəif olmuşdur. Cənub yarımkürəsində temperatur anomaliyalarının xətti trendinin qiyməti, Şimal yarımkürəsindən fərqli olaraq, orta hesabla 1,5 dəfə az olmuşdur. Bu qiymət Cənub yarımkürəsinin quru hissəsində, bütövlükdə Cənub yarımkürəsinə nisbətən çox idi.

**Nəticə.** Beləliklə, belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, digər daxili və xarici iqlim əmələgətirici amilləri (atmosfer və okeanın ümumi sirkulyasiyası, iqlim sistemində düzüñə və əksinə əlaqələr, günəş aktivliyi və s.) nəzərə almadan qlobal və regional iqlimin müasir dəyişmələrinin məkan – zaman xüsusiyyətlərini izah etmək qeyri mümkündür.

## REFERENCES

1. Abdusamatov H.I. Solnce opredelyaet klimat // Nauka i zhizn. 2009. №1. – S.34-42.  
Абдусаматов Х.И. Солнце определяет климат // Наука и жизнь. 2009. №1. – С.34-42.
2. Ahmedov Sh.A. O teorii klimata. – Baku: «Sabah», 2016. - 244 s.  
Ахмедов Ш.А. О теории климата. – Баку: «Сабах», 2016. - 244 с.

3. **Budyko M.I.** Klimat v proshlom i budushhem. – L.: Gidrometeoizdat. 1980. - 351 s.  
**Будыко М.И.** Климат в прошлом и будущем. – Л.: Гидрометеоиздат. 1980. - 351 с.
4. Globalnye i regionalnye izmeneniya klimata. / V.M.Shestopalov, V.F.Loginov, V.I.Osadchij i dr. – K.: Nika-Centr, 2011. - 448 s.  
Глобальные и региональные изменения климата. / В.М.Шестопалов, В.Ф.Логинов, В.И.Осадчий и др. – К.: Ника-Центр, 2011. - 448 с.
5. **Groysman P.Y., Ivanov S.V., Palamarchuk Y.O.** Regionalnye klimaticheskie izmenenija v Vostochnoj Evrope: dokumentalnye podtverzhdenija i ih svyaz s globalnymi izmeneniyami. / V kn. «Globalnye i regionalnye izmeneniya klimata». – K.: Nika-Centr, 2011. – S. 38-56.  
**Гройсман П.Я., Иванов С.В., Паламарчук Ю.О.** Региональные климатические изменения в Восточной Европе: документальные подтверждения и их связь с глобальными изменениями. / В кн. «Глобальные и региональные изменения климата». – К.: Ника-Центр, 2011. – С. 38-56.
6. **Loginov V.F.** Globalnye i regionalnye izmenenija klimata: prichiny i sledstviya. - Minsk: TetraSistems. 2008. - 496 s.  
**Логинов В.Ф.** Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия. - Минск: ТетраСистемс. 2008. - 496 с.
7. **Loginov V.F.** Prichiny i sledstviya klimaticeskikh izmenenij. – Minsk: «Navuka i tehnika», 1992. - 320 s.  
**Логинов В.Ф.** Причины и следствия климатических изменений. – Минск: «Навука і тэхніка», 1992. - 320 с.
8. Climate Change 2007. The Physical science basis. WMO? UNEP, 2007, 142 p.
9. **Loginov V.F.** Radiacionnye faktory i dokazatel'naya baza sovremennoy izmenenij klimata. - Minsk. «Belaruskaja navuka». 2012. - 266 s.  
**Логинов В.Ф.** Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата. - Минск. «Беларуская навука». 2012. - 266 с.
10. **Əhmədov Ş.Ə., Əhmədova M.Ş.** Karbon qazının iqlim dəyişmələrinə təsiri // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının xəbərləri. T. 9, № 4, 2017. C. 119-126.

---

## СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА ИХ ПРИЧИНЫ

Ш.А. АХМЕДОВ, М.Ш. АХМЕДОВА

В статье рассмотрены вопросы интерпретации результатов исследования климата в различных пространственно-временных масштабах. Особое внимание удалено дискуссионным вопросам оценки роли парниковых газов и аэрозолей в формировании сезонных особенностей изменения температуры Северного и Южного полушарий.

