



**Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının
XƏBƏRLƏRİ**

Beynəlxalq elmi-texniki jurnal

**HERALD
of the Azerbaijan Engineering Academy**

The international science-technical journal

**ВЕСТНИК
Азербайджанской Инженерной Академии**

Международный научно-технический журнал

Cild 12. № 2

Vol. 12. № 2

Том 12. № 2

BAKI – 2020

**Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının
XƏBƏRLƏRİ**

Beynəlxalq elmi-texniki jurnal

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

REDAKSIYA HEYƏTİ:

akademik Ə.M. Abbasov, akademik R.İ. Abdullayev, akademik H.S. Bağirov,
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

REDAKSIYA ŞURASI:

akademik B.V. Qusev (Rusiya), prof. N. Antoneski (Rumıniya), akademik R.Z. Saqdeyev (ABŞ),
akademik Ə.X. Şahverdiyev (Rusiya), prof. Bravu Konstantin (İsrail), prof. K. Fridrix (Almaniya),
prof. F. Franek (Avstriya), prof. G.S. Kalda (Polşa), akademik B.T. Jumaqulov (Qazaxıstan),
prof. Junq-Young Son (Koreya), akademik S.S. Neqmatov (Özbəkistan), prof. D. Mavrakis (Yunanıstan),
prof. A.G. Yakovlev (Belarusiya), prof. Tuncay Yalçınkaya (Türkiyə), akademik V.E. Panin ((Rusiya),
akademik A.İ. Prangişvili (Gürcüstan), akademik A.İ. Vasilyev (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. Muslimov, 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); K. Friedrich, professor
(Germany); F. Franek, professor (Austria); G.S. Kalda, professor (Poland); B.T. Zhumagulov, academician
(Kazakhstan); Jung-Young Son, professor (Korea); S.S. Neqmatov, academician (Uzbekistan); D. Mavrakis,
professor (Greece); A.G. Yakovlev, professor (Belarus); Tuncay Yalcinkaya, professor (Turkey); V.E. Panin,
academician (Russia); A.I. Prangishvili, academician (Georgia); A.I. Vasilyev, academician (Ukraine).

TƏSİSÇİ:

“Azərbaycan Mühəndislik Akademiyası” ictimai birliyi.

Jurnal 2009-cu ilin noyabr ayından nəşr olunur.

Dövriyyəsi ildə 4 dəfədir.

Azərbaycan Respublikası Ədliyyə Nazirliyində qeydiyyatda alınmışdır.

Qeydiyyat № 2965, 23.06.2009-cu il.

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

Jurnal “Rusiyanın elmi sitat indeksləşməsi” (RESI) layihəsinə daxil edilmişdir.

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

Jurnal Beynəlxalq analitik elmi sitat sistemi SCOPUS-da qeydiyyata alınmışdır.

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

Jurnala abunə “Azərpoçt” ASC-nin poçt bölmələrində yazılmaq olar. Abunə il boyu davam edir.

Abunə indeksi: Hüquqi və fiziki şəxslər üçün – 1156

Redaksiyanın ünvanı: Azərbaycan Respublikası, AZ 1010, Bakı ş., Puşkin küçəsi 30, 3-cü mərtəbə.

Tel/Faks: (+99412) 598 24 52

E-mail: amaxeber@yahoo.com

<http://ama.com.az>

REKLAMLARIN 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 registered with the International Scientific Citation System Analytical Base SCOPUS.

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 “Azerpochta” Subscription index:

For juristic and for natural persons – 1156

Address of editorial offices:

Azerbaijan Republic, AZ 1010,

Baku, Pushkin str., 30, 3 floor.

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 зарегистрирован в Международной аналитической базе системы научного цитирования SCOPUS.

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

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

Индекс подписки для юридических и физических лиц: 1156.

Адрес редакции: Азербайджан,

AZ1010, Баку, ул. Пушкина, 30, 3-й этаж.

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

Aviasiya

- İsgəndərov İ.Ə., Babayev H.B., Babayeva N.H.**
Radiohündürlük ölçmə sisteminin müasir problemləri və onun avtonom diaqnostikası məsələləri 7

Mexanika və maşınqayırma

- Canəhmədov Ə.X., Volçenko A.İ., Nəsirova M.M., Malik V.Y.,
Volçenko N.A., Polyakov P.A., Tağıyev R.S.**
Nəqliyyat vasitələrinin diskli-kündəli əyləcinin sürtünmə cütünün su ilə islanması zamanı termokinetik proseslər 15
- Sadıqov İ.R.**
Fiziki və həndəsi qeyri-xəttilikləri nəzərə almaqla qeyri-düzbucaqlı lövhələrin dayanıqlığı 27
- Cavadov M.Y., Juravlyov D.Y., Nəsirova M.M., Skripnik V.S., Vitviskiy V.S., Fedotov V.S.**
Nəqliyyat vasitələrinin özüventilyasiya olunan tikanlı disk-kündəli əyləcin gərginlik-deformasiya vəziyyəti 32

Neft və qaz

- Babayev H.M., Korablyov İ.V.**
Gəmi boru sistemlərində Nyuton mayesinin hərəkətinin turbulent rejimi zamanı hidravlik müqavimət əmsalinin təyini 43

Neft-kimya texnologiyası

- Usubəliyev B.T., Nurullayev V.X., Mürvətov F.T., Həsənova M.M., Rzayeva A.Q.**
Neft və neft emulsiyalarında asfaltənqətranparafın birləşmələrinin yeni nanoquruluşlu koordinasiya polimerlərinin tətbiqi 47
- Hüseynova E.Ə., Əcəmov K.Y., İsmaylova V.A.**
İşlənmiş sənaye yağının solvent təmizləməsinin göstəricilərinə C₆ karbohidrogenlərinin quruluşunun təsiri 58

İnformasiya texnologiyaları

- Həsənov M.H., Məhərrəmzadə M.R.**
Optik kommunikasiya mühitinin tədqiqi 65

Energetika

- Balametov A.B., Xəlilov E.D., Səlimova A.K., İskəndərov F.G.**
Dünyələrdə elektrik enerjisinin qiymətlərinin modelləşdirilməsi metodları 74

İqtisadiyyat

- Gəncəliyeva G.Q.**
Ali təhsil müəssisəsində texnoparkın çevik idarəetmə sisteminin layihələndirməsi üçün modelləşdirmə alətlərinin işlənməsi 82

Cihazqayırma

- Qafarzadə H.V., Qafarov A.M., Salayev B.H.**
İstismar parametrləri fasiləsiz təsadüfi kəmiyyətlər olan qəza-xilasetmə avadanlıqlarının etibarlılığı . 90

Geologiya

- Əhmədov E.H.**
Neft-qaz yataqların işlənmə layihələrinin geoloji-texnoloji, texniki-iqtisadi təhlili və risklərin qiymətləndirilməsi 98

Ekologiya

- Əzizov B.M., Sultanov C.A., Mehdiyev C.S., Cavadov N.H., Sultanova C.R.**
Bibiheybət neft çıxarma rayonunun radioekoloji vəziyyəti 105
- Şahbazov E.Q., Məmmədova N.İ., Abdullayeva L.Ə.**
Neft mədənlərində lay sularının korroziya aktivliyinə qarşı nanotexnologiya və ətraf mühitin mühafizəsi 113
- Tarixazər Z.A., Qüdrətli A.R.**
Azərbaycanın sutəsərrüfat obyektlərinə təbii-texnogen təsirlərin qanunauyğunluqlarının tədqiqi 121

CONTENTS

Aviation

- Isgandarov I.A., Babayev H.B., Babayeva N.H.**
Modern problems and autonomous diagnostic issues of the aircraft radioaltimeter system 7

Mechanics and Mechanical Engineering

- Janahmadov A.Kh., Volchenko A.I., Nasirova M.M., Malyk V.Y.,
Volchenko N.A., Polyakov P.A., Tagiev R.S.**
Thermokinetic processes in the water spraying of friction pairs of disc-shoe brakes of vehicles 15
- Sadigov I.R.**
Stability of plates of non-rectangular shape, taking into account physical and geometric nonlinearity..27
- Javadov M.Y., Zhuravlev D.Y., Nasirova M.M., Skipnyk V.S., Witwitskiy V.S., Fedotov V.S.**
Stress-strain state of self-activated disc-shoe brakes with studs 32

Oil and Gas

- Babayev H.M., Korablev I.V.**
Determination of the coefficient of hydraulic resistance of turbulence movement
of the Newtonian fluids in vessels pipe systems 43

Chemical Technology

- Usabaliev B.T., Nurullaev V.Kh., Murvatov F.T., Hasanova M.M., Rzayeva A.K.**
Application of new nanostructural coordination polymers for the prevention of the formation and
crushing of already formed asphalt-resin-paraffin associates in the volume of oil and oil emulsion 47
- Guseinova E.A., Ajamov K.Y., Ismailova V.A.**
Influence of the structure of C₆ hydrocarbons on the indicators of solvent
cleaning waste industrial oil 58

Information Technology

- Hasanov M.H., Maharramzade M.R.**
Study of the optical switching environment 65

Energetics

- Balametov A.B., Khalilov E.D., Salimova A.K., Iskenderov F.G.**
Simulation methods of nodal electrical energy prices 74

Economy

- Ganjaliyeva G.Q.**
Organization system technical design tools for Technopark areas management 82

Instrumentation

- Gafarzade H.V., Gafarov A.M., Salayev B.H.,**
Reliability of emergency rescue equipment with continuous random operating parameters 90

Geology

- Ahmadov E.H.**
Geological, technological, technical and economic analysis and risk assessment
of oil and gas fields development plans 98

Ecology

- Azizov B.M., Sultanov J.A., Mekhtiyev J.S., Javadov N.H., Sultanova J.R.**
Radioecological condition of the Bibiheybat oil production area 105
- Shahbazov E.Q., Mammadova N.I., Abdullayeva L.A.**
Nanotechnology and environmental protection against corrosion processes of produced
water in oil fields 113
- Tarikhazer Z.A., Qudratli A.R.**
Study of patterns of natural and technogenic impacts on water management
facilities in Azerbaijan 121

СОДЕРЖАНИЕ

Авиация

Искендеров И.А., Бабаев Г.Б., Бабаева Н.Г.

Современные проблемы системы радиовысотометров и вопросы её автономной диагностики 7

Механика и машиностроение

Джанахмедов А.Х., Вольченко А.И., Насирова М.М., Малык В.Я.,

Вольченко Н.А., Поляков П.А., Тагиев Р.С.

Термокинетические процессы при орошении водой пар трения дисково-колодочных тормозов транспортных средств 15

Садыгов И.Р.

Устойчивость пластин непрямоугольной формы с учетом физической и геометрической нелинейностей 27

Джавадов М.Я., Журавлев Д.Ю., Насирова М.М., Скрышник В.С.,

Витвицкий В.С., Федотов В.С.

Напряженно-деформируемое состояние самовентилируемых дисково-колодочных тормозов с шипами дисково-колодочных тормозов транспортных средств 32

Нефть и газ

Бабаев Г.М., Кораблёв И.В.

Определение коэффициента гидравлического сопротивления при турбулентном режиме движения ньютоновских жидкостей в судовых трубопроводах 43

Нефтехимические технологии

Усубалиев Б.Т., Нуруллаев В.Х., Мурватов Ф.Т., Гасанова М.М., Рзаева А.К.

Применение новых наноструктурных координационных полимеров для предотвращения образования и дробление уже образовавшихся асфальтосмолопарафиновых ассоциатов в объеме нефти и нефтяной эмульсии 47

Гусейнова Э.А., Аджамов К.Ю., Исмаилова В.А.

Влияние структуры углеводородов C_6 на показатели сольвентной очистки отработанного промышленного масла 58

Информационные технологии

Гасанов М.Г., Магеррамзаде М.Р.

Исследование среды оптической коммутации 65

Энергетика

Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Салимова А.К., Искендеров Ф.Г.

Методы моделирования узловых цен на электроэнергию 74

Экономика

Генджалиева Г.Г.

Организация инструментария системотехнического проектирования отделов управления технопарка 82

Приборостроение

Гафарзаде Х.В., Гафаров А.М., Салаев Б.Г.

Надежность аварийно-спасательных оборудований с непрерывными случайными величинами эксплуатационных параметров 90

Геология

Ахмедов Э.Г.

Геолого-технологический, технико-экономический анализ и оценка рисков проектов разработки месторождений нефти и газа 98

Экология

Азизов Б.М., Султанов Д.А., Мехтиев Д.С., Джавадов Н.Г., Султанова Д.Р.

Радиоэкологическое состояние Бибиэйбатского нефтепромыслового района Абшеронского полуострова 105

Шахбазов Е.Г., Мамедова Н.И., Абдуллаева Л.А.

Нанотехнология и охрана окружающей среды от коррозии пластовых вод в нефтяных промыслах 113

Тарихазер З.А., Гудратли А.Р.

Исследование закономерностей природно-техногенных воздействий на водохозяйственные объекты Азербайджана 121

UDK 629.73

RADİOHÜNDÜRLÜK ÖLÇMƏ SİSTEMİNİN MÜASİR PROBLEMLƏRİ VƏ ONUN AVTONOM DİAQNOSTİKASI MƏSƏLƏLƏRİ

İ.Ə. İSGƏNDƏROV¹, H.B. BABAYEV¹, N.H. BABAYEVA¹

Məqalədə hava gəmilərinin yerə nəzərən şaquli məsafəsini (həqiqi hündürlüyünü) ölçmək üçün nəzərdə tutulan radiohündürlük ölçmə sisteminin istismar-texniki xüsusiyyətlərinin təhlili, son illər bu sistemdə yaranan müəyyən xəta və nasazlıqların statistik təhlili aparılmış və bu nasazlıqların uçuşların təhlükəsizliyinə təsir dərəcəsi qiymətləndirilmişdir. Radiohündürlük ölçmə sistemində yaranan problemlərin uçuşların təhlükəsizlik səviyyəsinin azalmasına səbəb olduğunu nəzərə alaraq, bu sistem üçün əlavə diaqnostik üsul və vasitələrinin işlənilib tətbiq olunmasının aktualığı əsaslandırılmış və yeni bir diaqnostika üsulu təklif edilmişdir. Təklif edilən yeni avtonom özünü diaqnostika üsulunun və bu üsula uyğun olaraq işlənilib hazırlanması nəzərdə tutulan qurğunun hava gəmisinin radiohündürlük ölçmə sistemində tətbiqi ilə bu sistemin işində baş verən səhv işləmə hallarının, yaranan və yaranması ehtimal oluna bilən xəta və nasazlıqların əvvəlcədən təyin edilə bilməsinin mümkünlüyü göstərilmişdir. Aparılan elmi tədqiqatlar əsasında əldə olunmuş nəticələrə uyğun olaraq, hava gəmisinin radiohündürlük ölçmə sisteminin işçi elektrik rejimlərinə avtonom nəzarət etməklə bu sistemin avtonom diaqnostikasının yerinə yetirilməsinin mümkün olduğu müəyyən olunmuşdur. Təklif olunan yeni diaqnostika üsulunun əsas üstünlüklərindən biri onun həm də təmassız olaraq yerinə yetirilə bilməsidir və müəyyən olunmuşdur ki, təmassız nəzarəti təmin edə bilən yeni növ cərəyan vericiləri kimi geniş tətbiq olunan Holl vericisi və Roqovski sarğacı əsasında nəzərdə tutulan üsul yerinə yetirilə bilər. Nəticədə isə bu hesaba radiohündürlük ölçmə sisteminin iş fəaliyyətinin etibarlılığını yaxşılaşdırmaqla uçuşların təhlükəsizliyinin artırılmasının mümkün olduğu göstərilmişdir.

***Açar sözlər:** hava gəmisini, uçuşların təhlükəsizliyi, radiohündürlükölçən, səhv qərar, avtonom diaqnostika, Holl vericisi, Roqovski sarğacı.*

Giriş. Hava gəmisinin radiohündürlük ölçmə sistemi uçuşların təhlükəsizliyinin təmin edilməsi üçün ən vacib elementlərdən biridir. Apardığımız elmi tədqiqatlar son illər bu sistemdə müəyyən xətalara, nasazlıqların olması və nəticədə isə uçuşların təhlükəsizlik səviyyəsinin aşağı düşməsi kimi halların baş verdiyindən xəbər verir. Məlum olduğu kimi hava gəmisini üçün nəzərdə tutulan düzgün və etibarlı işləyən hər bir sistem təhlükəsiz uçuşun əsasını təşkil edir. Qeyd olunanlar nəzərə alınmaqla, məsələnin həlli üçün bu sistemdəki mövcud problemlərin təhlili aparılmış, sistemin diaqnostikasını yerinə yetirmək üçün bir çox diaqnostik metodlar təhlil olunmuş və yeni diaqnostika metodu kimi avtonom diaqnostika üsulu təklif edilmişdir.

İşin məqsədi hava gəmisinin radiohündürlük ölçmə sisteminin düzgün və dəqiq diaqnostika edilməsini yerinə yetirməklə bu sistemin düzgün iş prosesini və etibarlı iş rejimini təmin etmək və bunun nəticəsi olaraq uçuşların təhlükəsizliyinin artırılmasına nail olmaqdan ibarətdir.

¹ Milli Aviasiya Akademiyası
E-mail: nergiz.babayeva@gmail.com

Hava gəmisinin radiohündürlük ölçmə sisteminin müasir problemləri.

Bəzi hallarda təhlükəsiz və etibarlı bilinən hər hansı bir sistemin işində uğursuzluqlar və səhv qərar vermə halları yaranmağa bilər. Apardığımız elmi-tədqiqat işlərinin nəticələrinə əsasən hava gəmisinin radiohündürlük ölçmə sistemində son zamanlar yaranan və yaranması ehtimal olunan nasazlıqlar və səhv qərar verilməsi halları müşahidə edilir. Bir çox mənbələrdən apardığımız araşdırmalar əsasında son zamanlar hava gəmisinin radiohündürlük ölçmə sistemində nasazlıqların olduğu görünür.

Beləki, 25 fevral 2009-cu ildə “Türk Hava Yolları”-na (THY) aid “Boeing-737-800” tipli “Tekirdağ” sərnişin təyyarəsinin Hollandiyanın Amsterdam şəhərinə enməsi zamanı baş verən qəza haqqında son rəsmi hesabatı təqdim edən aviasiya təhlükəsizliyi mütəxəssisləri burada hündürlükölçənin nasaz olmasının, hava hərəkətinin idarəetmə məntəqəsinin lazım olan məlumatı pilot kabinasına bildirməməsinin qəzaya səbəb olduğunu açıqlamışdı. Ümumilikdə, 9 nəfərin həyatını itirdiyi qəza ilə bağlı olaraq komissiya avtopilot sisteminin yanlış məlumat verən radiohündürlükölçəndən aldığı informasiyalar əsasında hərəkət edərək, HG-ni “stall” vəziyyətinə gətirdiyini və üç pilotdan ibarət olan uçuş heyətinin də bu yanlış məlumatı sürətlə qiymətləndirməməsi nəticəsində qəzanın baş verdiyini bildirmişdir [7, 11].

“TC-JGE” qeydiyyat işarəli “Boeing 737-800” “Tekirdağ” təyyarəsinin 25 saatlıq qara qutu qeydlərində olan son 8 uçuşunda bu nasazlığın iki dəfə təkrarlandığı da qeyd edilmişdir. Bu tip radiohündürlükölçəndəki nasazlıqların digər təyyarələrdə də baş verdiyi müəyyənləşdirilmişdir. Lakin təyyarələrdə iki radiohündürlükölçən olduğu və onların fəaliyyət göstəricilərinin zaman-zaman müqayisə edilməsinin lazım olduğu vurğulanmışdı.

“Royal Dutch Airlines”-a aid hava gəmilərində də son altı ayda 17 dəfə hündürlükölçənin nasazlığı aşkar edilmişdir.

7 aprel 2009-cu ildə Hobart şəhərindən Sidneyə gedən, “Qantas Hava Yolları”na aid olan “Boeing 737-800” tipli hava gəmisi 16R uçuş enmə zolağına enərkən, radiohündürlükölçən cihazı hündürlüyü yanlış bildirdiyinə görə EGPWS sistemi xəbərdarlıq vermiş və xəbərdarlıqdan sonra uçuş hündürlüyü 10 ft azalan HG-nin avtopilotu düzgün iş rejimindən çıxmışdı. Lakin, kabina heyəti bu vəziyyətə dərhal müdaxilə edərək, HG-nin idarəsini ələ almış və HG-ni problemsiz bir şəkildə Sidney Hava Limanına endirmişdi [10].

25 dekabr 2012-ci ildə isə Qazaxıstan tərəfindən istismar edilən “Antonov 72” HG Qazaxıstanın Şimkent Hava Limanından 20 km məsafədə qəzaya uğramış və bu 20 nəfər sərnişinin və 7 nəfər kabina heyətinin həyatını itirməsinə səbəb olmuşdu. Havaya qalxdıqdan qısa bir vaxt sonra avtopilotda nasazlıq baş vermiş və bundan sonra kapitan HG-ni əl ilə idarə etmək qərarına gəlmişdi. Lakin havaya qalxdıqdan 2 dəqiqə 40 saniyə sonra radiohündürlükölçən də səhv işləmiş, uçuş barometrik hündürlükölçənlərlə davam etdirilsə də, uçuşun 19-cu dəqiqəsində bu hündürlükölçənlərdə də ani bir nasazlıq baş vermişdi. Nəticədə isə hava gəmisi qəzaya uğrayaraq dağılmışdı [9].

Bundan əlavə, 11 sentyabr 2018-ci ildə Yeni Delhi və New York arasında 370 sərnişin daşıyan “Air India” uçuşunda “Instrument landing system” (ILS) nasazlığı baş vermişdi. Hadisəni açıqlayan “Air India” TCAS və ILS-i işlək hala sala bilməyən radiohündürlükölçənlərin nasaz olduğunu açıqlamışdı [8].

Hava gəmisinin radiohündürlük ölçmə sistemi üçün diaqnostika üsullarının təhlili.

Bildiyimiz kimi hava gəmisindəki radiohündürlükölçən uçuşun yaxınlaşma, enmə və qalxma mərhələlərində istifadə edilir. Bu cihaz 2500 ft və daha aşağı səviyyə üçün məsafəni uçuş bölməsindəki displeylərdə göstərir. Sistem 4300 MHz mərkəzi tezliklə C diapazonunda fəaliyyət göstərir.

Radiohündürlük ölçmə sistemində üç radiohündürlükölçən qəbuledicisi/ötürücüsü istifadə olunur. Bu üç radiohündürlük ölçmə sistemi eyni anda müstəqil olaraq fəaliyyət göstərir. Radiohündürlük yerə ötürülən və əks olunaraq hava gəmisinə qayıdan siqnalın gedib qayıtmasına sərf olunan zamana əsasən hesablanır.

Sistemin elektrik xüsusiyyətlərinə görə hər bir radiohündürlük ölçmə sistemi 115V, 400 Hz olan bir fazlı enerji ilə qidalanır.

Sistemin elektrik xüsusiyyətləri belədir [2]: tezlik – 4300 MHz \pm 50 MHz; ötürmə gücü – 600 mW; əməliyyat diapazonu – 5500 feet-ə qədər.

Radiohündürlükölçənin yerə qədər olan məsafəni düzgün ölçməsi üçün şaqula yaxın nöqtələrdən və daha uzaq olan nöqtələrdən əks olunmalar arasındakı fərq nəzərə alınır.

Ümumilikdə, əks olunan siqnal şüanın genişliyindən və uçuş hündürlüyündən asılı olaraq formalaşır. Belə siqnallar şəkil 1-də göstəriləyi kimi yalnız H_g - hündürlüyündə deyil, həmçinin AB - səthi daxilindəki məsafə R_i - məsafəsindən ibarətdir.

Siqnal prosesinin iki qrupunu nəzərdən keçirmək olar: lokal metodlar və inteqral metodlar. Lokal metodda perpendikulyar H_g yaxınlığında səthdən əks olunan qəbul siqnalının yalnız bir hissəsi emal edilir. Bununla birlikdə inteqral metod istifadə olunsa, AB səthi daxilində əks olunan bütün siqnal emal edilir. AB səthi (şəkil 1) bütün uçuş ərzində məlum olarsa, onda $R_m > R_i > H_g$ - ə uyğun gələn zaman gecikmələrinin yerdəyişmələri orta hesabla balanslaşdırıla bilər [1].

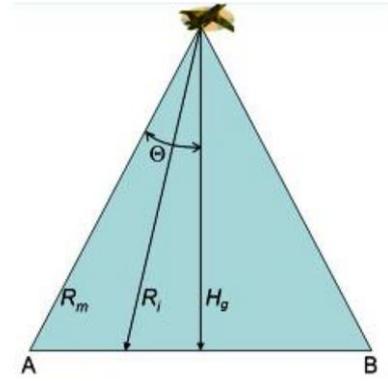
Hündürlük göstəricisinə hava gəmisinin kren və tanqaj üzrə maneələri təsir göstərə bilər. Əgər hava gəmisinin kren və tanqaj məlumatları hündürlükölçənin düzəlişi üçün istifadə olunmursa, şaquli hündürlük H_g əvəzinə məsafə R diapazonu yarana bilər.

Kəsilməz şüalanmalı radar sisteminin ümumiləşdirilmiş struktur sxemi şəkil 2-də göstərilmişdir. Burada verici, tezliyi zamanla dəyişən və verici antena ilə yayılan fasiləsiz dəyişməz amplitudlu daşıyıcı tezlikli rəqsləri yaradır.

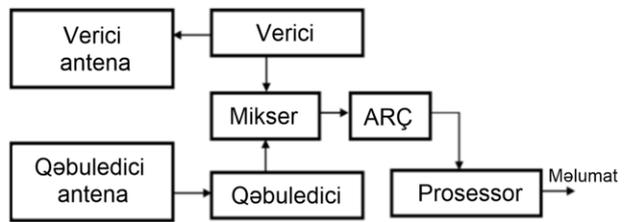
Tezlik modulyasiyalı kəsilməz şüalanmalı radarın dalğa forması. Dalğanı tezliyinə görə modulyasiya etməyin ən sadə yollarından biri

modulyasiyanın bir yarım dövrü - T_M ərzində ilkin dəyər olan $f_{min} = f_0$ -dan $f_{max} = f_0 + f_{dev}$ qədər $f(t)$ - zamanının funksiyası kimi tezliyi xətti olaraq artırmaqdır və sonra ikinci yarım period ərzində yenidən azaltmaqdır. Burada, f_{dev} - tezlik meylətməsidir.

Şəkil 3-də yuxarıdakı qrafikdə bütöv xətt ilə yayımlanan dalğanın tezliyi və qırıq-qırıq xətt ilə hərəkətsiz bir obyektə əks olunaraq qəbul edilən siqnalın tezliyi verilib. Aşağıdakı qrafikdə isə qarışdırıcının çıxışında formalaşan ötürülən və qəbul edilən tezliklər (döyünən tezlik) arasındakı Δf tezlik fərqi göstərilib.



Şəkil 1. Hava gəmisinin radiohündürlükölçəni ilə həqiqi hündürlüyün ölçülməsi.



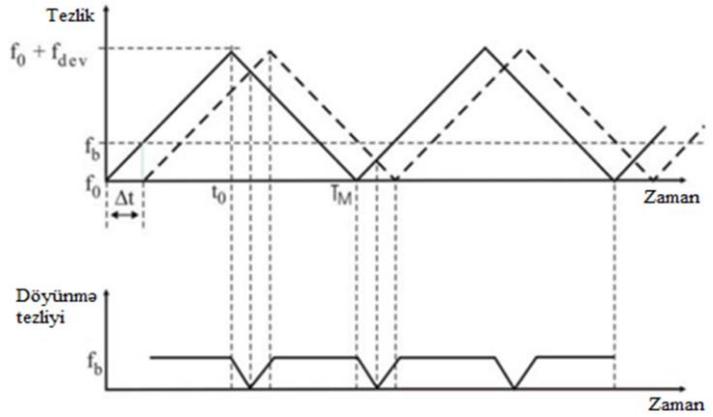
Şəkil 2. Kəsilməz şüalanmalı radar sisteminin ümumiləşdirilmiş struktur sxemi. (ARÇ – analoq-rəqəmli çevirici).

Əksər hallarda $\Delta f = f_b$ döyünmə tezliyi $\Delta t = t_d$ zaman fərqiindən asılıdır. Şəkil 3-dəki həndəsi münasibətdən Δt -nin $T_M/2$ -yə nisbətinin f_b -nin f_{dev} -ə nisbətinə bərabər olduğunu görürük. Bunun mənası $t_d = T_M f_b / 2 f_{dev}$ olur və buna görə də $t_d = 2H_g / c$ və hündürlüyün f_b ilə mütənasib olduğunu nəzərə alsaq, onda şaquli (perpendikulyar) H_g – hündürlüyü üçün aşağıdakı ifadəni alırıq [1]:

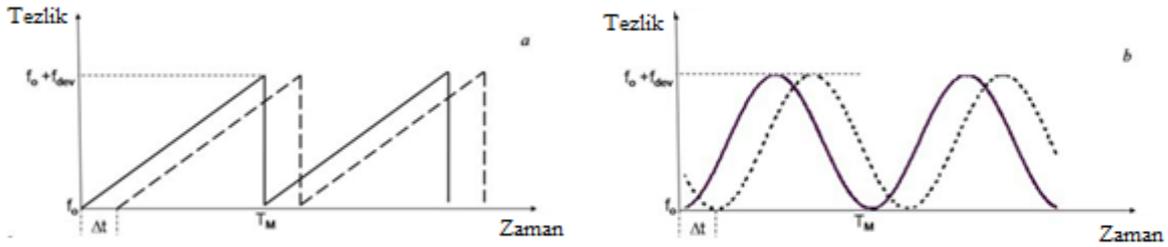
$$H_g = \frac{c T_M}{4 f_{dev}} f_b \quad (1)$$

Tezlik deviasiyası (maksimal dəyişməsi) $f_{dev} = f_{max} - f_{min}$, burada f_{max} , T_M –modulyasiyası ərzindəki maksimum, f_{min} - minimum tezlikdir.

Xətti və xətti simmetrik modulyasiya ən çox istifadə olunandır. Xətti tezlik modulyasiyası və harmonik tezlik modulyasiyası halları şəkil 4-də göstərilir.



Şəkil 3. Hərəkətsiz hədəf üçün tezlik-zaman asılılığı və döyünən signal.



Şəkil 4. Xətti (a) və harmonik (b) tezlik modulyasiyalı ötürülən (düz xətt) və əks olunan (qırıq-qırıq xətt) yüksək tezlikli siqnalların tezliklərinin dəyişmə qrafikləri.

Müəyyən bir dalğa forması üçün tezlik modulyasiyalı kəsilməz şüalanmalı sistemdə ötürülən və qəbul edilən siqnalların tezlikləri arasındakı ani fərq - Δf ölçülür və bu radar ilə yer səthi arasındakı məsafəyə birbaşa mütənasibdir. Məsələn, xətti tezlik modulyasiyası (şəkil 4a) halında hündürlük və ölçülən döyünən tezlik arasındakı əlaqəni aşağıdakı kimi yazmaq olar [1]:

$$H_g = \frac{c T_M}{2 f_{dev}} f_b \quad (2)$$

Bu ifadə f_b -nin xətti simmetrik TM halında verilən hündürlük - H_g üçün 2 dəfə az olduğunu göstərir (şəkil 3). Simmetrik TM halı üçün harmonik TM halı daha yaxındır.

Düzgünlük və dəqiq hündürlük. İmpuls radar hündürlükölçəni üçün maksimum dəqiq diapazon modulyasiya vaxtına görə müəyyən edilir və belə təyin edilir:

$$H_{max} = c T_m / 2 \quad (3)$$

Hündürlüyün diskret təyin edilməsi zamanı diapazon daxili addım səhvləri daxil olmaqla, həqiqi dəqiqliyi pis vəziyyətə gətirən bir neçə hal vardır. Digər səhvlər spektrin qeyri-simmetrikliliyi və hava gəmisinin maneələri nəticəsində ola bilər və burada həm təsadüfi, həm də tətbiq halları nəzərə alınmalıdır.

Addım səhvi əslində $\Delta H = c/4f_{dev}$ hündürlükdə olan kritik diapazondur. Bu səhv dəyişə bilər, lakin bu dəyişmə yalnız ΔH addımının limitləri daxilində ola bilər.

Təsadüfi xəta əks olunan siqnala görə baş verən xətdir. Exo siqnalın effektiv spektri nə qədər geniş olsa, qiymətləndirilən hündürlükdə orta kvadratik xəta da böyük olur. Bu xəta ölçmə ərzində ortalama vaxtı artıraraq azaldıla bilər. Bununla birlikdə ortalama vaxtdakı hər artma hava gəmilərinin manevrinə görə dinamik xətanın artması deməkdir. Buna görə optimal ortalama vaxt mövcuddur və normalda 0,1 san. ilə 1 san. arasında dəyişir.

Sistemdə diaqnostik məsələləri həll etmək üçün qəbuledici/vericidəki TEST düyməsi ilə sistemin self-testi başlandı. Hava/yer diskreti isə uçuşda self-testin qarşısını alır.

Ön paneldən əl ilə self-test başlandılanda LRU (line-replaceable unit) status göstəricisi 2 san. ərzində qırmızı rəng olur, 2 san. ərzində yaşıl rəng olur və sonra testin qalanı üçün OFF olur. XMIT və REC LED-ləri 4 san. ərzində qırmızı rəng olur. Testin sonunda yaşıl rəngli LRU STATUS və ya qırmızı rəngli LRU STATUS işıqları test nəticələrində gəlir. Qırmızı rəngli XMIT və ya REC LED FAIL status göstəricisi antena sistemi ilə problem olduqda gəlir. Əgər axırıncı 4 uçuş ərzində xəta olarsa, self-test zamanı qırmızı rəngli LRU STATUS FAIL işığı müşahidə edilir [2].

Antenanın elektrik xarakteristikləri bunlardır: Antena 500 watt pik və 5 watt orta güc ötürə bilər; Antenanın DC müqaviməti 0,5 – 1 Om-dur.

Həmçinin bu sistemin test olunması üçün ALT-8000 avadanlığı istifadə olunur və bu avadanlıq sürətli test üçün asanlıqla quraşdırıla bilən radiotezlik əsaslı hündürlük simulyasiyasını və ya əlavə problemlərin aradan qaldırılması üçün LRU ilə birbaşa əlaqəni təmin edir. Geniş rəngli sensorlu ekran parametrik ölçmələri göstərir və real hava gəmisini vəziyyətlərini təqlid etmək üçün ətraflı profillərin yaradılmasına imkan verir [3].

Hava gəmisinin radiohündürlük ölçmə sistemi üçün avtonom diaqnostika üsulunun təklifi.

Hava gəmisinin radiohündürlük ölçmə sistemində ehtimal oluna bilən nasazlıqların və ya sistemdəki xətalara qarşısını almaq üçün avtonom diaqnostika üsulunun işlənilməsinin, yeni diaqnostik üsulun alqoritminin, buna uyğun olaraq riyazi modelinin, struktur quruluşunun işlənilib hazırlanmasının məqsədə uyğun olduğu görünür. Yeni avtonom özünü diaqnostika üsulunun və bu üsula uyğun olaraq işlənilib hazırlanan qurğunun hava gəmisinin radiohündürlük ölçmə sistemində tətbiqi ilə uçuşda bu sistemin işində baş verən səhv işləmə halları, yaranan və yaranması ehtimal oluna bilən xəta və nasazlıqlar əvvəlcədən təyin edilə bilər.

Havada hərəkətin idarə olunmasını təmin edən bort və yerüstü avadanlıqlar radiotexniki prinsiplər əsasında quraşdırılmışdır. Məlum olduğu kimi hava gəmilərində istifadə olunan radionaviqasiya sistemlərinin iş prosesində qəbuledici və ötürücülər əhəmiyyətli rol oynayır.

Aparılan elmi tədqiqatlar əsasında əldə etdiyimiz nəticələr göstərir ki, hava gəmisinin radiohündürlük ölçmə sisteminin cərəyana görə iş rejimlərinə nəzarət etməklə, sistemin avtonom diaqnostikasını yerinə yetirmək mümkündür. Qeyd olunanları nəzərə alaraq, işdə, radiohündürlük ölçmə sisteminin avtonom diaqnostikasının aparılması üsulu və bu üsula əsaslanan qurğunun modeli təklif edilir. Təklif edilən yeni diaqnostik üsulun əsas üstünlüklərindən biri onun həm də təmassız olaraq yerinə yetirilə bilməsidir. Belə ki, müəyyən olunmuşdur ki, təmassız nəzarəti təmin edə bilən yeni növ cərəyan vericiləri kimi geniş tətbiq olunan Holl vericisi və Roqovski sarğacı əsasında radiohündürlük ölçmə sisteminin işçi elektrik rejimlərinə avtonom nəzarət etməklə, sistemin avtonom diaqnostikasını yerinə yetirmək mümkündür.

Uçuş zamanı radiohündürlükölçənin düzgün və dəqiq fəaliyyət yerinə yetirib-yetirmədiyini təyin etmək üçün məqalədə sistemin işçi elektrik parametrlərinin qiymətlərinin dəyişməsinə nəzarət edilməsi nəzərdə tutulub. Baxılan sistemin iş fəaliyyətinin yoxlanılmasını, həm də bu sistemin işçi cərəyanına nəzarət etməklə də mümkündür.

Məqalədə əsas məqsəd sistemin işçi cərəyanının qiymətinin artma və azalmasına uyğun olaraq, təmassız nəzarət etməklə, radiohündürlük ölçmə sisteminin düzgün iş fəaliyyətinin yoxlanılmasını təmin etməkdir.

Sistemə tətbiq olunması nəzərdə tutulan Holl cərəyan vericisi keçiricilik itkilərinin olmaması və həm sabit cərəyanın, həm də dəyişən cərəyanın ölçülməsi imkanına malik olması ilə digərlərindən fərqlənir. Əlavə olaraq, Holl vericisi ölçülən cərəyan dövrəsindən izolyasiya olunub ki, bu da avtomatik olaraq qalvanik ayırmanı təmin edir. Bu halda çatışmazlıq xarici qida mənbəyinin olması zərurətidir. Böyük cərəyanların (10 – 2000 A) ölçülməsi zamanı Holl vericisi əlavə maqnit içliyi istifadə etmədən birbaşa naqilin yaxınlığında yerləşdirilə bilər. Xətti Holl vericiləri həm də kifayət qədər yüksək tezlikli cərəyanları ölçməyə imkan verir və cərəyanlı məftilin yaxınlığında yerləşdikdə, vericinin çıxış gərginliyi yaranan maqnit sahə induksiyasına, son nəticədə cərəyanı mütənasib olur [4, 5].

Ən sadə Holl cərəyan vericisi ölçülən cərəyanın axdığı məftilin yaxınlığında yerləşdirilən konstruksiyaya malik olan Holl vericisidir. Cərəyanlı naqilin yaratdığı maqnit sahəsinin induksiyası aşağıdakı məlum (beyn. sistemdə) düsturla qiymətləndirilə bilər:

$$B \approx \mu_0(I/4\pi r) \quad (4)$$

Burada, r - məftil ilə Holl vericisinin mərkəzləri arasındakı məsafədir. Xətti Holl vericisinin məftilə nəzərən vəziyyətini seçərkən nəzərə almaq lazımdır ki, ən yüksək həssaslıq maqnit sahə xətlərinin vericinin müstəvisini düz bucaq altında kəsdiyi halda əldə olunur. Bu vericinin əsas çatışmazlığı ondan ibarətdir ki, istənilən xarici maqnit sahəsi vericinin göstərişinə təsir edir. Ona görə də həssaslığı artırmaq və bununla yanaşı xarici təsirləri azaltmaq üçün maqnit içliyin kəsik aralıq hissəsində inteqral sxemli presizion verici yerləşdirilir və cərəyanlı naqil, transformator vericisində olduğu kimi toroidin içərisindən buraxılır.

Əlavə olaraq, xüsusi maqnit içliklərdən və mikrosxemlərdən istifadə etməmək üçün, aparılan tədqiqatlar zamanı, Holl vericisində yaranan əlavə küyləri azaltmaq və eyni zamanda kiçik cərəyanların ölçülməsini təmin etmək üçün tələb olunan gücləndirməyə nail olmaq üçün, tranzistor əsaslı, əməliyyat gücləndiricisi əsasında və optocüt əsasında gücləndiricilər qurmaqla, 0,1 – 10 A intervalında cərəyanların ölçülməsi həyata keçirilmişdir. Holl vericisi 100 kHs-lərə qədər tezlikli cərəyanları ölçməyə imkan verir.

Yüksək tezlikli şüalanma cərəyanına nəzarət üçün ən əlverişli vericilərdən biri kimi Roqovski sarğacı hesab oluna bilər. Bu vericinin əsas xüsusiyyəti odur ki, onun siqnal dolağında siqnalın e.h.q.-si ölçülən cərəyanın törəməsinə düz mütənasibdir və yüksək tezlikli cərəyanlara nəzarət etməyə imkan verir.

Məlum olduğu kimi, dəyişən cərəyan dövrlərində cərəyan vericiləri kimi son dövrlər Roqovski sarğacından geniş istifadə olunur, hansı ki, bərabər burumlu sarğısı olan toroiddən təşkil olunmuşdur. Ölçülən cərəyanlı naqillə əhatə olunan sarğacda konturun qapanması zamanı e.h.q. yaranır. Amper qanununa əsasən maqnit sahəsinin xətti inteqral gərginliyi istənilən qapalı kontur üzrə bu konturla məhdudlaşan səthdə tam cərəyanı bərabər olur [4, 5, 6].

$$\oint H \cos \alpha d\lambda = I \quad (5)$$

Burada, H – maqnit sahəsinin gərginliyi; α - maqnit sahəsinin vektoru və həmçinin dl - uzunluğunda elementar seksiyanın burumunun səthinə normal istiqaməti arasındakı bucaqdır.

Φ maqnit seli və H maqnit sahə gərginliyi arasındakı əlaqə aşağıdakı ifadə ilə müəyyən olunur:

$$\Phi = \iint \mu_0 \alpha H dS = \mu_0 \alpha A n \Phi H x d\lambda \quad (6)$$

Burada, $dS = A \times n \times dl$ (A – elementar seksiyanın eninə sahəsi; n - seksiyada dl uzunluğunda burumların sayıdır).

E.h.q. qapalı konturda maqnit sahəsinin dəyişməsi zamanı induksiya edilmiş elektrik sahəsinə görə yaranır [4,6]:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\mu_0 \alpha A n \frac{d\lambda}{dt} = -M d\lambda/dt \quad (7)$$

Burada, $M = \mu_0 \alpha A \times n$ – sarğac və naqıl arasındakı qarşılıqlı induktivlikdir. E.h.q. maqnit sahənin dəyişməsi zamanı induksiya olunduğuna görə verici sabit cərəyanı ölçmək üçün istifadə oluna bilməz. Hətta ən vacib məsələ kimi sarğuların sarınması zamanı uzunluq boyunca burumların bərabər paylanmasına riayət olunmalıdır.

Roqovski sarğacı xarici maqnit sahələrinin təsirinə məruz qalır və bu zərərli faktorun təsirini azaltmaq üçün dairəvi toroidal özəkdə sarğuların bərabər dolanmasını həyata keçirirlər, bu zaman xarici bərabər maqnit sahəsinin təsiri sarğacın daxilində tarazlanır. Kənar elektromaqnit sahələrindən yan təsirləri aradan qaldırmaq üçün Roqovski sarğacını elektrostatik ekran içərisində yerləşdirirlər.

Həmçinin, xarici dəyişən maqnit sahələrinin təsirini aradan qaldırmaq üçün effektiv üsullardan biri də əks dolağın istifadə edilməsidir.

Roqovski sarğacının əsas üstünlükləri: cərəyan dəyişməsinin xətti funksiyalı olması, hansı ki, öz növbəsində ölçmə diapazonunu genişləndirməyə imkan verir; cərəyan xəttini kəsmədən ölçmə aparmağa imkan verən, sökülə bilən konstruksiyalı olması; sarğının induktivliyinin az olması və s.

Beləliklə, Holl effektinə əsaslanan vericinin və Roqovski sarğacının tətbiqi ilə nəzərdə tutulan cərəyan vericisinin işlənilib hazırlanması ilə radiohündürlük ölçmənin işçi cərəyanına görə iş rejimlərinə nəzarət etməklə, sistemin avtonom diaqnostikasının aparılmasına imkan verən avtonom qurğu yaratmaq olar.

Nəticə. Məqalədə hava gəmisinin radiohündürlük ölçmə sistemi, sistemin müasir problemləri və sistemdə tətbiq olunan mövcud diaqnostik üsullar təhlil olunmuşdur. Sistemdə testləmənin mühüm əhəmiyyətli olduğunu nəzərə alaraq sistem üçün yeni avtonom diaqnostik üsul təklif olunmuşdur. Yeni üsul testləmənin daha dəqiq yerinə yetirilməsi, təmassız olması və hava gəmisinin uçuş zamanı testlənməsini təmin etməsi kimi üstünlüklərə malikdir. Nəticədə isə hava gəmisinin radiohündürlük ölçmə sisteminin düzgün diaqnostikasının həyata keçirilməsi ilə sistemin düzgün və etibarlı iş rejiminin təmin edilməsi və yüksəldilməsi mümkün olur.

REFERENCES

1. **Alexander V. Nebylov, Felix J. Yanovsky.** Radar Altimeters. Research Gate. January 2013, p. 41.
2. Boeing 767. Training manual. BK-767FSL-301R0-NAV-2OF2-98191, p. 441.
3. FMCW/ Pulse Radio Altimeter Flightline Test Set. Aeroflex. Part No. 46891/370, Issue 3, 03/11.
4. **Isgandarov I.A., Karimov S.M., Babayeva N.H.** Methods and Instruments for noncontact diagnostics of the TCAS system. Aerospace technic and technology. National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute". № 6(150), 2018, p. 83-92.
5. **Isgəndərov İ.Ə., Babayeva N.H.** TCAS sisteminin yalan işə düşmə və səhv qərarvermə hallarından avtonom diaqnostika modeli. Elmi məcmuələr jurnalı. Bakı, MAA Cild 20 №2. – Bakı, 2018.

6. **Iskenderov I.A.** К применению современных датчиков напряжения и тока в бортовом оборудовании воздушных судов. МАА Elmi Мәсм. Сıld 18, №4, В, 2016, s.35-49. (Искендеров И.А. К применению современных датчиков напряжения и тока в бортовом оборудовании воздушных судов).
 7. <https://az.wikipedia.org>.
 8. <https://economictimes.indiatimes.com/industry/transportation/airlines/-aviation/our-pilots-handles-ils-failure-incident-professionally-air-india/articleshow/65860850.cms>
 9. <https://news.aviation-safety.net/2013/01/24/altimeter-problems-caused-fatal-antonov-72-cfit-accident-in-kazakhstan/>
 10. https://www.atsb.gov.au/publications/investigation_reports/2009/aaair/ao-2009-013/
 11. <https://www.seattletimes.com/business/boeing-aerospace/altimeter-pilot-errors-blamed-in-turkish-crash/>
-

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМЫ РАДИОВЫСОТОМЕРОВ И ВОПРОСЫ ЕЁ АВТОНОМНОЙ ДИАГНОСТИКИ

И.А. ИСКЕНДЕРОВ, Г.Б. БАБАЕВ, Н.Г. БАБАЕВА

В статье проведен анализ эксплуатационно-технических особенностей радиовысотомерной системы, предназначенной для измерения вертикального расстояния (истинной высоты) воздушных судов, измеряемого от поверхности Земли. Проведен статистический анализ определенных погрешностей и неисправностей, возникающих в этой системе, и проведена оценка степени влияния таких неисправностей на безопасность полетов. С учетом того, что проблемы, возникающие в радиовысотомерной системе, приводят к ухудшению уровня безопасности полетов, обоснована актуальность разработки и внедрения дополнительных методов и средств диагностики для этой системы и предложен принципиально новый метод диагностики. Показана возможность раннего определения неисправностей и ложных срабатываний, возникающих или ожидаемых в работе данной системы с помощью применения предложенного нового метода самодиагностики устройства. На основании результатов, полученных в ходе проведенных научных исследований, установлено, что автономный контроль рабочих электрических параметров радиовысотомерной системы воздушного судна позволяет выполнить автономную диагностику системы. Как одно из главных достоинств предлагаемого нового метода диагностики показана возможность его выполнения также бесконтактным способом. Установлено, что в качестве датчиков тока, обеспечивающих бесконтактный контроль, может быть использован метод, основанный на использовании широко применяемых современных датчиков типа датчика Холла и катушки Роговского. В результате проведенных исследований показано, что, улучшая надежность функционирования радиовысотомерной системы применением дополнительной самодиагностики, обеспечивается возможность повышения безопасности полетов.

Ключевые слова: воздушное судно, безопасность полетов, ложное решение, автономная диагностика, датчик Холла, катушка Роговского.

MODERN PROBLEMS AND AUTONOMOUS DIAGNOSTIC ISSUES OF THE AIRCRAFT RADIOALTIMETER SYSTEM

I.A. ISGANDAROV, H.B. BABAYEV, N.H. BABAYEVA

In article, the operational and technical characteristics of the radio altimeter system designed to measure the vertical distance of aircraft to the ground are analysed and the statistical analysis of the formed faults and failures are performed in this system in recent years as well these failures impact degree is evaluated to the flights safety. The relevance of the additional diagnostic methods and instruments processing and implementation is substantiated taking into account the formed problems in the radio altimeter system that causes to decrease the flights safety level and a new diagnostic method is proposed for this system. In this article, it is shown that a possibility of predetermining the formed faults and failures in the operation of this system based on the applicator of the proposed new autonomous self-diagnostic method and the device is developed according to this method, and the aircraft radio altimeter system. It is defined possibility of the autonomous diagnostics of this system is performed by autonomous control of the operating electrical modes of the aircraft radio altimeter system based on the results of our scientific researches. One of the main advantages of the proposed new diagnostic method is its contactless implementation and it is established that the intended method can be performed based on the Hall sensor and Rogowski coil implemented as a new type of current sensors that provide contactless control. In the result, it is shown that it is possible to increase flights safety by improving the reliability of the radio altimeter system performance.

Key words: aircraft, flights safety, radioaltimeter, fault decision, autonomous diagnostics, Hall sensor, Rogowski coil.

<i>Redaksiyaya daxil olub:</i>	28.06.2019
<i>Tamamlama işlərindən sonra:</i>	11.06.2020
<i>Nəşrə qəbul edilib:</i>	15.06.2020

УДК 629.113.592.117

ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ОРОШЕНИИ ВОДОЙ ПАР ТРЕНИЯ ДИСКОВО-КОЛОДОЧНЫХ ТОРМОЗОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

А.Х. ДЖАНАХМЕДОВ¹, А.И. ВОЛЬЧЕНКО², М.М. НАСИРОВА¹,
В.Я. МАЛЫК², Н.А. ВОЛЬЧЕНКО³, П.А. ПОЛЯКОВ³, Р.С. ТАГИЕВ³

Произведен анализ структуры трибологических систем металлополимерных пар трения на девяти уровнях, из которых для материалов пары трения выделено четыре уровня. Уделено внимание влиянию смачивания водой матовых и полированных поверхностей тормозных дисков при движении транспортных средств по мокрой дороге.

Термокинетические процессы, происходящие в среде воды и влажного воздуха, которые омывают пары трения дисково-колодочного тормоза, выполненные в виде диска и колодки, исследовались на машине трения и износа СМЦ-2. Установлены закономерности изменения эксплуатационных параметров (динамического коэффициента трения, тормозного момента и весового износа) колодки при вращении диска с частотой 300 мин⁻¹ при удельных нагрузках 1,0 и 1,3 МПа и поверхностных температурах до 400⁰С. Дан анализ интенсивности изменения перечисленных выше эксплуатационных параметров.

Полированные и матовые поверхности тормозных дисков с горячими и холодными зонами имеют различные площади. Вода на этих участках находится в жидком и газообразном состояниях. Все это способствует протеканию электрохимических и химических реакций на поверхности пояса трения диска. Сконденсировавшаяся на поясе трения диска влага выступает в роли электролита, способствующего снижению износо-фрикционных свойств пар трения и образованию коррозионных очагов на границах полированных и матовых поверхностей диска.

Кислород и водород, выделяющиеся при разложении воды в процессе реакций, способствуют окислительным процессам на поясе трения диска и интенсифицируют водородный износ его поверхности.

Ключевые слова: транспортное средство, дисково-колодочный тормоз, пары трения, поверхности диска, смачиваемость.

Введение. В окружающей среде, в воздухе, всегда присутствует влага. Существует относительная и абсолютная влажность воздуха. Относительная влажность характеризует граничное состояние пара, содержащегося в атмосфере. Интенсивность фрикционного взаимо-

¹ Азербайджанская Национальная академия авиации

² Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа (Украина)

³ Кубанский государственный технологический университет, Краснодар (Россия)

E-mail: mahluga.nasirova@gmail.com

действия пар трения, динамический коэффициент трения и величина износа зависят также и от степени насыщенности окружающей среды водяным паром. Его влияние на тепловые, химические и электрические процессы, происходящие при электротермомеханическом фрикционном взаимодействии пар трения «полимер-металл», изучены недостаточно.

Высокие температуры и упруго-пластическая деформация материалов контактирующей пары при трении способствуют существенному росту физико-химической активности их поверхностных слоев. Это создает условия для протекания трибохимических реакций, которые относятся к мощным релаксационным возбуждениям процессов, способствующих диссипации подводимой к металлическому элементу трения энергии. Особенно активно проходят трибохимические реакции в поверхностных слоях полимерных накладок узлов трения тормозных устройств. Из факторов, влияющих на скорость протекания химических реакций, выделим следующие: поверхностные и объемные температуры, удельные нагрузки, коэффициент взаимного перекрытия пар трения, присутствие инертных газов и тип реакции.

Рост износа пар трения с повышением относительной влажности воздуха может наблюдаться при конденсации паров воды на поверхности трения. Сконденсировавшийся пар образует тонкую пленку воды, которая представляет собой электролитический проводящий слой, способствующий развитию на рабочей поверхности металлического элемента трения процессов электрохимической коррозии, разъедающей микроучастки поверхности. При этом образуются очаги коррозионных язв, вследствие чего увеличивается износ сопряженных поверхностей, особенно при росте удельных нагрузок.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Эффективность действия дисково-колодочных тормозов транспортных средств зависит от количества влаги, попадающей на поверхности их пар трения.

Проанализируем работы, посвященные 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 величина удельного износа элементов трения [1]. В этом случае продуктом износа является металлический порошок, способствующий интенсификации процесса схватывания. При уменьшении удельных нагрузок до $p=5 \cdot 10^4$ Па и увеличении относительной влажности воздуха в межконтактной зоне износ пары трения уменьшается.

Результаты проведенных исследований [1-4] свидетельствуют о том, что с увеличением относительной влажности воздуха в парах трения наблюдается увеличение износа их рабочих поверхностей, вызванного ростом момента трения. Отмечено, что повышение влажности окружающей среды может вызвать увеличение износа полимерного фрикционного элемента более чем в 20 раз [1]. В [2, 5] доказано, что с ростом парциального давления водяного пара в межконтактном зазоре элементов трения уменьшается момент трения, а, следовательно, и износ фрикционного материала.

Из [1-5] следует, что с увеличением относительной влажности воздуха, попадающего в межконтактную зону пар трения, возникает дополнительный отрицательный фактор, влияющий на изменение их эксплуатационных параметров.

Вода обладает очень малой сжимаемостью. Молекулы воды располагаются по отношению друг к другу ближе, чем в газах, вследствие чего наблюдается большее взаимодействие (притягивание) между ними. Полная внутренняя энергия молекул воды складывается

из потенциальной энергии, обусловленной молекулярным взаимодействием, и кинетической, связанной с температурой нагревания воды. Эти составляющие энергии молекул жидкости близки по величине, что определяет многие ее свойства.

Близко расположенные молекулы воды образуют ее определенную структуру, получившую название ближнего порядка. Однако при удалении молекул на величину трех-четырёх молекулярных диаметров сходство в их упаковке друг относительно друга нарушается. С повышением объемной температуры упорядоченность в расположении соседних молекул постепенно снижается, и их расположение становится все более хаотическим.

Особую роль в процессах, происходящих в межконтактной зоне пар трения дисково-колодочного тормоза, играют удельные нагрузки. При небольших нагрузках (до 0,7 МПа) имеют место трибохимические реакции между компонентами материалов сопряженных пар трения и химически активными составляющими окружающей среды. В результате этого на поверхностях трения тормоза образуются пассивирующие пленки, защищающие металл поясов трения диска от адгезионного износа. Установлено, что чем ниже интенсивность гетерогенного воздействия, связанного со средой пары трения, тем выше сопротивление разрушению.

При высоких удельных нагрузках в парах трения в поверхностном слое взаимодействующих тел накапливается энергия деформации до своего некоторого допустимого значения. При активизации трибохимических процессов в твердых фазах интенсифицируется процесс схватывания, вследствие чего увеличивается износ.

При исследовании влияния влажности окружающего воздуха и орошения водой рабочих поверхностей пар трения дисково-колодочных тормозов транспортных средств необходимо учитывать:

- структуру трибологических систем металлополимерных пар трения;
- термокинетические процессы при смачивании модельных пар трения на машине трения и износа и натуральных пар трения дисково-колодочного тормоза в лабораторных условиях;
- межконтактную среду во фрикционных узлах;
- нанотрибологические процессы, происходящие на рабочих поверхностях пар трения и в приповерхностных слоях фрикционных накладок.
- многокомпонентность воздействия воды, пара и влаги со свойствами диэлектрика, полупроводника и проводника.

Такой комплексный подход к исследованию влияния влаги на эксплуатационные характеристики тормозного узла до настоящего времени никем не предпринимался.

Проблема удаления влаги с поверхности трения дисково-колодочного тормоза по-прежнему является актуальной.

Цель работы – оценка влияния интенсивности омывания влажным воздухом и орошения водой горячих пар трения дисково-колодочных тормозов транспортных средств, а также термокинетических и теплообменных процессов на их работоспособность.

Структура трибологических систем металлополимерных пар трения. Для проведения анализа изменения внешних параметров металлополимерных пар трения, вызванного процессами, явлениями и эффектами, воспользуемся моделью трибосистемы (рис. 1).

Модель характеризует состав системы (пару трения и ее свойства); ее внешние связи (связи между парами трения) и связи между параметрами входа и выхода; функциональные характеристики системы (соотношение между параметрами входа и выхода).

Моделирование фрикционного взаимодействия – это отображение реальной трибологической системы при скольжении пар трения и их разомкнутом состоянии, когда металлический элемент вращается. Модель в зависимости от поставленной задачи отображает реальную систему в различном приближении. Главными компонентами модели в трибосистеме являются пары трения «металл-полимер». Эти элементы разделены буферным слоем (третьим слоем по И.В. Крагельскому) при температурах, не превышающих допустимую для материала полимерной накладки. В случае превышения допустимой температуры с поверхностного слоя фрикционной накладки происходит выгорание связующего компонента (формальдегидной смолы). В этом случае имеет место крекинг-процесс, что ведет к образованию островков жидкости на рабочей поверхности накладки. На контактирующие элементы трибосистемы воздействует окружающая среда (воздух, газы, образовавшиеся из жидкости, жидкость). Особую важность приобретает вопрос изучения влияния смачивания водой матовых и полированных поверхностей тормозных дисков при движении транспортных средств по мокрой дороге.

Структура трибосистемы предопределяет свойства ее элементов. Эти свойства зависят от типов фрикционных узлов, принимающих участие в процессах, явлениях и эффектах. Фрикционные узлы характеризуются конструктивными параметрами и физическими свойствами материалов. И те и другие необходимо рассматривать на нано-, микро- и макроуровнях с указанием индивидуальных или агрегатных свойств.

К индивидуальным свойствам пар трения трибосопряжения относятся геометрические параметры:

- на микроуровне: шероховатость поверхности трения (распределение неровностей, их форма, радиус закругления вершин, высота); волнистость поверхности (высота волнистости, ее средний шаг), направление следов обработки, геометрические дефекты поверхности (царапины, трещины, вмятины и т.д.);

- на макроуровне: форма элемента трения, его номинальные размеры (длина, ширина, диаметр, радиус кривизны), отклонения формы, отклонения размеров.

К агрегатным свойствам пар трения относятся:

- макросвойства: физические и химические (химический состав; плотность; металлофизическая структура; термодинамические свойства (удельная теплоемкость, теплота плав-

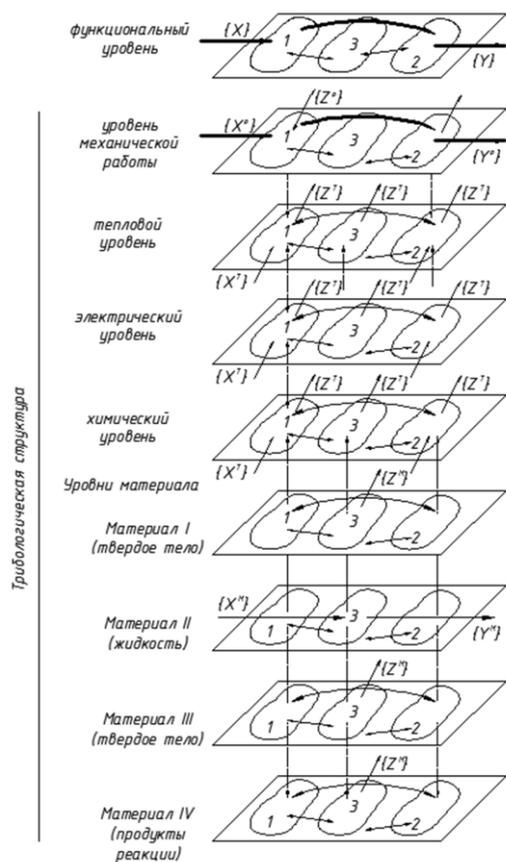


Рисунок 1 – Уровни процессов, происходящих в трибосопряжении при трении

ления материала и фаз); теплопроводимость; температуропроводимость; коэффициент линейного расширения; термическое сопротивление (теплоотдача, теплопроводность); коэффициент теплопередачи; тепловые деформации и напряжения; свободная энергия поверхности);

- механические: временное сопротивление на растяжение, пределы упругости и пластичности, сопротивление срезу, усталостная прочность, ударная вязкость, модуль продольной и поперечной упругости, коэффициент Пуассона, твердость, текущие и остаточные напряжения, упрочнение:

- микросвойства: кристаллическая структура, параметры кристаллической решетки, плотность упаковки, координационное число, энергия связей.

Термокинетические процессы, происходящие в среде воды и влажного воздуха, омывающих пары трения на машине модели СМЦ-2. Для исследования влияния влажного воздуха переменной концентрации на износо-фрикционные характеристики пары трения ФК-24А-сталь 35ХНЛ были проведены ее экспериментальные исследования в лабораторных условиях.

Целью испытаний явилось установление оптимальной влажности воздуха, наиболее эффективно охлаждающего ее поверхности.

Оптимальную влажность определяли по результатам сравнения интенсивности охлаждения воздухом с различной относительной влажностью фрикционной пары ФК-24А-сталь 35ХНЛ. Испытания производили на машине трения и износа модели СМЦ-2. Испытуемые образцы были выполнены в виде диска и колодочки (рис. 2).

В процессе экспериментальных исследований пары трения ФК-24А-сталь 35ХНЛ регистрировались следующие параметры: число оборотов диска, момент трения и поверхностные температуры.

Запись момента трения и контроль температуры поверхности трения фрикционной пары осуществляли электронным потенциометром. Суммарное число оборотов диска фиксировалось посредством счетчика, установленного в блоке потенциометра. Износ образцов определяли взвешиванием до и после их испытаний. Общее время работы образцов составляло шесть часов, что соответствует среднему времени работы фрикционных накладок дисково-колодочного тормоза в эксплуатационном режиме грузового транспортного средства марки MAN модели 26.430.

Величина усилия прижатия колодочки к диску выбиралась из условия равенства удельных нагрузок в испытуемых образцах и во фрикционной паре дисково-колодочного тормоза.

Для испытания образцов в среде влажного воздуха на машине трения СМЦ-2 устанавливалась специальная камера (рис. 3).

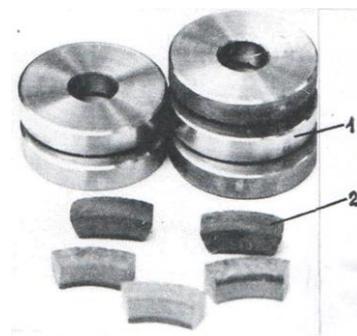


Рисунок 2 – Испытуемые образцы: диски – 1, колодочки – 2

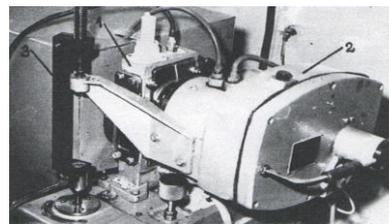


Рисунок 3 – Камера машины СМЦ-2 для испытания образцов в различных средах: камера 1; откидная бабка 2; нагрузочное устройство 3

Объем камеры последовательно заполняли воздухом с относительной влажностью 25, 50 и 75 %. Воздух указанной влажности подавали в течение 5; 10 и 15 с через каждые 2,0-2,5 мин.

Образцы при трении нагреваются, выделяя теплоту в окружающую среду, в результате чего влага воздуха, заполняющего камеру, интенсивно испарялась. Образовавшийся пар омывал рабочие поверхности диска и колодочки.

До начала испытаний образцы подвергали приработке для обеспечения более полного взаимного прилегания их трущихся поверхностей.

На воздухе образцы испытывали при скорости вращения диска 300 мин^{-1} и удельной нагрузке 1,0 МПа. В начальный момент времени по мере прикладывания нагрузки к образцам момент трения увеличивался. Вместе с ним росла температура. Однако по истечении 2,0-3,0 мин со времени пуска машины момент плавно падал, после чего стабилизировался, что указывало на установление теплового равновесия трущейся пары при заданной удельной нагрузке (рис. 4).

На рис. 5 приведены кривые зависимости износа от момента трения при работе пары трения ФК-24А-сталь 35ХНЛ в различных средах в течение часа. Для выявления эффективности принудительного охлаждения проведен сопоставительный анализ средних значений моментов, развиваемых парой трения в среде воды и воздуха с относительной влажностью 25, 50 и 75 % по отношению к величинам моментов, создаваемых парой трения, охлаждаемой естественно (табл. 1).

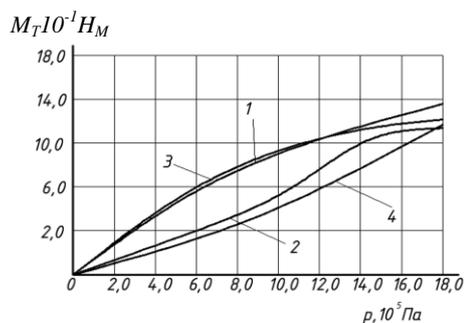


Рисунок 4 – Зависимость тормозного момента пары трения «диск сталь 35ХНЛ - колодочка ФК-24А» от удельных нагрузок при охлаждении: воздухом окружающей среды – 1; воздухом с относительной влажностью 25 (2), 50 (3) и 75 % (4)

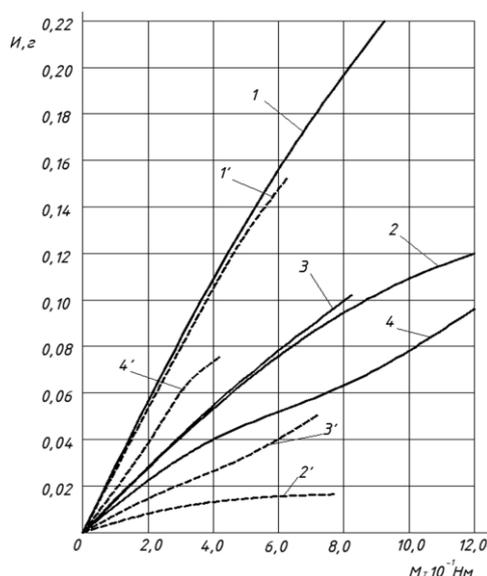


Рисунок 5 – Изменение износа пар трения «диск сталь 35ХНЛ - колодочка ФК-24А» в зависимости от развиваемых тормозных моментов и интенсивности охлаждения: воздухом (1); влажным воздухом с относительной влажностью 25 (2), 50 (3) и 75 % (4) (колодочка —, диск ---)

Таблица 1

Величины моментов трения и их соотношений при работе пары трения ФК-24А–сталь 35ХНЛ в различных средах

Среда	Значения $M_T, \text{Н} \cdot \text{м} \cdot 10^{-1}$		Отношение M_T в различных средах к M_T в воздухе		Среднее значение соотношений
	при удельных нагрузках в паре трения, МПа				
Воздух Вода	1,0	1,3	1,0	1,3	1,0
	6,0	17,25	1,0	1,0	
Относительная влажность воздуха	25	7,5	21,75	1,26	1,255
	50	6,75	14,25	1,125	0,9755
	75	7,75	19,5	1,375	1,13

Из табл. 1 следует, что максимальное среднее значение отношений моментов трения было при охлаждении пары трения воздухом с относительной влажностью 25 и 75 %, минимальное – 50 %. При работе пары трения в воздушной среде с относительной влажностью 50 % наблюдалось относительное проскальзывание диска и колодочки вследствие присутствия окисной пленки на поверхности диска.

При испытаниях образцов на машине СМЦ-2 на воздухе и в камере в течение 6 часов при 300 мин^{-1} установлено, что:

- в области удельных нагрузок $0,6 \dots 1,0 \text{ МПа}$ имели место минимальные значения моментов трения при работе диска и колодочки в среде воздуха с относительной влажностью 75 %, которые увеличивались при его влажности 25 %;

- в области удельных нагрузок свыше $1,5 \text{ МПа}$ минимальные моменты трения отмечены в среде воздуха при относительной влажности 50 и 75%.

На рис. 6 приведена зависимость вида $t_T = M(p)$, из которой следует, что при числе оборотов диска 300 мин^{-1} с увеличением удельной нагрузки поверхностная температура пары трения диск-колодочка достигала $370 \text{ }^\circ\text{C}$, а при 500 мин^{-1} – $320 \text{ }^\circ\text{C}$. Второй режим испытаний при естественном охлаждении интенсивнее первого на 13,5 %. В диапазоне температур $380\text{-}430 \text{ }^\circ\text{C}$ наблюдалось выгорание связующего компонента полимерной колодочки, сопровождающееся характерным запахом, стальной диск при этом имел синеватый оттенок. В диапазоне удельных нагрузок $0,6\text{-}1,6 \text{ МПа}$ имело место снижение поверхностных температур трущихся поверхностей диска и колодочки в среднем на 26,75% при их работе в воздушной среде с относительной влажностью 25 % по сравнению с естественным охлаждением.

По текущим значениям моментов трения в процессе испытаний пары трения ФК-24А – сталь 35ХНЛ определили динамический коэффициент трения:

$$f = \frac{2M_T}{PD}, \quad (1)$$

где M_T – регистрируемый момент трения; P – усилие прижатия колодочки к вращающемуся диску; D – диаметр рабочей поверхности диска.

Результаты расчетов динамического коэффициента трения представлены графическими зависимостями на рис. 7.

Анализ кривых показывает, что при скорости вращения диска 300 мин^{-1} с увеличением нагрузки в паре трения и с ростом относительной влажности воздуха динамический коэффициент трения уменьшается. Повышение скорости вращения диска до 500 мин^{-1} способствовало уменьшению динамического коэффициента трения в 2,03 раза.

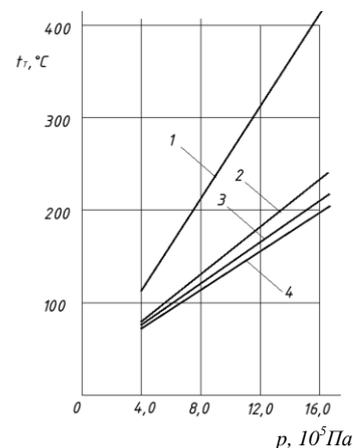


Рисунок 6 – Зависимость поверхностной температуры колодочки ФК-24А от удельных нагрузок и интенсивности охлаждения: воздухом (1); воздушной средой с относительной влажностью 25 (2), 50 (3) и 75 % (4)

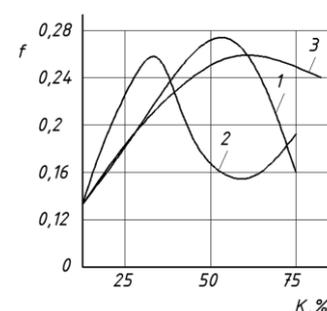


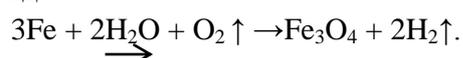
Рисунок 7 – Зависимость динамического коэффициента трения фрикционной пары «диск сталь 35ХНЛ–колодочка ФК-24А» от относительной влажности воздуха и удельных нагрузок: 1,0 МПа – 1; 1,3 МПа – 2; 1,6 МПа – 3 при частоте вращения диска 300 мин^{-1}

Результаты испытаний пары трения ФК-24А – сталь 35ХНЛ на машине трения СМЦ-2 показали, что их износ уменьшается, а фрикционные характеристики повышаются в среде воздуха с относительной влажностью 25 %.

Испытания мокрых пар трения дисково-колодочного тормоза на стенде. В стендовых условиях исследовали дисково-колодочный тормоз автомобиля марки MAN модели TGR 26.420. Испытательный стенд оборудован системой для смачивания пар трения дисково-колодочного тормоза [6].

Испытания, выполненные в среде воздуха с различным содержанием паров воды, показали значительное изменение состава среды вблизи зоны трения пары в результате трибохимических реакций. С увеличением относительной влажности воздуха наблюдалось взаимосвязанное повышение количества выделяемого водорода. Водяной пар является исходным компонентом трибохимической реакции, водород – продуктом. Выделение водорода – это результат реакции взаимодействия паров воды с активированным металлом диска.

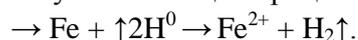
Сравнение в статических условиях энергетических характеристик реакций показало, что энергия активации (E_A) реакции окисления железа водой составляет 56 кДж/моль [7] и значительно меньше энергии окисления углерода водой, для которой $E_{Л}=146$ кДж/моль. При этом химическая реакция имеет вид:



В зависимости от внешних условий и состава среды твердыми продуктами такой реакции могут быть и гидроксиды $\text{Fe}(\text{OH})_2$ и $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Одной из стадий гетерогенной реакции является адсорбция реагента на поясе трения диска. Между количеством (g) адсорбированного вещества и его парциальным давлением (p) в газовой фазе существует пропорциональная зависимость, которая для поверхности с неравномерным микропрофилем выражается изотермой Фрейндлиха $a=k'p^{1/n}$ (где k' – коэффициент пропорциональности). С увеличением относительной влажности воздуха парциальное давление пара воды повышается, что приводит к увеличению трибосорбции воды на образованной в процессе трения свежей поверхности. В результате увеличивается число единичных актов взаимодействия воды с активированным металлом пояса трения диска при росте скорости выделения водорода.

Образование водорода происходит как в результате непосредственного химического взаимодействия воды с активированным металлом, так и в результате диссоциации молекул воды на активных центрах пояса трения. Образовавшиеся атомы водорода молекулизируются и выделяются в газовую фазу в виде молекул. Химизация процесса имеет вид:



Снижение парциального давления кислорода при повышении относительной влажности воздуха обуславливает его трибоадсорбцию на поверхности трения, в результате чего уменьшается расход O_2 . Вследствие уменьшения доступа кислорода в зону трения наблюдается замедление химических процессов с его участием, о чем свидетельствует уменьшение количества образовавшегося оксида и диоксида углерода (рис. 8).

Увеличение объема выделенного метана (CH_4) в связи с повышением относительной влажности среды (рис. 9) является результатом увеличения парциального давления водорода, который выступает одним из компонентов трибохимического синтеза CH_4 . В присутствии водяных паров происходит ускорение реакции взаимодействия углерода с водородом [8].

В условиях электротермомеханического фрикционного взаимодействия материалы пары трения чувствительны к присутствию в воздухе водяного пара (рис. 9). При росте относительной влажности воздуха происходит уменьшение величины момента трения и износа полимерной накладки.

Взаимодействие пояса трения диска с паром воды может происходить в виде электрохимических и химических реакций. Для реализации электрохимического процесса на поверхности трения диска необходимо иметь слой электролита, в качестве которого выступает сконденсировавшаяся влага. Конденсация паров воды и развитие электрохимических реакций приводит к усилению коррозии пояса трения и снижению износостойкости фрикционных свойств пар трения. Проведенные исследования [7, 8] показали, что, начиная с поверхностной температуры 333 К пояса трения диска сконденсировавшаяся на нем влага интенсивно испаряется, этот процесс наиболее интенсивен при температуре 378 К. Исследования проводились при высокой объемной температуре внутри камеры $T=373$ К и достаточно жестких нагрузочно-скоростных режимах работы узла трения. Это позволило достичь на поверхности трения температур, превышающих 500 К, что способствовало конденсации паров воды и образованию слоя электролита. Взаимодействие металла пары трения с водяными парами происходит по механизму газовой и электрохимической коррозии.

Окисление поверхности трения паром воды происходит или вследствие взаимодействия с кислородом, выделяющимся при диссоциации молекул воды, или прямой реакцией. При трении в большинстве случаев продуктами окисления металлов парами воды при высокой температуре являются окислы [9]. Свойства образованных твердых продуктов реакции зависят от химического свойства газовой среды. Чем выше концентрация пара воды и ниже парциальное давление кислорода в стационарных условиях высокого температурного окисления [10], тем больше содержание в твердых продуктах взаимодействия окисленного двухвалентного железа. Это связано с недостатком кислорода для полного протекания химической реакции. Аналогичные зависимости наблюдались и при динамическом контакте поверхностей трения.

Анализ соотношений компонентов трибохимических реакций (рис. 10) показал, что с повышением относительной влажности воздуха с 25 до 75-ти % отношение объема кислоро-

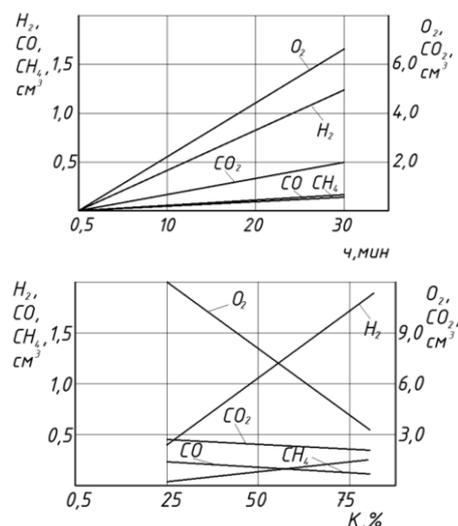


Рисунок 8 а, б – Изменения объемного количества газов, выделяемых во фрикционном узле при трении, в зависимости от времени при относительной влажности воздуха 75 % (а) и от относительной влажности воздуха (б)

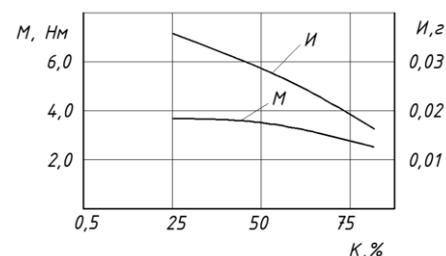


Рисунок 9 – Изменения тормозного момента (M), развиваемого парой трения, и износа (I) полимерной накладке в зависимости от относительной влажности воздуха

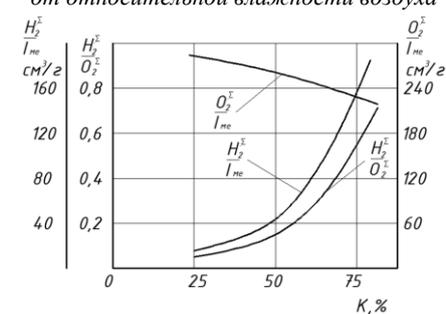


Рисунок 10 – Изменение состава трибохимических компонентов, возникающих при электротермомеханическом трении, в зависимости от относительной влажности воздуха.

да, израсходованного на окисление металла (Q_2^Σ), к величине износа пар трения (I_{me}) O_2^Σ / I_{me} снижается, соответственно, с 265 см³/г до 196 см³/г. Продуктами окисления стали являются соединения с содержанием трехвалентного (Fe_2O_3) и двухвалентного (FeO) железа, а также смешанного стехиометрического состава: Fe_2O_3 – 285 см³/г, магнетита (Fe_2O_4) и вюстита (FeO) – 180 см³/г.

Следовательно, в условиях фрикционного взаимодействия поверхностей с незначительным содержанием в воздухе воды ($k=25\%$) образуются окислы преимущественно трехвалентного железо-гематита и частично магнетит. С ростом относительной влажности воздуха происходит процесс окисления железа до двухвалентного – от магнетита до вюстита. Смазочная способность окислов железа зависит от их химического свойства и повышается в ряде [13]:



Установлено, что защитная пленка в присутствии пара воды образуется скорее, чем чисто оксидный слой на воздухе [14-17], что имеет большое значение в процессе трения, когда его регенерация происходит за очень короткое время.

Таким образом, при увеличении относительной влажности воздуха наблюдается снижение износо-фрикционных свойств пар трения и их регенерационная способность, обусловленная присутствием паров воды. Это способствует снижению тормозного момента.

Обсуждение результатов исследований. Обсуждение результатов теоретических и экспериментальных исследований в стендовых условиях по установлению влияния орошения водой сплошных дисков в тормозах транспортных средств производим с позиций нового подхода к термокинетическим процессам. Результаты теоретических и экспериментальных исследований горячих пар трения в условиях их смачивания позволили установить:

- структуру трибологических систем металлополимерных пар трения, в которых учтено попадание воды на их поверхности; при этом уделено внимание крекинг-процессу при достижении поверхностью полимерной накладке допустимой температуры;

- триботехнические свойства пары трения в условиях смачивания водой и омывания воздушной средой с различным содержанием в ней влаги связаны с изменением характера, интенсивности трибологических реакций и состава компонентов взаимодействия. Увеличение относительной влажности воздуха ведет к интенсификации трибоокисления поверхностей поясов трения диска парами воды, о чем свидетельствует увеличение величины отношения H_2^Σ / i_M (где H_2^Σ - суммарное количество выделившегося водорода, i_M - износ пояса трения диска);

- при одинаковых условиях трибоконтакта с ростом содержания в омывающей среде паров воды на поверхностях трения увеличивается толщина слоя образованных компонентов взаимодействия, что способствует уменьшению износа трущихся поверхностей. Увеличение в омывающем воздухе парциального давления паров воды приводит к недостатку кислорода и снижению полноты окисления с образованием на контактирующих поверхностях окислов двухвалентного железа. При повышении относительной влажности воздуха (с 25-ти до 75-ти %) наблюдается увеличение износостойкости пары трения в 2,5 раза и уменьшение тормозного момента.

Заключение. Результаты проведенных испытаний мокрых пар трения в лабораторных (на машине трения и износа модели СМЦ-2) и эксплуатационных (на грузовом транспорт-

ном средстве марки MAN модели TGA 26.420) позволили установить им предложить следующее:

- с увеличением влажности воздуха, омывающего пару трения, ее момент трения и поверхностная температура снижаются в среднем на 25-40%;

- с увеличением скорости движения транспортного средства количество воды, попадающей на наружную поверхность тормозного диска, растет стремительнее, чем на внутреннюю. На диски тормозов заднего моста попадает воды до 60% меньше, чем передней оси;

- с увеличением относительной влажности воздуха вследствие снижения тормозного момента увеличивается тормозной путь, во избежание чего необходимо на поверхности трения создавать большие удельные нагрузки;

- уменьшения количества воды, попадающей на поверхности дисков, можно достичь: применением защитных кожухов; выполнением отверстий и канавок различного профиля, конфигурации и расположения; нанесением супергидрофобных покрытий на поверхности дисков с использованием нанотехнологий и др.