**Ключевые слова:** глобальный климат, региональный климат, климатообразующие факторы, изменения климата.

## SEASONAL FEATURES OF THE LONG-TERM CHANGES IN GLOBAL CLIMATE AND THEIR CAUSES

Sh.A. AXMADOV, M.Sh. AXMADOVA

The article reviews some questions of the climate research results interpretation in different spatial and temporal scales. Particular attention has been paid to the argument on the evaluation of the greenhouse gases and aerosols role in forming the seasonal characteristics of temperature changes in northern and southern hemispheres.

**Keywords:** global climate, regional climate, climate-forming factors, climate change.

## MÜSABIQƏYƏ ELAN

Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının “Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri” Beynəlxalq elmi-texniki jurnalının təsis olunmasının 10 illik yubileyi münasibəti və təşkilatçılığı ilə 2019-cu ildə jurnalda nəşr olunmuş “ƏN YAXŞI MƏQALƏ” müsabiqəsinə start verir. Qaliblər müsabiqənin sponsoru olan **Azərbaycan Mühəndislik Akademiyası** tərəfindən pul mükafatına və Akademianın Diplomuna layiq görüləcəklər.

Müsabiqədə **I yer** – 500 manat, **II yer** – 300 manat və **III yer** 200 manat məbləğində mükafat əldə edəcək.

Müsabiqənin təşkilində əsas məqsəd elmi-tədqiqat işlərinin keyfiyyətini yüksəltmək, müəllifləri daha da stimullaşdırmaqdan ibarətdir.

Müsabiqə jurnalda və akademianın saytında elan olunur. Müsabiqədə məqalələri jurnalda dərc olunmuş yerli və xarici müəlliflər iştirak edə bilərlər.

Müsabiqə komissiyası jurnalın redaksiya heyətinə həvalə olunur. Müsabiqənin nəticələri mətbuatda elan ediləcək.

## ОБЪЯВЛЕНИЕ О КОНКУРСЕ

По случаю 10-летнего юбилея международного научно-технического журнала "Вестник Азербайджанской Инженерной Академии" объявлен конкурс «Лучшая статья» по итогам работ, опубликованных в 2019 году. Победители будут награждены денежной премией и дипломом Азербайджанской Инженерной Академии (АИА). Спонсором конкурса является АИА.

За I место – приз 500 AZN, II место - 300 AZN и III место - 200 AZN.

Основной целью конкурса является повышение качества научно-исследовательских работ и поощрение авторов.

Конкурс объявлен также на сайте академии. В конкурсе могут участвовать как отечественные, так и зарубежные авторы.

Конкурсная комиссия возложена на редколлегию журнала. Результаты конкурса будут объявлены в прессе.

## MƏQALƏLƏRİN TƏRTİBATI QAYDALARI

Jurnalın redaksiya heyəti jurnalın elmi istiqamətinə uyğun gələn, heç bir yerdə nəşr olunmayan, digər jurnallara verilməyən məqalələrin əlyazmalarına baxır.

Məqalə azərbaycan, rus və ya ingilis dillərində yazılı bilər və onun bir nüsxəsi redaksiyaya təqdim olunmaqla, aşağıdakılardı özündə eks etdirməlidir:

1. Məqalənin adı, müəlliflərin adı (3 dildə tərcüməsi), işin yerinə yetirildiyi müəssisənin adı;
2. UDK kodu;
3. Annotasiya, 5 cümlədən çox olmayıaraq (3 dildə tərcüməsi);
4. Açıq sözlər, 6 sözdən çox olmayıaraq (3 dildə tərcüməsi);
5. Məqalənin mətni (Giriş. İşin məqsədi. Məsələnin qoyuluşu. Məsələnin həlli. Nəticə);

6. Ədəbiyyat siyahısı, mənbə haqqında tam məlumat. "AMA Xəbərləri" jurnalına istinad etmək;

7. Şəkilaltı yazılar və cədvəllər;

8. Müəlliflər haqqında məlumatlar (adi, soyadı, atasının adı, elmi dərəcəsi, elmi rütbəsi, vəzifəsi, telefon nömrəsi, e-mail adresi), hansı müəlliflə yazışma aparılmış olduğu qeyd edilməli;

Məqalənin əlyazmasına müəssisə rəhbərinin imzası ilə razılıq məktubu əlavə olunmalıdır.