REFERENCES

1. **Utc N.** Obshchee predstavlenie o processah v poverhnostnykh sloyah pri suhom trenii stali po stali / N. Utc, K. Zommer, K. Rihter // *Teoriya treniya, iznosa i problemy standartizacii*. – Bryansk: Priokskoe, 1978. – S. 90-110. (Утц Н. Общее представление о процессах в поверхностных слоях при сухом трении стали по стали / Н. Утц, К. Зоммер, К. Рихтер // *Теория трения, износа и проблемы стандартизации*. – Брянск: Приокское, 1978. – С. 90-110).
2. Uetz H. Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf den Gleitverschleiß in metallischen Werkstoffen // *Verstoffe und Korrosion*. – 1968. – Heft 8. – P. 665-676.
3. **Madaminov B.A.** Issledovanie vliyaniya vlazhnosti vozduha na stepen navodorazhivaniya stali U8 pri trenii i ee iznos / B.A. Madaminov, A.V. Saharov // *Tezisy dokladov V NTK «Vliyanie sredey na vzaimodeystvie tverdykh tel pri trenii»*. – Dnepropetrovsk, 1981. – S. 144-145. (Мадаминов Б.А. Исследование влияния влажности воздуха на степень наводороживания стали У8 при трении и ее износ / Б.А. Мадаминов, А.В. Сахаров // *Тезисы докладов В НТК «Влияние среды на взаимодействие твердых тел при трении»*. – Днепропетровск, 1981. – С. 144-145).
4. **Kovyrshin O.N.** Vliyanie vlazhnosti vozduha na trenie v shariko-podshpinnikah / Sreda i trenie v mekhanizmakh. – Taganrog, 1970. – S. 56-60. (Ковыршин О.Н. Влияние влажности воздуха на трение в шарикоподшипниках / Среда и трение в механизмах. – Таганрог, 1970. – С. 56-60).
5. **Dedkov A.K.** Vliyanie vlagosoderzhaniya atmosfery na frikcionno-iznosnye karakteristiki par treniya // *Izvestiya vuzov: Mashinostroyeniye*. – 1975. – № 1. – S. 65-69. (Дедков А.К. Влияние влагосодержания атмосферы на фрикционно-износные характеристики пар трения // *Известия вузов: Машиностроение*. – 1975. – № 1. – С. 65-69).
6. **Mitshe Manfred, Braun Horst**, Das Verhalten von Scheibenbremsen bei Nass. “Dtsch. Kraftfahrtforsch. und Strassenverkehrstechn”, 1970, №240, 31 s.
7. **Kosteckij B.I.** Trenie, smazka i iznos v mashinah. – Kiev: Tekhnika, 1970. – 395 s. (Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах. – Киев: Техника, 1970. – 395 с.).
8. **Hajnike G.** Tribohimiya. – M.: Mir. 1987. – 584 s. (Хайнике Г. Трибохимия. – М.: Мир. 1987. – 584 с.).
9. **Shevelya V.V.** Tribohimiya i reologiya iznosostojkosti / V.V. Shevelya, V.P. Oleksandrenko. – Hmelnickij: HNU, 2006. – 278 s. (Шевеля В.В. Трибохимия и реология износостойкости / В.В. Шевеля, В.П. Олександренко. – Хмельницкий: ХНУ, 2006. – 278 с.).
10. **Oleksandrenko V.P.** Vliyanie vlazhnosti vozduha na tribotekhnicheskie karakteristiki pary treniya / V.P. Oleksandrenko // *Problemy treniya i iznashivaniya: nauchn. tekhn. sb. K.: NAU. 2009. Vyp. 51. – S. 77-85.* (Олександренко В.П. Влияние влажности воздуха на триботехнические характеристики пары трения / В.П. Олександренко // *Проблемы трения и изнашивания: научн. техн. сб. К.: НАУ. 2009. Вып. 51. – С. 77-85.*)
11. **Tejbor D.** Trenie kak dissipativnyj process // *Trenie i iznos*. – 1994. – Т. 15, №2. – S. 296-315 (Тейбор Д. Трение как диссипативный процесс // *Трение и износ*. – 1994. – Т. 15, №2. – С. 296-315).
12. *Tribologiya: trenie, iznos i smazka / A.Kh. Janahmadov, A.I. Volchenko, N.A. Volchenko [i dr.] // Baku: «Apostroff-A», 2019. – 640 s.* (Трибология: трение, износ и смазка / А.Х. Джанахмедов, А.И. Вольченко, Н.А. Вольченко [и др.] // Бакү: «Апострофф-А», 2019. – 640 с.).
13. *Vliyanie vlazhnosti na tribotekhnicheskie parametry frikcionnykh uzlov tormoznykh ustrojstv i ee udalenie s ih poverhnosti treniya / M.V. Kindrachuk, D.A. Volchenko, Ya.B. Storozh [i dr.] // Problemy treniya i iznashivaniya: nauchn.-tekhn. sb. K.: NAU, 2010. Vyp. 54. – S.95-105.* (Влияние влаги на триботехнические параметры фрикционных узлов тормозных устройств и ее удаление с их поверхности трения / М.В. Киндрачук, Д.А. Вольченко, Я.Б. Сторож [и др.] // *Проблемы трения и изнашивания: научн.-техн. сб. К.: НАУ, 2010. Вып. 54. – С.95-105.*)

14. **Volchenko N.** Features of the estimation of the intensity of heat exchange in selfventilated disk-shoe brakes of vehicles / Volchenko N., Volchenko A., Volchenko D., Poliakov P., Malyk V., Zhuravlev D., Vytvytskyi V., Krasin P. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – 1/5 (97). – Pp. 47-53.
 15. **Kindrachuk M.V.** Polymeric Materials Modified by Semiconductor Substances in Friction Units of Braking Devices / Kindrachuk M.V., Volchenko O.I., Volchenko D.O., Volchenko N. O., Polyakov P. O., Kornienko A.O., Yurchuk A.O. // Journal of Nano- and Electronic Physics. – Vol. 11. №3, 2019. – P. 03014-1 – 03014- 8.
 16. **Kindrachuk M.** Polymeres with enhanced energy capacity modified by semiconductor materials / M. Kindrachuk, A. Volchenko, D. Volchenko, O. Tisov, A. Kornienko / Functional Materials, 2019.
 17. **Volchenko N.A.** Electrochemistry with double electrical layers in frictional interaction metal-polymer tribolink / Volchenko, N.A., Krasin, P.S., Volchenko, D.A., Voznyi, A.V. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018.
-

NƏQLİYYAT VASİTƏLƏRİNİN DİSKLİ-KÜNDƏLİ ƏYLƏCİNİN SÜRTÜNMƏ CÜTÜNÜN SU İLƏ İSLANMASI ZAMANI TERMOKİNETİK PROSESLƏR

Ə.X. CANƏHMƏDOV, A.İ. VOLÇENKO, M.M. NƏSİROVA, V.Y. MALİK,
N.A. VOLÇENKO, P.A. POLYAKOV, R.S. TAĞIYEV

Metal-polimer sürtünmə cütünün triboloji sistemlərinin struktur təhlili doqquz səviyyə üzrə aparılmışdır, belə ki, sürtünmə cütünün materialları üçün dörd səviyyə seçilmişdir. Nəqliyyat vasitələrinin yaş yolda hərəkəti zamanı əyləc disklərinin tutqun və cilalanmış səthlərinin su ilə islanmasının təsirinə diqqət yetirilib.

Su və rütubətli hava mühitində baş verən termokinetik proseslər, hansılar ki, disk və qəlib şəklində hazırlanmış disklə-kündəli əyləcinin sürtünmə cütü yuyulur və bu proses CMIİ-2 sürtünmə və yeyilmə maşınında tədqiq edilmişdir. Diskin 300 $dəq^{-1}$ tezliklə fırladılması, müəyyən edilmiş 1,0 və 1,3 MPa yükləmələr zamanı və 400°C səthi temperaturda kündənin istismar parametrlərinin (sürtünmənin dinamik əmsalı, əyləc momenti və çəki yeyilməsi) dəyişmə qanunauyğunluqları öyrənilmişdir. Yuxarıda qeyd olunan istismar parametrlərinin dəyişmə intensivliyinin təhlili verilmişdir.

İsti və soyuq zonalarda əyləc disklərinin cilalanmış və tutqun səthləri müxtəlif sahələrə malikdirlər. Su bu zonalarda maye və qazabənzər vəziyyətdə olur. Bütün bunlar sürtünmə disk kəmərinin səthində elektrokimyəvi və kimyəvi reaksiyaların baş verməsinə təsir edir. Diskin sürtünmə kəmərinə kondensasiya olunmuş nəm bir elektrolit rolunu oynayır, belə ki, sürtünmə cütünün friksion-yeyilmə xüsusiyyətlərinin azalmasına və diskin cilalanmış və tutqun səthlərinin sərhədlərində korroziya mərkəzlərinin formalaşdırılmasında rol oynayır.

Reaksiya prosesində suyun ayrılması zamanı ayrılan oksigen və hidrogen diskin sürtünmə kəmərinə oksidləşdirmə proseslərini sürətləndirir və onun səthinin hidrogen yeyilməsini intensivləşdirir.

***Açar sözlər:** nəqliyyat vasitəsi, disklə-qəlibli əyləc, sürtünmə cütü, diskin səthi, islanma qabiliyyəti.*

THERMOKINETIC PROCESSES IN THE WATER SPRAYING OF FRICTION PAIRS OF DISC-SHOE BRAKES OF VEHICLES

A. Kh. JANAHMADOV, A.I. VOLCHENKO, M.M. NASIROVA, V.Y. MALYK,
N.A. VOLCHENKO, P.A. POLYAKOV, R.S. TAGIEV

The analysis is conducted of the structure of tribological systems of metal-polymer friction pairs at nine levels, of which four levels are distinguished for materials of a friction pair. The attention is paid to the effect of wetting the matt and polished surfaces of the brake discs with water when vehicles are moving on wet roads.

Thermokinetic processes occurring in an environment of water and moist air, which wash the friction pairs of a disk-shoe brake, made in the form of a disk and a shoe, were studied on a friction and wear machine SMTs-2. The regularities of changes in the operational parameters (dynamic coefficient of friction, braking torque and weight wear) of the shoe during rotation of the disk with a frequency of 300 min^{-1} at specific loads of 1.0 and 1.3 MPa and surface temperatures up to 400°C are established. The analysis is provided of the intensity of changes in the above operational parameters.

The polished and matte surfaces of brake discs with the hot and cold zones have different areas. Water in these areas is in liquid and gaseous states. All this contributes to the flow of electrochemical and chemical reactions on the surface of the disk friction belt. The moisture condensed on the disk friction belt acts as an electrolyte, which helps to reduce the wear-friction properties of friction pairs and the formation of corrosion foci at the boundaries of the polished and matte surfaces of the disk.

Oxygen and hydrogen released during the decomposition of water during the reactions contribute to oxidative processes in the friction belt of the disk and intensify the hydrogen wear of its surface.

***Key words:** vehicle, disk-shoe brake, friction pairs, disk surfaces, wettability.*

<i>Поступило в редакцию:</i>	<i>11.12.2019</i>
<i>После доработки:</i>	<i>08.06.2020</i>
<i>Принято к публикации:</i>	<i>18.06.2020</i>

УДК 621.365

УСТОЙЧИВОСТЬ ПЛАСТИН НЕПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКОЙ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ

И.Р. САДЫГОВ¹

В статье рассматриваются вопросы устойчивости пластин прямоугольной формы с учётом физической и геометрической нелинейностей. Физическая нелинейность вызвана появлением нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями пластины в целом или отдельных её элементов. Геометрическую нелинейность вычисляют с помощью уравнений, которые связывают перемещения и деформации, а также с помощью уравнений равновесия. Отмечаются области их применения в зависимости от того, к каким категориям они относятся. Расчет пластины осуществляется в зависимости от воздействия контурных сжимающих усилий с применением системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, решаемых двухшаговым методом последовательного возмущения параметров.

Результаты расчётов показывают, что чем больше относительная толщина пластины, тем более значительно влияние физической нелинейности материала на величину нагрузки, действующей на пластину. Для цилиндрических пластин с ростом параметра кривизны пластины влияние коэффициента Пуассона на действующую нагрузку снижается.

Ключевые слова: пластина, устойчивость, физическая и геометрическая нелинейность, метод возмущения параметров, кривизна пластины, критическая нагрузка, срединная поверхность.

Введение. В настоящее время в различных областях науки и техники активно развиваются направления по изготовлению, модификации и использованию пластин, имеющих физическую и геометрическую нелинейность.

Пластина – это конструктивный элемент, выполненный из какого-либо материала, у которого один из размеров (в большинстве случаев толщина) значительно меньше остальных двух размеров, рассматриваемых в плане (длины и ширины).

Материалы пластин могут сильно отличаться друг от друга по своим физико-механическим свойствам. Пластины изготавливают из железобетона, стали, дерева, полимеров, стекла, композитов.

В строительной механике пластины в зависимости от соотношения между основными ее размерами и прогибом относятся к разным категориям.

Категория «толстые пластины» объединяет пластины, у которых толщина равна $1/3 \dots 1/5$ от их минимального размера в плане. Подобные пластины можно встретить в зданиях и сооружениях, где они применяются в качестве оснований, фундаментов и используются как опорные конструкции станков. Расчет таких плит осуществляется как для трехмерных тел, с учетом уравнений пространственной задачи теории упругости [1].

В категорию «гибкие пластины» относят пластины, прогиб которых равен или соизмерим с их толщиной: ($w > h/4$). К подобным пластинам относят обшивку самолетов и ракет, а

¹ Азербайджанский архитектурно-строительный университет
E-mail: tarana_abasova@bk.ru

также кровельные покрытия. Расчет гибких пластин осуществляют с применением уравнений, которые учитывают геометрическую нелинейность задач.

Категория «тонкие пластины» объединяет пластины, для которых действительны следующие соотношения:

$$\frac{h}{a} = \frac{1}{5} \div \frac{1}{80}; w \leq \frac{h}{4} \quad (1)$$

где a – минимальный размер пластины в плане.

К тонким покрытиям относятся железобетонные плиты перекрытий и панели зданий, настилы и днища резервуаров. Тонкие пластины рассчитываются с применением теории изгиба.

Пластины могут иметь различные формы: прямоугольника, параллелограмма, треугольника, трапеции, круга. Их форма зависит от функционального назначения, для которого изготавливается конкретная пластина.

Наиболее применимы такие пластины в строительстве, когда размеры плит перекрытий в плане значительно превышают толщину плиты. При этом формы перекрытий, в зависимости от архитектурных решений, могут быть различны. Кроме того, к таким плитам относятся плиты декоративных покрытий, теплоизоляционные плиты и плиты из композитных материалов [4].

На рис. 1 приведены примеры пластин, которые применяются в зданиях и сооружениях.



Рис. 1. Примеры пластин, применяемых в строительстве

Цель работы – разработать методику расчета пластин с учетом физической и геометрической нелинейностей элементов конструкций.

Физическая нелинейность – это нарушение линейной зависимости между нагрузкой и перемещениями пластины, которое вызвано появлением нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями пластины, в целом, или отдельных ее элементов.

В частности, для железобетонных конструкций их физическая нелинейность обуславливается наличием неупругих деформаций бетона и арматуры в нем, которые возникают в элементах и узловых сопряжениях, а также возникновением и постепенным развитием в этих узлах трещин [3].

Рассматривая физическую нелинейность пластин, учитывают ее величину, зависящую от величины и знака возникающих в пластине напряжений.

Для физически нелинейных систем связь между напряжениями и деформациями может быть записана в следующем виде:

$$\sigma = E(\varepsilon)\varepsilon$$

где $E(\varepsilon)$ – матрица, которая характеризует физические свойства материала пластины. Элементы этой матрицы являются функциями компонент вектора деформаций ε .

Геометрическая нелинейность – это нарушение линейной зависимости между такими параметрами, как нагрузка и перемещения. Это нарушение происходит в условиях деформирования пластины или отдельных ее элементов.

Геометрическую нелинейность учитывают с применением уравнений, которые связывают перемещения и деформации, а также с применением уравнений равновесия.

Учет физической и геометрической нелинейности при расчете пластин использует системы нелинейных алгебраических уравнений. Причем решение этой системы производится с учетом шаговых или итерационных методов.

Постановка задачи. Рассмотрим устойчивость цилиндрической пластины из материала, который является нелинейно-деформированным и имеет физическую и геометрическую нелинейность [2].

Пластина рассчитывается на воздействие контурных сжимающих усилий, которые обозначим P_x . Для данного случая получаем систему дифференциальных уравнений в частных производных:

$$\begin{aligned} \Omega_{11}^{(j)} \cdot \Delta\varphi_{j+1} + \Omega_{12}^{(j)} \cdot \Delta w_{j+1} &= 0 \\ -\Omega_{21}^{(j)} \cdot \Delta\varphi_{j+1} + \Omega_{22}^{(j)} \cdot \Delta w_{j+1} &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

где Δw_{j+1} – приращение прогиба срединной поверхности пластины; $\Delta\varphi_{j+1}$ – приращение функции усилий, действующих на пластину на этапе $j+1$ приращения сжимающей по контуру нагрузки на пластину.

Дифференциальные операторы имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \Omega_{11}^{(j)} &= \frac{4}{3} \cdot \nabla^2 \cdot (\beta_j \cdot \nabla^2) - 2L(\beta_j) \\ \Omega_{12}^{(j)} &= \Omega_{21}^{(j)} = \nabla_k^2 + L(W_j) \\ \Omega_{22}^{(j)} &= \nabla^2 (D_k^{(j)} \cdot \nabla^2) - \frac{1}{2} L(D_k^{(j)}) - L(\varphi_j) \end{aligned} \quad (3)$$

где $\beta_j = \frac{1}{J_k^{(j)}}$; W_j – суммарный прогиб за все j предшествующие ступени нагружения пластины; φ_j – суммарная функция усилий за все j предшествующие ступени нагружения пластины [5].

Систему уравнений (2) необходимо дополнить еще четырьмя граничными условиями для каждой точки цилиндрической пластины. Два граничных условия могут быть записаны через функцию Δw , а два других – посредством функции $\Delta\varphi$.

В качестве примера рассмотрим цилиндрическую пластину, которая шарнирно оперта по своему контуру на подвижные шарниры. Примем, что сжимающие усилия P_x приложены к криволинейным краям пластины, то есть:

$$x = 0; x = a \quad (4)$$

Для данного случая будут действительны следующие граничные условия:

$$\begin{aligned} x = \pm a; \Delta w = 0; \frac{\partial^2 \Delta w}{\partial x^2} = 0; \frac{\partial^2 \Delta\varphi}{\partial x^2} = 0; \frac{\partial^2 \Delta\varphi}{\partial y^2} = -\Delta P_x \\ x = \pm b; \Delta w = 0; \frac{\partial^2 \Delta w}{\partial y^2} = 0; \frac{\partial^2 \Delta\varphi}{\partial x^2} = 0; \frac{\partial^2 \Delta\varphi}{\partial y^2} = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Решение задачи. Для решения данной задачи, называемой краевой, используется двухшаговый метод последовательного возмущения параметров. В соответствии с данным методом, уравнения необходимо привести к безразмерному виду, при этом вводя следующие безразмерные переменные, а также параметры и функции по приведенным ниже выражениям:

$$\xi = \frac{x}{a}; \eta = \frac{y}{b}; \gamma = \frac{a}{b}; k_\eta = \frac{k_y \cdot b^2}{h}; w = \frac{W}{h}; \psi = \frac{\varphi}{(E \cdot h^2)} \quad (6)$$

$$P_x^* = P_x \cdot a^2 / (Eh^3)$$

Решение уравнений (2) производится с применением метода Бубнова-Галеркина, в соответствии с которым искомые функции находим в следующем виде [6]:

$$\Delta w = \sum_m \sum_n A_{mn}^{(j)} \sin(m\pi\xi) \sin(n\pi\eta), \quad (7)$$

$$\Delta\varphi = \sum_m \sum_n B_{mn}^{(j)} \sin(m\pi\xi) \sin(n\pi\eta) - \frac{1}{2}(\eta - 0,5)^2 \cdot \Delta P_{x,j}^*,$$

где $m, n=1, 2, 3 \dots$

Это дает возможность описывать любые формы потери устойчивости пластиной. За основной параметр принимаем коэффициент A_{11} . Данный прием позволяет, не заменяя основной параметр, построить закритические нелинейные зависимости прогиба пластины от значения сжимающих усилий P_x , которые равномерно распределены на сторонах $\xi = 0, \xi = 1$.

В таблице приведены результаты расчетов нагрузки, действующей на пластину $P_{x.биф}^*$ для пологих цилиндрических пластин, имеющих разную кривизну k_η и разное отношение h/b . Значение коэффициента Пуассона составляет для данного расчета 0,5.

Как видно из приведенной таблицы, чем больше относительная толщина h/b , тем более значительно влияние физической нелинейности материала на величину нагрузки, действующей на пластину [7]. Для цилиндрических пластин с ростом параметра кривизны пластины влияние коэффициента Пуассона на действующую нагрузку снижается. При этом следует заметить, что для упругих пластин коэффициент Пуассона оказывает значительное влияние на величину нагрузки, действующей на пластину.

Отсутствие значения при отношении $h/b=1/40$ и $k_\eta=48$ указывает на то, что при таком параметре кривизны и относительной толщине пластина разрушается от действующей на нее нагрузки.

Заключение. Установлено, что физическая нелинейность материала цилиндрических пластин дает возможность скорректировать величину критической нагрузки, действующей на пластину с целью не превысить ее запас устойчивости. Причём чем больше относительная толщина, тем более значительно влияние физической нелинейности материала на величину нагрузки, действующей на пластину.

Таблица
Результаты расчета нагрузки $P_{x.биф}^*$

h/b	$k_\eta=0$	$k_\eta=16$	$k_\eta=32$	$k_\eta=48$
1/100	4,386	10,864	30,167	61,348
1/80	4,385	10,853	29,939	59,332
1/60	4,383	10,814	29,106	53,110
1/40	4,368	10,587	25,056	-

REFERENCES

1. **Kiselev V.V., Dolgikh D.V.** Nelinejno-uprugie uzory iz vmyatin na poverkhnostyakh nagruzhennykh plastin i obolochek. - M.: Fizmalin, 2012. - 164 s. (Киселев В.В., Долгих Д.В. Нелинейно-упругие узоры из вмятин на поверхностях нагруженных пластин и оболочек. - М.: Физмалин, 2012. - 164 с).
2. **Krylov N.M., Bogolyubov N.N.** Vvedenie v nelineynuyu mekhaniku. - M., Izhevsk, 2004. - 352 s. (Крылов Н.М., Боголюбов Н.Н. Введение в нелинейную механику. - М., Ижевск, 2004. - 352 с).
3. **Lukash P.A.** Osnovy nelinejnoj stroitelnoj mekhaniki. - M.: Strojizdat, 1978. Лукаш П.А. Основы нелинейной строительной механики. - М.: Стройиздат, 1978.
4. **Rikards R.B., Tetere G.A.** Ustojchivost obolochek iz kompozitnykh materia-lov. - Riga: «Zinatne», 1974. (Рикардс Р.Б., Тетере Г.А. Устойчивость оболочек из композитных материалов. - Рига: «Зинатне», 1974).
5. **Sadigov I.R.** Nelinejno-uprugie deformaczi gibkikh czilindricheskikh obolochek otkrytogo profilya s peremenoj tolshhinoj // Izvestiya AN Azerbajdzhana, seriya fiz.-mat. i tekhn. nauk. Tom XVI, № 1-3, 1995. (Садыгов И.Р. Нелинейно-упругие деформации гибких цилиндрических оболочек открытого профиля с переменной толщиной // Известия АН Азербайджана, серия физ.-мат. и техн. наук. Том XVI, № 1-3, 1995).
6. **Sukhov M.F., Kozhanov D.A.** Nelinejnye zadachi stroitelnoj mekhaniki. Uchebnoe posobie. Nizhnij Novgorod, 2017. 66 s. (Сухов М.Ф., Кожанов Д.А. Нелинейные задачи строительной механики. Учебное пособие. Нижний Новгород, 2017. 66 с).
7. **Sadigov I.R.** K voprosu konstrukczii i metodiki stendovykh ispytaniy na ustojchivost obolochek i plastin // Vestnik Azerbajdzhanskoj inzhenernoj akademii, Baku, 2018, 7 s. (Садыгов И.Р. К вопросу конструкции и методики стеновых испытаний на устойчивость оболочек и пластин // Вестник Азербайджанской инженерной академии, Баку, 2018, 7 с).

FİZİKİ VƏ HƏNDƏSİ QEYRİ-XƏTTİLİKLƏRİ NƏZƏRƏ ALMAQLA QEYRİ-DÜZBUCAQLI LÖVHƏLƏRİN DAYANIQLIĞI

I.R. SADIQOV

Məqalədə qeyri-düzbucaqlı lövhələrin fiziki və həndəsi qeyri-xəttillikləri nəzərə almaqla dayanıqlığı məsələsinə baxılır. Fiziki qeyri-xəttilik lövhənin bütövlükdə və ya onun ayrı-ayrı elementlərinin gərginliklərlə və deformasiyalar arasındakı qeyri-xətti asılılığının baş verməsi ilə bağlıdır. Həndəsi qeyri-xəttilik, yerdəyişmələrlə deformasiyaları bağlayan tənliklərin tətbiqi və habelə müvazinət tənliklərinin tətbiqi ilə nəzərə alınır. Onların hansı kateqoriyaya aid olmasından asılı olaraq tətbiq sahələri qeyd olunur. Lövhənin hesablanması parametrlərin ardıcıl olaraq pozulmasının iki pilləli üsulla həll olunan xüsusi törəmələrində kontur sıxıcı qüvvələrin təsirindən asılı olaraq, qeyri-xətti tənliklər sisteminin tətbiqi ilə həyata keçirilir.

Hesablamaların nəticələri göstərir ki, lövhənin nisbi qalınlığı nə qədər çox olarsa, materialın fiziki qeyri-xəttiliyinin lövhəyə təsir edən yükünün qiyməti bir o qədər böyük olur. Silindrik lövhələrin əyrilik göstəricisinin artımı ilə Puasson əmsalının tətbiq edilən yük təsiri azalır.

Açar sözlər: lövhə, dayanıqlıq, fiziki və həndəsi qeyri-xəttilik, silindrik, parametrlərin sıralanma üsulu, lövhənin əyriliyi, böhran yükü, orta səth.

STABILITY OF PLATES OF NON-RECTANGULAR SHAPE, TAKING INTO ACCOUNT PHYSICAL AND GEOMETRIC NONLINEARITY

I.R. SADIQOV

The article discusses the issues of stability of non-rectangular plates taking into account physical and geometric nonlinearities. Physical nonlinearity is caused by the appearance of a nonlinear relationship between stresses and deformations of the plate as a whole, or its individual elements. Geometric nonlinearity is taken into account using equations that relate using equations that relate displacements and strains, as well as using equilibrium equations. Areas of their application are noted, depending on which categories they belong to. The plate is calculated on the influence of contour compressive forces using the obtained system of nonlinear partial differential equations solved by the two-step method of sequential perturbation of parameters.

The calculation results show that the greater the relative thickness of the plate, the more significant is the influence of the physical nonlinearity of the material on the magnitude of the load acting on the plate. for cylindrical plates, with an increase in the plate curvature parameter, the influence of the Poisson's ratio on the effective load decreases.

Key words: plate, stability, physically and geometrically nonlinearity, cylindrical, parameter perturbation method, plate curvature, critical load, middle surface.

Redaksiyaya daxil olub: 11.12.2019
Tamamlama işlərindən sonra: 10.06.2020
Nəşrə qəbul edilib: 18.06.2020

УДК 621.413 – 592.13

DOI: 10.15587/1729-4061.2019.154712

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОЕ СОСТОЯНИЕ САМОВЕНТИЛИРУЕМЫХ С ШИПАМИ ДИСКОВО-КОЛОДОЧНЫХ ТОРМОЗОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

М.Я. ДЖАВАДОВ¹, Д.Ю. ЖУРАВЛЕВ², М.М. НАСИРОВА³,
В.С. СКРЫПНЫК², В.С. ВИТВИЦКИЙ², В.С. ФЕДОТОВ⁴

Количественно теплонагруженность поясов трения сплошных и самовентилируемых дисков тормозов транспортных средств при аperiodических торможениях можно оценить эквивалентными напряжениями. Обычно в тормозном диске раньше всего проявляется какой-либо один из признаков недопустимой теплонапряженности, исключающий возможность нормальной его эксплуатации, который и определяет уровень тепловой нагруженности пар трения дисково-колодочного тормоза.

Показано влияние энергонагруженности самовентилируемых тормозных дисков с цилиндрическими шипами на их напряженно-деформированное состояние. Проанализированы условия, при которых на поясах трения и в местах сопряжения цилиндрических шипов с внутренними поверхностями полудиска появляются микротрещины.

Полученные результаты исследований позволят конструктору еще на стадии проектирования самовентилируемых тормозных дисков с цилиндрическими шипами прогнозировать появление и интенсивность развития микротрещин на поясах трения с целью принятия конструктивных решений для предотвращения этого явления.

Ключевые слова: дисково-колодочный тормоз, самовентилируемый тормозной диск, цилиндрический шип, пояс трения, тепловой баланс, напряженно-деформируемое состояние.

Введение. Большое значение при расчете трибосопряжений пар трения тормозных устройств имеет учет сил трения в области контакта и его энергонагруженность. Тонкий поверхностный слой пояса трения тормозного диска подвергается циклической тепловой нагрузке ударного типа. Генерируемая и аккумулируемая теплота при торможении не успевает распространиться в окружающую внешнюю среду и вглубь материала диска. Поверх-

¹ Азербайджанская инженерная академия

² Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа (г. Ивано-Франковск, Украина)

³ Азербайджанская Национальная академия авиации

⁴ Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар, Россия)

E-mail: mahluga.nasirova@gmail.com

ность трения разогревается до температур, вызывающих сложные необратимые структурные и химические преобразования – образуются аустенитные структуры, наблюдается рост игл мартенсита, пластин графита и окисление по границам зерен. Эти преобразования ведут к снижению сопротивляемости материала диска и к термоциклическим воздействиям. В результате поверхность трения оказывается пораженной микротрещинами глубиной до десятых долей миллиметра. При совместном действии термических и механических нагрузок в результате микропластических деформаций образуется новая поверхность трения, обладающая повышенной износостойкостью. Оптимальная структура поверхностного слоя диска образуется лишь при условии замедленного темпа накопления необратимых изменений при повторных торможениях, причем оптимальная температурная область при длительной эксплуатации тормоза для дисков из серого чугуна не должна превышать (по поверхностной температуре) 450...480 °С.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Вследствие значительных температурных напряжений, возникающих в результате действия высоких температур, на поясе трения диска появляются микротрещины, ускоряющие его выход из строя. Формированию больших температурных напряжений способствует также анизотропия свойств материала и различие теплофизических и механических характеристик структурных составляющих узла трения (коэффициента линейного расширения, теплопроводности, модуля упругости).

В работе [1] проведен синтез пар трения тормозных устройств по их эксплуатационным параметрам, однако без учета теплового баланса узла трения и напряженно-деформированного состояния его металлического элемента трения.

Работа [2] посвящена оценке влияния силовых и тепловых воздействий на работоспособность авиационных тормозных колес. Рассмотрен пакет дисков тормоза, изготовленных из углерод-углеродных фрикционных материалов (УУФМ). При этом напряженно-деформированное состояние тормозных дисков здесь рассмотрено без учета составляющих и интенсивности сложного теплообмена между ними и омывающей средой.

Влияние перфорации тормозных дисков на их температуру в условиях посадки транспортного самолета рассмотрено в [3]. Оценены энергонагруженность и напряженно-деформированное состояние перфорированных тормозных дисков. Однако здесь не учтено увеличение площади теплообмена в связи с перфорацией дисков и количество воздуха, омывающего их поверхности.

Интенсивность теплопередачи самовентилируемых тормозных дисков, внутри которых радиально расположены ребра, проанализирована в [3]. Оценена интенсивность вынужденного воздушного охлаждения пар трения дисково-колодочного тормоза при движении транспортного средства. Однако здесь не уделено внимание напряженно-деформированному состоянию тормозного диска.

В [4, 5] проанализированы конструкции, режимы работы и оценена энергонагруженность пар трения дисково-колодочных тормозов транспортных средств. Уделено внимание работе вентилируемых тормозных дисков, на поясах трения которых выполнены отверстия и несквозные канавки, расположенные под углом и веерно. Показано влияние энергонагруженности дисков на их напряженно-деформированное состояние, при котором на поясах трения возникают микротрещины. Однако условия их возникновения изучены недостаточно и не указаны пути предотвращения этого явления.

Электродинамике и энергетическим уровням пар трения дисково-колодочных тормозов транспортных средств посвящены работы [6, 7], оказывающие существенное влияние на напряженно-деформируемое состояние поясов трения тормозных дисков.

Напряженно-деформированному состоянию самовентилируемых дисков, в которых в их полостях размещены ребра, уделено внимание в работе [8]. В такой конструкции улучшалась жесткость диска, но ухудшалось его напряженно-деформированное состояние из-за перепадов толщины пояса трения диска.

Самовентилируемые тормозные диски, состоящие из двух полудисков, которые соединены между сплошными цилиндрическими шипами является недостаточно исследованы с точки зрения их напряженно-деформированного состояния.

Цель и задачи исследований. Целью исследований является оценка напряженно-деформированного состояния самовентилируемых дисков с цилиндрическими шипами тормоза транспортного средства для предупреждения возникновения микротрещин на их рабочих поверхностях.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- оценить напряженно-деформированное состояние самовентилируемого тормозного диска с цилиндрическими шипами;
- сформулировать условия невозникновения микротрещин при эксплуатации тормоза.

Напряженно-деформированное состояние самовентилированного тормозного диска с цилиндрическими шипами. Существующая программа COSMOSWorks в среде SolidWorks [9] позволяет производить тепловой расчет при сложном теплообмене (конвективном, кондуктивном и радиационном) для определения поверхностного температурного градиента и температурного напряженно-деформированного состояния исследуемых поверхностей. К недостаткам программы следует отнести то, что в ней сразу задается коэффициент теплопередачи через слои изделия без учета коэффициентов теплоотдачи к омывающему их воздуху, кроме того в ней нельзя определять глубинный температурный градиент изделия.

Проектирование самовентилируемых тормозных дисков для данного типа транспортных средств отождествляется с равнопрочностью их конструктивных элементов. Под равнопрочностью подразумевается равенство максимальных и эквивалентных напряжений или коэффициентов запасов по напряжениям, т.е. равновероятность одновременного разрушения по всем расчетным сечениям. Наиболее опасным сечением при фрикционном взаимодействии пар трения «диск - накладка» является пояс трения самовентилируемого диска вследствие его неравномерного нагревания, вызванного низким коэффициентом взаимного перекрытия пар трения тормоза (рис. 1).

Моделирование энергонагруженности самовентилируемого диска с цилиндрическими шипами тормоза грузового автомобиля модели MAN марки TGA 26.420 [12] производилось при циклических торможениях ($n=20$) со скоростями ($V_1=60$ км/ч; $V_2=30$ км/ч) с интервалом между торможениями 45 с при следующих исходных данных: диаметр тормозного диска $d=450$ мм, радиусы поясов трения диска $r_1 = 400$ мм; $r_2 = 230$ мм; температура на поверхности пояса трения диска достигала $t_n=390$ °С; удельные нагрузки в парах трения $p=5$ МПа; коэффициенты теплоотдачи α_1 от рабочих поверхностей полудисков колебались от 50 до 75 Вт/(м²·°С).

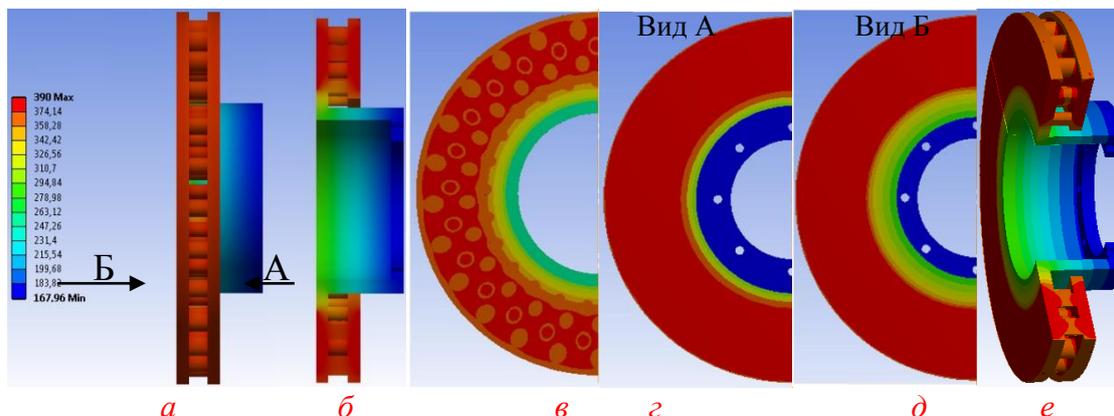


Рис. 1 а, б, в, г, д, е - Распределение температурных полей в элементах самовентилируемого тормозного диска с цилиндрическими шипами: а – фронтальный вид диска с фланцем; б – осевой разрез с фланцем; в – сечение диска по цилиндрическим шипам; г – вид А правого полудиска с фланцем; д – вид Б левого полудиска; е – диметрическая проекция с четвертным вырезом диска с шипами и с фланцем

Анализ распределения температурных полей в самовентилируемом тормозном диске с цилиндрическими шипами (рис.2) показал следующее:

- согласно рис. 2 б колебания температуры во фланце изменялись от 168 до 265 °С и наибольшей величины 300 °С они достигали в месте сопряжения фланца с правым полудиском.

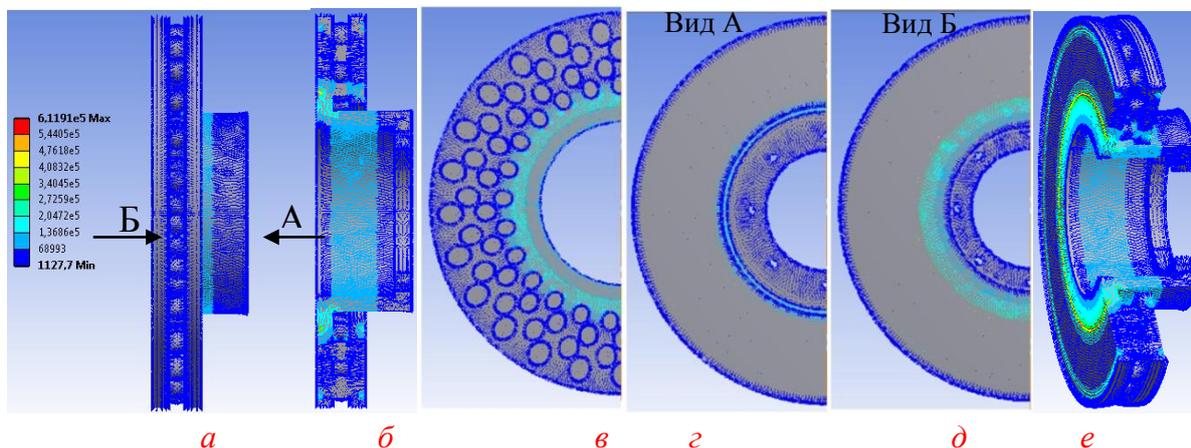


Рис. 2 а, б, в, г, д, е - Распределение тепловых потоков в элементах самовентилируемого тормозного диска с цилиндрическими шипами: а – фронтальный вид диска с фланцем; б – осевой разрез диска с фланцем; в – сечение диска по цилиндрическим шипам; г – вид А правого полудиска с фланцем; д – вид Б левого полудиска; е – диметрическая проекция с четвертным вырезом диска с шипами и с фланцем

При исследовании двустороннего подвода теплоты в процессе торможения дисково-колодочным тормозом транспортного средства накладывает определенные требования к условиям распространения тепловых потоков. При этом:

- входящий тепловой поток равен $q = \alpha_1(t_T - t_B)$ (где t_T , t_B – температуры: поверхности пояса трения и омывающего воздуха);

- проходящий тепловой поток равен $q_1 = K(t_{T1} - t_{T2})$ (где K – коэффициент теплопередачи)

$K = \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1}\right)^{-1} + \left(\frac{\delta_1}{\lambda_2}\right)^{-1} + \left(\frac{\delta_3}{\lambda_1}\right)^{-1}$; δ_1 , δ_3 – толщины: левого и правого полудисков; δ_2 – длина

цилиндрического шипа; λ_1 – коэффициент теплопроводности материалов конструктивных элементов диска; t_{T2} – температура пояса трения правого полудиска с фланцем;

- выходящий тепловой поток $q_2 = \alpha_2(t_{T2} - t_{\text{в}})$ (где α_2 – коэффициент теплоотдачи с поверхностей правого полудиска).

Параметры $(\alpha_i)^{-1}$ и δ_i/λ_i называются, соответственно, термическим сопротивлением теплоотдачи и теплопроводности.

Таким образом, тепловой поток движется от левого полудиска через его толщину к правому полудиску и фланцу и после него рассеивается в омывающий их воздух.

Анализ распределения тепловых потоков в элементах самовентилируемого тормозного диска с цилиндрическими шипами (рис. 2) подтвердил регламентируемые величины тепловых потоков, пронизывающих тело конструктивных элементов диска.

Анализ распределения напряжений по теории Мизеса в элементах самовентилируемого диска с цилиндрическими шипами (рис. 3) показал следующее:

- колебание температурных напряжений во фланце изменялось от 0,1 до 115 МПа и наибольшей величины 180 МПа оно достигало в месте сопряжения фланца с правым полудиском (рис. 3 б);

- в сечении диска по шипам (рис. 3 в) наблюдалось заметное колебание градиентов напряжений между его торцом и круговыми зонами минимальных напряжений;

- со стороны фланца на диск (рис. 3 г) напряжения изменялись от 20 до 70 МПа, а наличие суженных круговых зон напряжений указывает на увеличение их градиентов между сопряженными поверхностями;

- со стороны левого полудиска (рис. 3 д) отмечено расширение круговых зон напряжений, которые граничат с телом полудиска, что способствует уменьшению их градиентов между сопряженными поверхностями;

- напряжения по конструктивным элементам диска распределяются весьма неравномерно от 20 до 370 МПа (рис. 3 з).

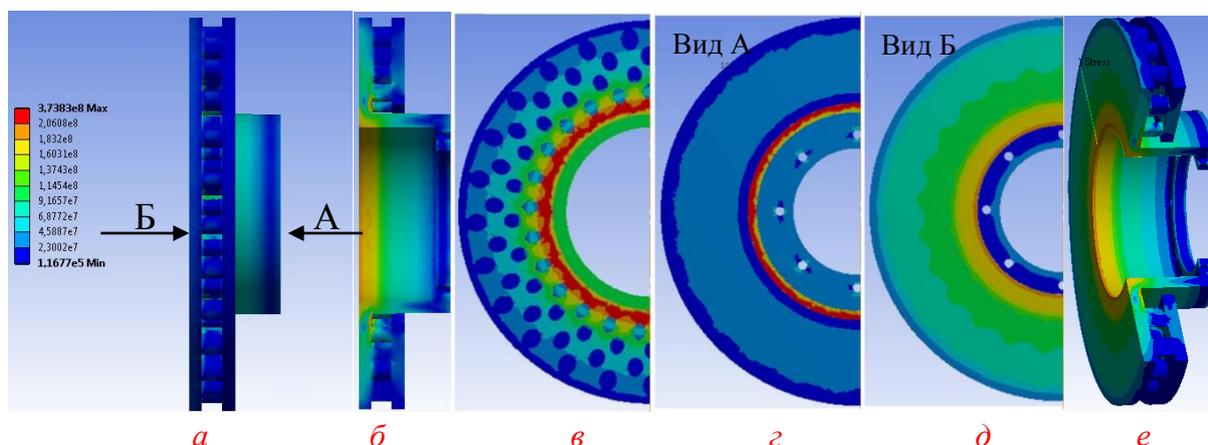


Рис. 3 а, б, в, г, д, е - Распределение напряжений по теории Мизеса в элементах самовентилируемого тормозного диска с цилиндрическими шипами: а – фронтальный вид диска с фланцем; б – осевой разрез с фланцем; в – сечение диска по цилиндрическим шипам; г – вид А правого полудиска с фланцем; д – вид Б левого полудиска; е – диметрическая проекция с четвертным вырезом диска с шипами и с фланцем

Прогнозирование возникновения микротрещин на поясах трения различных типов тормозных дисков. В процессе торможения транспортного средства в результате действия сил трения, возникающих при фрикционном взаимодействии рабочих поверхностей накладок колодок с поясами трения диска, их поверхности нагреваются до высоких температур. Повышение поверхностных градиентов температур диска приводит к его аксиальному перекосу. Температурные деформации в местах сопряжения нерабочих поверхностей дисков с ребрами, образующими вентиляционные каналы, вызывают волнистость или горбатость поверхности трения диска, что способствует увеличению удельных нагрузок в парах трения и ведет к возникновению локальных термических пятен на поясах трения диска. Это приводит к ухудшению износ-фрикционных свойств и прочностной связи образований, появившихся вследствие структурных превращений. При длительном действии поверхностных и глубинных температурных градиентов в самовентилируемых дисках зарождаются и развиваются микротрещины с выходом трещин на внешнюю поверхность поясов трения дисков.

Тормозной диск подвержен симметричному циклу нагружения при выполнении на поверхностях поясов трения рядов отверстий, которые расположены под углом или веерно. При этом в зоне концентратора напряжений, т.е. выполненного отверстия, полуциклы растяжения зарождают (дополнительные) остаточные напряжения сжатия для полуцикла сжатия, а полуциклы сжатия формируют (дополнительные) остаточные напряжения растяжения для полуцикла растяжения, увеличивая амплитудные напряжения цикла на величину остаточных напряжений (рис. 4).

Материалы, из которых изготовлены тормозные диски, обычно подвергаются импульсным, циклическим и длительным динамическим и тепловым нагружениям при фрикционном взаимодействии пар трения дисково-колодочного тормоза транспортного средства. При этом исследователи стремятся получить высокие и устойчивые характеристики ползучести, длительной прочности и релаксационной стойкости. Однако по этим критериям нельзя, например, оценить прочность диска, работающего при повышенных температурах, когда ползучесть его поверхностного слоя еще практически не проявляется. В этих условиях, как и в случае кратковременных локальных перегревов участков пояса трения диска, сопротивление его материала наиболее целесообразно оценивать по характеристикам кратковременной прочности при данной объемной температуре.

Многочисленные исследования [10, 11, 12] высокопрочной стали показали, что наблюдаемое с повышением температуры сокращение области безопасных состояний сопровождается некоторым изменением формы предельных кривых. Наиболее заметно сокращение областей, соответствующих меньшим допускам на остаточную деформацию. При этом с повышением температуры экспериментальные точки перемещаются внутрь эллипса Мизеса ближе к прямоугольнику Кулона.

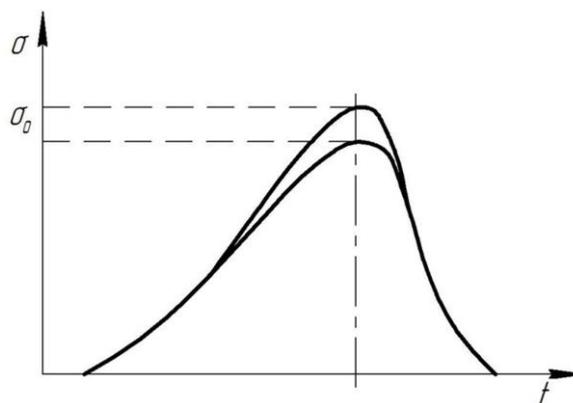


Рис. 4 - Зависимость напряжения σ от поверхностной температуры t при определении максимальной работоспособности пояса трения с отверстиями диска (σ_0 – остаточные напряжения)

Продолжительность эксплуатационного цикла дисково-колодочного тормоза транспортного средства определяется величиной допустимого износа фрикционных накладок, а ответственность за возникновение и развитие очагов микротрещин на поясе трения диска ложится только на его напряженное и деформированное состояние.

На тормозных дисках имелись локальные участки микротрещин, находящиеся на их поясах трения (рис. 5 а, б, в, г), где разрушение происходило по плоскостям, перпендикулярным направлению максимальных напряжений. Известно, что процесс образования и тип участка с микротрещинами в значительной степени определяются количеством энергии, накопленной в приповерхностном слое пояса трения диска. Вид разрушения – сдвигом, нормальными и температурными напряжениями – определяется скоростью распространения микротрещин по участкам беговой дорожки трения диска.

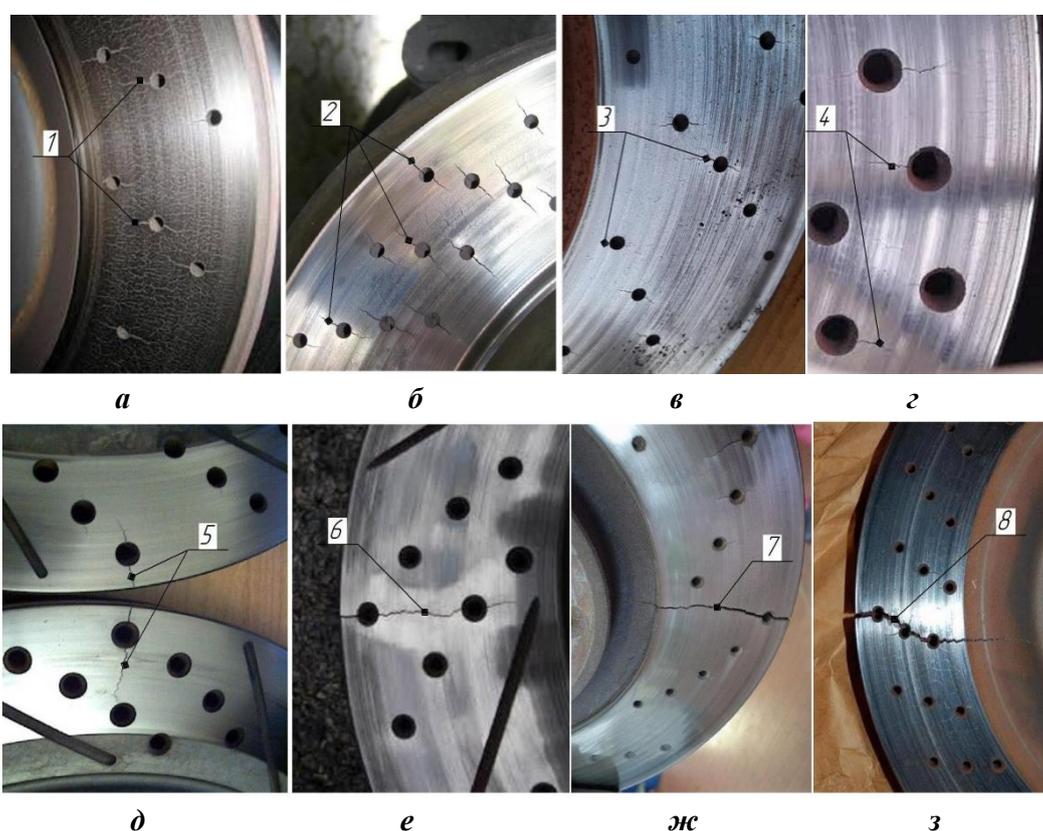


Рис. 5 а, б, в, г, д, е, ж, з - Очаги возникновения микротрещин при расположении отверстий под углом (а, б, в) и веером (г), а также комбинированных вариантов (отверстий с канавками) (д, е), выполненных в тормозных дисках, и трещин на их поверхностях (е, ж, з): 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 – локальные микротрещины и трещины на поверхности диска

При электротермомеханическом трении в дисково-колодочном тормозе возникновение и развитие микротрещин происходит на рабочей поверхности пояса трения диска, а разрушение – по его образующей. Тщательный осмотр тормозных дисков (рис. 5 д, е, ж, з) с образовавшимися трещинами показал, что во всем интервале поверхностных и объемных градиентов температуры разрушения происходили путем сдвига за счет сил трения и составляли угол примерно 45° с плоскостью, касательной к поверхности диска.

Растрескивание поверхностей трения в результате термического воздействия наблюдается на бандажах железнодорожных колес, чугунных и стальных, соответственно, барабанных и дисковых тормозов транспортных средств.

В тормозных устройствах поглощаются значительные мощности, возрастающие с повышением скорости движения транспортных средств и массы. Требование иметь меньший тормозной путь предопределяет малую длительность торможения и весьма интенсивное нагревание поверхностей с образованием больших термических напряжений. В результате на поверхностях трения могут появиться трещины. На барабанах и дисках транспортных средств трещины располагаются почти регулярно поперек их беговых дорожек трения (рис. 5 *е, ж, з*).

Проанализируем макротрещины, представленные на рис. 5 *а, б, в, г*, которым подвержены тормозные диски транспортного средства вследствие двухстороннего нагревания их поясов трения:

– сквозные отверстия являются концентраторами механических напряжений, на которые накладываются температурные напряжения, вызванные высокими поверхностными температурными градиентами;

– канавки под углом на поверхностях тормозного диска, глубина которых составляет 0,1-0,12 его толщины, позволяет им выступать в роли компенсаторов эффекта расширения тела диска при его нагреве.

При одностороннем нагревании металлического элемента трения установлены неизвестные ранее закономерности возникновения и развития микротрещин на его рабочих поверхностях при наличии концентраторов механических напряжений с учетом термонапряжений. Последние возникают вследствие действия глубинных температурных градиентов при электротермомеханическом трении микровыступов металлополимерных пар под воздействием механических, электрических и тепловых полей импульсного характера. В поверхностном слое происходит разрушение тонких пленок вторичных структур. Поверхности при этом подвержены механическому и термическому искажениям при высоких волнах текущих напряжений, в состав которых входят постоянные механические и остаточные термические напряжения. Здесь действуют механизмы электронной и ионной тепловой поляризации различной интенсивности, ослабляющие поверхностный слой. Одновременно на поверхности и в подповерхностных слоях металлического элемента трения по его длине и толщине формируются переменные глубинные температурные градиенты, способствующие аperiodическим циклическим процессам «расширение (нагревание) – сжатие (охлаждение)». Эти процессы вызывают нарушение термодинамической устойчивой и, как следствие, образование сетки микротрещин в виде фрактальной структуры. Она состоит из многоугольников, т.е. слившихся треугольников с различными площадями участков концентрации термонапря-

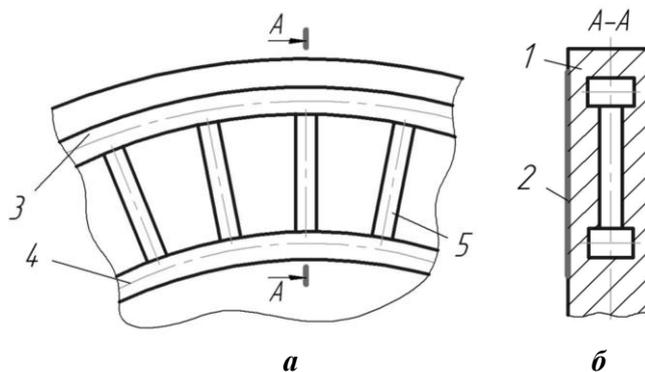


Рис. 6 *а, б* Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрез полудиска тормоза: 1, 2 – полудиск; пояс трения; 3, 4 – верхний и нижний круговой канал; 5 – радиальные каналы

жений и минимальными по толщине поперечными сечениями подповерхностного слоя металлического элемента трения.

Для снижения энергонагруженности поясов трения любых типов тормозных дисков предложена жидкостная система их принудительного охлаждения. На рис. 6 *а, б* представлен фрагмент продольного (*а*) и поперечного (*б*) разреза полудиска самовентилируемого диска. Верхний 3 и нижний 4 круговые каналы, заполненные жидкостью, являются барьерами для проникновения тепловых потоков сверху и снизу их полостей. Это способствует снижению энергонагруженности пояса трения 2 полудиска 1, и как следствие, температурных градиентов. Особенно ярко указанное обстоятельство проявляется в полудисках с фланцами, в которых наличие нижнего кругового канала значительно ограничивает участие фланца в теплообменном процессе.

Обсуждение результатов исследования энергонагруженности пар трения самовентилируемого с цилиндрическими шипами дисково-колодочного тормоза. Особенности функционирования теплонапряженных поясов трения различного типа дисков в составе дисково-колодочного тормоза транспортного средства позволяет выделить их в отдельную группу. В состав последней могут входить сплошные диски с различного рода канавками и отверстиями, а также самовентилируемые диски с «внутренней накладкой» и «внешней начинкой» между полудисками, отличающиеся специфическим подходом к решению разновидностей задач проектирования – синтеза и анализа.

Необходимо обратить внимание на то, что:

- при исследовании напряженно-деформированного состояния самовентилируемых тормозных дисков со сплошными цилиндрическими шипами установлено, что наибольшие эквивалентные напряжения (370 МПа) наблюдались в местах сопряжения цилиндрических шипов с внутренними поверхностями полудисков на внутреннем радиусе пояса трения. Именно здесь возникают микротрещины;

- для предотвращения возникновения микротрещин на поверхностях полудисков тормоза необходимо: снизить их энергонагруженность за счет жидкостного принудительного охлаждения правого полудиска с фланцем; располагать торцы цилиндрических шипов по окружностям внутренних поверхностей полудисков таким образом, чтобы они не попадали на пояса трения полудисков с целью уменьшения поверхностных и объемных температурных градиентов.

Недостатком метода оценки напряженно-деформированного состояния самовентилированного диска со сплошными цилиндрическими шипами является то, что он реализуется расчетным путем.

Заключение. Чрезвычайная сложность условий динамического и теплового нагружения поясов трения различного типа дисков тормозов транспортных средств и вытекающая отсюда особенность их геометрической формы приводит к тому, что трудно разработать достаточно эффективный алгоритм проектирования. При этом по комплексу предъявляемых к конструкции требований и взаимосвязи между ними и возможными техническими решениями путем перебора ветвей дерева технических решений синтезировать новый тормозной диск, обладающий потенциальными возможностями, регламентирующими надежность и эффективность фрикционного узла тормоза.

В результате исследования напряженно-деформированного состояния самовентилируемого тормозного диска с цилиндрическими шипами следует, что существенно влияет на неравномерность распределения полей напряжений по конструктивным элементам диска.

Установлено, что ползучесть металла пояса трения полудиска тормоза при электро-термомеханическом фрикционном взаимодействии его пар трения проявляется при медленном нарастании пластической деформации под нагрузкой, меньшей той, которая вызывает остаточные деформации. Ползучесть (крип) сопровождается не только релаксацией эквивалентных напряжений, но и срывом трения.

Установлено, что наличие канавок на поясах трения различных типов тормозных дисков, расположенных под углом и имеющих глубину 0,1-0,12 толщины диска, компенсирует эффект расширения тела диска при нагревании, уменьшая его напряженно-деформированное состояние.

REFERENCES

1. **Erlikh L.B.** Elementy teorii i mekhanizm kontaknykh razrushenij // L.B. Erlikh // Vestnik mashinostroeniya. – 1993. №1. – S. 46-52. (Эрлих Л.Б. Элементы теории и механизм контактных разрушений // Л.Б. Эрлих // Вестник машиностроения. – 1993. №1. – С. 46-52).
2. Ocenka vliyaniya temperaturnykh i silovykh vozdeystvij na rabotosposobnost aviacionnykh tormoznykh koles / V.S. Okulov, L.I. Bakin, V.V. Mozalev, A.V. Suvorov i dr. Trudy 5-go mezhdunarodn. simpoz. po frikcionnym izdeliyam i materialam «Yarofi - 2003». Yaroslavl (Rossiya), 2003. – S. 132-137. (Оценка влияния температурных и силовых воздействий на работоспособность авиационных тормозных колес / В.С. Окулов, Л.И. Бакин, В.В. Мозалев, А.В. Суворов и др. Труды 5-го международн. симпоз. по фрикционным изделиям и материалам «Ярофи - 2003». Ярославль (Россия), 2003. – С. 132-137).
3. **Kapitonova L.V.** Vliyaniye perforacii diskov na ikh temperaturu v usloviyakh vzleta i posadki transportnykh samoletov / Otkrytie informacionnye i kompyuternye integrirovannye tekhnologii. – 2015. №70. – S. 160-167. (Капитонова Л. В. Влияние перфорации дисков на их температуру в условиях взлета и посадки транспортных самолетов / Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2015. №70. – С. 160-167).
4. Energonagruzhenost diskovo-kolodochnogo tormoza s vozduшной sistemoy okhlazhdeniya tipa «mnogostруjnyj ezhektor» transportnogo sredstva / A.Kh. Janahmadov, N.A. Volchenko, M.Y. Javadov [i dr.] // Vestnik Azerbajjanskoj inzhenernoj akademii. Baku, 2019. Tom 11, №3. – S.23-33. (Энергонагруженность дисково-колодочного тормоза с воздушной системой охлаждения типа «многоструйный эжектор» транспортного средства / А.Х. Джанахмедов, Н.А. Вольченко, М.Я. Джавадов [и др.] // Вестник Азербайджанской инженерной академии. Баку, 2019. Том 11, №3. – С.23-33).
5. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyaniye razlichnykh tipov diskov v tormoznykh ustrojstvakh transportnykh sredstv / A.Kh. Janahmadov, N.A. Volchenko, V.S. Skrypnik [i dr.]. Problemy treniya i iznosa: nauchn.-tekhn.. sb. K.: NAU, 2018. Ур. 2 (Т.9). – S. 16-27. (Напряженно-деформированное состояние различных типов дисков в тормозных устройствах транспортных средств / А.Х. Джанахмедов, Н.А. Вольченко, В.С. Скрыпник [и др.]. Проблемы трения и износа: научн.-техн.. сб. К.: НАУ, 2018. Вып. 2 (Т.9). – С. 16-27).
6. **Kindrachuk M.V.** Energy levels of different types of contacts of friction couples mi-croprotusionf / M.V. Kindrachuk, O.I. Volchenko, D.O. Volchenko, V.S. Skrypnik, A.V. Voznyi // Physico-chemical mechanics of materials. - 2018. Vol. 54, №6. - Pp. 81-92.
7. **Kindrachuk M.V.** Electrodynamics of the Thermal Contact Friction Tnieraicion in Metal-Polymer Friction Couples / M.V. Kindrachuk, O.I. Volchenko, D.A. Volchenko. D.Y. Juravlev, V.M. Chufus // Material Science, 2018. Vol. 54, №1. - Pp. 71 -78.
8. **Volchenko N.** Features of the estimation of the intensity of heat exchange in selfven-ti-lated disk-shoe brakes of vehicles / N. Volchenko, A. Volchenko, D. Volchenko, P. Poliakov, V. Malyk, D. Juravlov, V. Vitvitskiy, P. Krasin: Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774 1 / 5 (97)2019. P.47-53.
9. **Alyamovskij A.A.** COSMOSWorks. Osnovy rascheta konstrukcij na prochnost v srede SolidWorks / A.A. Alyamovskij. – M: Izd-vo DMK Press, 2010. – 784 s. (Алямовский А.А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks / А.А. Алямовский. – М: Изд-во ДМК Пресс, 2010. – 784 с).
10. **Chichinadze A.V., Belousov V.Y., Bogatchuk I.M.** Iznosostojkost frikcionnykh polimernykh materialov. - Lvov: Vysshaya shkola, 1989. - 144 s. (Чичинадзе А.В., Белоусов В.Я., Богатчук И.М. Износостойкость фрикционных полимерных материалов. - Львов: Высшая школа, 1989. - 144 с).
11. **Chichinadze A.V., Matvievskij R.M., Braun E.D.** Materialy v tribotekhnike ne-stacionarnykh processov. - M.: Nauka, 1986. – 248 s. (Чичинадзе А.В., Матвиевский Р.М., Браун Э.Д. Материалы в триботехнике нестационарных процессов. - М.: Наука, 1986. – 248 с).

12. Proektnyj i proverochnyj raschet frikcionnykh uzlov barabanno- i diskovo-kolodochnykh tormozov transportnykh sredstv: standart / A.Kh. Janahmadov i dr. Baku. 2016. 272 s. (Проектный и проверочный расчет фрикционных узлов барабанно- и дисково-колодочных тормозов транспортных средств: стандарт / А.Х. Джанахмедов и др. Баку. 2016. 272 с).

Авторы выражают профессору А.Х. Джанахмедову за научную консультацию.

NƏQLİYYAT VASİTƏLƏRİNİN ÖZÜVENTİLYASIYA OLUNAN TİKANLI DİSK-KÜNDƏLİ ƏYLƏCİN GƏRGİNLİK-DEFORMASIYA VƏZİYYƏTİ

M.Y. CAVADOV, D.Y. JURAVLYOV, M.M. NƏSİROVA, V.S. SKRIPNIK,
V.S. VİTVİSKİY, V.S. FEDOTOV

Nəqliyyat vasitələrinin bütöv və özüventilyasiya olunan əyləc disklərinin sürtünmə kəmərlərinin istilik yüklənməsini miqdarca aperiodik tormozlanmalar zamanı ekvivalent gərginliklərlə qiymətləndirmək olar. Adətən əyləc diskində, ilk öncə, istilik gərginliyinin normal işləmə ehtimalını istisna edən buraxıla bilməz hər hansı əlamətlərdən biri yaranır, hansı ki, disk-kündəli əyləcələrin sürtünmə cütlərinin istilik yüklənməsinin səviyyəsini də müəyyən edir.

Silindrik tikanlar ilə özüventilyasiya olunan əyləc disklərinin enerji yüklənməsinin onların gərginlik-deformasiya vəziyyətinə təsiri göstərilib. Silindrik tikanların yarım diskin daxili səthləri ilə toxunma yerlərində və sürtünmə kəmərlərində mikroçatların yaranması şərtləri təhlil olunub.

Tədqiqatdan alınan nəticələr konstruktorlara, silindrik tikanlar ilə özüventilyasiya olunan əyləc disklərinin layihələndirmə mərhələsində, sürtünmə kəmərlərində mikroçatların yaranmasını və inkişaf intensivliyini proqnozlaşdırmağa və konstruktiv həllərin qəbul edilməsi məqsədi ilə bu kimi halların qarşısını almağa imkanı verir.

Açar sözlər: disk-kündəli əyləc, özüventilyasiya olunan əyləc diski, silindrik tikan, sürtünmə kəməri, istilik balans, gərginlik-deformasiya vəziyyəti.

STRESS-STRAIN STATE OF SELF-ACTIVATED DISC-SHOE BRAKES WITH STUDS

M.Y. JAVADOV, D.Y. ZHURAVLEV, M.M. NASIROVA, V.S. SKIPNYK, V.S. WITWITSKIY, V.S. FEDOTOV

The quantity of heat loading of friction belts of solid and self-activated brake discs of vehicles during aperiodic braking can be estimated by the equivalent stresses. Usually, one of the features of unacceptable heat stress, excluding the possibility of its normal operation, is most likely to appear in the brake disc, which determines the level of thermal loading of friction pairs of the disc-shoe brake.

The influence of energy loading of self-induced thyroskeletal discs with cylindrical spikes on their stressed-deformed state is shown. Conditions, under which the microcracks appear on friction belts and through the points of connection of cylindrical studs with inner surfaces of half-disc, are analyzed.

The results of the studies will allow the designer to predict the appearance and intensity of microcracks on friction belts at the design stage of self-motivated brake discs with cylindrical spikes in order to make the design decisions to prevent this phenomenon.

Key words: disc-shoe brake, self-motivated brake disk, cylindrical stud, friction belt, heat balance, stress-deformable state.

*Поступило в редакцию: 11.12.2019
После доработки: 12.06.2020
Принято к публикации: 18.06.2020*

УДК 621.43

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ РЕЖИМЕ ДВИЖЕНИЯ НЬЮТОНОВСКИХ ЖИДКОСТЕЙ В СУДОВЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

Г.М. БАБАЕВ¹, И.В. КОРАБЛЁВ¹

В работе рассматривается методика расчета турбулентного движения ньютоновской жидкости в трубах. С учетом многочисленных работ отечественных и зарубежных авторов предложена обобщенная методика расчета коэффициента гидравлического сопротивления для всей области турбулентного режима.

Известно, что при движении жидкости возникает два режима движения. Это ламинарное и турбулентное движение. При ламинарном режиме жидкость движется параллельными струями, не смешиваясь, и каждая частица (молекула) жидкости проходит определённую длину пути, которую она должна преодолеть. В отличие от ламинарного режима движения, при турбулентном режиме параллельность потока нарушается, возникает вихревое движение, молекулы хаотично движутся и происходит перемешивание. Турбулентность возникает в широком диапазоне изменения объёмного расхода жидкости, что, как следствие, приводит к широкому диапазону изменения средней скорости потока. Согласно проведённым многочисленным опытам и исследованиям, как у нас в стране, так и зарубежными учёными, область изменения скоростей движения в потоке можно условно разделить на пять зон, где четвёртая зона попадает в турбулентный режим движения. Поэтому интерес к турбулентности с каждым днём возрастает. В данной работе авторами, на основе математического аппарата с учётом критерия подобия, предложена новая методика определения турбулентности. Получена формула, дающая возможность определения коэффициента гидравлического сопротивления во всём диапазоне турбулентного движения реальной жидкости. Данная методика может найти широкое применение в различных отраслях промышленности, с турбулентным характером движения жидкостей в системах.

Ключевые слова: турбулентность, скорость потока, коэффициент гидравлического сопротивления, число Рейнольдса, абсолютное и избыточное давление.

Введение. Процессы движения жидкости в трубах и каналах встречаются в различных областях науки: химической, нефтяной, атомной, космической, судостроительной и т.д., и связанные с ними задачи решаются на основе гидромеханических ньютоновских жидкостей. Учет режима движения является важной проблемой.

Цель статьи – выявить основные показатели турбулентного режима движения в зависимости от основных факторов, влияющих на движение жидкости в судовых трубопроводах.

Практика показывает, что теоретически представить турбулентное движение, создающее основное движение, сложно. Однако такое перемещение слоев жидкости и газа, со-

¹ Азербайджанская государственная морская академия (АГМА)
E-mail: korablevilya77@gmail.com

здающе пульсационное движение, передает турбулентному движению характерные особенности, резко отличающие его от ламинарного режима течения в трубах.

Многочисленные эксперименты показали, что при турбулентном движении жидкости с ньютоновскими характеристиками основной причиной большого сопротивления является пульсационное движение. Лабораторные исследования показали, что при турбулентном течении скорость и давление в заданной точке не остаются постоянными по времени и часто неравномерно изменяются.

В экспериментах при исследовании данного вопроса обычно измеряют только осредненные параметры: среднее давление и скорость, так как только эти параметры доступны для измерения [1÷6].

Постановка задачи. Рассмотрим движение жидкости в трубе. При этом выделим в развитой области трубы жидкость при турбулентном течении, цилиндр, имеющий длину (L) и радиусом (y).

Решение задачи. Принимая, что в данном случае силы инерции отсутствуют, цилиндр находится в равновесии под действием касательных напряжений, приложенных к его боковой поверхности и разности давлений, $\Delta p = p_1 - p_2$, действующих на его основания. Учитывая вышеизложенное, имеем

$$\tau = \frac{p_1 - p_2 y}{L \cdot 2} \quad (1)$$

Данная формула применима как для ламинарного, так и для турбулентного режима течения. Как видно, касательное напряжение распределяется по поперечному сечению линейно. Анализ показал, что максимальное значение касательного напряжения имеет место у стенки трубы, т.е.

$$\tau' = \frac{p_1 - p_2 R}{L \cdot 2} \quad (2)$$

Касательное напряжение на стенке может быть определено экспериментально, путем измерения перепада давления.

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования показали, что для ламинарного режима течения связь между перепадами давления и численное значение протекающей жидкости (объемный расход) можно определить чисто теоретически, что хорошо совпадает с опытом. При турбулентном течении данную связь можно установить только на основе лабораторных исследований. Связь между перепадом давления и расходом устанавливается законом сопротивления для движения в трубе или в канале [7].

Литературный анализ показывает, что существует большое число формул, определяющих сопротивление в трубе, причем более ранние формулы, определяющие сопротивление, получены без учета закона подобия Рейнольдса и зависят от выбора единиц. Согласно литературного анализа, таким формулам придают безразмерный вид, при этом вводят безразмерный коэффициент гидравлического сопротивления, определяемый как

$$\frac{p_1 - p_2}{L} = \lambda \frac{v^2}{2D} \rho \quad (3)$$

где D - диаметр трубы.

Следовательно, касательное напряжение сдвига у стенки трубы можно определить по формуле

$$\tau' = \frac{\lambda}{8} \rho v^2 \quad (4)$$

Впервые Г.Блазиус, обрабатывая накопившие эксперименты, с учетом закона подобия для коэффициента гидравлического сопротивления в гладких трубах получил эмпирическую формулу

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad (5)$$

Согласно данной формуле, коэффициент сопротивления является функцией только числа Рейнольдса. Данная формула применима в небольшом диапазоне: $Re \leq 100000$. При этом надо отметить, что лабораторные эксперименты при более больших числах Рейнольдса в то время, когда Блазиус ставил свои опыты, не проводились. В настоящее время накопилось большое количество экспериментов при более больших числах Рейнольдса. Так в работе предлагается иная модель для расчета коэффициента гидравлического сопротивления.

$$\lambda = \frac{c}{Re^m} \quad (6)$$

Поздние [3, 5] промышленные опыты показали, что численные значения (m) изменяются в большом диапазоне. Многочисленные авторы предлагают различные формулы на основе данной модели, однако их применение в конкретных задачах создает дополнительные трудности при выборе той или иной формулы [1÷4].

Учитывая вышеизложенное, в данной работе на основе обработки многочисленных работ, в диапазоне изменения числа Рейнольдса $3000 \div 5000000$ предложена эмпирическая формула для определения коэффициента гидравлического сопротивления для турбулентного режима движения:

$$\lambda = \frac{0,3165}{Re^{a-b \cdot \lg Re}} \quad (7)$$

Для обычных вязких жидкостей, для воды: $a=0,4099$, $b=0,0151$.

Сопоставление различных значений, полученных в работе [4], показало хорошую сходимость расчетного значения с экспериментами.

Однако в технике встречаются трубы с шероховатыми трубами. Если ввести понятие относительной шероховатости, то связь между коэффициентом гидравлического сопротивления для шероховатых и гладких труб можно определить, как

$$\lambda_{ш} = \lambda \left(1 + \lambda \frac{nk}{D} Re \right) \quad (8)$$

По данным, опубликованным в литературе, для шероховатых труб $n \approx 0,21$.

По данной методике определены значения для коэффициента гидравлического сопротивления для шероховатых труб, и эти значения сопоставлены с экспериментальными данными.

Как видно из формул, рассчитанные и измеренные значения очень хорошо совпадают со средней погрешностью не более 3%, с коэффициентом коррекции 0,9, что дает право рекомендовать полученные результаты для широкого применения в промышленных расчетах.

Заключение. С учетом лабораторных экспериментов получен анализ для определения коэффициента гидравлического сопротивления.

Анализируя данные как отечественных, так и зарубежных авторов, предложено более простое уравнение для определения гидравлического сопротивления как для гладких, так и для шероховатых труб в более большом изменении числа Рейнольдса, практически встречающиеся в судостроении и транспортировке жидкостей.

REFERENCES

1. **Makovozov M.I.** Gidravlika I gidravlicheskie mashiny. M.: Mashgiz, 2002. - 430 s. (Маковозов М.И. Гидравлика и гидравлические машины. М.: Машгиз, 2002. – 430 с.)
2. **Ugingus A.A.** Gidravlika I gidravlicheskie mashiny. M.: Gosenergoizdat, 1983. - 349 s. (Угингус А.А. Гидравлика и гидравлические машины. М.: Госэнергоиздат, 1983. - 349 с.)
3. **Povh I.L.** Tehnicheskaya gidromexanika. - L.: Mashinostroenie, 1976. – 501 s. (Повх И.Л. Техническая гидромеханика. Л.: «Машиностроение», 1976. - 501 с.)
4. **Kisilev P.G.** Gidravlika, osnovi mehaniki zhidkosti. M.: «Energiya», 1980. – 160 s. (Кисилев П.Г. Гидравлика, основы механики жидкости. М.: «Энергия», 1980. - 360 с.)
5. **Wilkens R. and W. P. Sepson.** Studes of Multiphase Flow in High Pressure Horizontal and +5 Degree Inclined Pipelines, Proc.6 int Offshore and Peler Engineering Conf. (ISOPE-96), 1996. 2. Pp.139÷145.
6. **İsgəndərov A.İ., Babayev H.M.** Yanacaqın növü dəyişdikdə mühərrikin indikator və effektiv göstəricilərinin dəyişməsinin nəzəri tətbiqi / XI Beynəlxalq elmi-texniki konfransın materialları, 2016, s.107-110.
7. **Salavatov T.Sh. i dr.** Analiz dvizheniya realnyh gazov v poristoj srede po linejnomu zakonu filtrcii s uchetem skin-zony // Vestnik Azerbajjanskoj inzhenernoj akademii. 2018, T.10, №1, s.41-44 (Салаватов Т.Ш. и др. Анализ движения реальных газов в пористой среде по линейному закону фильтрации с учётом скин-зоны // Вестник Азербайджанской инженерной академии, 2018, Т.10, №1, с.41-44).

GƏMİ BORU SİSTEMLƏRİNDƏ NYUTON MAYESİNİN HƏRƏKƏTİNİN TURBULENT REJİMİ ZAMANI HİDRAVLİK MÜQAVİMƏT ƏMSALININ TƏYİNİ

H.M. BABAYEV, İ.V. KORABLYOV

İşdə borularda Nyuton mayesinin turbulent hərəkətinin hesablanma metodikasına baxılmışdır. Yerli və xarici müəlliflərin çoxsaylı işlərini nəzərə alaraq, turbulent rejiminin bütün sahələri üçün hidravlik müqavimət əmsalının hesablanmasının ümumiləşdirilmiş metodikası təklif edilmişdir.

Məlumdur ki, mayenin hərəkəti zamanı iki hərəkət rejimi yaranır. Bunlar laminar və turbulent hərəkətlərdir. Laminar rejimdə mayələr bir-birinə qarışmayaraq, paralel şırıqla hərəkət edirlər və suyun hər bir hissəciyi (molekul) müəyyən uzunluqlu yolu keçmiş olur ki, bu da tələb olunan uzunluqla tamamlanır. Hərəkətin laminar rejimindən fərqli olaraq, turbulent rejimdə axının paralelliyi pozulur, burulğanlı hərəkət yaranır, molekullar xaoslu hərəkət edirlər və bir-birinə qarışma baş verir. Turbulentlik həcmi sərfin geniş diapazonda dəyişməsi zamanı yaranır, bu da, nəticə etibarilə, axının orta sürətinin geniş diapazonda dəyişməsinə gətirib çıxarır. Ölkəmizdə və xarici ölkələrdəki alimlərin apardığı bir sıra təcrübə və tədqiqatlar əsasən, dəyişmə sahəsinin axında hərəkət sürətini şərti olaraq beş zonaya bölmək olar, belə ki, dördüncü zona hərəkətin turbulent rejiminə düşür. Ona görə də turbulent rejiminə olan maraq günü-gündən artır. Baxılan işdə müəlliflər tərəfindən oxşarlığın meyarı nəzərə alınaraq, riyazi aparat əsasında turbulentliyin təyininin yeni metodikası təklif edilmişdir. Real mayenin turbulent hərəkətinin bütün diapazonunda hidravlik müqavimət əmsalını təyin etməyə imkan verən formula (riyazi düstur) alınmışdır. Verilmiş metodika sistemlərdə mayenin hərəkətinin turbulentlik xarakteri ilə sənayenin müxtəlif sahələrində geniş tətbiqini tapa bilər.

Açar sözlər: *turbulentlik, axın sürəti, hidravlik müqavimət əmsalı, Reynolds sayı, absolyut və artıq təzyiq.*

DETERMINATION OF THE COEFFICIENT OF HYDRAULIC RESISTANCE OF TURBULENCE MOVEMENT OF THE NEWTONION FLUIDS IN VESSELS PIPE SYSTEMS

H.M. BABAYEV, I.V. KORABLEV

As it is known there are two types of liquid movement. This are the laminar and turbulent movements of fluid. The fluid moves over parallel jets, not mixing, and each particle (molecule) of the fluid passes a certain pass often that length which it should surmount in laminar mode. In contrast to the laminar motion, the turbulent parallelism of jets is disturbed by the vortex motion that has arisen, the motion of molecules becomes chaotic, mixing and turbulent motion is obtained. Turbulence occurs in a wide range, changes in volumetric fluid flow, then if i.e. with a wide range changing the average speed. According to researches numerous of experimental studies published, both in our country and abroad. Concerning to numerous methods, the areas of change in fluid motion Can be divided into five zones, where four zone falls into turbulence, and therefore the interest in this field is increases every year. In this research, the authors based on mathematical analysis proposed a new method for determining turbulence, taking into account the similarity of possibility. The obtained formula, which gives an opportunity to determine the coefficient of hydraulic resistance over the entire range of turbulence movement of a real fluid. The given method can be widely used in various fields of practice, where specialists encounter the turbulence motion.

Key words: *turbulence, speed of flow, coefficient of hydraulic resistance, Reynolds number, absolute and gauge pressure.*

Поступило в редакцию: 11.12.2019
После доработки: 10.06.2020
Принято к публикации: 17.06.2020

УДК 622. 276

ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ НАНОСТРУКТУРНЫХ КООРДИНАЦИОННЫХ ПОЛИМЕРОВ АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ АССОЦИАТОВ В ОБЪЕМЕ НЕФТИ И НЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ

Б.Т. УСУБАЛИЕВ¹, В.Х. НУРУЛЛАЕВ¹, Ф.Т. МУРВАТОВ¹,
М.М. ГАСАНОВА¹, А.К. РЗАЕВА¹

Дан краткий перечень существующих методов предотвращения и удаления асфальтосмолопарафиновых отложений из нефтепромыслового оборудования. Более подробно рассмотрены химические методы, связанные с применением различных присадок, реагентов и удалителей. Дана краткая характеристика основных классов химических веществ, используемых при решении проблемы предотвращения образования и дробления уже образовавшихся асфальтосмолопарафиновых отложений. Показано, что для выбора наиболее эффективных, с химической точки зрения, путей предотвращения и удаления отложений органических веществ необходимо получение адекватного представления о составе, свойствах и строении исходной нефти и образующихся отложений. Выявлен механизм действия реагентов на асфальтосмолопарафиновые отложения и установлено, что композиты на основе координационных полимеров при взаимодействии с нефтью измельчают ассоциаты и обеспечивают равномерное распределение их в нефти, что улучшает реологические свойства нефти. Указано, что в основе выдвигаемой технологии лежит клатратообразование, теория Льюиса «хозяин – гость».

***Ключевые слова:** асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО), дробление, коагуляция, химический состав нефти, механизм образования АСПО, методы борьбы с АСПО.*

Введение. Развитие нефтяной промышленности Азербайджана на современном этапе характеризуется снижением качества сырьевой базы. В общем балансе разрабатываемых месторождений преобладают месторождения, вступившие в позднюю стадию разработки, и, как следствие, наблюдается значительное ухудшение их структуры, увеличение доли трудно извлекаемых запасов нефти, обводнение пластов и продукции скважин.

Так, при добыче и транспортировке тяжелых нефтей серьезной проблемой, вызывающей осложнения в работе скважин, нефтепромыслового оборудования и трубопроводных коммуникаций является образование асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО), формирование которых приводит к ухудшению реологических свойств нефти и снижению производительности системы, эффективности работы насосных установок [1]. Образование

¹ Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия»
E-mail: ubeybala@gmail.com

эмульсий при выходе из скважины вместе с сопутствующей пластовой водой усиливает осадкообразование.

АСПО, образовавшиеся в разных скважинах, отличаются друг от друга по химическому составу в зависимости от группового углеводородного состава нефтей, добываемых на этих скважинах. Но при всём возможном разнообразии составов для всех отложений установлено, что содержание в них асфальтосмолистых и парафиновых компонентов будет иметь обратное значение: чем больше в АСПО доля асфальтосмолистых веществ, тем меньше будет содержаться парафинов, что в свою очередь, определится их соотношением в нефти. Такая особенность обуславливается характером взаимного влияния парафинов, смол и асфальтенов, находящихся в нефти до момента их выделения в отложения [2].

Борьба с АСПО предусматривает проведение работ по предупреждению образования отложений и их удалению. Существует несколько наиболее известных и активно применяемых в нефтедобывающей промышленности методов борьбы с АСПО. Но многообразие условий разработки месторождений и различие характеристик добываемой продукции часто требует индивидуального подхода и даже разработки новых технологий. Химические методы базируются на дозировании в добываемую продукцию химических соединений, уменьшающих, а иногда и полностью предотвращающих образование отложений [3]. В основе действия ингибиторов парафиноотложений лежат адсорбционные процессы, происходящие на границе раздела между жидкой фазой и поверхностью металла трубы.

Химические реагенты подразделяются на смачивающие, модификаторы, депрессаторы и диспергаторы [4, 5].

Смачивающие реагенты образуют на поверхности металла гидрофильную пленку, препятствующую адгезии кристаллов парафина к трубам, что создает условия для выноса их потоком жидкости. К ним относятся полиакриламид (ПАА), ИП-1;2;3, кислые органические фосфаты, силикаты щелочных металлов, водные растворы синтетических полимерных поверхностных активных веществ (ПАВ). *Модификаторы* взаимодействуют с молекулами парафина, препятствуя процессу укрупнения кристаллов. Это способствует поддержанию кристаллов во взвешенном состоянии в процессе их движения. Такими свойствами обладают атактический пропилен с молекулярной массой 2000-3000, низкомолекулярный полиизобутилен с молекулярной массой 8000-12000, алифатические сополимеры, сополимеры этилена и сложного эфира с двойной связью, тройной сополимер этилена с винилацетатом и винилпиролидоном, полимер с молекулярной массой 2500-3000. Механизм действия *депрессаторов* заключается в адсорбции молекул на кристаллах парафина, что затрудняет их способность к агрегации и накоплению. К известным депрессаторам относятся "Парафлуо АзНИИ", алкилфенол ИПХ-9, "Дорад-1А", ВЭС-504 ТюмИИ, "Азолят-7" [6]. *Диспергаторы* обеспечивают образование тонкодисперсной системы, которая уносится потоком нефти, что препятствует отложению кристаллов парафина на стенках труб. К ним относятся соли металлов, соли высших синтетических жирных кислот, силикатно-сульфанолиевые растворы, сульфатированный щелочной лигнин [6]. Использование химических реагентов для предотвращения образования АСПО во многих случаях совмещается: с процессом разрушения устойчивых нефтяных эмульсий; с защитой нефтепромыслового оборудования от коррозии; с защитой от солеотложений; с процессом формирования оптимальных структур газожидкостного потока.

Разработан достаточно широкий ассортимент химических реагентов для борьбы с АСПО. В настоящее время применяются следующие марки реагентов: бутилбензольная фракция (бутиленбензол, изопропилбензол, полиалкилбензолы). Предложены к использованию СевКавНИПИнефть; толуольная фракция (толуол, изопентан, н-пентан, изопрен); СНПХ-7р-1 - смесь парафиновых углеводородов нормального и изостроения, а также ароматических углеводородов (ОАО "НИИнефтехим", г. Казань); СНПХ-7р-2 - углеводородная композиция, состоящая из легкой пиролизной смолы и гексановой фракции (ОАО "НИИнефтехим", г. Казань); ХПП-003, 004, 007 (ЗАО "Когалымский завод химреагентов", г. Когалым); МЛ-72 - смесь синтетических ПАВ; реагенты типа СНПХ-7200, СНПХ-7400 - сложные смеси оксиалкилированных ПАВ и ароматических углеводородов (ОАО "НИИнефтехим", г. Казань); реагент ИКБ-4, оказывающий комплексное воздействие на АСПО и коррозию металла труб (ИНХП, г. Уфа); ИНПАР (Опытный завод "Нефтехим", г. Уфа); СЭВА-28 - сополимер этилена с винилацетатом (ВНИИНП и ВНИИТнефть, г. Москва). Кроме перечисленных реагентов, в нефтегазодобыче используют также Урал-04/88, ДМ-51; 513; 655; 650, ДВ-02; 03, СД-1; 2, О-1, В-1, ХТ-48, МЛ-80, Прогалит ГМ20/40 и НМ20/40. Наряду с высокой стоимостью существенным недостатком химического метода является сложность подбора эффективного реагента, связанная с постоянным изменением условий эксплуатации в процессе разработки месторождения.