Mətnin yenidən yiğilması zamanı yarana biləcək nöqsanları aradan qaldırmaq məqsədi ilə məqalə mətni Word for Windows formatında, Times New Roman şrifti ilə elektron şəklində də redaksiyaya təqdim edilməlidir.

Əlyazmanın nəşri üçün müəlliflərdən ödəniş alınmir.

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Редколлегия журнала рассматривает статьи, которые соответствуют научному профилю журнала, нигде не опубликованы и не переданы в редакции других журналов.

В редакцию следует представить 1 экземпляр статьи на азербайджанском, русском или английском языке, который включает:

1. Название статьи, имена авторов (с переводом на три языка), наименования учреждений;
2. Коды УДК;
3. Аннотацию, до 5 предложений (с переводом на три языка);
4. Ключевые слова, до 6 слов (с переводом на три языка);
5. Текст статьи (Введение. Цель работы. Постановка задачи. Решение задачи. Заключение);

6. Список литературы с указанием полных сведений об источнике. Ссылка на журнал «Вестник АИА»;

7. Подрисуночные подписи и надписи к таблицам.

8. Сведения об авторах (фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, должность, телефон, e-mail) с указанием автора для переписки.

К рукописи необходимо приложить сопроводительное письмо с подписью руководителя учреждения.

С целью исключения опечатки при верстке статьи просьба прислать текст и рисунки в электронном виде в формате Word for Windows, шрифт Times New Roman.

Плата с авторов за публикацию рукописи не взымается.

## ARTICLE FORMATTING RULES

The Editorial Board reviews manuscripts of potential articles matching the profile of scientific journal, never were published or submitted for review to other publishings.

The Author/s should submit one copy of article in Azerbaijani, Russian or English, including next:

1. Title, authors' names (translated into three languages), name where the actual research was conducted;
2. UDK codes;
3. Annotations up to 5 sentences (translated into three languages);
4. Keywords, up to 6 words (translated into three languages);

5. Article full text (Introduction. Purpose of work. Objective. Formulation of the problem. The solution of the problem. Conclusion);

6. References with full information about sources. Link to the magazine "HERALD of the AEA"

7. Captions to figures and tables;

8. Informations about authors (surname, first name, academic degree, academic rank, position, phone, e-mail) with correspondence detail.

It is necessary to include a cover letter with a signature of head of institution.

In order to avoid typographical errors in a layout article, please send text and pictures electronical Word format, and Times New Roman font.

No fees charged for the manuscript publication.

**Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının  
XƏBƏRLƏRİ**

**HERALD  
of the Azerbaijan Engineering Academy**

**ВЕСТНИК  
Азербайджанской Инженерной Академии**

*Beynəlxalq elmi-texniki jurnal  
The international science-technical journal  
Международный научно-технический журнал*

Cild 11. № 2  
Vol. 11. № 2  
Том 11. № 2

**BAKİ – 2019**

İnformasiya şöbəsinin müdürü

*N.Z. Əskərova*

Nəşriyyat və yayım şöbəsinin müdürü

*A.M. Dənziyev*

**“Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının  
XƏBƏRLƏRİ”**

jurnalı redaksiyanın kompyuterlərində yiqlılmış və  
hazır diapozitivlərdən “Apostrof-A”  
mətbəəsində ofset üsulu ilə çap olunmuşdur.

*Çapa imzalanmış 13.06.2019,  
formatı 60x84 1/8,  
kağız təbaşirli, f.ç.v. 16.5  
Tirajı 1255 əd.*