Несмотря на большое разнообразие методов борьбы с АСПО, проблема еще далека от разрешения и остается одной из важнейших в отечественной и зарубежной нефтедобывающих отраслях.

Целью данного исследования является поиск методов предотвращения или дробления при помощи наноструктурных координационных полимеров уже образовавшихся АСПО в структурированной нефтяной среде, приводящих к ухудшению реологических свойств нефтей, а также изучение механизма действия реагента при взаимодействии с нефтью.

Таблица 1.

Реофизико-химические характеристики Мурадханлинских смешанных нефтей

Реофизические и химические показатели	Значение	Методы анализов
Плотность, кг/м ³	876,7	ГОСТ 3900
Кинематическая вязкость, мм ² /сек	83,32	ГОСТ 33
Количество смол, %	18,32	Хроматография
Количество асфальтенов, %	4,86	ГОСТ 11858
Количество парафинов, %	6,21	ГОСТ 11851
Давление насыщенного пара, кПа	23,4	ГОСТ 1756
Температура застывания, °С	+9	ГОСТ 20287
Механические смеси, %	0,0234	ГОСТ 6370
Количество солей, мг/л	47,3	ГОСТ 21534
Количество воды, %	0,15	ГОСТ 2477

Таблица 2.

Результаты анализов

Показатель	Объем композита в 300 мл						
	0	10	20	30	40	50	60
Кинематическая вязкость, мм ² /сек	83,37	70,24	57,65	45,59	40,98	58,31	69,77

Экспериментальная часть. Для проведения экспериментов из аквакомплексов металлов (III) с ароматическими кислотами с общей формулой $\{Me_2[R(COO)_2]_3(H_2O)_4\}_n$ приготовили 1%-ный раствор в технической воде и сульфаноле. Был взят 1 г комплексного соединения, 98 г технической воды и 0,06 г сульфанола, то есть был приготовлен 100 г 1 %-го раствора реагента и проведен эксперимент.

За образец взято 300 мл нефти Мурадханлинского месторождения. Реофизико-химические характеристики Мурадханлинской смешанной нефти приведены в таблице 1.

Из анализа (табл. 2) видно, что при добавлении 40 мл композита вязкость нефти снижается до 40,98 мм²/сек.

Дальнейшее прибавление композита приводит к увеличению кинематической вязкости. Это подтверждает тот факт, что оптимальным количеством является 40 мл композита.

Графическая зависимость вязкости нефти от объема реагента приведена на рисунке 1.

Таким образом, проведенный эксперимент показывает, что композит на 51 % уменьшает вязкость высоковязких смешанных нефтей Мурадханлинского месторождения [7, 8].

Композит указанного соединения также был применен для удаления АСПО, накапливающихся на днищах резервуаров, сокращающих полезную емкость и затрудняющих их эксплуатацию. Осадок по площади распределяется неравномерно, наибольшая его толщина создается в участках, удаленных от приемно-раздаточных патрубков, что не позволяет точно замерять фактическое количество нефти в резервуаре [6, 9]. Со временем осадок уплотняется и в отдельных зонах трудно поддается или вообще не поддается размыву. Для полезной эксплуатации резервуаров их необходимо периодически очищать от накопившегося осадка.

Применяемые методы борьбы с АСПО, основанные на механическом удалении при помощи различных очистных устройств (скребков, подъемных средств и т.п.), использование композиции углеводородов, содержащей гексан, толуол, гексен-1 [10], использование состава, содержащего бензин, керосин, нефрас А 130/150 или толуол [11], жидкие отходы углеводородов Стерлитамакского завода синтетического каучука, получаемого в процессе производства изопрена методом двухстадийного дегидрирования, его выделения и очистки, не эффективны.

Недостатками этих способов являются осложнения при работе механических устройств и неравномерное удаление осадков, большой расход и высокая стоимость входящих в состав композиции индивидуальных углеводородов, необходимость точных данных о массовом содержании каждой группы углеводородов, входящих в состав осадка каждого резервуара, т.к. они сказываются на эффективности удаления АСПО и усложняют его прак-

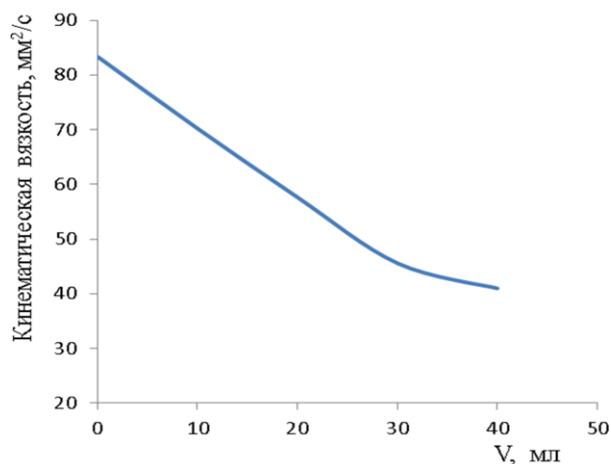


Рис. 1. Графическая зависимость кинематической вязкости нефти от объема композита (состав композита: 1 г реагент, 98 г техническая вода и 1 капля сульфанола).

тическое применение. Используемый реагент (жидкие отработанные углеводороды) содержит более 60 % масс. токсичных компонентов (толуол, ксилолы, тяжелая ароматика).

На основе рассмотренного выше соединения создан безопасный и эффективный способ очистки нефтяных резервуаров от донных отложений за счет разжижения и удаления АСПО.

Предложенный способ очистки нефтяных резервуаров представляет собой обработку АСПО композицией, имеющей состав (% , мас.): 1,0 % полимера, 0,1 % сульфанола, остальное – ДЩО (дизельно-щелочной отход) при соотношении композиции к осадку, равном 4:10 в процессе удаления различных типов АСПО [12].

Во время процессов транспортировки нефти по трубопроводам в некоторых зонах труб наблюдаются образования АСПО, которые называются зонами кавитации. Для устранения подобных зон кавитации используется целый ряд химических и физических методов [6,9]. Причины образования в зонах перевалов осадков, состоящих из асфальтенов, смол, парафинов, а также проникающих в них механических смесей, подробно изложены в соответствующей литературе [6,9]. Описанные ситуации более всего встречаются во время транспортировки по трубопроводам нефти, богатой асфальтенами, смолами и парафинами и обладающей высокой степенью вязкости.

Схожие случаи наблюдаются также в нефтяных резервуарах. Несмотря на существование многочисленных методов очистки и устранения подобных осадков из нефтяных резервуаров, эти методы не могут быть применены для промывания и устранения АСПО в трубопроводах.

Одним из способов, применяемых для устранения АСПО, является способ использования композита, в состав которого входят щелочные и щелочно-земельные металлы в жидком носителе. В качестве жидкого носителя используется раствор ПАВ (поверхностно-активного вещества) в 0,01-5% воде. А промывание осуществляется посредством смеси композита щелочных и щелочно-земельных металлов и 0,01-5% раствора ПАВ [13].

Методом, обладающим необходимой эффективностью и большей близостью к технической цели, является метод использования насосно-компрессорной трубы (НКТ), наполненной композитом. В качестве композита используются алюминий и / или кальций, и / или магний, и / или железо, и / или кремний, введенный в алюминиевую трубу. В процессе взаимодействия с водой происходит экзотермический процесс, в результате которого выделяется большое количество тепла, что приводит к нагреванию призабойной зоны и устранению парафино-гидратной пробки. Щелочь, образующаяся в процессе экзотермических реакций, очищает поверхность внутренней стенки трубопровода и устраняет центр кристаллизации парафина, что обеспечивает долгосрочную службу трубопровода [14].

Еще один метод (прототип) заключается в подаче на место сбора АСПО неорганических соединений вместе с карбогидрогеном и происходящей при этом термохимической реакции. При данном методе в качестве неорганического вещества применяется сплав алюминиевого основания, в состав которого входят 0,1-5% индий, 0,1-5,0% галлий, а для осуществления термохимической реакции используется 3%-я перекись водорода. В данном случае состав таков: перекись водорода; катализатор: бензин в соотношении: 1 : (0,006 - 0,007) : (1,0 - 1,7) или же перекись водорода : катализатор: гексан: толуол в соотношении: 1 : (0,006-0,007) : (1,02 - 1,05) : 3,7 или же перекись водорода : катализатор : гептанол : толу-

ол в соотношении : 1 (0,006-0,007) : (1,02-1,05) 37%. Техническим результатом предлагаемого способа является повышение способности растворителей устранять АСПО.

Недостатками указанных методов является, потеря большого объема воды, так как на 1 кг металла требуется свыше 5 тонн воды, и использование дорогостоящих металлов, со сложностью образования щелочи и трудностями регулирования процесса, применение таких дорогостоящих металлов, как индий и галлий и канцерогенных растворителей – гептанол, гексан и толуол, а также множество других применяемых компонентов [15].

Задача предлагаемого нами способа заключается в разработке эффективного метода устранения зон кавитации (особых зон кавитации), время от времени образующихся в результате оседания осадков в определенных частях межотраслевых и международных нефтепроводов.

Поставленная задача достигается посредством метода устранения зон кавитации, при котором зоны «кавитации» трубопроводов обрабатываются композитным раствором в составе (масса, %): 0,5-1 % полимеры, 69,5-70 % ДЩО (дизельно-щелочные отходы), остальное – вода. При этом в качестве полимера применяется композитный раствор на основе наноструктурного координационного полимера при соотношении к осадку: 1 – 4 : 30.

Подготовка композита осуществляется в следующей последовательности: в резервуар с определенным объемом жидкости вводится необходимое количество ДЩО, после чего добавляется полимер, и раствор смешивается в течение 5 минут. Процесс осуществляется при комнатной температуре и определенном атмосферном давлении.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что количество использованного в примере композитного раствора (40 мл) является достаточным для полного расщепления АСПО, и данный процесс должен считаться эффективным в случае соотношения: композитный раствор : осадки – 4 : 30 соответственно.

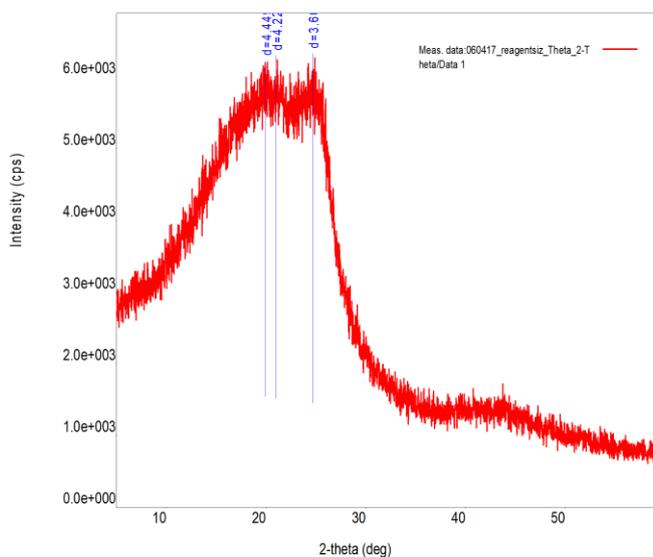


Рис. 2. Рентгенограмма сухого образца безрегентной нефти

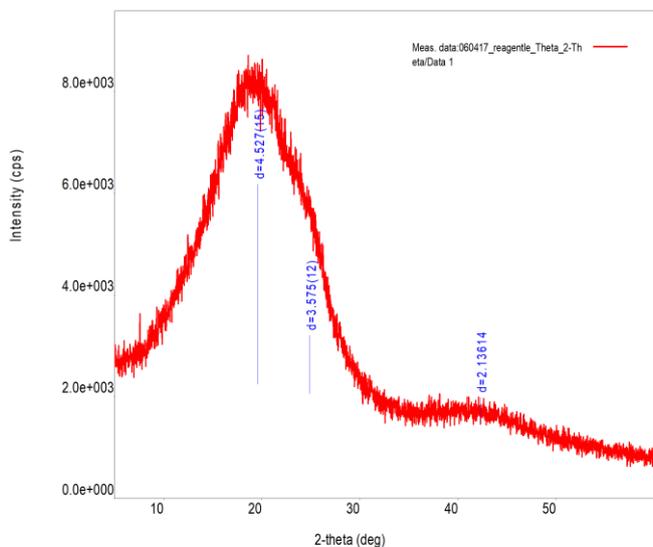


Рис. 3. Рентгенограмма сухого образца нефти с реагентом

Описание установки. В экспериментах использовали стандартный перегонный аппарат АРН – 2 по ГОСТу 11011 – 85.

Рентгенограф “Rigaku MINIFlex 600”.

Сканирующий Электронный Микроскоп “JEOL JESM-6610LV”.

Гудрон получен в условиях вакуума из образцов нефти на стандартном перегонном аппарате АРН – 2 по ГОСТу 11011 – 85, снабженном ректификационными колонками в температурном интервале 450 – 550°C. Выход гудрона 12 % (312 г) от массы образца нефти в количестве 600 г.

Результаты и их обсуждение. Результаты экспериментальных исследований показали, что композиты на основе координационных полимеров железа (III) с терефталевой и фталевой кислотами уменьшают вязкость нефтепродуктов, таких как тяжелая и сырая нефть, облегчают транспортировку из подземного пласта от места добычи до нефтеперерабатывающего завода или нефтехранилища, повышают добычу, очищают резервуары от шламов нефти и нефтепродуктов [8, 12, 16-19].

Известно также, что все эти свойства нефтей (повышенная вязкость, трудности транспортировки, снижение добычи, образование шламов в резервуарах и др.) напрямую связаны с АСПО образованием.

Учитывая вышеизложенное, нами разработана новая многофункциональная химическая технология для предотвращения или удаления уже образовавшихся АСПО.

Для выяснения механизма действия реагентов нами были проведены рентгенографическое и электронно-микроскопическое исследования. Для проведения исследований к образцам нефти (по 300мл), взятым из одной и той же скважины (№ 1573), добавляли 40 мл композитного раствора реагентов, а другой оставляли без изменений и перегоняли их до получения гудроновой фракции.

Как известно, гудрон является сухим продуктом перегонки нефти при температуре 450-600°C (в зависимости от природы нефти) в вакуумных условиях и атмосферном давлении. Выход гудронов в зависимости от состава нефтей составляет 10-45% (масс.). Гудрон является вязкой жидкостью черного цвета и при дроблении образуются мелкие сверкающие частицы. В состав гудрона входит парафин, нафтены ароматических углеводородов (45-95%), асфальтены (3-17%), нефтяные смолы (2-38%) и атомы металлов. В зависимости от природы нефтей и от выхода прозрачной фракции плотность гудрона изменяется от 0,95 до 1,03 г/см³, коксность 8-26%(масса), а температура плавления 12-55°C. Также известно, что при атмосферной и вакуумной перегонке химический состав нефтей не изменяется. Поэтому результаты анализов, полученных для сухих продуктов нефти, относится непосредственно для самих нефтей.

Полученные результаты приведены на рисунках 1, 2, 3 и 4.

Из рентгенограммы (рис.2) видно, что сухой продукт безреагентного образца нефти состоит из ярко выраженных трех фаз с межплоскостными расстояниями 4.44, 4.22 и 3.64.

На рентгенограмме (рис.3), снятой из сухого образца продукта нефти с реагентом, третья фаза полностью исчезает и в первых двух фазах максимумы смещаются в малоугловые стороны, т.е. межплоскостные расстояния увеличиваются. Это говорит о том, что после исчезновения третьей фазы структура 1-ой и 2-ой фазы изменяется и их кристалличность увеличивается.

Результаты электронно-микроскопического исследования безреагентного образца нефти (рис.4) показали, что в сухом остатке присутствует ассоциат, состоящий из асфальтенов, смол и парафинов, ухудшающий реологические свойства нефтей.

Результаты электронно-микроскопического исследования образца с реагентом (рис.5) свидетельствуют о том, что в нем ассоциат находится в раздробленном виде и распределен в нефти, т.е. находится в растворенном состоянии.

Исчезновение третьей фазы (рис.2) с межплоскостным расстоянием $d=3,60$ показывает, что пористые реагенты (размер поры составляет приблизительно $\sim 20\text{Å}$) композита с третьей фазой образуют невалентные соединения с самоорганизацией и самоконструированием, т.е. при взаимодействии реагента с нефтью возникают невалентные скекинг-взаимодействия между пористыми координационными полимерами и хроматическими и гетероатомными макроассоциатами третьей фазы. Освободившиеся от третьей фазы первый и второй ассоциаты (АСПО) превращаются в мелкие частицы и растворяются в нефти. В связи с этим и улучшаются реологические свойства нефти. А увеличение межплоскостного расстояния первой и второй фаз свидетельствует о том, что их структура меняется. Сравнительные рентгенограммы сухих продуктов нефтей без реагента и с реагентом представлены на рис. 6.

По результатам электронно-микроскопического анализа также ясно видно, что в сухом продукте безреагентной нефти АСПО ассоциаты находятся в сплошной массе и ухудшают его свойства. А в сухом продукте нефти с реагентом АСПО ассоциаты раздроблены на мелкие частицы, т.е. в нефти они распределены равномерно, и поэтому улучшаются реологические свойства нефти. Это еще раз доказывает, что реагенты с хроматическими гетероатомами образуют невалентные соединения.

Таким образом, улучшение реологических свойств нефтей, в частности уменьшение вязкости, сопровождается уменьшением количества смолы (масс. %) в составе нефтей. Зависимость уменьшения вязкости нефти от уменьшения количества смолы (масс. %) в составе нефти наглядно видна из графика (рис.8).

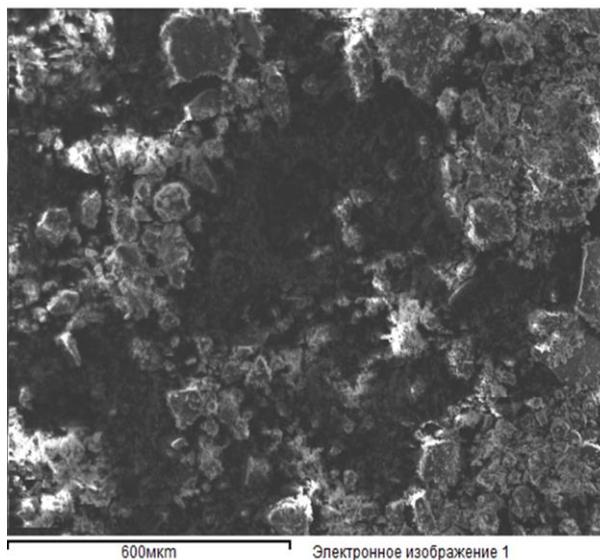


Рис. 4. Электронно-микроскопическое изображение сухого образца нефти без реагента

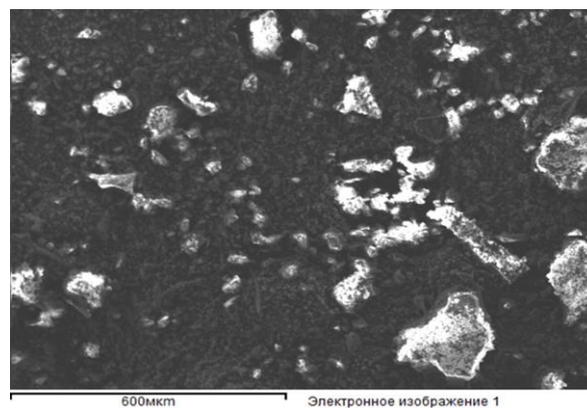


Рис.5. Электронно-микроскопическое изображение сухого образца нефти с реагентом

Из графиков видно, что даже при минимальном уменьшении количества смолы в составе нефти вязкость ее резко снижается. Так, при 8 % (масс.) уменьшения смолы вязкость падает от 45,9 до 26,4 сСт.

Результаты исследований показывают, что указанные реагенты могут решать все проблемы, возникающие с АСПО образованием, в частности улучшают нефтеотдачу скважин, снижая вязкость тяжелых нефтей, повышают эффективность транспортировки таких нефтей и обеспечивают эффективность очистки нефтяных резервуаров от отложений нефтей и нефтепродуктов. В основе выдвигаемой нами технологии лежит клатратообразование, то есть теория Льюиса «хозяин – гость». Согласно этой теории, «хозяин» - реагент, имеющий кристаллические поры или каналы, с самоорганизацией и самоконструированием, впитывает «гостя» - третью твердую фазу нефти (смолу) с межплоскостным расстоянием 3.64 (рис.2). В результате этого происходит раздробление ассоциатов, что значительно улучшает реологические свойства нефтей.

Заключение. Наличие в составе нефти определенной концентрации асфальтенов, смол и парафинов (при низких температурах), их коагуляция с образованием прочных структур между собой и твер-

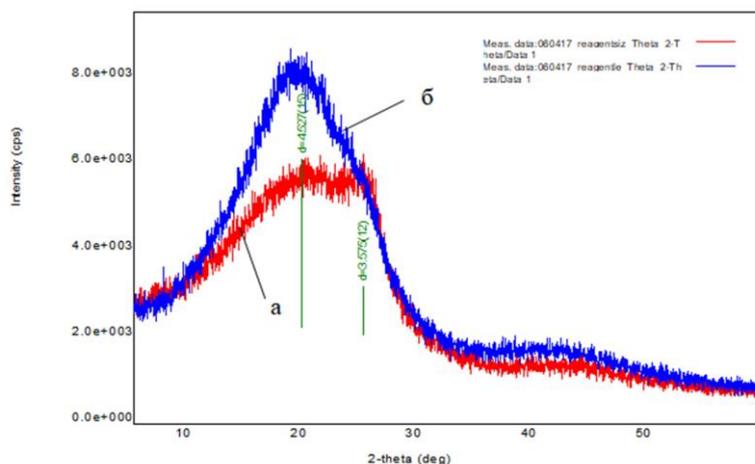


Рис. 6. Сравнительная рентгенограмма сухих продуктов нефти без реагента (а) и с реагентом (б)

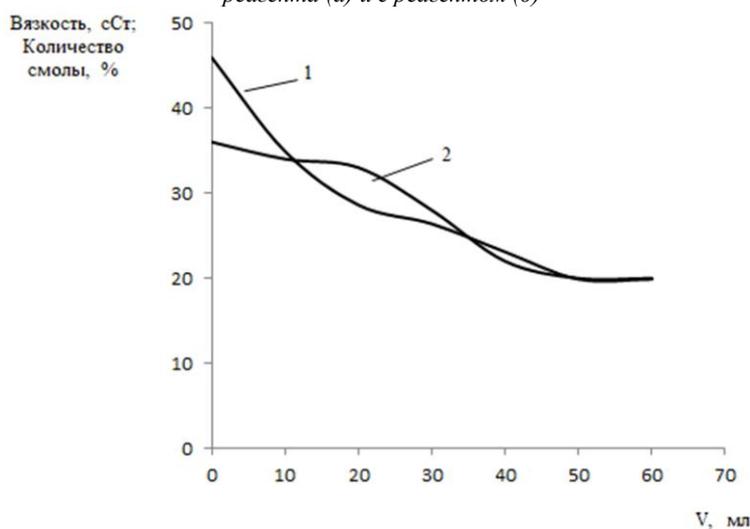


Рис.7. Зависимости вязкости и количества смолы в составе нефти от объема реагента (1- вязкость, 2- смола)

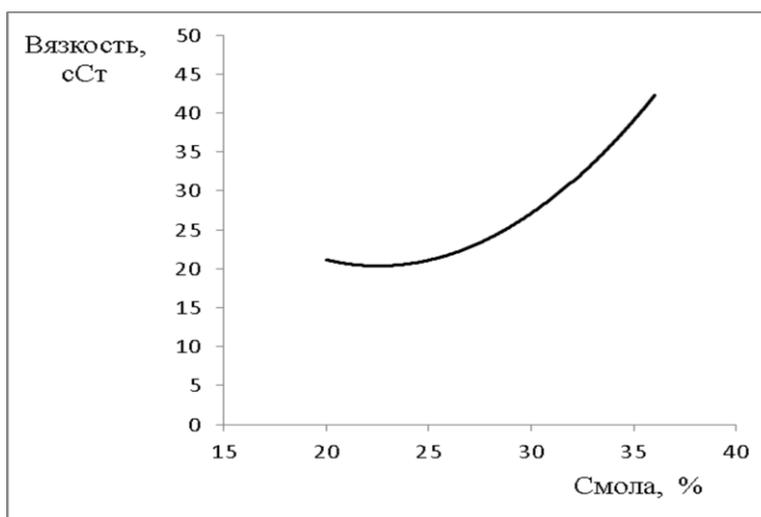


Рис.8. Зависимость вязкости нефти от количества смолы

дой поверхностью придает нефтям неньютоновский характер.

Данные исследования показали, что предлагаемые реагенты при взаимодействии с нефтью приводят к дроблению асфальтосмолопарафиновых ассоциатов, в результате которого существенно меняется структура нефти, ее подвижность, текучесть, вязкость и, в целом, весь банк качества нефтей.

REFERENCES

1. **Persiyancev M.N.** Dobycha nefiti v oslozhnennykh usloviyakh. M: Nedra-Biznescentr. 2000. (Персиянцев М.Н. Добыча нефти в осложненных условиях. М: Недра-Бизнесцентр. 2000).
2. **Sharifulin A.B., Bajbekova L.R., Sulejmanov A.T.** Osobennosti sostava i stroeniya neftyanykh otlozhenij // Tekhnologiya nefiti i gaza. 2006. № 6. S. 19. (Шарифулин А.Б., Байбекова Л.Р., Сулейманов А.Т. Особенности состава и строения нефтяных отложений // Технология нефти и газа. 2006. № 6. С. 19).
3. **Glushchenko V.N., Yurpalov I.A., Shipiguzov L.M.** Ocenka effektivnosti ingibitorov asfaltosmoloparafinoovykh otlozhenij // Neftyanoye hozyajstvo. 2007. № 5. S. 84. (Глушченко В.Н., Юрпалов И.А., Шипигузов Л.М. Оценка эффективности ингибиторов асфальтосмолопарафиновых отложений // Нефтяное хозяйство. 2007. № 5. С. 84).
4. **Tronov V.P.** Mekhanizm obrazovaniya smoloparafinoovykh otlozhenij i bor'ba s nimi. M: Nedra. 1970. (Тронов В.П. Механизм образования смолопарафиновых отложений и борьба с ними. М: Недра. 1970).
5. **Hohlov N.G., Vagapov R.R., Shagejov Z.M., Mustafin A.S.** Udaleniye asfaltosmololistykh veshchestv i parafina iz nefteprovodov NGDU «Yuzharlanneft» // Neftyanoye hozyajstvo. 2006. № 1. S. 110. (Хохлов Н.Г., Вагапов Р.Р., Шагеев З.М., Мустафин А.С. Удаление асфальто-смололистных веществ и парафина из нефтепроводов НГДУ «Южарланнефть» // Нефтяное хозяйство. 2006. № 1. С. 110).
6. **Ivanova L.V., Burov E.A., Koshelev V.N.** Asfaltosmoloparafinoovykh otlozheniya v processah dobychi, transporta i hraniya // Neftegazovoye delo. 2011. № 1. S. 268. (Иванова Л.В., Буров Е.А., Кошелев В.Н. Асфальтосмолопарафиновые отложения в процессах добычи, транспорта и хранения // Нефтегазовое дело. 2011. № 1. С. 268).
7. **Usubaliyev B.T., Ramazanova E.E., Nurullaev V.H. i dr.** Ispol'zovaniye nanostrukturnykh koordinatsionnykh soedineniy dlya snizheniya vyazkostey tyazholykh tovarnykh neftej pri transportirovke // Nauchnyy tekhnicheskij zhurnal Problemy sbora, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov. 2015. 3(101). S. 117. (Усубалиев Б.Т., Рамазанова Э.Э., Нуруллаев В.Х. и др. Использование наноструктурных координационных соединений для снижения вязкостей тяжелых товарных нефтей при транспортировке // Научный технический журнал Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2015. 3(101). С. 117).
8. Pat. EA №030154 (opubl. 2018 g.) Sposob snizheniya vyazkosti tovarnykh neftej. (Pat. EA №030154 (опубл. 2018 г.) Способ снижения вязкости товарных нефтей).
9. **Nurullaev V.H., Gahramanov F.S., Usubaliyev B.T.** // International journal of engineering sciences and research technology. 2016. V.5. № 1. P. 441-447
10. KZ (13) A 4 (11) 29035 Respublika Kazahstan. Kompozitsiya dlya udaleniya asfal'to-smolo-parafinoovykh otlozhenij nefiti (Respublika Kazahstan. Kompozitsiya dlya udaleniya asfal'to-smolo-parafinoovykh otlozhenij nefiti) <http://kzpatents.com/3-ip-29035-kompozitsiya-dlya-udaleniya-asfaltosmoloparafinoovykh-otlozheniyy-nefti.html>
11. BY (11) 18480 Respublika Belarus. Sostav dlya razzhizheniya nefiti i udaleniya asfal'to-smolo-parafinoovykh otlozhenij v neftedobyvayushchih skvazhinah (Respublika Belarus. Sostav dlya razzhizheniya nefiti i udaleniya asfal'to-smolo-parafinoovykh otlozhenij v neftedobyvayushchih skvazhinah) <http://bypatents.com/14-18480-sostav-dlya-razzhizheniya-nefti-i-udaleniya-asfaltosmoloparafinoovykh-otlozheniyy-v-neftedobyvayushchih-skvazhinah.html>
12. Pat. EA № 030108 (opubl. 2018 g.) Sposob ochildki neftyanykh rezervuarov. (Pat. EA № 030108 (опубл. 2018 г.) Способ очистки нефтяных резервуаров).
13. Pat. RF 2072420 (opubl. 1997) Sposob obrabotki skvazhin. (Pat. RF 2072420 (опубл. 1997) Способ обработки скважин).
14. Pat. RF 2073696 (opubl. 1997) Sostav dlya udaleniya parafinogidratnyhi/ili asfaltenosmoloparafinoovykh otlozhenij i sposob ego primeneniya. (Pat. RF 2073696 (опубл. 1997) Состав для удаления парафиногидратных и/или асфальтеносмолопарафиновых отложений и способ его применения).
15. Aat KZ (13) A 4 (11) 30257 (opubl. 2015) Sposob udaleniya asfaltosmoloparafinoovykh otlozhenij nefiti. (Способ удаления асфальтосмолопарафиновых отложений нефти).
16. **Usubaliyev B.T., Alieva F.B., Munshieva M.K. i dr.** Sintez i fiziko-himicheskoye issledovaniye kompleksnogo soedineniya tetraakva-tritereftalato dizheleza (III) // Zhurnal obshchey himii. 2015. T. 85. № 6. 1000 s. (Усубалиев Б.Т., Алиева Ф.Б., Муншиева М.К. и др. Синтез и физико-химическое исследование комплексного соединения тетрааква-третерефталато дижелеза (III) // Журнал общей химии. 2015. Т. 85. № 6. 1000 с.).
17. **Usubaliyev B.T., Tagiyev D.B., Nurullaev V.H. et al.** Synthesis and Physico-Chemical Studies of Complex Compounds of Iron (II) and (III) with Phthalic Acid // Journal of Nanomaterials and Molecular Nanotechnology. 2017.V.6. Issue 5. P.1.
18. **Usubaliyev B.T., Ramazanova E.E., Murvatov F.T. et al.** Application of coordination polymers to increase the reservoir oil recovery // Science and Applied Engineering Quarterly. 2015. № 6. P.16.
19. **Mürvətov F.T.** Nanoquruluşlu reagentlərin müxtəlif neftlərin özlülüyünə təsiri // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri 2018. C. 10. № 1. S. 59-62.

**NEFT VƏ NEFT EMULSIYALARINDA ASFALTEN-QƏTRAN-PARAFİN BİRLƏŞMƏLƏRİNİN
YENİ NANOQURULUŞLU KOORDİNASIYA POLİMERLƏRİNİN TƏTBİQİ**

B.T. USUBALİYEV, V.X. NURULLAYEV, F.T. MÜRVƏTOV, M.M. HƏSƏNOVA,
A.Q. RZAYEVA

Məqalədə neft mədən avadanlığından asfaltənqatranparafin çöküntülərinin təmizlənməsi və əmələ gəlməsinin qarşısının alınmasının mövcud metodlarının qısa siyahısı verilib. Müxtəlif aşqarların, reagentlərin və ayırıcıların tətbiqi ilə bağlı kimyəvi metodlar geniş araşdırılıb, yaranması və artıq yaranmış asfaltənqatranparafin dağılmasının təxirə salınması probleminin həlli zamanı istifadə edilən kimyəvi maddələrin əsas siniflərinin qısa xarakteristikası verilib. Kimyəvi nöqtəyi-nəzərdən, üzvi maddələrin qarşısının alınması və aradan qaldırılmasının daha effektiv yollarının seçilməsi üçün ilkin neftin tərkibi, xüsusiyyətləri və quruluşunun, eləcə də yaranan təxirəsalınmaların adekvat şəkildə təqdim olunmasının vacibliyi qeyd olunub. Asfaltənqatranparafin çöküntülərinə reagentlərin təsir mexanizmi aydınlaşdırılmış və müəyyən edilmişdir ki, koordinasiya polimer əsaslı kompozitlər neftlə qarşılıqlı təsir zamanı birləşmələri parçalayır və onların neftdə bərabər paylanmasını təmin edir, nəticədə neftin reoloji xassələri yaxşılaşır. İrəli sürülən texnologiyanın əsasında klatrat əmələgəlməsi, yəni Lyuisin "sahib-qonaq" nəzəriyyəsinin dayanması qeyd edilmişdir.

Açar sözlər: *asfalt-qatran-parafin çöküntüləri (AQPC), xırdalanma, AQPC-nin əmələ gəlməsinə təsir edən faktorlar, koagulyasiya, neftin kimyəvi tərkibi, AQPC-nin əmələ gəlmə mexanizmi, AQPC ilə mübarizə üsulları.*

**APPLICATION OF NEW NANOSTRUCTURAL COORDINATION POLYMERS FOR THE PREVENTION OF
THE FORMATION AND CRUSHING OF ALREADY FORMED ASPHALT-RESIN-PARAFFIN ASSOCIATES
IN THE VOLUME OF OIL AND OIL EMULSION**

B.T. USUBALIEV, V.Kh. NURULLAEV, F.T. MURVATOV, M.M. HASANOVA,
A.K. RZAYEVA

A brief list of existing methods for the prevention and removal of asphalt-tar-paraffin deposits from oilfield equipment is given. Chemical methods associated with the use of various additives, reagents, and removers are examined in more detail. A brief description of the main classes of chemicals used to solve the problem of preventing and removing asphalt-resin-paraffin deposits is given. It is shown that to select the most effective, from a chemical point of view, ways to prevent and remove deposits of organic substances, it is necessary to obtain an adequate idea of the composition, properties and structure of the original oil and the resulting deposits. The mechanism of the action of reagents on asphalt-resin-paraffin deposits has been clarified and it has been established that composites based on coordination polymers, when interacting with oil, grind associates and ensure their uniform distribution in oil, which improves the rheological properties of oil. It is indicated that the technology advanced is based on clathrate formation, i.e. Lewis theory of "hostess."

Key words: *asphalt-resin-paraffin deposits, crushing, factors affecting the formation of paraffin deposits, coagulation, the chemical composition of oil, the formation mechanism of paraffin deposits, methods for controlling paraffin deposits.*

Поступило в редакцию:	11.12.2019
После доработки:	09.06.2020
Принято к публикации:	18.06.2020

УДК 621.899

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ УГЛЕВОДОРОДОВ C_6 НА ПОКАЗАТЕЛИ СОЛЬВЕНТНОЙ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАННОГО ИНДУСТРИАЛЬНОГО МАСЛА

Э.А. ГУСЕЙНОВА¹, К.Ю. АДЖАМОВ¹, В.А. ИСМАЙЛОВА²

На основе результатов экспресс-анализа отработанного промышленного масла установлено, что данный образец не полностью утратил свои эксплуатационные свойства: в частности, характеризуется достаточно высоким уровнем присадок. Однако коэффициент загрязнения масла механическими примесями указывает на необходимость замены масла на свежее в самое ближайшее время. Экспериментально подтверждена возможность применения *n*-гексана в качестве растворителя в процессе сольвентной очистки отработанного промышленного масла. Определено, что для высокой эффективности очистки масла целесообразно использовать 70%-й раствор масла в *n*-гексане. Установлено, что процесс удаления продуктов старения и осветление масла показывает наилучшие результаты при низких температурах.

Ключевые слова: сольвентная очистка; индивидуальные углеводороды; отработанное промышленное масло (ОИМ); *n*-гексан; гексен-1; метод бумажной хроматографии.

Введение. В общей проблеме утилизации промышленных отходов особое место занимает задача использования отработанных смазочных материалов, которые остаются в больших количествах после эксплуатации автомобильного транспорта и различных механизмов промышленных предприятий [1-4]. Нефтепродукты, используемые в качестве смазочного материала, имеют сложную химическую структуру и отличаются высокой устойчивостью к внешним воздействиям. Несмотря на то, что современные смазочные масла выдерживают температурную нагрузку, а при обычных условиях могут храниться продолжительное время без изменения структуры, однако в ходе эксплуатации постепенно изменяются их физико-химические свойства, накапливаются продукты окисления, такие как асфальто-смолистые вещества и пр. [4-6]. Являясь наиболее полярными компонентами нефтяных масел, продукты окисления (ПО), обладая сложным химическим составом, концентрируют в себе основную массу сернистых, кислородных и азотистых соединений, обладая полярностью, характеризуются как поверхностно-активные вещества и могут существенно влиять на свойства вторичных продуктов. Очевидно, что для увеличения эффекта очистки необходимо тем или иным способом осуществить «укрупнение» ПО – коагуляцию. Процессу коагуляции ПО отработанных промышленных масел посвящен ряд работ, в которых основное внимание уделяют поиску эффективных коагулянтов [7-14].

¹ Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности

² НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия»

E-mail: elvira_huseynova@mail.ru

Алканы, в частности низкомолекулярные – пропан – успешно применяется при очистке от отработанных масел, а в промышленном масштабе для очистки нефтяных остатков от асфальто-смолистых веществ [15-17]. В последние годы исследования, связанные с очисткой нефти и нефтяных фракций, проводятся с использованием более высокомолекулярных алканов. Так, в работе [18] получены данные о процессе агрегирования асфальтенов пленочной нефти на поверхности твердого тела в условиях дестабилизирующего воздействия паров *n*-гексана, в которой была также изучена морфология и определены размерные параметры осажденных асфальтенов.

Авторами [19] в процессе удаления асфальтосмолопарафиновых отложений были использованы гексан, петролейный эфир и газовый конденсат, представленный гомологическим рядом *n*-алканов C_4H_{10} - $C_{20}H_{42}$ с доминированием C_6 и C_{12} (сумма низкокипящих углеводородов C_4 - C_8 – 10.84 об.%, C_9 - C_{20} – 34.33 об.%). Было показано, что наибольшую диспергирующую способность проявляет *n*-гексан, а растворяющую и моющую – петролейный эфир с небольшим преобладанием относительно *n*-гексана.

Целью настоящего исследования является изучение влияния структуры углеводорода C_6 на показатели процесса сольвентной очистки отработанного индустриального масла (ОИМ) BP ENERGOL GR XP 320.

Методика эксперимента. В качестве основного объекта исследования был взят ОИМ BP ENERGOL GR XP 320. В качестве растворителей были использованы: *n*-гексан и гексен-1. Кроме того, для проведения сравнительных исследований была проведена коагуляционная очистка с использованием промышленного коагулянта (1.25 % раствор сульфата алюминия в техническом *n*-гексане).

Нагревание образцов осуществляли в колбонагревателе с магнитной мешалкой. Охлаждение образцов проводили в водяной бане со льдом. Образцы центрифугировали со скоростью 4000 оборотов в минуту в течение 2 часов. Образцы исследовали при атмосферном давлении в интервале температур 5-60 (50)°С. Верхний предел выбранного интервала температур для каждого растворителя ограничен температурой его кипения, а нижний – показателями вязкости раствора. Плотность образцов определяли согласно ГОСТ 3900-78. Содержание воды в маслах – с насадкой Дина-Старка (ГОСТ 2477-65); содержание светлых топливных фракций определяли на аппарате АРН ЛАБ-2 в соответствии с ГОСТ 2177-99, ISO 3405, ASTM D 86.

Знак заряда определялся согласно капиллярному анализу. Показатель преломления (n_D) образцов масла определяли на рефрактометре ИРФ-54В с точностью до 0.0001.

Помимо оценки физико-химических показателей по методикам ГОСТ проводился экспресс-анализ диспергирующе-стабилизирующих свойств ОИМ методом капельной пробы (бумажная хроматограмма) [20].

Обсуждение результатов. Известно, что ПО в отработанных смазочных материалах можно представить в виде коллоидно-дисперсных частиц, которые в условиях высокой вязкости среды и низкой степени ассоциации находятся во взвешенном состоянии. В ходе проведенного капиллярного анализа было установлено, что ОИМ имело слабо отрицательный заряд, на основе чего было принято решение изучить влияние неполярных растворителей – *n*-гексана и гексен-1 на коагулирующую способность ассоциатов.

На примере *n*-гексана в таблице 1 представлены результаты влияния концентрации растворителя и типа воздействия на показатели сольвентной очистки ОИМ, в частности показатели преломления и количество выпавшего осадка.

Так как в конечном итоге очистка ОИМ напрямую связана с максимальным выходом осадка, то его значения являются приоритетными в выборе концентрации раствора «масло в гексане».

Вначале рассмотрим данные, полученные при исследовании 70% раствора ОИМ (образцы № 1, 4, 5, 8, 9). Видно, что наибольшее количество осадка было отмечено у образцов № 1 и 5; показатель преломления этих образцов составляет 1.4693 и 1.4689 соответственно; что касается образцов № 3 и 7, у которых были отмечены более низкие показатели преломления, то данный факт связан не столько с высокой степенью очистки ОИМ (см. количество осадка в табл.1), сколько с низкой концентрацией масла в растворе. Что касается типа воздействия, то обращает на себя внимание, что коагуляция продуктов старения происходит не в традиционно ожидаемых высокотемпературных условиях обработки, а при низких температурах. У образцов № 4 и 9, подвергнутых нагреванию до 50 и 60°C соответственно, а затем центрифугированию, коагуляции продуктов старения вообще зафиксировано не было. Последовательное воздействие охлаждения, а затем нагревания (образец № 5) сопровождалось незначительным улучшением показателя преломления и ростом количества осадка. Оба этих показателя улучшали свои значения в пределах допустимой ошибки эксперимента, поэтому судить о положительном влиянии последующей высокотемпературной обработки не представляется возможным. Охлаждение 70% раствора ОИМ (образец №8) до 20°C, хотя и проходило на фоне понижения показателя преломления до 1.4682 относительно высокотемпературного (образец № 5), однако количество выпавшего осадка было не столь высоким, как при охлаждении до 15°C (см. образец № 1 и 5).

Исследования, проводимые с менее концентрированными растворами ОИМ (образцы № 2, 3, 6, 7), показали, что для них характерно меньшее количество выпавшего осадка. Учитывая результаты, полученные при изучении влияния исключительно только нагрева 70% раствора ОИМ, образцы № 2, 3, 6 и 7 нагревали до 60°C после воздействия низких температур (15°C).

Таблица 1

Показатели сольвентной очистки ОИМ

№ образца	Концентрация раствора ОИМ, %	Температура, °С	n_D раствора	Плотность раствора, кг/м ³	Количество осадка, % на ОИМ	Последовательность и тип воздействия
1	70	15	1.4693	671	6.21	Охлаждение → ц/ф
2	50	-<<-	1.4478	712	5.0	-<<-
3	30	-<<-	1.4271	658	1.67	-<<-
4	70	50	1.4621	613	-	Нагрев → ц/ф
5	70	60	1.4689	574	6.22	Охлаждение (15°C) → → ц/ф → нагрев → ц/ф
6	50	-<<-	1.4548	595	5.02	-<<-
7	30	-<<-	1.4237	627	1.68	-<<-
8	70	20	1.4682	696	4.29	Охлаждение → ц/ф
9	-<<-	60	1.4634	582	-	Нагрев → ц/ф

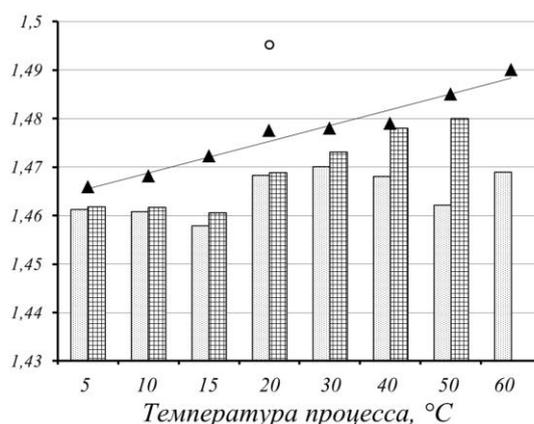


Рис.1. Зависимость показателя преломления n_D от температуры образцов растворов ОИМ в н-гексане и гексен-1 (гистограмма) и раствора ОИМ в коагулянте (сплошная линия):
 □ - после сольвентной очистки н-гексаном;
 ■ - после сольвентной очистки гексен-1;
 ● - исходное ОИМ до сольвентной очистки.

Полученные результаты, также как и в случае 70% раствора ОИМ, свидетельствовали об отсутствии усиления коагуляции продуктов старения в условиях повышенных температур.

После установления рабочей концентрации раствора «масло-растворитель» далее была проведена серия экспериментов, направленная на выявление влияния структуры углеводорода на показатели сольвентной очистки ОИМ (рис.1). Было установлено, при что использовании в качестве растворителя гексен-1 растворы ОИМ имели более высокие показатели преломления, чем при н-гексане. Кроме того, особенностью последнего также является наличие 2-х экстремумов: при 15 и 50°C. В ходе изучения образцов, охлажденных до температур ниже 15°C, было установлено, что значения показателей преломления почти выходили на плато при пониженных температурах. Приведенная на рисунке кривая, характеризующая показатели преломления 70% раствора ОИМ в промышленном коагулянте, так же, как и углеводороды C_6 , указывала на улучшение показателя «прозрачности» ОИМ в условиях низких температур. У него, как и у гексен-1, наблюдалась почти прямолинейная симбатная зависимость показателя преломления от температуры, однако промышленный коагулянт, хоть и не намного, но явно уступал индивидуальным углеводородам.

Таблица 2

Влияние растворителя на выход и степень осветления ОИМ

Растворитель	°C	Выход осадка % на ОИМ	Показатель преломления* n_D	Степень осветления** ОИМ, %
н-гексан	15	6.21	1.4823	0.87
гексен-1	15	4.25	1.4841	0.75
коагулянт	5	3.72	1.4889	0.43

* Показатель преломления мала определялся после удаления (промывки в случае сульфата алюминия, испарения – в случае углеводородных растворителей).

** Степень осветления ОИМ, % рассчитывалась как отношение показателя преломления ОИМ до и после сольвентной очистки.

В таблице 2 приведены сравнительные результаты влияния структурной насыщенности углеводородного растворителя на показатели сольвентной очистки ОИМ. Эти данные получены после стадии разделения раствора ОИМ и растворителя на рафинат (включающий очищенное масло и основную часть растворителя) и экстракт (содержащий продукты старения и небольшое количество растворителя) и последующей стадии выпаривания растворителя из рафината.

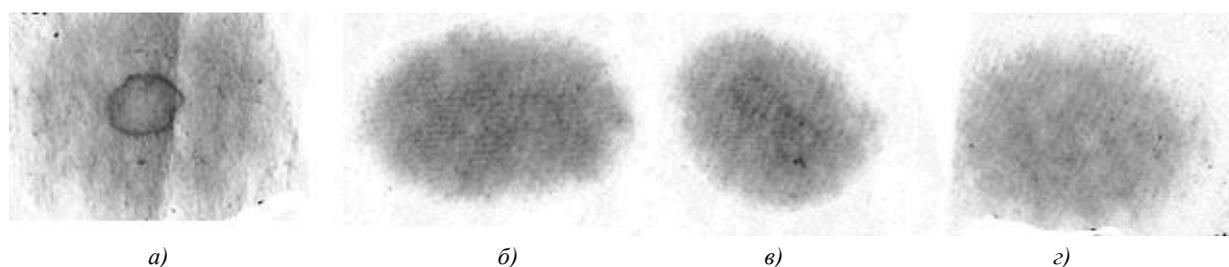


Рис.2. Образцы ОИМ:

а – ОИМ до сольвентной очистки; б – после очистки с применением коагулянта; в - после очистки с применением гексен-1; г - после очистки с применением н-гексана.

Представленные результаты свидетельствуют о том, что наилучшие показатели очистки ОИМ были получены при использовании в качестве растворителя н-гексана. Последнее было подтверждено в ходе проведения экспресс-анализа по широко применяемой известной методике [20-22] методом бумажной хроматографии. Для получения достоверных результатов проводились сравнительные опыты с участием всех изучаемых растворителей

(рис. 2). Было установлено, что образец исходного ОИМ можно охарактеризовать как среднезагрязненный (рис. 2, а):

1. зона ядра хорошо очерчена, интенсивность ее окраски свидетельствует о присутствии продуктов старения (возможно, сажи);

2. контур зоны ядра местами зигзагообразный, что указывает на присутствие небольшого количества воды и хорошо согласуется с данными, полученными в ходе определения содержания воды методом Дина Старка ($\approx 0.5\%$);

- цвет второго круга позволяет оценить состояние ОИМ как «среднее», относительно большая ширина зоны диффузии указывает на то, что ОИМ не окончательно утратило свои эксплуатационные свойства. В частности, диспергирующая способность ДС (рассчитывалась по величине зоны диффузии), $ДС = 0.88$ – свидетельствуют об эффективности имеющихся в составе присадок; коэффициент наличия присадки в ОИМ, $K_{мприс.} = 2.75$, что указывает на высокий уровень наличия присадок; коэффициент загрязнения ОИМ механическими примесями, $K_{мо} = 1.07$ находится в пределах допустимого (допустимое $K_{мприс.} = 1.3$), но близкого к пограничному уровню, при котором необходимо будет провести замену масла на свежее;

3. внешнее полупрозрачное кольцо показывает содержание топливных фракций; согласно проведенному анализу, содержание топлива (вероятно, СЖО) составляло 1.7% об. (об этом косвенно также свидетельствует уменьшение плотности относительно исходного (значение плотности уменьшилось с 915 до 892 кг/м³).

Оценка эффективности очистки ОИМ коагулянтном (рис. 2, б) методом капельной хроматографии показал, что, несмотря на отсутствие явных границ ядра, а его цвет изменился на более светлый, степень коагуляции продуктов старения не достаточно высока. Действительно, исчезают наиболее крупные частицы продуктов старения, однако степень загрязнения ОИМ средними и мелкими частицами остается достаточно высокой, что хорошо согласуется с результатами, приведенными в таблице 2. Кроме того, форма внешнего круга указывает на присутствие следовых количеств воды. Эти факты указывают на необходимость применения дополнительных мер для более глубокой очистки.

Как следует из результатов, приведенных на рис. 2, в, сольвентная очистка ОИМ с использованием гексен-1 является более эффективным методом очистки масла от продуктов старения, чем коагуляционная сульфатом алюминия (табл.2).

Однако совместный анализ рис.2, г и таблицы 2 показал, что наибольшей эффективностью обесцвечивания и глубиной очистки ОИМ отличается н-гексан: отсутствие зон ядра и диффузии, а также цвет очищенного масла-рафината указывает на высокую полноту извлечения всех типов и размеров продуктов старения. Учитывая сложность химического углеводородного состава масла, эти результаты, возможно, являются следствием хорошей приемистости н-гексана, что является, безусловно, его преимуществом, но требует проведения дальнейших исследований.

Также следует отметить, что в результате сольвентной очистки с применением н-гексана форма капельной пробы имеет ровные края, а также отсутствует кольцо топлива. Эти данные являются несомненным преимуществом этого типа растворителя.

Заключение. Полученные в ходе изучения влияния структуры углеводородов C_6 на показатели сольвентной очистки ОИМ результаты показали, что гексен-1 является малоэффективным растворителем, применение которого для достижения необходимой степени очистки ОИМ влечет за собой дополнительные процессы.

Экспериментально доказана целесообразность использования в качестве растворителя н-гексана; выход осадка составляет 6.21% масс на ОИМ, степень осветления – 0.87%.

REFERENCES

1. **Kurasov V.S., Verbickij V.V.** Primenenie topliva, smazochnyh materialov i tekhnicheskikh zhidkostej: ucheb. posobie / KubGAU. – Krasnodar, 2013. (Курасов В.С., Вербицкий В.В. Применение топлива, смазочных материалов и технических жидкостей: учеб. пособие / КубГАУ. – Краснодар, 2013).
2. **Bobovich B.B., Devyatkin V.V.** Pererabotka othodov proizvodstva i potrebleniya: sprav. izdanie 1 / pod red. d-ra tekhn. nauk, prof. V.V. Bobovicha. – M.: Intermet Inzhiniring, 2000 (Бобович Б.Б., Девяткин В.В. Переработка отходов производства и потребления: справ. издание 1 / под ред. д-ра техн. наук, проф. Б.Б. Бобовича. – М.: Интермет Инжиниринг, 2000).
3. **Sovremennye metody oчитki i regeneracii otrabotannyh smazochnyh masel: preprint / B.I. Kovalskij, Y.N. Bezborodov, L.A. Feldman, A.V. Yudin, O.N. Petrov.** – Krasnoyarsk: Izd-vo Sib. feder. un-ta, 2011. (Современные методы очистки и регенерации отработанных смазочных масел: препринт / Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, Л.А. Фельдман, А.В. Юдин, О.Н. Петров. – Красноярск: Изд-во Сиб. федер. ун-та, 2011).
4. **Kozhevnikov V.A.** Potencial ispolzovaniya otrabotannyh masel dlya nuzhd teplosnabzheniya // Elektronnyj zhurnal energoservisnoj kompanii «Ekologicheskie sistemy», № 8, 2008. (Кожевников В.А. Потенциал использования отработанных масел для нужд теплоснабжения // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы», № 8, 2008).
5. **Kovalskij B.I., Bezborodov Y.N., Feldman L.A., Yudin A.V., Petrov O.N.** Sovremennye metody oчитki i regeneracii otrabotannyh smazochnyh masel. – Krasnoyarsk: Sibirskij federalnyj universitet, 2011. (Ковальский Б.И., Безбородов Ю.Н., Фельдман Л.А., Юдин А.В., Петров О.Н. Современные методы очистки и регенерации отработанных смазочных масел. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2011).
6. **Shashkin P.I.** Regeneraciya otrabotannyh neftyanyh masel. Izdanie 2-e pererab. i dop. / P.I. Shashkin, I.V. Braj. – M.: «Himiya», 1970. (Шашкин П.И. Регенерация отработанных нефтяных масел. Издание 2-е перераб. и доп. / П.И. Шашкин, И.В. Брай. – М.: «Химия», 1970).
7. **Yusupov D.T., Botirov A.N., Ruziev S.B.** Effektivnost sushchestvuyushchih metodov regeneracii transformatornogo masla // Molodoj uchenyj. 2017. (Юсупов Д.Т., Ботиров А.Н., Рузиев С.Б. Эффективность существующих методов регенерации трансформаторного масла // Молодой ученый. 2017).
8. **Kamenchuk Y.A., Pisareva S.I.** Izmenenie soderzhaniya ingibitоров окисleniya i paramagnitnyh centrov v processah stareniya neftyanyh transformatornyh masel // Neftekhimiya, № 5, 2006. (Каменчук Я.А., Писарева С.И. Изменение содержания ингибиторов окисления и парамагнитных центров в процессах старения нефтяных трансформаторных масел // Нефтехимия, № 5, 2006).
9. Patent RF № 2271384. Varlamova S.I.; Shchelkunov V.P. «Sposob regeneracii otrabotannogo industrialnogo masla». 2006. (Патент РФ № 2271384. Варламова С.И.; Щелкунов В.П. «Способ регенерации отработанного индустриального масла». 2006).
10. Patent RF № 2094450. Dmitrieva Z.T.; Kashtykin S.I.; Zelenskij M.I.; Tihonova L.D.; Smirnov P.L.; Gorbunova E.A. «Sposob oчитki otrabotannogo industrialnogo masla». 1997. (Патент РФ № 2094450. Дмитриева З.Т.; Каштыкин С.И.; Зеленский М.И.; Тихонова Л.Д.; Смирнов П.Л.; Горбунова Е.А. «Способ очистки отработанного индустриального масла». 1997).
11. **Ikramov I.I.** Regeneraciya otrabotannyh masel mineral nymi sorbentami Turkmenistana // Molodoj uchenyj. 2010 (Икрамов И.И. Регенерация отработанных масел минеральными сорбентами Туркменистана // Молодой ученый. 2010).
12. **Gorbunov N.I. i dr.** Povyshenie effektivnosti regeneracii otrabotannogo masla // Vyunik SevNTU: zb, nauk. pr. Vip. 122/2011. (Горбунов Н.И. и др. Повышение эффективности регенерации отработанного масла // Вюник СевНТУ: зб, наук. пр. Вип. 122/2011).
13. **Kamenchuk Y.A.** Otrabotannye neftyanye masla i ih regeneraciya. 2007. (Каменчук Я.А. Отработанные нефтяные масла и их регенерация. 2007).
14. Patent RF № 2100425. Dmitrieva Z.T.; Kashtykin S.I.; Zelenskij M.I.; Rodionova N.I. «Sposob oчитki otrabotannogo industrialnogo masla». 1997. (Патент РФ № 2100425. Дмитриева З.Т.; Каштыкин С.И.; Зеленский М.И.; Родионова Н.И. «Способ очистки отработанного индустриального масла». 1997).
15. **Chernozhukov N.I.** Tekhnologiya pererabotki nefti i gaza. Chast 3. Oчитka i razdelenie neftyanogo syr ya, proizvodstvo tovarnyh nefteproduktov. M.: Himiya, 1978. – 424 s. (Черножуков Н.И. Технология переработки нефти и газа. Часть 3. Очистка и разделение нефтяного сырья, производство товарных нефтепродуктов. М.: Химия, 1978. – 424 с.).
16. **Batueva I.Y., Gajle A.A., Pokonova Y.V. i dr.** Himiya nefti. – L.: Himiya, 1984. – 360 s., il. (Батуева И.Ю., Гайле А.А., Поконова Ю.В. и др. Химия нефти. – Л.: Химия, 1984. – 360 с., ил.).
17. Sposob pererabotki otrabotannyh smazochnyh materialov (Способ переработки отработанных смазочных материалов) <https://findpatent.ru/patent/259/2599782.html>
18. **Korzhov Y.V., Orlov S.A.** Agregirovanie i koagulyaciya asfal tenov v plenke nefti: fizicheskie karakteristiki produktov // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2016. T. 327. № 12. S. 62–74. (Коржов Ю.В., Орлов С.А. Агрегирование и коагуляция асфальтенов в пленке нефти: физические характеристики продуктов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 12. С. 62–74).
19. **Ivanova I.K., Shic E.Y.** Izuchenie effektivnosti primeneniya gazovogo kondensata dlya udaleniya asfal tosmoloparafinovыh otlozhenij na Irelyahskom gazonefтыanom mestorozhdenii Respubliki Saha (Yakutiya) // Prikladnye akad-

- emicheskie issledovaniya 2009, tom 7, №1. S.141-144. (Иванова И.К., Шиц Е.Ю. Изучение эффективности применения газового конденсата для удаления асфальтосмолопарафиновых отложений на Иреляхском газонефтяном месторождении Республики Саха (Якутия) // Прикладные академические исследования 2009, том 7, №1. С.141-144).
20. **Rozbah O.V.** Ekspress-diaagnostika kachestva vysokoshchelochnyh motornyh masel sposobom «kapelnoj probu»: diss. kand. tekhn. nauk. – Omsk, 2006. – 137 s. (Розбах О.В. Экспресс-диагностика качества высокощелочных моторных масел способом «капельной пробы»: дисс. канд. техн. наук. – Омск, 2006. – 137 с.).
21. **Ajamov K.Y., Guseinova E.A., Imanova N.I., Ismailova V.A.** Assessment of physical and chemical properties Of the used motor oil // Azerbajjanskij himicheskij zhurnal, 2017, №1. S.80-84 <http://akj.az/az/journals,23> URL <https://moluch.ru/archive/89/18274/>
22. **Guryanov Y.A.** Ekspress-metody i sredstva diagnostirovaniya agregatov mashin po parametram masla: diss. dokt. tekhn. nauk. 2007, Chelyabinsk, 371 s. (Гурьянов Ю.А. Экспресс-методы и средства диагностирования агрегатов машин по параметрам масла: дисс. докт. техн. наук. 2007, Челябинск, 371 с.).

İŞLƏNMİŞ SƏNAYE YAĞININ SOLVENT TƏMİZLƏMƏSİNİN GÖSTƏRİCİLƏRİNƏ C₆ KARBOHİDROGENLƏRİNİN QURULUŞUNUN TƏSİRİ

E.Ə. HÜSEYNOVA, K.Y. ƏCƏMOV, V.A. İSMAYILOVA

İşlənmiş sənaye yağının ekspress analizinin nəticələri əsasında təyin edilmişdir ki, bu nümunə öz istismar xüsusiyyətlərini tamamilə itirmədi, xüsusilə, aşqarların kifayət qədər yüksək səviyyəsiylə səciyyələnir. Amma mexaniki qatışıqlarla yağın çirkəndirilməsi əmsalı ən yaxın zamanda yağın yenisi ilə əvəz edilməsi ehtiyacını göstərir.

İşlənmiş sənaye yağının solvent təmizlənməsi prosesində həlledici kimi n-hekstanın tətbiq edilməsinin mümkünlüyü eksperimental olaraq təsdiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, yağın təmizlənməsinin yüksək effektivliyi üçün n-hekstanda yağın 70%-li məhlulundan istifadə etmək məqsədəuyğundur. Müəyyən olunmuşdur ki, məhsullarının uzaqlaşdırılması, yağın köhnəlməsi və rənginin açılması prosesləri ən yaxşı nəticələri aşağı temperaturalarda göstərir.

Açar sözlər: solvent təmizlənmə; fərdi karbohidrogenlər; işlənmiş sənaye yağı (İSY); n-hekstan; qeksen-1; kağız xromatoqrafiya metodu.

INFLUENCE OF THE STRUCTURE OF C₆ HYDROCARBONS ON THE INDICATORS OF SOLVENT CLEANING WASTE INDUSTRIAL OIL

E.A. GUSEINOVA, K.Y. AJAMOV, V.A. ISMAILOVA

Based on the results of a rapid analysis of the used industrial oil, it was found that this sample did not completely lose its operational properties, in particular, it is characterized by a rather high level of additives, however, the coefficient of oil contamination with mechanical impurities indicates the need to replace the oil with fresh in the very near future.

The possibility of using n-hexane as a solvent in the process of solvent purification of used industrial oil has been experimentally confirmed. It was determined that for high efficiency of oil purification it is advisable to use a 70% solution of oil in n-hexane. It was found that the process of removing aging products and clarifying the oil shows the best results at low temperatures.

Key words: solvent cleaning; individual hydrocarbons; waste industrial oil; n-hexane; hexene-1; paper chromatography method.

Поступило в редакцию: 16.11.2019
После доработки: 12.06.2020
Принято к публикации: 18.06.2020

UOT 621.391**OPTİK KOMMUTASIYA MÜHİTİNİN TƏDQIQI**M.H. HƏSƏNOV¹, M.R. MƏHƏRRƏMZADƏ¹

Məqalədə optik verilmiş sistemlərdə optik kanalların kommutasiyasını yerinə yetirən kommutatorların optik anizotrop mühitinin optik xüsusiyyətlərini nəzərə almaqla işığın yayılma istiqamətindən asılılığı analiz edilmişdir.

Dalğaötürücü oxun optik istiqamətinin optik şüanın yayılma şəraitinə təsirinə uyğun düz səthli optik kommutasiya mühitinin anizotrop dalğaötürücüsündə optik şüanın sərbəst əyilməsi zamanı düşmə səthində rəqsin modunu hesablamaq üçün riyazi model alınmışdır.

Klassik elektrodinamikanın tənliklərinə əsaslanaraq optik kommutasiya anizotrop mühitində yayılan TE və TM dalğaları üçün dispersiya tənliklərinin həlli və optik dalğaötürücü oxun bucağından asılı olaraq dispersiya əyrilərinin asimptotik dəyişməsinə baxılır. Əldə edilən nəticələrin anizotrop düz səthli optik kommutatorlar üçün istifadə edilməsi nəzərdə tutulmuşdur və istənilən qeyri-həmcins mühitdə optik şüanın məhdud keçiricilik ilə bölüşdürülməsini dəqiqliklə tapmağa imkan verir.

Açar sözlər: anizotrop mühit, optik dalğaötürücü, optik kommutator, kommutasiya mühiti, dispersiya.

Giriş. Hazırda optoelektronika və inteqral optika texnologiyalarının sürətli inkişafı tədqiqatçıların dalğaötürücü optik texnologiyalar sahəsində yeni araşdırma aparmalarını tələb edir [1]. Bunu informasiyanın emalı və ötürülməsi üçün optik texnologiyaların inkişafı, foton inteqral sxemlərin, optik yaddaşın inkişafı ilə izah etmək olar. Optik dalğa strukturlarının üstünlükləri məlumatların ötürülməsinin yüksək sürəti, ucuz olması, konstruktiv olaraq kiçik həcmə malik olması və s. ilə izah olunur [2].

Optik dalğaötürüçülərin nüvə və dielektrik səthi yeni yüksək sürətli optik texnologiyaların mühüm elementlərindəndir və optik ötürücü mühitdə divarın qalınlığı və optik parametrləri, elektromaqnit dalğaların yayılmasını və əksətmə xüsusiyyətlərini, yəni öz modulunu müəyyənləşdirir. Bu zaman optik şüa bir izotrop və ya anizotrop mühitdən başqa bir mühitə keçərək kommutasiya olunur.

Məlumdur ki, anizotrop mühitdə elektromaqnit dalğalar izotrop mühit vasitələrinə nisbətən fərqli şəkildə yayılır [3].

Məsələnin qoyuluşu: Klassik elektrodinamikanın tənliklərinə əsaslanan Koşi matrisindən istifadə etməklə daxili anizotrop mühitlə üçlaylı dalğaötürücü sərhədlərinin, o cümlədən, optik kommutasiya mühitinin tədqiqi nəzərdə tutulur. Anizotrop dalğaötürücü mühitdə yayılan TE və TM dalğaları üçün dispersiya tənliklərinin həlli və optik dalğaötürücü oxun bucağından asılı olaraq dispersiya əyrilərinin asimptotik dəyişməsinə baxılır.

İşin məqsədi - yeni optik kommutasiya qurğularının yaradılması üçün anizotrop dalğaötürücü mühitlərdə optik dalğanın yayılmasının xüsusiyyətlərinin təhlil edilməsi, eləcə də istehsalı üçün sadə riyazi modelin işlənilməsi hazırlanmasından ibarətdir. Bunun üçün Maksvell tənlikləri üzərində qurulmuş elektromaqnit dalğaların qarşılıqlı təsirinin adekvat oxşar riyazi modelinin

¹ Azərbaycan Texniki Universiteti

E-mail: mhasanovnew@gmail.com, mmmr@azu.edu.az

tətbiqindən istifadə olunması məqsədəuyğun hesab olunur.

Dalğa ötürücülərdə dalğaların modlarının hesablanma üsullarının təhlili.

Optik anizotrop mühitdə optik xüsusiyyətlər işığın yayılma istiqamətindən asılıdır, buna görə də dalğa ötürücü oxun optik istiqaməti kommutasiya və ya digər ötürücü mühitdə optik şüanın yayılma şəraitinə təsir edir. Optik şüanın kommutasiya mühitindəki yayılma prosesi aşağıda göstərilən sxemdə (Şəkil 1) öz əksini tapmışdır.

Şəkil 1-dən görüldüyü kimi 1-optik kabledə optik şüanın daşıyıcısı olan 2-optik lifdən işıq şüası bir mühitdən başqa bir mühitə, 3-idarə olunan aktiv və ya passiv qurğular (digər anizotrop optik mühitə) vasitəsilə kommutasiya olunaraq istiqamətini dəyişərək digər optik liflərə ötürülür.

Optik verilmiş sistemlərinə (OVS) belə keçid mühitlərin rəngarəng və çoxsaylı olduğunu nəzərə almaqla, yeni optik həllər üçün xüsusi optik xüsusiyyətləri olan optik daşıyıcı mühitin və qurğuların yaradılmasını və elmi tədqiqini tələb edir. Bununla əlaqədar, OVS-də istifadə olunan optik komponentlər çox mürəkkəb proseslərdə, o cümlədən, optik kommutasiya qurğularında optik kanalların kommutasiya prosesində geniş tətbiq olunur [4].

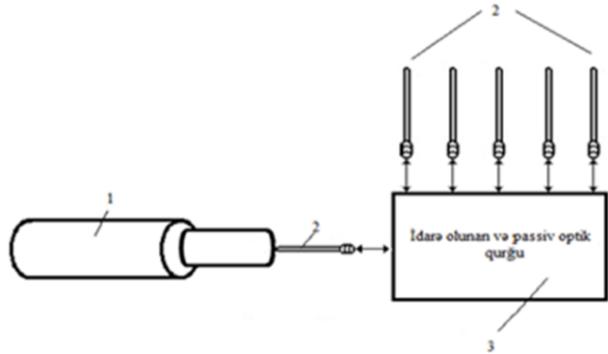
Məlumdur ki, OVS-nin ənənəvi elektrik rabitəsindən fundamental fərqi informasiya daşıyıcı dalğalar kimi infraqırmızı işıq dalğaları təşkil edir. Radiodalğalarda informasiyanın verilişi prinsipinə, tezliyə görə həyata keçirilsə, OVS-də əsasən dalğa uzunluğuna görə həyata keçirildiyini nəzərə alaraq, oxşarlıq metodundan istifadə etməklə, dalğaötürücülərdə dalğaların modlarını, dispersiyalarını eyni üsullarla təyin etmək olar.

Son illərdə dalğaötürücülərdə dalğaların modlarının hesablanma üsulu üçün bir çox analitik, ədədi üsullar və metodlar təklif olunmuşdur [5, 6] və burada optik şüa dəstəsinin yayılması metodu [7] anizotrop nazik dalğaötürücü üçün tətbiq edilmiş və üçqatlı sistem nəzərdən keçirilmişdir.

Bu hadisəni təsvir etmək üçün yeni 4×4 matrisli riyazi üsul təklif edilmişdir ki, özündə 2×2 matris üsulunu və Dcons matris üsulunu [8] uyğunlaşdırır. Bu ixtiyarı anizotrop mühitdə düz dalğanın yayılmasını tədqiq etmək üçün istifadə edilmiş və hər bir qat üçün yayılma matrisi qeyd olunmuş, matrisin formasının dalğa axınına nisbətən optik tensorun istiqamətindən asılı olduğu müəyyən edilmişdir.

4×4 matrislərinin Dju həllinə əsaslanan prosedur [9]-da qeyd olunmuş və asimptotik həll çox qalın dalğa uzunluqlu optik dalğaötürücülərdə nazik qatlar üçün təyin edilmişdir. Xarakteristik matrisin sıfır elementlərinin seçilməsi üsulunun həlli [10]-da təklif edilmişdir. Bu verilən sınıma əmsalının profili ilə çoxqatlı düz (müstəvi) optik dalğaötürücüsü üçün tətbiq edilmişdir. Dalğaötürücünün yayılmasının sabitləri (konstantları) köçürülmə matrisinin elementləri sıfıra yönləndirmə (müraciət) şərtlərindən əldə edilmişdir. Belə üsul dalğaötürücülərdə itkilər və anizotropiya ilə istifadə edilmişdir. [11]-də matrisin yerdəyişmə üsulu tətbiq edilmişdir. Bu standart, nazik optik plyonkalarda istifadə edilən 2×2 matris üsuludur: çoxqatlı səthi (yastı) dalğaötürücü çəkilir. Hər qatda enerjinin və profilin sahəsinin hesablanması üçün ifadələr alınır.

[12]-də çoxqatlı dalğaötürücüyə və düz dalğanın əks olunmasına tətbiq olunan üsul təklif



Şəkil 1. Optik kommutasiya dalğaötürücüsündə anizotrop mühitin sxematik təsviri

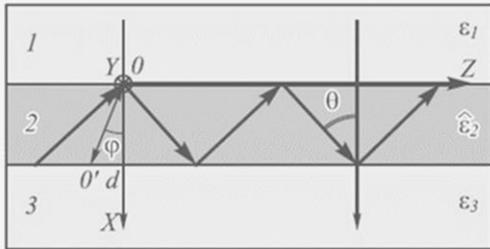
1 - Optik kabel; 2 - Optik lif; 3 - İdarə olunan aktiv və passiv qurğu

edilmişdir: bu, düz dalğaötürücü üçün uyğunlaşdırılmış xarakterik matrislər metodunun dəyişməsinə əsaslanır. [13]-də optik dalğaötürücülərin nümunələrinin müxtəlif növünün ətraflı nəzəri təhlili təklif edilmişdir. Burada dalğaların mövcudluğunun şərtləri ətraflı öyrənilmiş, birinci iki modda dalğaötürücünün nisbi qalınlığından asılılığın hesablanması üçün “sınma dəyişiklikləri”nin yuxarı həddinə görə dispersiya tənlikləri alınmışdır.

[14]-də zaman və tezlik sahəsi üçün sonlu fərq metodunun modifikasiyası, eləcə də sonuncu elementlər metodu sürətli dağaötürücü modların hesablanması və analizi üçün istifadə olunmuşdur. Yeni tam ölçülü köndələn anizotropik dalğaötürücüləri üçün fərqli diskretləşdirilməsi [15]-də təklif edilmişdir. Qeyd olunan həllərdən fərqli olaraq, bu üsulda dalğa yayılmasına nisbətən optik oxun özbaşına istiqamətləndirilməsi üçün vəzifələri həll etməyə imkan verir. Sonlu elementlər metodundan istifadə etməklə [16] və [17]-də müxtəlif paylanma bucaqlarının hesablanması üçün istifadə edilmişdir. Ədədi hesablama üsulları müxtəlif optik xassələrlə və müxtəlif həndəsi ölçülü dalğaötürücünün öz modu üçün həlləri həyata keçirməyə imkan verir. Bununla belə, onların ümumi çatışmazlıqları qeyri-fiziki asılılıqların ortaya çıxması, eləcə də həllin təhlilinin mürəkkəbliyindən ibarətdir.

Şəkil 2-də göstərilmiş anizotrop mühitin düz qatında optik və ya elektromaqnit dalğasının yayılmasını nəzərdən keçirək. Optik mühitin “1” və “3” əksətdirici səthi ϵ_0 nisbətən daha aşağı dielektrik keçiriciliyə malikdir, ϵ_e isə tam daxili əksolunma hadisəsinə görə XOZ müstəvisində 2-ci mühidə optik dalğanın yayılmasını təmin edir. Şəkil 2-də göstərilən XOZ dalğasının yayılma səthini bir düşmə səthi adlandırmaq. Anizotrop dalğaötürücü mühitin optik oxu müstəvidə φ bucağı altında OX oxuna istiqamətlənib və anizotrop mühitin “2” OO' – optik oxu, XOZ səthində φ bucağı altında OX müstəvisində yerləşdirilib.

Göstərilən vəziyyətdə, “2” bir oxlu anizotrop mühitin dielektrik keçiriciliyi:



Şəkil 2. Bərabərölçülü yastı səthli anizotrop dalğaötürücüsü

$$\hat{\epsilon} = \begin{pmatrix} \epsilon_e \cos^2 \varphi + \epsilon_0 \sin^2 \varphi; 0; \frac{\epsilon_e - \epsilon_0}{2} \sin 2\varphi \\ 0; \epsilon_0; 0 \\ \frac{\epsilon_e - \epsilon_0}{2} \sin 2\varphi; 0; \epsilon_0 \cos^2 \varphi + \epsilon_0 \sin^2 \varphi \end{pmatrix} \quad (1)$$

“2” mühitində iki növ dalğaların yayılmasını nəzərdən keçirək. Birinci dalğa “2” kristalında adi dalğa olacaq:

bu TE dalğadır. Bunun üçün elektrik və maqnit sahələrinin vektorları:

$$\vec{E}_{TE} = (0; E_y; 0) \quad (2a)$$

$$\vec{H}_{TE} = (H_y; 0; H_z) \quad (2b)$$

kimi olacaq.

“2” kristalındakı ikinci dalğa qeyri-adidir, TM dalğasıdır. Bu dalğa üçün elektrik sahəsinin gərginlik vektoru düşmə səthində yerləşir və E_x, E_y komponentlərinə malikdir, \vec{H} vektoru isə ona perpendikulyardır, belə ki, o yalnız H_y komponentinə malikdir:

$$\vec{E}_{TM} = (E_x; 0; E_z) \quad (3a)$$

$$\vec{H}_{TM} = (0; H_y; 0) \quad (3b)$$

Maksvell tənliyinə (2) və (3) vektorlarını nəzərə almaqla, F_i şərtləri bütün komponentlərin sahələri üçün yerinə yetirilir:

$$\frac{\partial}{\partial z} F_i = 0 \quad (4a)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} F_i = ik_0 \alpha F_i \quad (4b)$$

α parametri $x=0$ və $x=d$ interfeyslərinə uyğun dalğanın düşmə bucağından asılıdır. Düşmə bucaqlarının θ_1, θ_3 qiymətləri, aparılan tədqiqat işlərində “1” və “3” mühitinin xarakterindən, həmçinin θ_{TE} və θ_{TM} bucaqlarının qiymətindən, “2” qatda isə materialların optik xüsusiyyətləri uyğun Snell qanunu ilə əlaqəlidir:

$$\alpha = \sqrt{\varepsilon_1 \mu_1} \sin \theta_1 = \sqrt{\varepsilon_3 \mu_3} \sin \theta_3 = \sqrt{\varepsilon_{yy} \mu} \sin \theta_{TE} = n_e \sin \theta_{TM} = const \quad (5)$$

burada $n_e = \sqrt{\varepsilon_0 \cos^2(\theta - \varphi) + \varepsilon_e \sin^2(\theta - \varphi)}$ “2” qatda TM dalğasının sınıma göstəricisidir [13].

Maksvell tənliyinin həlli. Qeyd olunan şərtlərə əsasən Maksvell tənliyinin həllinə nəzər yetirək: (2) və (3)-də vektorların yerləşdirilməsi Maksvell tənliklərində məhdudiyətlər nəzərə alınmaqla (4) və (5) iki adi diferensial tənliklərdən ibarət iki sistem əldə etməyə imkan verir. Adi diferensial tənliklərin birinci sistemi TE dalğalarının “2” mühitində yayılmasını təsvir edir:

$$\begin{cases} \frac{d}{dx} E_y = ik_0 \mu H_z \\ \frac{d}{dx} H_z = ik_0 \left(\varepsilon - \frac{\alpha^2}{\mu} \right) E_y \end{cases} \quad (6)$$

İki sadə diferensial tənliklərin ikinci sistemi TM dalğasının “2” mühitində yayılmasına imkan verir:

$$\begin{cases} \frac{d}{dx} H_y = -ik_0 \alpha \frac{\varepsilon_{zx}}{\varepsilon_{zz}} H_y - ik_0 \left(\varepsilon_{zz} - \frac{\varepsilon_{xz} \varepsilon_{zx}}{\varepsilon_{xx}} \right) E_z \\ \frac{d}{dx} E_z = -ik_0 \left(\mu - \frac{\alpha^2}{\varepsilon_{xx}} \right) H_y - ik_0 \alpha \frac{\varepsilon_{xz}}{\varepsilon_{xx}} E_z \end{cases} \quad (7)$$

(6) və (7) adi diferensial tənliklər sistemlərinin həlli üçün matrislərin həlləri tapılmış, sonra isə anizotrop təbəqədə TE və TM dalğaları üçün Koşi matrisləri alınmışdır. Həm də bircins anizotrop təbəqə üçün matrisin həlləri əldə edilmişdir.

$x=0$ olduqda “1-2” və $x=d$ “2-3” olduqda, sərhədlərdə məhlulların bir-birinə toxunduğu arada TE dalğa sahələrinin tərkibləri üçün

$$\begin{pmatrix} E_y(d) \\ H_z(d) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_{11}^{(TE)} & n_{12}^{(TE)} \\ n_{21}^{(TE)} & n_{22}^{(TE)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_y(0) \\ H_z(0) \end{pmatrix} \quad (8)$$

olar.

(8) düsturunda Koşi matrisinin əmsalı:

$$n_{11}^{(TE)} = n_{22}^{(TE)} = \cos(k_0 d \sqrt{\varepsilon_{yy} \mu - \alpha^2}) \quad (8a)$$

$$n_{12}^{(TE)} = \frac{i\mu}{\sqrt{\varepsilon_{yy} \mu - \alpha^2}} \sin(k_0 d \sqrt{\varepsilon_{yy} \mu - \alpha^2}) \quad (8b)$$

$$n_{21}^{(TE)} = \frac{i\sqrt{\varepsilon_{yy}\mu - \alpha^2}}{\mu} \sin(k_0 d \sqrt{\varepsilon_{yy}\mu - \alpha^2}) \quad (8c)$$

olacaqdır.

Sərhədin “2” qatında TM dalğasının həlli üçün sərhədlərin toxunma matrisi:

$$\begin{pmatrix} H_y(d) \\ E_z(d) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_{11}^{TM} & n_{12}^{TM} \\ n_{21}^{TM} & n_{22}^{TM} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_y(0) \\ E_z(0) \end{pmatrix} \quad (9)$$

olur.

(8) düsturunda Koşi matrisi $\hat{N}_p(d,0)$ TM ifadəsi üçün

$$n_{11}^{(TM)} = n_{22}^{(TM)} = e^{-ik_0 d \frac{\varepsilon_{xz}}{\varepsilon_{xx}}} \cos\left(k_0 d \frac{\sqrt{\Delta(\varepsilon_{xx}\mu - \alpha^2)}}{\varepsilon_{xx}}\right) \quad (9a)$$

$$n_{12}^{(TM)} = ie^{ik_0 d \frac{\varepsilon_{xz}}{\varepsilon_{xx}}} \sqrt{\frac{\Delta}{\varepsilon_{xx}\mu - \alpha^2}} \sin\left(k_0 d \frac{\sqrt{\Delta(\varepsilon_{xx}\mu - \alpha^2)}}{\varepsilon_{xx}}\right) \quad (9b)$$

$$n_{21}^{(TM)} = ie^{-ik_0 d \frac{\varepsilon_{xz}}{\varepsilon_{xx}}} \sqrt{\frac{\varepsilon_{xx}\mu - \alpha^2}{\Delta}} \sin\left(k_0 d \frac{\sqrt{\Delta(\varepsilon_{xx}\mu - \alpha^2)}}{\varepsilon_{xx}}\right) \quad (9c)$$

olar.

$\Delta = \varepsilon_{xx}\varepsilon_{zz} - \varepsilon_{xz}\varepsilon_{zx} = \varepsilon_0\varepsilon_e$ qiyməti XOZ müstəvisində optik oxun istiqamətindən asılı deyil. (8) və (9) dalğaötürücünün elektromaqnit dalğa sahələrinin lokalizasiyasını hesablamaya imkan verir. (9a)–(9c) düsturlarından görüldüyü kimi adi diferensial tənliklər sisteminin qiymətini və (5)-i nəzərə almaqla:

$$\lambda_{1,2} = \pm ik_0 \frac{\sqrt{\Delta(\varepsilon_{xx}\mu - \alpha^2)}}{\varepsilon_{xx}} - i\alpha k_0 \frac{\varepsilon_{xz}}{\varepsilon_{xx}} \quad (10)$$

olacaq.

(9)-cu düsturun ikinci tərkib hissəsi faza vurucuda (9) matris əmsalının yaranması ilə izah edilir. Əksolunma (8) və (9) matrislərindən istifadə edərək adi diferensial tənliklər sistemlərinin həlli ilə əldə edilmişdir. Bir qayda olaraq, hesablamalarda faza əmsalının nəzərə alınmadığı keçid matrisi üsulu istifadə olunur. Maksvell tənlikləri əsasında TM dalğanın elektrik və maqnit sahələrinin komponentləri arasında qarşılıqlı əlaqə sistem şəklində yazılır:

$$\begin{cases} k_z H_y = k_0(\varepsilon_{xx} E_x + \varepsilon_{xz} E_z) \\ k_x H_y = -k_0(\varepsilon_{zx} E_z + \varepsilon_{zz} E_z) \end{cases} \quad (11)$$

(10) və (11) düsturlarından H_y və E_z komponentləri arasındakı əlaqəni:

$$H_y = \pm \sqrt{\frac{\Delta}{\varepsilon_{xx}\mu - \alpha^2}} E_z \quad (12)$$

yazmaq olar.

Elektromaqnit TM dalğasının “2” qatında θ_{TM} düşmə bucağını təşkil edir. Əgər \vec{E}_{TM} elektrik sahəsinin vektorudursa, $E_{TM} \cos\theta_{TM}$ OZ oxunun proyeksiyasıdır. İndi biz \vec{H} vektorunun

düşən və əks olunan dalğalar üçün vektorun tangensial komponentlərini bilirik:

$$H_y = \pm \sqrt{\frac{\Delta}{\varepsilon_{xx}\mu - \alpha^2}} E_{TM} \cos\theta_{TM} \quad (13)$$

Sərhəd şərtlərinin $x=0$ müstəvisində “2” dalğa üçün “1” mühitindən yayılan və “2” qatında əks olunan dalğa üçün toxunma sərhədində TM dalğaları üçün amplitudun əks olunma əmsalını əldə etməyə imkan verir:

$$R_p = \frac{\sqrt{\varepsilon_1(\varepsilon_{xx}\mu - \alpha^2)} - \sqrt{\Delta} \cos\theta_1}{\sqrt{\varepsilon_1(\varepsilon_{xx}\mu - \alpha^2)} + \sqrt{\Delta} \cos\theta_1} \quad (14)$$

“2” qatında, θ_{TM} bucaq altında tam daxili əks olunma $\tilde{\theta}$ bucağından böyükdür:

$$\tilde{\theta} = \arcsin\left(\frac{\sqrt{\varepsilon_1}}{\sqrt{\varepsilon_0 \sin^2(\tilde{\theta} - \varphi) + \varepsilon_e \cos^2(\tilde{\theta} - \varphi)}}\right) \quad (15)$$

(14) düsturu əsasında [13]-də göstərilən üsuluna uyğun olaraq, sərhəddən “2-1” əks etdirildikdə faza dəyişməsi üçün ifadə alırıq:

$$\tilde{\theta} = -2\arctg\left(\frac{\sqrt{\Delta}}{\varepsilon_1} \sqrt{\frac{\alpha^2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_{xx}\mu - \alpha^2}}\right) \quad (16)$$

Eynilə bu ifadə “2-3” sərhədi üçün də yararlıdır:

$$\delta_{23} = -2\arctg\left(\frac{\sqrt{\Delta}}{\varepsilon_3} \sqrt{\frac{\alpha^2 - \varepsilon_3}{\varepsilon_{xx}\mu - \alpha^2}}\right) \quad (17)$$

olacaqdır.

Anizotrop mühitin dispersiya tənlikləri: Qeyd olunan anizotrop mühitin dispersiya düsturlarının həllinə baxaq: φ bucağının hər hansı bir qiyməti üçün Δ qiyməti dəyişməz olaraq qalır və ε_{xx} qiyməti isə bu bucağın bir funksiyasıdır.

Dalğaötürücüdə dalğanın örtük mühitindən “1-2” sərhəddindən əks olunaraq “2-3” sərhəddinə yayılması üçün faza sürüşməsi π dərəcəli olmalıdır. Bu şərt, düz dalğaötürücünün TM modu üçün dispersiya tənliyinin formasını müəyyənləşdirir:

$$k_0 d \frac{\sqrt{\Delta(\varepsilon_{xx}\mu - \alpha^2)}}{\varepsilon_{xx}} - \arctg\left(\frac{\sqrt{\Delta}}{\varepsilon_1} \sqrt{\frac{\alpha^2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_{xx}\mu - \alpha^2}}\right) - \arctg\left(\frac{\sqrt{\Delta}}{\varepsilon_3} \sqrt{\frac{\alpha^2 - \varepsilon_3}{\varepsilon_{xx}\mu - \alpha^2}}\right) = m\pi, m \in N \quad (18)$$

(18) tənliyinə uyğun məsələlər analogi olaraq [18]-dən əldə edilmişdir, lakin burada məsələ diaqonal ε_2 tenzor üçün həll edilmişdir. Aydındır ki, ε_{xx} qiyməti φ rakursu haqqında məlumat daşdığından (18) tənliyinin universal xarakterinə baxmayaraq, anizotrop dalğaötürücüsü üçün həlli optik oxun mövqeyi ilə müəyyənləşdirilməlidir.

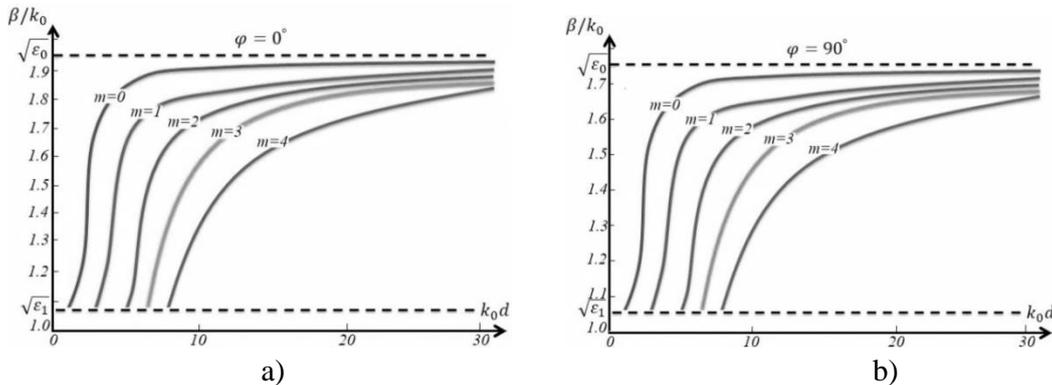
TE dalğa üçün dispersiya tənliyi $\varepsilon_2 = \varepsilon_{yy}$ dielektrik keçiriciliyi ilə izotrop mühitdə TE dalğalar üçün dispersiya tənliyi ilə üst-üstə düşəcək:

$$k_0 d \sqrt{\varepsilon_{yy}\mu_2 - \alpha^2} - \arctg\left(\sqrt{\frac{\alpha^2 - \varepsilon_1\mu_1}{\varepsilon_{yy}\mu_2 - \alpha^2}}\right) - \arctg\left(\sqrt{\frac{\alpha^2 - \varepsilon_3\mu_3}{\varepsilon_{yy}\mu_2 - \alpha^2}}\right) = \pi m \quad (19)$$

α parametri və β daimi paylanması arasında əlaqə $\beta - k_0\alpha$ ilə ifadə olunur. Şəkil 3-də (19)-a əsasən TE dalğaları üçün $m=0, 1, 2, 3, 4$, dispersiya əyriləri göstərilib. Yuxarıda göstərilən optik ox istiqaməti ilə anizotrop mühidə TE dalğalarının yayılması halında, tənlikdən görüldüyü kimi izotrop mühidə dalğaların yayılması (19) ilə eynidir.

TM dalğaları üçün (18) tənliyin həlli tenzorlu $\varepsilon_0 = 3, \varepsilon_e = 4$ dielektrik keçiriciliyi süni mühit üçün ədədi olaraq həyata keçirilmişdir. φ bucağı, orta bölməsinin sərhədlərinə yönəlmiş kristal və normal optik ox arasında $[0^\circ; 90^\circ]$ bucaq altında dəyişir (Şəkil 2).

TM dalğası üçün hesablanma göstərir ki, dispersiya əyriləri φ bucağından asılıdır. Horizontal asimptotika $y = A$ yuxarıdakı dispersiya tənliyinin həlləri olan nöqtələrdən tərtib edilmiş qrafları məhdudlaşdırır. A qiyməti φ bucağından asılıdır və qeyri-adi dalğanın sınma göstəricisi ilə əlaqələndirilir. Əgər, bucaq $\varphi = 0$ olarsa, üfüqi xətt hündürlüyü $A = \sqrt{\varepsilon_e}$ bərabər olacaq. Optik ox OX ilə üst-üstə düşəndə, bucağın həddi ilə hesablanmış qrafiklər üst-üstə düşür (Şəkil 4a):



Şəkil 4. $TM_0 - TM_4$ rejimi üçün anizotrop səthli dalğaötürücüdə k_0d mərhələsində β -dən asılılığı

Bu halda A parametri Şəkil 3-də göstərilən TE dalğaların asimptot qrafiklərindən maksimal dərəcədə fərqlənir. $\varphi = 90^\circ$ olduqda, asimptotun mövqeyi izotropik vəziyyətdə olduğu kimi eyni $A = \sqrt{\varepsilon_0}$ olacaq (Şəkil 4b). Bu təqdim olunan nəticələrə zidd deyil [9]. Bu ondan irəli gəlir ki, nb parametrinin dəyişdirilməsinin yuxarı həddi α -ya bərabər olacaq, başqa sözlə $\sqrt{\varepsilon_0}$ və $\sqrt{\varepsilon_e}$ arasında olacaqdır.

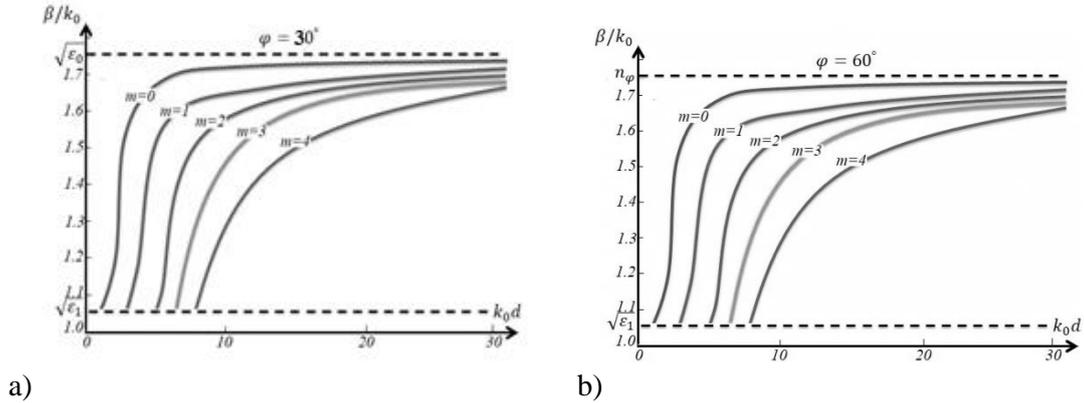
φ bucağı üçün ixtiyari qiymət A parametri dalğa vektoru və optik ox arasında maksimum mümkün bucaq $(90^\circ - \varphi)$ üçün qeyri-adi dalğa sınma göstəricisi bərabər qiyməti qəbul edir:

$$A = \sqrt{\varepsilon_0 \sin^2 \varphi + \varepsilon_e \cos^2 \varphi} \quad (20)$$

Əgər oxun əyilmə bucağı OO-ya bərabər olarsa və dalğa maksimum α qiymətinə uyğun

olan OZ oxuna yayıldıqda, dalğa vektoru və optik ox arasındakı bucaq ($90^\circ - \varphi$) olacaq.

Şəkil 5 a, b-də φ -bucağı 30° və 60° -yə bərabər olduğu hallar üçün dispersiya əyriləri göstərilmişdir. Şəkil 3-5-də aşağıda qırıq xətlərlə α parametrinin az qiymətində $\tilde{\theta}$ - tam daxili əks etdirmə bucağına uyğun gəlir: yəni $\alpha_{\min} = \sqrt{\max(\varepsilon_1, \varepsilon_3)}$ olur. (1) düsturunun dəyişməsi ilə ətraf mühitin dielektrik keçiriciliyi üçün “2” φ bucaq “ $-\varphi$ ” asılılıq xarakterini dəyişmir.



Şəkil 5. Anizotrop dalğa ötürücüdə $TM_0 - TM_4$ TM dalğalarının yayılması k_0d faza mərhələsinin φ bucağından asılılığı

Nəticə. Bu işdə yastı kommutasiya mühitində-anizotrop dalğa ötürücüsündə optik oxun sərbəst əyilməsi zamanı düşmə səthində rəqsin modunu hesablamaq üçün riyazi model alınmışdır. TM dalğa üçün dispersiyalı əyrilərin asimptotik davranışı TM dalğa yayılması optik oxun istiqamət bucağından asılı olaraq tədqiq edilmişdir. Əldə edilən nəticələrin düz səthli anizotrop dalğaötürücü kommutatorlar üçün istifadə edilməsi nəzərdə tutulmuşdur və istənilən qeyri-həmcins mühitdə optik şüanın məhdud keçiricilik ilə bölüşdürülməsini dəqiqliklə tapmağa imkan verir.

REFERENCES

1. Barucq, H., Bekkey, C., and Djellouli, R., “Mathematical analysis and solution methodology for an inverse spectral problem arising in the design of optical waveguides,” Inverse Problems in Science and Engineering, Vol. 27, No. 8, 1081-1119, 2019.
2. Nestic, A., Blaicher, M., Hofmann, A., Lauer mann, M., Kutuvantavida, Y., Nollenburg, M., Randel, S., Freude, W., and Koos, C., “Photonic-integrated circuits with non-planar topologies realized by 3D-printed waveguide overpasses,” Optics Express, Vol. 27, No. 12, 17402-17425, 2019.
3. Li, S.Y., Zhou, Y.Y., Dong, J.J., Zhang, X.L., Cassan, E., Hou, J., Yang, C.Y., Chen, S.P., Gao, D.S., and Chen, H. Y., “Universal multimode waveguide crossing based on transformation optics,” Optica, Vol. 5, No. 12, 1549-1556, 2018.
4. Gasanov M.G. Mnogokanalnyj piezoelektricheskij kommutator adaptivnyh opticheskikh setej // Vestnik Azerbayjanskoj Inzhenernoj Akademii. 2017. Tom 9. № 4, s.107-112. (Гасанов М.Г. Многоканальный пьезоэлектрический коммутатор адаптивных оптических сетей // Вестник. Азербайджанской Инженерной Академии. 2017. Том 9. № 4, с.107-112).
5. Liu S.H., Liang C.H., Ding W., Chen L., and Pan W.T., “Electromagnetic Wave Propagation through a Slab Waveguide of Uniaxially Anisotropic Dispersive Metamaterial,” Progress In Electromagnetics Research, PIER 76, Vol. 76, 467-475, 2007.
6. Mahmoud S. F., and Viitanen A. J., “Modes in a Hard Surface Waveguide with Uniaxially Anisotropic Chiral Material Filling,” Progress In Electromagnetics Research, PIER 39, Vol. 39, 265-279, 2003.
7. Elsayw, M. M. R., and Renversez, G., “Exact calculation of the nonlinear characteristics of 2D isotropic and anisotropic waveguides,” Optics Letters, Vol. 43, No. 11, 2446-2449, 2018.
8. Sun, F., and He, S. L., “Subwavelength focusing by optical surface transformation,” Optics Communications, Vol. 427, 139-146, 2018.
9. Cicheler, R., Kataja, M., Campoy-Quiles, M., and Herranz, G. “Non-reciprocal diffraction in magnetoplasmonic gratings,” Optics Express, Vol. 26, No. 26, 34842-34852, 2018.
10. Raghuvanshi, S. K., and Rahman, B. M. A., “Analysis of Novel Chirped Types of Refractive Index Profile

- Metamaterial Planar Slab Optical Waveguide by Finite-Element Method for Sensor Application,” IEEE Sensors Journal, Vol. 15, No. 7, 4141-4147, 2015.
11. **Boucher, Y. G.**, “Analytical model for the coupling constant of a directional coupler in terms of slab waveguides,” Optical Engineering, Vol. 53, No. 7, 071810, 2014.
 12. **Fang, Y., Xi, X. L., Liu, J. F., Pu, Y. R., Zhao, Y. C., and Luo, R.**, “An Efficient 2-D Stochastic WLP-FDTD Algorithm in Isotropic Cold Plasma Media,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 66, No. 11, 6209-6216, 2018.
 13. **Max Born, and Emil Wolf**, “Principles of Optics,” Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light, Cambridge University Press, 581 p., 2000.
 14. **Bellanca, G., Orlandi, P., and Bassi, P.**, “Assessment of the orthogonal and non-orthogonal coupled-mode theory for parallel optical waveguide couplers,” Journal of the Optical Society of America A-Optics Image Science and Vision, Vol. 35, No. 4, 577-585, 2018.
 15. **Ludiyati, H., Suksmono, A. B., and Munir, A.**, “FDTD Method for Property Analysis of Waveguide Loaded Artificial Circular Dielectric Resonator with Anisotropic Permittivity,” Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS), 315-318, Shanghai, PEOPLES R CHINA, 2016.
 16. **Pintus, P.**, “Accurate vectorial finite element mode solver for magneto-optic and anisotropic waveguides,” Optics Express, Vol. 22, No. 13, 15737-15756, 2014.
 17. **Liu, H. H., and Chang, H. C.**, “Solving leaky modes on a dielectric slab waveguide involving materials of arbitrary dielectric anisotropy with a finite-element formulation,” Journal of the Optical Society of America B-Optical Physics, Vol. 31, No. 6, 1360-1376, 2014.
 18. **Liao, W., Chen, X., Chen, Y., Xia, Y., and Chen, Y.** “Explicit analysis of anisotropic planar waveguides by the analytical transfer matrix method,” J. Opt. Soc. Am. A., Vol. 21, No. 11, 2196-2204, 2004.
-

ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДЫ ОПТИЧЕСКОЙ КОММУТАЦИИ

М.Г. ГАСАНОВ, М.Р. МАГЕРРАМЗАДЕ

В статье проанализированы коммутаторы с анизотропной средой, выполняющие коммутацию оптических каналов в оптических системах передачи, в оптической анизотропной среде, в зависимости от направления распространения света с учетом оптических свойств среды.

Получена математическая модель для расчета мода колебаний на поверхности падения при свободном изгибе оптического луча в анизотропном волноводе оптической среды с плоской поверхностью в соответствии с влиянием оптического направления волновода на условия распространения оптического луча.

На основе уравнения классической электродинамики рассматривается решение дисперсионных уравнений для волн ТЕ и ТМ, распространяющихся в анизотропной среде оптической коммутации и асимптотическое изменение кривых дисперсий в зависимости от угла оптической волновой оси. Полученные результаты предназначены для использования в анизотропных плоских поверхностных оптических коммутаторах и позволяют с точностью находить распределение оптического излучения с ограниченной проводимостью в анизотропной среде.

Ключевые слова: анизотропная среда, оптический передатчик, оптический переключатель, среда переключения, дисперсия.

STUDY OF THE OPTICAL SWITCHING ENVIRONMENT

M.H. HASANOV, M.R. MAHARRAMZADE

The article analyzes the dependence of the direction of light propagation, taking into account the optical properties of the optical anisotropic environment of the switches that perform the switching of optical channels in optical transmission systems.

A mathematical model was obtained to calculate the mode of oscillation at the incident surface during the free bending of the optical beam in the anisotropic waveguide of a flat-surface optical switching medium in accordance with the effect of the optical direction of the waveguide axis on the propagation conditions of the optical beam.

Based on the equations of classical electrodynamics, the solution of the dispersion equations for TE and TM waves propagating in an anisotropic medium and the asymptotic change of the dispersion curves depending on the angle of the optical waveguide axis are considered. The obtained results are intended for use in anisotropic flat-surface optical switches and allow to accurately find the distribution of optical radiation with limited transmittance in any non-homogeneous medium.

Key words: anisotropic environment, optical transmitter, optical switch, switching environment, dispersion.

<i>Redaksiyaya daxil olub:</i>	28.01.2020
<i>Tamamlama işlərindən sonra:</i>	11.06.2020
<i>Nəşrə qəbul edilib:</i>	15.06.2020

УДК 621.311

DOI: 10.15827/0236-235X.113.126-133

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ УЗЛОВЫХ ЦЕН НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

А.Б. БАЛАМЕТОВ¹, Э.Д. ХАЛИЛОВ¹, А.К. САЛИМОВА¹, Ф.Г. ИСКЕНДЕРОВ²

В связи с изменением хозяйственных форм предприятий энергетики и организацией электроэнергетического рынка возникла задача адресности потокораспределения. Различная стоимость электроэнергии у разных поставщиков приводит к актуальности задачи определения узловых цен. Информация о нагрузках линий, о вкладе станций в нагрузки потребителей и потерях важна для всех участников рынка, поскольку она позволяет определить стоимость передачи по сети и потерь электроэнергии. Системный оператор и администратор торговой системы могут использовать математические модели узловых цен в качестве информационной поддержки. Полученные с помощью этих моделей узловые цены могут быть использованы участниками рынка для правильного выбора стратегии поведения на рынке. Для расчета составляющих узловых цен требуется разработка соответствующего программного обеспечения. Проанализированы оптимизационные и матричные методы моделирования узловых цен. Разработаны алгоритмы для моделирования узловых цен, которые реализованы в виде программ в среде МАТЛАБ. Работоспособность разработанных программ проверена на различных тестовых схемах. В частности, в данной статье приведены результаты расчетов узловых цен на примере 7-узловой эквивалентной схемы азербайджанской энергосистемы.

Ключевые слова: электроэнергия, рынок электроэнергии, моделирование, алгоритм, узловые цены, матричный метод, оптимальное потокораспределение.

Введение. Целью электроэнергетической системы (ЭЭС) в условиях рынка как технической системы с диспетчерским управлением является обеспечить выживание и благосостояние человеческого общества. С другой стороны, как форма бизнеса возникает новый критерий – прибыль. Основные связи с внешним миром финансовые – продажа и покупка электроэнергии, покупка топлива и других расходуемых материалов, начисление зарплаты работникам. Поэтому технологические критерии отходят на второй план.

Торговля ЭЭ на оптовом рынке осуществляется с использованием таких рыночных механизмов, как рынок на сутки вперед, балансирующий рынок, рынок регулируемых договоров, свободные договора купли-продажи ЭЭ [1-4].

¹ Азербайджанский Научно-Исследовательский и Проектно-Изыскательский институт Энергетики

² ООО «Азербэнерджи»

E-mail: balametov.aznie@gmail.com

Рынок на сутки вперед – это аукцион ценовых заявок на продажу и покупку ЭЭ, производимый на каждый час суток за сутки до фактической поставки ЭЭ. В рамках торговли на рынке на сутки вперед поставщики и покупатели подают ценовые заявки коммерческому оператору, в которых указывают, какой объем электрической энергии, в какой час и по какой цене они готовы поставить и купить соответственно. Таким образом, формируется равновесная рыночная цена ЭЭ (рис. 1).

В связи с невозможностью единовременного ввода в работу генерирующего оборудования конкурентному рынку присуще заблаговременное планирование режимов работы.

На балансирующем рынке происходит купля-продажа объемов ЭЭ, потребленных сверх плановых объемов или непотребленных объемов относительно плановых. На нем не определяется состав оборудования. Основной задачей балансирующего рынка является оптимальное экономическое и технологическое поддержание баланса ЭЭ.

На энергетических рынках мира наибольшее распространение получили две основные модели рынка: *модель пул* и *модель двухсторонних контрактов*. Модель пул чаще используется на оперативных рынках и рынках «на сутки вперед». При долгосрочных контрактах (от недели до нескольких лет) чаще используется модель «двойной контракт» [1-2].

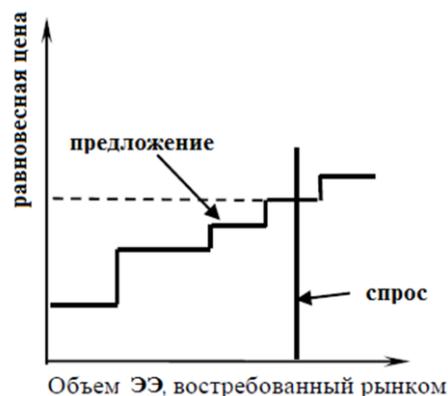
Узловые цены являются важнейшими финансовыми показателями и показывают стоимость единицы электроэнергии, покупаемой в узле. Среди работ, посвященных узловым ценам, следует отметить работы Горнштейна В.М., Марковича И.С., Крумма Л.А., Кирчмайера, Карпентьера Дж., Бартоломея П.И., Гросса Г., Дж. Биалека, Д. Киршена, Ф. Ву, Гамма А.З, Голуба И.И. и др. [5].

В [4] «социальный эффект» (social welfare) определяется как разница между суммарной прибылью потребителей и затратами поставщиков с учетом ограничений и ставится задача максимизировать это социальное благосостояние.

Узловые цены определяют стоимость единицы электроэнергии, покупаемой в узле, и включают в себя маргинальную цену балансирующего узла, потери в линии электропередачи, цену ограничений линии электропередачи. Расчет этих составляющих требует разработки соответствующего программного обеспечения.

В [5-6] рассматриваются задачи определения узловых средневзвешенных цен для взаиморасчетов потребителей и производителей электроэнергии на основе алгоритмов определения средневзвешенных цен по зафиксированным потокам электроэнергии и ценовым заявкам источников. Проанализирована чувствительность узловых цен к ценовым заявкам и изменениям перетоков.

В [7] для моделирования рынка электроэнергии был применен механизм аукциона. После отбора наиболее экономичных генерирующих мощностей при соблюдении всех ограничений формируется двойственная задача линейного программирования. Нахождение решения двойственной задачи линейного программирования позволяет определить стоимость



достигнутых ограничений по связям и узловые цены. На основании этих данных и правил принятия решения можно проанализировать, насколько эффективно участник подавал ценовые заявки.

В [8] предложена система интегральных показателей разницы узловых цен, включающая стоимостные, ценовые и физические показатели. Предложенная система интегральных показателей позволяет количественно оценить влияние режимов ЭЭС на разницу цен в узлах при решении оптимизационной задачи оптового рынка ЭЭ.

В [9] на примере тестовой 9-узловой схемы электроэнергетической системы рассматривается влияние изменения ценовых заявок производителей электроэнергии на узловые цены для потребителей. Производится анализ полученных результатов и их обобщение.

В данной работе узловые цены определены совместной реализацией методов линейного и нелинейного программирования применением метода неопределённых множителей Лагранжа.

В [10] разработана математическая модель, в которой режимные ограничения учтены методом Лагранжа, а учет потерь осуществлен использованием R-схемы и коэффициентами токораспределения.

Одной из классических задач электроэнергетики является расчет допустимого и оптимального потокораспределения. На основе допустимого режима необходимо определить траектории мощностей и их ориентировочные стоимости к нагрузочным узлам и оценить стоимость суммарной мощности, поступающей к нагрузочным узлам. Затем режим оптимизируется.

Математические модели узловых цен могут быть использованы в качестве информационной поддержки для системного оператора, администратора торговой системы. Участники рынка, используя узловые цены, полученные с помощью этих моделей, могут правильно выбрать стратегию поведения на рынке.

Кроме этого, узловые цены обеспечивают адекватное распределение платы за ЭЭ. При этом потребитель платит пропорционально затратам на выработку потребленной им ЭЭ.

Цель работы – рассмотреть алгоритмы для моделирования узловых цен и разработать для этой цели программу.

Оптимизационная модель рынка ЭЭ

Целевая функция рынка ЭЭ имеет вид:

- в одностороннем аукционе:

$$\min \sum_{j=1}^n c_{g_j} P_{g_j} \quad \text{или} \quad \max \sum_{i=1}^m c_{d_i} P_{d_i} \quad (1)$$

- в двухстороннем аукционе:

$$\max \left\{ \sum_{i=1}^m c_{d_i} P_{d_i} - \sum_{j=1}^n c_{g_j} P_{g_j} \right\} \quad (2)$$

и представляет собой максимальную суммарную чистую прибыль как продавцов, так и покупателей, т.е. всех участников рынка.

При этом учитываются балансовые ограничения активной и реактивной мощности в узлах, сетевые ограничения, т.е. ограничения потоков активной мощности по контролируемым сечениям, а также ограничения на диапазон изменения оптимизируемых переменных [6-10]:

$$\sum_i P_{ij} + \sum_g P_g - \sum_c P_c = 0; \quad \sum_i Q_{ij} + \sum_g Q_g - \sum_c Q_c = 0; \quad P_s^{\min} \leq \sum_{ij \in s} P_{ij} \leq P_s^{\max}$$

$$0 \leq P_g \leq P_g^{\max}; \quad 0 \leq Q_g \leq Q_g^{\max}; \quad 0 \leq P_c \leq P_c^{\max}; \quad U_j^{\min} \leq U_j \leq U_j^{\max}$$

В вышеприведенных формулах d - потребление в узле; g - генерация; c_{d_i} - узловая цена на покупки активной мощности; c_{g_j} - узловая цена продажи активной мощности; P_{d_i} - узловое потребление активной мощности; P_{g_i} - узловая генерация активной мощности; n, m - количество заявок на производство и потребление активной мощности; U_j - узловое напряжение; P_{ij} и Q_{ij} - потоки мощности из узла j в узел i по ветви ij ; s - контролируемые сечения.

В односторонних аукционах присутствуют отдельные составляющие целевой функции, а целевая функция представлена компонентами, соответствующими ценовым заявкам продавцов или покупателей.

Математические модели моделирования узловых цен. Оптимизационный метод

В некоторых источниках в качестве узловых цен используются множители Лагранжа, представляющих собой финансовую значимость ограничений задачи оптимизации. Однако при этом подходе не учитываются не зависящие от режима издержки на генерацию.

Маргинальные узловые цены могут быть получены по результатам решения задачи оптимизации потокораспределения. Стоимость ЭЭ, найденная по узловым ценам, полученным по результатам решения задачи оптимизации потокораспределения в ЭЭС, могут превышать затраты на производство ЭЭ. Кроме того, для определения множителей Лагранжа вначале решается задача оптимизации режима энергосистемы.

Данный подход реализован в виде MATLAB-программы. Для моделирования узловых цен на ЭЭ была использована эквивалентная 7-узловая схема азербайджанской энергосистемы, приведенная на рис. 2.

Исходные данные схемы замещения приведены в таблице 1.

В таблицах 2 и 3 приведены результаты задачи потокораспределения по узлам и ветвям.

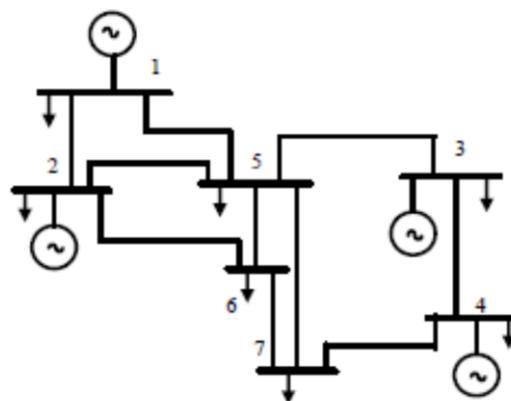


Рис. 2. Эквивалентная 7-узловая схема азербайджанской энергосистемы

Таблица 1.

Исходные данные для тестовой схемы.

Узлы.							
N	U, кВ, исх.	P _{наг.} , МВт	Q _{наг.} , МВАр	P _{ген.} , МВт	Q _{ген.} , МВАр	U _{min} , о.е.	U _{max} , о.е.
1	500	800	360	1600	640	1.05	1.05
2	500	500	225	500	200	1.05	1.05
3	500	300	135	400	160	1.05	1.05
4	500	100	45	300	120	1.05	1.05
5	500	400	180	0	0	1.05	0.95
6	500	350	157	0	0	1.05	0.95
7	500	250	113	0	0	1.05	0.95

Ветви

От	К	r*	x*	b _{ijc} *
1	5	0.001806	0.017365	4.15415
2	6	0.007388	0.050488	0.49615
5	7	0.008479	0.057942	0.14235
6	7	0.00631	0.0431	0.10589
1	2	0.005172	0.035346	1.8094
4	7	0.00290/2	0.01843/2	0.02865*2
3	4	0.004415	0.028055	0.174775
3	5	0.003878	0.026498	0.0651
5	6	0.00320/3	0.02031/3	0.03156*3
2	5	0.00419	0.02864	0.35626

Таблица 2.

Результаты потокораспределения по узлам

Узлы	U, о.е.	δ, град.	P _{ген.} , МВт	Q _{ген.} (MVA _r)	P _{наг.} (MW)	Q _{наг.} (MVA _r)
1	1.05	0	1508.92	29.48	800	360
2	1.05	-3.413	500	154.07	500	225
3	1.05	-3.923	400	141.64	300	135
4	1.05	-4.443	300	146.56	100	45
5	1.041	-4.777	-	-	400	180
6	1.033	-5.647	-	-	350	157
7	1.037	-5.498	-	-	250	113
		Всего:	2708.92	471.75	2700	1215

Таблица 3.

Результаты потокораспределения по ветвям

Ветви	От узла	К узлу	P _{ij} , МВт	P _{ji} , МВт
1	1	5	526.34	-521.79
2	2	6	87.34	-86.79
3	5	7	24.04	-23.99
4	6	7	-7.89	7.9
5	1	2	182.58	-181
6	4	7	234.79	-233.91
7	3	4	34.84	-34.79
8	3	5	65.16	-64.99
9	5	6	256.05	-255.32
10	2	5	93.66	-93.31

Результаты оптимального потокораспределения по узлам и ветвям приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4.

Результаты задачи оптимального потокораспределения по узлам

Узлы	U, о.е.	δ, град.	P _{ген.} , МВт	P _{наг.} (MW)	λ _p \$/MBA *час	λ _q \$/MBA *
1	1.05	0	1739.93	800	10	-
2	1.05	-5.071	379.82	500	14	0
3	1.05	-6.308	291.49	300	15	0
4	1.05	-6.35	302	100	14.98	0
5	1.041	-6.075	-	400	14.917	-0.614
6	1.032	-7.039	-	350	14.898	-0.466
7	1.037	-7.256	-	250	15.028	-0.115
		Всего:	2713.24	2700		

Таблица 5.

Результаты оптимального потокораспределения по ветвям

Ветви	От узла	К узлу	P _{ij} , МВт	P _{ji} , МВт
1	1	5	668.27	-660.95
2	2	6	77.64	-77.19
3	5	7	38.58	-38.46
4	6	7	7.5	-7.49
5	1	2	271.66	-268.16
6	4	7	204.78	-204.05
7	3	4	2.78	-2.78
8	3	5	-11.28	11.34
9	5	6	281.17	-280.31
10	2	5	70.34	-70.13

В таблице 6 приведены затраты генераторов и оплата потребленной ЭЭ в у.е.

Стоимость ЭЭ, найденная по узловым ценам, полученным по результатам решения задачи оптимизации потокораспределения в ЭЭС, как и ожидалось, превышает затраты производства ЭЭ.

Матричный метод

Основу матричного метода составляет уравнение [6-7]:

$$G_i(P_{gi}) + \sum_{j=1, \dots, n} c_j P_{ji} = c_i \cdot P_{ni} + c_i \cdot \sum P_{ji}; \quad (3)$$

В уравнении (3) первое слагаемое в левой части равно затратам на производство мощности P_{gi} , второе слагаемое – затратам на покупку перетоков мощности P_{ji} в i -й узел из узлов j по цене c_j . Первое слагаемое в правой части представляет собой выручку от продажи нагрузки P_{ni} в узле i , а второе слагаемое – выручку от продажи перетоков мощности P_{ij} из узла i по цене продажи c_i .

Следует отметить, что для учета потерь ΔP_{ij} в ветви i - j цена c_j увеличивается до значения c_{ij} , определяемой из условия:

$$c_{ij} = \frac{c_j P_{ji}}{P_{ij}},$$

где $P_{ji} = P_{ij} + \Delta P_{ij}$

В матричной форме уравнение (3) можно представить в виде:

$$A \cdot c = G, \quad (4)$$

где G – ценовая заявка генераторов или их расходные характеристика, c – узловые цены. Диагональные элементы матрицы A представляют собой сумму нагрузки в узле с отходящими потоками:

$$A_{ii} = P_{n,i} + \sum_{j=1}^K P_{ij}, \quad (5)$$

где K – число узлов, в которые текут потоки мощности из узла i . Недиагональными элементами матрицы A являются втекающие в узел потоки мощности:

$$A_{ij} = -P_{ji} \quad (6)$$

Разработан алгоритм для моделирования узловых цен [11]. Алгоритм состоит из следующих этапов:

1. расчет установившегося режима сети;
2. передача необходимой информации об узлах и ветвях в программу узловых цен;
3. формирование матриц узловых инъекций мощности, потоков мощности;

Таблица 6.

Затраты генераторов и оплата потребленной ЭЭ

Узлы	$P_{ген},$ МВт	$P_{наг}$ (MW)	λ_p у.е./ МВА*час	Затраты ге- нераторов, у.е.	Оплата по- требленной ЭЭ, у.е.
1	1739.93	800	10	17399.3	8000
2	379.82	500	14	5317.48	7000
3	291.49	300	15	4372.35	4500
4	302	100	14.98	4523.96	1498
5	-	400	14.917	0	5966.8
6	-	350	14.898	0	5214.3
7	-	250	15.028	0	3757
Всего:	2713.24	2700		31613.09	35936.1

4. формирование фиктивных узлов и фиктивных ветвей;
5. формирование матрицы потоков мощности;
6. определение узловых цен.

Разработанный алгоритм реализован в виде MATLAB-программы.

Для моделирования узловых цен на ЭЭ также была использована эквивалентная 7-узловая схема азербайджанской энергосистемы, приведенная на рис. 2.

Следует отметить, что, в отличие от оптимизационного подхода, при матричном подходе узловые цены могут быть найдены для любого потокораспределения.

Анализ узловых цен, полученных двумя методами, показывает, что узловые цены, полученные матричным методом, меньше маргинальных узловых цен.

Стоимость ЭЭ, отпущенной генераторами, совпадает со стоимостью ЭЭ, полученной нагрузками. Результаты моделирования приведены в таблице 7.

Таблица 7.

Узловые цены на ЭЭ (в условных единицах)

Узлы	$P_{ген0}$, МВт	$P_{наг0}$, МВт	Исходные значения узловых цен, у.е.	Расчетные значения узловых цен, у.е.	Затраты генераторов, у.е.	Оплата потребленной ЭЭ, у.е.
1	1509	800	10	10	15090	8000
2	500	500	14	12.96	7000	6480
3	400	300	15	15	6000	4500
4	300	100	15	15	4500	1500
5	0	0	0	10.96	0	4384
6	0	0	0	11.58	0	4053
7	0	0	0	14.69	0	3672.5
8	0	0	0	14	0	0
9	0	0	0	15	0	0
Всего					32590	32589.5

Заключение. Разработаны алгоритм и программа для моделирования узловых цен на основе матричного и оптимизационного подхода.

На примере эквивалентной 7-узловой схемы азербайджанской энергосистемы проведены расчеты узловых цен.

Узловые цены, полученные матричным методом, меньше маргинальных узловых цен. Результаты моделирования узловых цен могут быть использованы на рынке ЭЭ для ценовых заявок.

REFERENCES

1. **Stoff S.** (2002). Power System Economics: Designing Markets for Electricity. I. Wiley and Sons.
2. **Belyaev L.S.** Problemy elektroenergeticheskogo rynka. – Novosibirsk: Nauka, 2009. – 296 s. (Беляев Л.С. Проблемы электроэнергетического рынка. – Новосибирск: Наука, 2009. – 296 с.).
3. **Schweppe F.C., Caramanis M.C., Tabors R.D. and Bohn R.E.** Spot Pricing of Electricity, Boston: Kluwer Academic Publishers, 1988.
4. **Weber J.D., Overbuy T.J.** An Individual Welfare Maximization Algorithm For Electricity Markets. IEEE Transactions in Power Systems, February, 2002,
5. **Gamm A.Z., Golub I.I., Rusina A.G., Filippova T.A.** Adresnost potokoraspredeleniya dlya elektroenergetikov. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2016. - 284 s. (Гамм А.З., Голуб И.И., Русина А.Г., Филиппова Т.А. Адресность потокораспределения для электроэнергетиков. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. - 284 с.).

6. **Gamm A.Z.** Uzlovye srednevzveshennyye ceny na elektroenergiyu /A.Z. Gamm [i dr.] // Elektrichestvo. 2005. N 10. С. 17-24. (Гамм А.З. Узловые средневзвешенные цены на электроэнергию /А.З. Гамм [и др.] // Электричество. 2005. N 10. С. 17-24).
7. **Ayuev B.I., Erohin P.M., Panikovskaya T.Y.** Primeneniye mekhanizma auktsiona dlya modelirovaniya rynka elektroenergii // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2005. T. 308. № 5. (Аюев Б.И., Ерохин П.М., Паниковская Т.Ю. Применение механизма аукциона для моделирования рынка электроэнергии // Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 5).
8. **Vaskovskaya T.A.** Pokazateli raznicy uzlovyh cen na optovom rynke elektroenergii // Elektrichestvo. 2007. N 2. С.23-27. (Васьковская Т.А. Показатели разницы узловых цен на оптовом рынке электроэнергии // Электричество. 2007. N 2. С.23-27).
9. **Mahnitko A., Gerhards J., Ribakovs S., Umbraško I.** Pricing questions in the electric power markets, Power and Electrical Engineering, part 4, vol.24, pp. 16-23. Riga: RTU, 2009.
10. **Bulatov B.G., Karkunov V.O.** Uproshchennaya model opredeleniya uzlovyh cen na rynke elektroenergii // Vestnik YuUrGU, № 34, 2009, seriya "Energetika", vypusk 12 (Булатов Б.Г., Каркунов В.О. Упрощенная модель определения узловых цен на рынке электроэнергии // Вестник ЮУрГУ, № 34, 2009, серия "Энергетика", выпуск 12).
11. **Balametov Ə.B., Xəlilov E.D., Səlimova A.K.** Elektrik enerjisi bazarında düyünlərdə elektrik enerjisinin qiymətlərinin modelləşdirilməsində optimallaşdırma əsaslı yanaşma. AMEA İqtisadiyyat İnstitutunun Elmi Əsərlər Toplusu. 2018, № 4, s. 17-22.

DÜYÜNLƏRDƏ ELEKTRİK ENERJİSİNİN QIYMƏTLƏRİNİN MODELLƏŞDİRİLMƏSİ METODLARI

A.B. BALAMETOV, E.D. XƏLİLOV, A.K. SƏLİMOVA, F.G. İSKƏNDƏROV

Enerji müəssisələrinin iqtisadi formalarının dəyişməsi və elektrik enerji bazarının təşkili ilə əlaqədar olaraq enerji axınlarının paylanması izlənməsi vəzifəsi ortaya çıxdı. Elektrik enerjisinin müxtəlif təchizatçılarda müxtəlif qiyməti düyünlərdə elektrik enerji qiymətlərinin təyini məsələsinin aktuallığına səbəb olur. Xətlərin yüklənməsi, stansiyaların istehlakçı yüklərində və itkilərdə payı barədə məlumat bazarın bütün iştirakçıları üçün vacibdir, belə ki, bu, şəbəkə ilə ötürmənin dəyərini və elektrik enerji itkisini təyin etməyə imkan verir. Sistem operatoru və ticarət sisteminin administratoru düyünlərdə elektrik enerjisinin qiymətlərinin riyazi modellərindən məlumat dəstəyi kimi istifadə edə bilər. Bu modellərin köməyiylə alınmış düyün qiymətləri bazarda davranış strategiyasının düzgün seçimi üçün bazar iştirakçıları tərəfindən istifadə edilmiş ola bilər. Düyünlərdə qiymətlərin komponentlərini hesablamak üçün müvafiq proqram təminatının işlənilməsi və hazırlanması tələb olunur. Düyün qiymətlərinin modelləşdirilməsinin optimallaşdırma və matris metodları təhlil edilmişdir. Düyün qiymətlərinin modelləşdirilməsi üçün MATLAB mühitində proqram şəklində realizə olunmuş alqoritmlər işlənilib hazırlanmışdır. İşlənilib hazırlanmış proqramın iş qabiliyyəti müxtəlif test sxemlərində sınaqdan keçirilmişdir. Xüsusilə, bu məqalədə Azərbaycan enerji sisteminin 7 düyünlük ekvivalent sxemi nümunəsindən istifadə edərək düyünlərdə elektrik enerjisi qiymətlərinin hesablamalarının nəticələri verilmişdir.

Açar sözlər: elektrik enerjisi, elektrik enerjisi bazarı, modelləşdirmə, alqoritm, düyünlərdə qiymətlər, matris metodu, güc axınının optimal paylanması.

SIMULATION METHODS OF NODAL ELECTRICAL ENERGY PRICES

A.B. BALAMETOV, E.D. KHALILOV, A.K. SALIMOVA, F.G. ISKENDEROV

In connection with the change in the economic forms of energy enterprises and the organization of the electric power market, the problem of power tracing appeared. The different cost of electrical energy from different suppliers leads to the urgency of the task of determining nodal prices. The information on the line loads, on the contribution of power plants to the consumer loads and losses is important for all market participants, since it allows you to determine the cost of transmission over the network and energy losses. The system operator, the administrator of the trading system can use mathematical models of nodal prices as information support. The nodal prices obtained using these models can be used by market participants to select the right market behavior strategy. To calculate the components of nodal prices, the development of appropriate software is required. Optimization and matrix methods for modeling nodal prices are analyzed. Algorithms have been developed for modeling nodal prices, which are implemented as programs in the MATLAB environment. The performance of the developed programs was tested on various test circuits. In particular, this article presents the results of nodal price calculations using the example of the 7-nodal equivalent circuit of the Azerbaijan power system.

Key words: electrical energy, power market, modeling, algorithm, nodal prices, matrix method, optimal power flow.

Поступило в редакцию: 26.10.2019
После доработки: 13.06.2020
Принято к публикации: 18.06.2020

UOT: 644.02.54

ALİ TƏHSİL MÜƏSSISƏSİNDƏ TEXNOPARKIN ÇEVİK İDARƏETMƏ SİSTEMİNİN LAYİHƏLƏNDİRİLMƏSİ ÜÇÜN MODELLEŞDİRMƏ ALƏTLƏRİNİN İŞLƏNMƏSİ

G.Q. GƏNCƏLİYEVƏ¹

Qərbi Avropa, ABŞ və s. ölkələrin yüksək iqtisadi inkişafını təmin edən texnoparkların təhlili əsasında onların idarəetmə prinsiplərinin Azərbaycan Respublikasının ali təhsil müəssisələrinin texnoparklarında tətbiqi əsaslandırılmışdır. Ali təhsil müəssisəsində texnoparkın işçi bölmələrinin çevik idarəetmə sisteminin işlənməsi üçün avtomatlaşdırılmış layihələndirmə alətlərinin analizi əsasında texnoparkın çevik idarəetmə sisteminin modelləşdirilməsinin ümumi quruluşu təklif edilmişdir.

Texnoparkın çevik idarəetmə sisteminin modelləşdirilməsi üçün riyazi təminatın üsulları təhlil edilərək, onun quruluş sxemi əsasında struktur təhlil modeli qurulmuşdur.

Açar sözlər: texnopark, idarəetmə sistemi, struktur təhlil, avtomatlaşdırılmış layihələndirmə sistemi.

Giriş. Azərbaycan Respublikasının iqtisadiyyatını inkişaf etmiş Qərbi Avropa, ABŞ və s. ölkələrin iqtisadi səviyyəsinə çatdırmaq üçün əsas prinsiplərdən biri elmin, təhsilin və sənayenin sıx qarşılıqlı əlaqələrini yaratmaq və sistemli şəkildə inkişaf etdirməkdir. Əksər inkişaf etmiş ölkələrin yüksək iqtisadi durumunun və texnoloji potensialının göstəricilərindən biri texnoloji parklardır [1]. Məlum olduğu kimi elm, tədris və sənayenin inteqrasiyası əsasında təşkil olunan texnoparklar [2] mürəkkəb quruluşlu, çox əlaqəli, çevik fəaliyyət göstərən, müxtəlif çeşidli innovativ məhsulları istehsal edən, iqtisadi və texnoloji idarəetmə prinsipləri ilə işləyən korporasiya hesab olunur. Texnoparkların elm, tədris və sənaye bölmələrinin səmərəli qarşılıqlı əlaqələrini təmin etmək üçün çevik idarəetmə sisteminin, onun avtomatlaşdırma sxeminin və idarəetmə prosesinin planlaşdırılması, modelləşdirilməsi və kompüter eksperimentləri ilə tədqiq edilməsi vacib elmi məsələlərdən biri hesab olunur.

Bu mənada, məqalədə baxılan məsələ ali təhsil müəssisəsində fəaliyyət göstərən texnoparkın elm, tədris və sənaye işçi bölmələrinin çevik idarəetmə sisteminin layihələndirilməsi üçün modelləşdirilmə alətinin işlənməsinə həsr edilib.

Ali təhsil müəssisəsində texnoparkın işçi bölmələrinin çevik idarəetmə sisteminin layihələndirilməsinin təminat vasitələrinin təşkili məsələsi. Ali təhsil müəssisəsində tətbiq olunan texnoparkın tədris-təlim, elmi-tədqiqat və istehsal sahəsinin fəaliyyətini təmin etmək üçün çevik

¹ Sumqayıt Dövlət Universiteti
E-mail: genceliyeva_1976@mail.ru

idarəetmə sisteminin (ÇİS) eskiz və işçi layihələndirmə mərhələlərində seçilən texniki vasitələrinin, operativ əlaqə vasitələrinin, köməkçi və servis avadanlıqlarının, montaj və kabel materiallarının, informasiya-idarəetmə kompleksinin, lokal və qlobal şəbəkə vasitələrinin alqoritmik və riyazi üsullarla iqtisadi, etibarlılıq və məhsuldarlıq göstəricilərinin əsaslandırılması əməliyyatları yerinə yetirilir [3]. Bu mərhələdə texnoparkın tədris-təlim, elmi-tədqiqat və istehsalatın operator və dispetçer modullarının komponovkası və qarşılıqlı əlaqə kanallarının quraşdırılması işləri aparılır. ÇİS-in vericilərinin, icra mexanizmlərinin, tənzimləyici qurğularının, proqramlaşdırılan məntiqi kontrollerlərin və mikroprosessor sisteminin seçilməsi və texnoparkın aktiv elementlərində yerləşdirilməsi, lokal və qlobal şəbəkə ilə əlaqələndirilməsi, informasiyanın ötürülməsi, toplanılması və emal edilməsi məsələləri nəzərdən keçirilir [4].

Sistemotexniki layihələndirmə mərhələsində texnoparkın tədris-təlim, elmi-tədqiqat və istehsalatın ÇİS-nin avtomatlaşdırma sxeminin etibarlı işinin və onun istismar müddətində təhlükəsizliyinin təmin olunması məsələlərinə xüsusi yer ayrılır. Bu mərhələdə qrafik sənədlərin siyahısına 2-ölçülü koordinat sistemində avtomatlaşdırma sxeminin konstruktor layihəsi, məlumatların toplanılması, ötürülməsi, emal edilməsinin funksional və quruluş sxemləri daxil edilir. Tətbiq olunan avtomatlaşdırılmış quruluş və funksional sxemlər informasiya-idarəedici kompleksin hesablama texnikasından, periferik və şəbəkə vasitələrindən formalaşır [5].

Texnoparkın bölmələrinin idarəetmə və nəzarət sisteminin avtomatlaşdırılmış layihələndirilməsinin riyazi təminatının altsistemi riyazi üsullardan və modellərdən formalaşır. Optimalaşdırma üsulları idarəetmə sisteminin etibarlılığını və çevikliyini tədqiq etməyə, elementlərini dəqiq seçməyə imkan verir. Matris, inteqrallama və differensial hesablanması üsulları ilə texniki nəzarət, icra qurğularının kinematik, dinamik tədqiqatların aparılmasına imkan verir. Alınan nəticələri yoxlamaq üçün maşın eksperimentləri aparılır [6].

Texnoparkın bölmələrinin idarəetmə və nəzarət sisteminin avtomatlaşdırılmış layihələndirməsinin informasiya təminatı verilənlər, biliklər bazasının idarəetmə sistemləri və onların alətləri hesab olunan verilənlər və biliklər bazası, informasiya-axtarış altsistemi əsasında formalaşır [7]. VBİS-in standart proqram aləti ilə təmin olunan informasiya təyinatlı altsistemində alqoritmik və riyazi məsələlərin həlli nəticəsində ədədi, məntiqi, mətn və qrafik tipli verilənlər daxil edilir. Cədvəl və sorğular proqram sahələrindən ibarət VBİS sistemində verilənlər bazası relyasion cədvəl üsulu ilə işlənir. Axtarış əməliyyatı sorğu blokunda açar ifadəsinin daxil edilməsi nəticəsində həyata keçirilir. Açar məlumatı ədədi (texnoloji əməliyyatlarının yerinə yetirilməsinin dövrü qiymətini əks etdirir t_{ij}^i), mətn (əməliyyat növünü) və məntiqi (produksiya əməlləri) şəkildə kombinasiyalı ifadə ilə daxil edilir. Nəticədə verilənlər bazasından seçilən idarəetmə sisteminin əməliyyatları sorğu ifadəsinin qiymətlərinə uyğun cədvəl şəklinə əks olunur.

Texnoparkın bölmələrinin ÇİS-nin avtomatlaşdırılmış layihələndirməsinin proqram təminatı aşağıdakı altsistem sahələrini özündə əks etdirir [8]:

1. İdarəetmə alqoritmlərinin proqram modulu.
2. Texnoparkın bölmələrinin idarəetmə və nəzarət elementlərinin verilənlər bazasının və informasiya-axtarış proqramı modulları.
3. Riyazi və alqoritmik üsullarla yaradılan modelləri realizə edən proqram modulları.
4. Animasiya və virtual kompüter tədqiqatı modellərini realizə edən proqram modulları.
5. Texnoparkın bölmələrinin idarəetmə və nəzarət sisteminin lokal və qlobal şəbəkə ilə bağlantısını təmin edən proqram modulları.

6. Avtomatlaşdırılmış layihələndirmə sisteminin ümumi arxitekturası ilə mübadiləsinə təmin edən interfeys proqram modulu.

7. Texnoparkın bölmələrinin ÇİS-nin təhlükəsizliyini, emal edilməsini, arxivləşdirilməsini, defraqmentasiyasını, formatlaşdırılmasını, dispetçer edilməsini, sazlanmasını və digər xüsusi proqram alətlərilə qarşılıqlı əlaqəsini təmin edən əməliyyat sistemi.

Texnoparkın komponovka və funksional sxemlərinə əsaslanaraq bu müəssisənin ÇİS-nin modelləşdirilməsini təmin edən alətin işlənməsi tələb olunur. Bununla əlaqədar olaraq, aşağıdakı məsələlərin həlli tələb olunur:

1. Texnoparkın ÇİS-nin modelləşdirilməsi alətinin ümumi quruluşunun yaradılması;
2. Texnoparkın ÇİS-nin informasiya, funksional qarşılıqlı əlaqələrin təyin edilməsi üçün altsistemlər səviyyəsində onun ümumi avtomatlaşdırma sxeminin struktur modelləşdirilməsi;
3. Texnoparkın ÇİS-nin funksional-texnoloji planlaşdırılması üçün alqoritm işlənməsi.

Yuxarıda göstərilən məsələlərin həlli üçün ilkin mərhələdə texnoparkın işçi bölmələrindən olan, ÇİS-nin modelləşdirilməsi alətinin ümumi quruluşu təklif edilir (şək. 1).

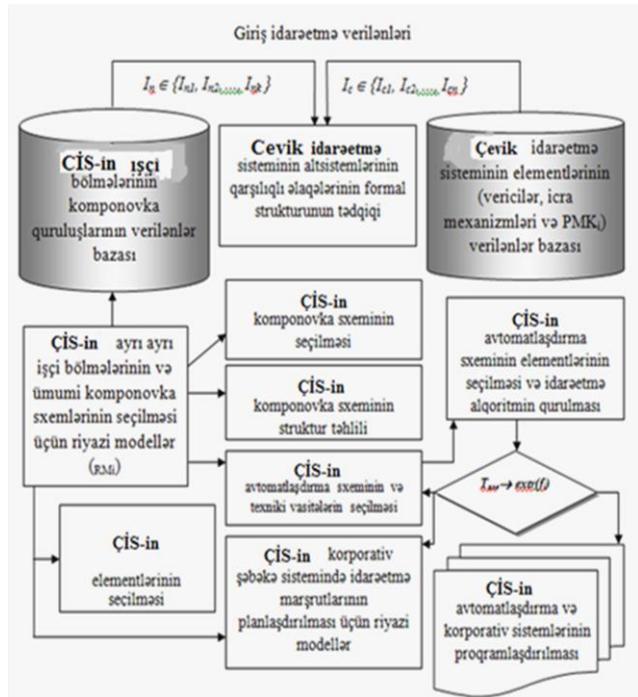
Altsistemlər səviyyəsində qurulan texnoparkın ÇİS-nin modelləşdirilməsi alətinin ümumi quruluşu riyazi, informasiya, alqoritmik və nəticə kimi proqram təminat vasitələrindən formalaşır.

Texnoparkın işçi bölmələrinin idarəetmə sisteminin modelləşdirilməsi alətinin riyazi təminatı. Texnoparkın işçi bölməsinin ÇİS-inin modelləşdirilməsi üçün riyazi təminat aşağıdakı riyazi modellərdən formalaşır [9]:

- ÇİS-in ayrı ayrı komponovka və ümumi komponovka sxemlərinin struktur, funksional təhlil modelləri;
- ÇİS-in mexaniki dəzgahlarının, avtomatik nəqliyyat xəttinin, manipulyator və sənaye robotlarının kinematik təhlil, animasiya tədqiqi modelləri;
- ÇİS-in avtomatlaşdırılmış iş yerləri və çevik istehsalat sahələri arasında lokal kompüter şəbəkəsinin IP-ünvanlaşmasının səmərəli marşrutlarının seçilməsi və tədqiqi modelləri;
- ÇİS-in aktiv elementlərinin və onların komponovka sxeminin seçilməsi modelləri.

Texnoparkın işçi bölmələrinin ÇİS-nin modelləşdirilməsi alətinin alqoritmik təminatı aşağıdakı məntiqi modellərdən formalaşır: texnoparkın elmi-tədqiqat sahələrinin işlərinin planlaşdırılması alqoritm; çevik istehsalat sahələrinin texnoloji əməliyyatlarının planlaşdırılması alqoritm; çevik istehsalat sahələrinin avtomatlaşdırma sxeminin idarəetmə alqoritm; texnoparkın ÇİS-nin avtomatlaşdırma sxeminin qraf nəzəriyyəsi ilə tədqiq alqoritm.

Texnoparkın ÇİS-nin struktur bölmələrinin səmərəli və etibarlı idarəetmə prosesinin qurulması üçün istifadə olunan riyazi və alqoritmik təminat vasitələri aşağıdakı tələbatları ödəməlidir: idarəetmə elementlərinin, onlar arasında və xarici mühitlə informasiya qarşılıqlı



Şək. 1. Texnoparkın ÇİS-nin modelləşdirilməsi alətinin ümumi quruluşu

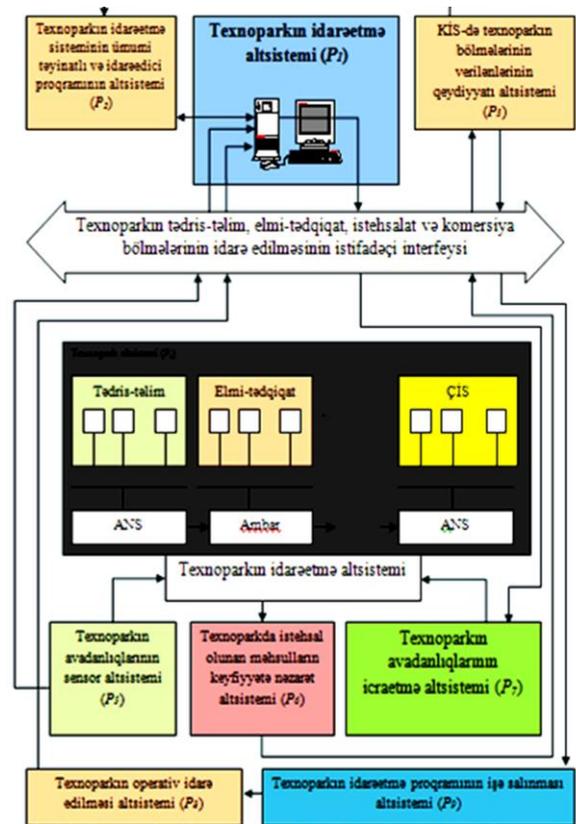
əlaqələrin çoxluğunun olması; aktiv elementlərin istehsalat dövrünün zaman keçidləri ilə əlaqədar olaraq idarəetmə sisteminin sürətli olması; innovativ məhsulun istehsalından asılı olaraq, mexaniki dəzgahların, avtomatik nəqliyyat, sənaye robotları və manipulyatorların idarəetmə sisteminin çeviklik prinsipi ilə işləməsi.

Qurulan riyazi və alqoritmik modellərdən aşağıdakı proqram modulları formalaşır [10]: texnoloji parkın tədris təlim, elmi-tədqiqat və çevik istehsal sahələrinin korporativ informasiya, idarəetmə sisteminin proqram modulları; texnoloji parkın tədris-təlim, elmi-tədqiqat və çevik istehsal sahələrinin avtomatlaşdırılmış iş yerlərinin seçilən marşrutları ilə UniFi sistemi əsasında kabelsiz lokal kompüter şəbəkəsinin proqram təminatı; çevik istehsal sahələrinin mexaniki dəzgahlarının, avtomatik nəqliyyat xəttinin, manipulyator və sənaye robotlarının seçilməsi üçün proqram təminatı; innovativ layihələrin konstruktor və texnoloji layihələndirilməsinin avtomatlaşdırılmasını təmin edən proqram modulları; layihələrin statik, dinamik, kinematik, struktur, komponovka və funksional xarakteristikalarının təyin edilməsini təmin edən proqram modulları; konstruktor layihələrinin iki və üçölçülü animasiyasını təmin edən proqram modulları; layihələndirmə prosesinin avtomatlaşdırılmasını təmin edən kompleks interfeysin proqram modulu.

SDU-nun bazasında texnoloji parkın işçi bölmələrinin ÇİS-nin struktur təhlil modelinin işlənməsi. SDU-nun texnoloji parkının tədris-təlim, elmi-tədqiqat, çevik istehsalat və kommersiya bölmələri arasında funksional qarşılıqlı əlaqələri tədqiq etmək üçün ilkin mərhələdə texnoparkın idarəetmə sisteminin quruluş sxemi qurulur (Şək. 2).

Texnoparkın işçi bölmələrinin ÇİS-nin altsistemləri aşağıdakı çoxluqla müəyyən edilir: $P \in \{ P_1, P_2, \dots, P_n \}$, burada P_i – texnoparkın idarəetmə sistemidir, aşağıdakı altsistemlərə ayrılır: P_1 – texnoparkın idarəetmə altsistemi; P_2 – ümumitəyinatlı və idarəedici proqramın altsistemi; P_3 – texnoparkın bölmələrinin verilənlərinin qeydiyyatı altsistemi; P_4 – texnopark altsistemi; P_5 – texnoparkın avadanlıqlarının sensor altsistemi; P_6 – texnoparkda istehsal olunan məhsulların keyfiyyətə nəzarət altsistemi; P_7 – texnoparkın avadanlıqlarının icraetmə altsistemi; P_8 – texnoparkın operativ idarə edilməsi altsistemi; P_9 – texnoparkın idarəetmə proqramının işə salınması altsistemi.

Texnoparkın idarəetmə sisteminin altsistemləri arasında informasiya-funksional əlaqələri nəzərə alaraq, matris hesablamə üsulu ilə sistemin miqdar xarakteristikalarını təyin etməyə imkan verən münasibətlər matrisini quraq [11, 12]. Matrisin sətirlərində giriş əlaqələrin qiymətləri, sütunlarda isə çıxış əlaqələrin qiymətləri daxil edilir. Əgər əlaqə varsa, onda matrisin xanasının



Şək. 2. Texnoparkın işçi bölmələrinin idarəetmə sisteminin quruluş sxemi

$$\|c_{ij}\|_1^{13} =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
P_1													
P_2													
P_3													
P_4													
P_5													
P_6 (9)													
P_7													
P_8													
P_9													
P_{10}													
P_{11}													
P_{12}													
P_{13}													

Beləliklə, (2) ilkin matrisinin çevirmə prosesi sona çatır, çünki qurulan $\|c_{ij}\|_1^{13}$ matrisi $a_{ij} = 1$ matrisinə uyğun $c_{ij} = 0$ çəkisinə malikdir.

Nəticə. Ali təhsil müəssisəsində texnoparkın işçi bölmələrinin çevik idarəetmə sisteminin layihələndirməsinin təminat vasitələrinin təşkili üçün ayrı-ayrı alətləri təhlil edilərək, onların istifadəsi əsaslandırılmışdır.

Texnoparkın çevik idarəetmə sisteminin modelləşdirilməsi alətinin ümumi quruluşu təklif edilmişdir.

Texnoparkın çevik idarəetmə sisteminin quruluş sxemi əsasında onun struktur təhlil modeli qurulmuşdur.

REFERENCES

1. **Kostyunina G.M., Baronov V.I.** Tekhnoparki v zarubezhnoj i rossijskoj praktike // Vestnik MGIMO-universiteta. 2012. № 3. S. 91-99. (Костюнина Г.М., Баронов В.И. Технопарки в зарубежной и российской практике // Вестник МГИМО-университета. 2012. № 3. С. 91-99).
2. **Kotelnikov N.V., Nagaeva A.V.** Analiz i perspektivy razvitiya tekhnoparka kak obyektu innovacionnoj infrastruktury // Izvestiya TPU, 2014, №6, s. 126-130. (Котельников Н.В., Нагаева А.В. Анализ и перспективы развития технопарка как объекта инновационной инфраструктуры // Известия ТПУ, 2014, №6, с. 126-130).
3. **Lyashenko E.A., Pavlovskaya A.V.** Zarubezhnyj opyt razvitiya tekhnoparkov // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya "Upravlenie innovatsiyami". RAN. Institut problem upravleniya im. V.A.Trapeznikova RAN. 14-16 noyabrya 2011 g., s. 261- 270. (Ляшенко Е.А., Павловская А.В. Зарубежный опыт развития технопарков // Международная научно-практическая конференция "Управление инновациями". РАН. Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН. 14-16 ноября 2011 г., с. 261- 270).
4. **Aliyev A.G., Shahverdiyeva R.O.** The theoretical framework for the management of innovation structures in high-tech / Application of Information and Communication Technologies (AICT), 5th International Conference, 12- 14 October 2011, Baku, Azerbaijan, pp. 65-68.
5. **Malyuh V.N.** Vvedenie v sovremennyye SAPR: Kurs lekcij. – M.: DMK Press, 2010. – 192 s. (Малюх В.Н. Введение в современные САПР: Курс лекций. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 192 с.).
6. **Norenkov I. P.** Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya: ucheb. dlya vuzov. – 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Izd-vo MGTU im. N. E. Baumana, 2009. – 430 s. (Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 430 с.).
7. **Əhmədov M.A., Məmmədov C.F., Hüseynov A.H.** Avtomatlaşdırılmış layihələndirmə sistemlərinin təminatlar arxitekturası. Dərs vəsaiti. Sumqayıt: 2005, 425 s.

8. **Ələkbərli F.H., Ağayev U.X., Salmanov M.S.** İdarəetmə sistemlərinin layihələndirilməsinin avtomatlaşdırılması. Dərs vəsaiti. Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyinin 29.05.2014 tarixli 659 sayılı əmri ilə dərs vəsaiti kimi təsdiq edilmişdir. 2014, 110 s.
 9. **Əhmədov M.A., Hüseynov A.H. Məmmədov C.F.** Avtomatlaşdırılmış layihələndirmə sistemlərinin əsasları. Dərs vəsaiti. Sumqayıt, 2003, 242 s.
 10. **Mamedov D.F., Abdullaev G.S., Genzhelieva G.G., Nasirova E.A.** Avtomatizasiya etapov proektirovaniya komponovochnoj skhemy proizvodstvennoj linii dlya texnoparka. Kiev: Sistemnye issledovaniya i informacionnye tekhnologii, 2018, №3, s. 23-29. (Мамедов Д.Ф., Абдуллаев Г.С., Генжелиева Г.Г., Насирова Э.А. Автоматизация этапов проектирования компоновочной схемы производственной линии для технопарка. Киев: Системные исследования и информационные технологии, 2018, №3, с. 23-29).
 11. **Balayev V.A., Rüstəmov Q.Ə., Ağakışiyev B.H.** İdarəetmə obyektlərinin identifikasiyası və modelləşdirilməsi. Dərs vəsaiti. Bakı: 2011, 91 s.
 12. **Mamedov D.F., Abdullaev G.S., Genzhelieva G.G., Nasirova E.A.** Avtomatizasiya etapov proektirovaniya komponovochnoj skhemy proizvodstvennoj linii dlya texnoparka. Kiev: Sistemnye issledovaniya i informacionnye tekhnologii, 2018, №3, s. 23-29. (Мамедов Д.Ф., Абдуллаев Г.С., Генжелиева Г.Г., Насирова Э.А. Автоматизация этапов проектирования компоновочной схемы производственной линии для технопарка. Киев: Системные исследования и информационные технологии, 2018, №3, с. 23-29).
-

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНСТРУМЕНТАРИЯ СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТДЕЛОВ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОПАРКА

Г.Г. ГЕНДЖАЛИЕВА

На основе анализа технопарков, обеспечивающих высокое экономическое развитие стран Западной Европы, США и др. обосновано применение принципов управления технопарков в вузах Азербайджана. Для разработки системы управления рабочих структур технопарка в вузах на основе анализа инструментария автоматизированного проектирования предложена общая структура моделирования гибкой системы управления Технопарка.

Для моделирования гибкой системы управления Технопарка был проведен анализ методов математического обеспечения, что позволило на основе ее структуры построить математическую модель структурного анализа гибкой системы управления Технопарка.

Ключевые слова: технопарк, система управления, структурный анализ, система автоматизированного проектирования.

ORGANIZATION SYSTEM TECHNICAL DESIGN TOOLS FOR TECHNOPARK AREAS MANAGEMENT

G.Q. GANJALIYEVA

On the basic of technopark analysis supporting high economical development of countries in Western Eropian, USA and others, application of technoparks management principals at HEI was defined. For development of management system of technopark working areas at HEI on the basic of computing design tools analysis, common structure of modelling flexible management system of technopark was proffered.

For modelling flexible management system of technopark, analysis of mathematical methods was made what allowed by means of its structure, a mathematical model of structural analysis of flexible management system of technopark would worked out.

Key words: technopark, control system, structural analysis, computer aided design.

<i>Redaksiyaya daxil olub:</i>	21.11.2019
<i>Tamamlama işlərindən sonra:</i>	05.06.2020
<i>Nəsrə qəbul edilib:</i>	15.06.2020

UOT 614.8.06**İSTİSMAR PARAMETRLƏRİ FASILƏSİZ TƏSADÜFİ KƏMİYYƏTLƏR OLAN
QƏZA-XİLASETMƏ AVADANLIQLARININ ETİBARLILIĞI**H.V. QAFARZADƏ¹, A.M. QAFAROV², B.H. SALAYEV²

Məqalədə istismar parametrləri fasiləsiz təsadüfi kəmiyyətlər olan qəza-xilasetmə cihazı, maşın və avadanlıqlarının etibarlılığının təyin edilməsinin riyazi statistik metodları analiz edilir. Alınan nəticələr tətbiq sahələrinə görə ümumiləşdirilir.

Qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarının etibarlılığının qiymətləndirilməsinə ehtimal nəzəriyyəsi nöqtəyi-nəzərindən yanaşma, onların ayrı-ayrı elementlərinin birləşmələrinin mürəkkəb strukturunu xarakterizə etsə də, elementlərin mexaniki, fiziki-kimyəvi xassələrinə toxunmur, xarici və daxili faktorların təsiri nəticəsində baş verən imtinaları, elementlərin qarşılıqlı əlaqəsini və proseslərin fiziki mahiyyətini nəzərə almır. Bu məsələlər, etibarlılığın fiziki nəzəriyyəsində – imtinaların fizikasında daha geniş izah olunur və texniki obyektlərin etibarlılığına təsir edən fiziki proseslərin determinləşdirilmiş, yaxud funksional qanunauyğunluqlarının aydınlaşdırılmasında istifadə edilir.

Açar sözlər: cihaz, maşın, avadanlıq, qəza, xilasetmə, imtina, kəmiyyət, fasiləsiz, etibarlılıq, qiymətləndirmə.

Giriş. Texniki obyektlərin, o cümlədən qəza-xilasetmə avadanlıqlarının etibarlılığının qiymətləndirilməsi üçün metodologiya kimi bir qayda olaraq etibarlılıq nəzəriyyəsinin və riyazi statistikanın müddəaları əsas götürülür. Qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarının etibarlılığı iki göstərici ilə, onların işlək və imtina vəziyyətləri ilə müəyyənləşdirilirlər. Etibarlılıq göstəriciləri təsadüfi kəmiyyətlərin funksiyasının mahiyyətini, etibarlılıq modelləri isə, onların paylanması ehtimalını xarakterizə edirlər.

Qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarının etibarlılığının qiymətləndirilməsinə ehtimal nəzəriyyəsi nöqtəyi-nəzərindən yanaşma, onların ayrı-ayrı elementlərinin birləşmələrinin mürəkkəb strukturunu xarakterizə etsə də, elementlərin mexaniki, fiziki-kimyəvi xassələrinə toxunmur, xarici və daxili faktorların təsiri nəticəsində baş verən imtinaları, elementlərin qarşılıqlı əlaqəsini və proseslərin fiziki mahiyyətini nəzərə almır. Bu məsələlər, etibarlılığın fiziki nəzəriyyəsində – imtinaların fizikasında daha geniş izah olunur və texniki obyektlərin etibarlılığına təsir edən fiziki

¹ Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye universiteti

² Azərbaycan Respublikası Fövqəladə Hallar Nazirliyinin Akademiyası
E-mail: aydin.qafarov@hotmail.com

proseslərin determinləşdirilmiş, yaxud funksional qanunauyğunluqlarının aydınlaşdırılmasında istifadə edilir.

Məlum olduğu kimi, maşın və mexanizmlər, o cümlədən qəza-xilasetmə maşın və avadanlıqları istismar edildikcə, onların etibarlılığını xarakterizə edən parametrlər dəyişirlər və onların hər biri təsadüfi kəmiyyətlər kimi xarakterizə oluna bilirlər.

Əgər təsadüfi kəmiyyətlər sonlu və hesablanıla bilən çoxlu sayda qiymətlər ala bilirlərsə, diskret, qapalı və açıq intervalda istənilən qiymətlər alırlarsa, fasiləsiz kəmiyyətlər adlandırılırlar.

Diskret təsadüfi kəmiyyətlər üçün daha çox Binomal, Puasson, Paskal, Həndəsi, Hiperhəndəsi paylanmalar, fasiləsiz təsadüfi kəmiyyətlər üçün isə Bərabər, Eksponensial, Normal, Kəsik normal, Loqorifmik normal, Veybull, Qamma və s. paylanmalar tətbiq edilir.

Aparılan tədqiqatların nəticələri göstərir ki, qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarının etibarlılıq parametrlərinin göstəriciləri üçün daha çox fasiləsiz təsadüfi kəmiyyətlər xarakterikdir [1–5]. Fasiləsiz dəyişən təsadüfi kəmiyyətlərdən qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqların detallarının elementlərinin elastiki və plastiki deformasiyasının, materiallarında baş verən struktur və mexaniki xassələrinin dəyişməsinin, səthlərinin ilkin dəqiqlik və keyfiyyət göstəricilərinin müəyyən dövr istismardan sonra itirilməsinin, yeyilmə səbəbindən, kontakt səthlərində əlaqə şəraitinin dəyişməsinin və onlarla digər faktorların qiymətləndirilməsində geniş istifadə etmək olar.

İşin məqsədi istismar parametrləri fasiləsiz təsadüfi kəmiyyətlər olan qəza-xilasetmə avadanlıqlarının etibarlılığının qiymətləndirilməsində riyazi statistika qanunlarının tətbiqinin mümkünlüyünü proqnozlaşdırmaqdır. Məsələnin qoyuluşunda qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarının, onların tərkib hissələrinin və elementlərinin etibarlılığının qiymətləndirilməsində fasiləsiz təsadüfi kəmiyyətlər kimi iştirak edən parametrlərin paylanmasını xarakterizə edən bir sıra riyazi statistika qanunlarından istifadə edilə bilər. Məqalədə bu qanunların bəzilərinin bu məqsədlə tətbiq edilməsinin mümkünlüyünə və məqsədyönlülüyünə baxılır.

Məsələnin həlli. Tutaq ki, qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarında geniş istifadə olunan kompressorların porşen-silindr cütələrinin etibarlılığına bir əsas faktor kimi onların məsul detallarının silindrinin və porşenin yeyilməsi təsir edir. Bu halda silindrlərin və porşenlərin həqiqi ölçülərinin paylanması bərabərölçülü ehtimal qanununa tabe olacaqdır. Belə ki, kompressorlar işlədikcə onların silindrinin həqiqi ölçüləri tədricən artır, porşenlərin ölçüləri isə azalır. Belə ölçü dəyişmələri düz xətt qanununa tabe olur və bərabərölçülü paylanma qanunu ilə ifadə edilə bilər.

Bərabərölçülü paylanma qanunu aşağıdakı paylanma funksiyası $F(x)$ və paylanma sıxlığı $f(x)$ ilə təyin edilir:

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

Bərabərölçülü paylanmanın əsas xassələri

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

şəklində yazılır.

Etibarlılıq bərabərölçülü paylanma sistemlərin və elementlərin parametrlərini xarakterizə edir (məsələn, kompressorların silindr-porşen cütünün detallarının səthlərinin yeyilməsi nəticəsində ölçülərinin dəyişməsi) və bu parametrlər məlum (a, b) intervalında istənilən təsadüfi qiymət ala bilirlər.

İmtinaların daimi intensivliyi $\lambda = const$ və orta işləmə müddəti $t = \frac{1}{\lambda}$ olduqda, qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqların birinci imtinaya qədər və yaxud imtinalar arasındakı xassələrini eksponensial paylanma qanunu ilə ifadə etmək olar.

Eksponensial paylanma $F(x)$ inteqral funksiyası ilə və $f(x)$ paylanma sıxlığı ilə ifadə edilir.

$$F(x) = 1 - \exp(-\lambda x), f(x) = \lambda \exp(-\lambda x), x \geq 0. \quad (3)$$

Burada λ – paylanmanın parametri, yəni imtinaların intensivliyidir.

Eksponensial paylanmanın əsas xassələri aşağıdakı düsturlarla yazılır

$$M(x) = \frac{1}{\lambda}, D(x) = \frac{1}{\lambda^2}, \nu = 1 \quad (4)$$

Eksponensial paylanmanın əsas üstünlüyü, onun sadəliyi və bəzi məsələlərin analitik həllinin mümkünlüyünü təmin etməsidir.

Eksponensial paylanmaya Veybull və Qamma paylanmalarının xüsusi halı kimi də baxmaq olar.

Qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqları çoxsaylı olmaqla bərabər, müxtəlif təyinatlıdırlar. Onlar tətbiq sahələrinə və istismar xüsusiyyətlərinə görə də ciddi şəkildə fərqlənirlər. Çox halda qəza-xilasetmə əməliyyatlarının yerinə yetirilməsində ayrı-ayrı cihaz və avadanlıqlardan deyil, onlarla müxtəlif növ cihaz, maşın, mexanizm və avadanlıqlardan ibarət texniki sistemlərdən və komplekslərdən istifadə edilir.

Qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarının hər birinin ayrı ayrılıqda və çoxsaylı cihaz, mexanizm, avadanlıqlar və maşınlardan ibarət olan texniki sistemlərin etibarlılığının kompleks şəkildə qiymətləndirilməsi çox mürəkkəb və genişmiqyaslı tədqiqat işlərinin aparılmasını tələb edir. Bu baxımdan etibarlılıq məsələlərinin həll edilməsi iki mərhələdə aparılmalıdır. Birinci mərhələdə tədqiqat işləri ayrı-ayrı cihaz, mexanizm, avadanlıq və maşın üçün ayrı-ayrılıqda, ikinci mərhələdə, birinci mərhələdə aparılmış tədqiqatların nəticələrini ümumiləşdirdikdən sonra, mürəkkəb texniki sistemlər və komplekslər üçün aparılmalıdır.

Əgər qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarının hər birinin ayrı-ayrılıqda etibarlılığı (imtinaları) çoxlu sayda faktorlardan asılıdırsa (məsələn, qəza-xilasetmə avadanlıqlarında istifadə edilən diyircəkli yastıqlardan, dişli çarxlardan, vallardan, ötürmə mexanizmlərinin kinematik xüsusiyyətlərindən, yiv birləşmələrinin kipliyindən, porşen və silindr cütünün detallarının yeyilməsindən və onlarla başqa səbəblərdən), onda normal paylanmadan – Qaus paylanmasından istifadə etmək daha məqsədə uyğundur.

Normal paylanma qanunu, təsadüfi kəmiyyətlərin müxtəlif paylanmaları üçün (məsələn, puasson, binomal, qamma paylanma və s.) son hədd kimi qəbul edilə bilər [1–5].

Normal paylanma aşağıdakı inteqral funksiya $F(x)$ və paylanma sıxlığı $f(x)$ ilə verilir.

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx, f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (5)$$

burada $-\infty < x < \infty$.

Normal paylanmanın əsas xassələri aşağıdakılardır:

$$M(x) = \mu, D(x) = \sigma^2, \nu = \frac{\sigma}{\mu}. \quad (6)$$

Əgər qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarının etibarlılıq parametrlərini xarakterizə edən təsadüfi kəmiyyətlər yalnız müsbət qiymətlər verilən intervalı nəzərdə tuturlarsa, onda kəsik

normal paylanmadan istifadə edilir [1, 6, 7, 8]. Bu paylanma, variasiya əmsalının $v = \frac{\sigma}{\mu}$ böyük qiymətlərində etibarlılığın dəqiqliyinə müəyyən düzəlişlər edildikdə (məsələn, qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarının yüksək sürətli hərəkət mexanizmlərinin vallarının və diyircəkli yastıqlarının radial vurmalarının qiymətinin təyin edilməsində) istifadə edilir.

Kəsik normal paylanmada ehtimalın sıxlığının funksiyası normal paylanmadakı kimi ifadə edilsə də, ona C proporsionallıq əmsalı da əlavə edilir

$$f(x) = \frac{C}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (7)$$

Burada x_0 , $f(x)$ funksiyasının maksimumuna uyğun gələn qiyməti, yəni modadır.

C əmsalını təyin etmək üçün Laplas funksiyasının yaxud normal paylanmanın kvantillərinin cədvəllərindən istifadə etmək olar. $0 \leq x \leq \infty$ olduqda kəsik normal paylanmanın xassələri aşağıdakı kimi yazılır:

$$\bar{M}(x) = M(x) + R\sigma, \bar{D}(x) = \bar{\sigma}^2 = \sigma^2 \left[1 - R^2 - R \frac{M(x)}{\sigma}\right]. \quad (8)$$

Burada $\bar{M}(x)$, $\bar{D}(x)$ və $\bar{\sigma}$ uyğun olaraq kəsik normal paylanma üçün riyazi gözləmə, dispersiya və orta kvadratik sapmadır,

$$R = \frac{C}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{M^2(x)}{2\sigma^2}\right]. \quad (9)$$

Kəsik normal paylanma üçün inteqral funksiya

$$F(x) = C \left[\frac{1}{2} + \phi\left(\frac{x-x_0}{\sigma}\right) \right] \quad (10)$$

şəklində yazılır.

Kəsik normal paylanma əsasən $a = 0$ və $b = \infty$ hədləri daxilində istifadə edilir və $\phi(\infty) = 0,5$, $\phi(-z) = \phi(z)$ qəbul edilir.

Qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarının detallarının səthləri kotostrofik yeyilmə sərhəddinə və materialları yorulma həddinə yaxınlaşdıqda, kontakt səthlərinin deformasiyası nəticəsində ötürmələrin səlisliyi və qapalı birləşmələrin kiçikliyi qismən pozulduqda, yaxud digər oxşar səbəblərdən istismar göstəriciləri aşağı düşdükdə, onların imtinaya qədər işləmə müddətini loqorifmik normal paylanma ilə göstərmək olar.

Loqorifmik normal paylanma, adətən loqorifmik normal paylanma qanunu ilə ifadə olunan təsadüfi kəmiyyətləri xarakterizə edir [1, 9].

Loqorifmik normal paylanmanın inteqral funksiyası

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^x \frac{1}{x} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx, x > 0 \quad (11)$$

ifadəsi ilə, paylanma sıxlığı isə

$$f(x) = \frac{1}{\sigma x \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (12)$$

düsturu ilə yazılır.

Loqorifmik normal paylanmanın əsas xassələri aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$\begin{aligned} M(x) &= \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right), D(x) = \exp(2\mu + \sigma^2) [\exp(\sigma^2) - 1], \\ v &= \sqrt{\exp(\sigma^2) - 1} \end{aligned} \quad (13)$$

Loqorifmik normal paylanmanın funksiyalarını hesablamaq üçün, normal paylanmanın cədvəllərindən istifadə etmək olar [10].

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right), f(x) = \frac{1}{\sigma x} \varphi\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right) \quad (14)$$

Qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarının tədrici intensivliklə imtinalara uğrayan növlərinin etibarlılığını qiymətləndirmək üçün Veybulla paylanmasından istifadə etmək məqsədə uyğundur [1, 10–12]. Belə imtinalara qəza-xilasetmə maşınlarının və alətlərinin, robotlaşdırılmış texniki vasitələrin, axtarış-xilasetmə cihazlarının, mobil diaqnostik komplekslərin, elektrohidravlik qurğuların, hidravlik kəsicilərin və nasosların, mühəndis təminatı vasitələrinin və onlarca digər texniki vasitələrin iminalarını misal göstərmək olar.

Veybulla paylanmasının inteqral funksiyası $F(x)$ və paylanma sıxlığı $f(x)$ aşağıdakı düsturlarla verilir.

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{a}\right)^b\right], f(x) = \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{a}\right)^b\right], \quad x \geq 0. \quad (15)$$

Burada $a > 0$ və $b > 0$ miqyasın və formanın parametrləridir.

Veybulla paylanmasının əsas xüsusiyyətlərindən biri b parametrinin dəyişməsi ilə paylanmanın sıxlığının funksiyasının qrafikinin görünüşünün dəyişməsidir. Bu xassə, uyğun parametrlərin seçilməsi nəticəsində təcrübələrdə alınan qiymətlərin analitik ifadələrlə normal uzlaşmasına imkan verir [1, 12].

Veybulla paylanmasının əsas xarakteristikaları

$$M(x) = aK, D(x) = a^2(C - K^2), \nu = \sqrt{\frac{C}{K^2}} \quad (16)$$

asıllıqları ilə yazılır.

Burada

$$K = \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right), C^2 = \Gamma\left(1 + \frac{2}{b}\right) - K^2, \Gamma(z) = \int_0^{\infty} u^{z-1} \exp(-u) du \quad (17)$$

qamma funksiyasıdır.

Veybulla paylanması, $b = 1$ olduqda eksponensial paylanmanın, $b = 2$ olduqda Reley paylanmasının xüsusi hallarını özündə ehtiva edir, $b \geq 3,5$ olduqda isə normal paylanmaya yaxın olur. Bəzi hallarda Veybulla paylanması fərqli şəkildə,

$$F(x) = 1 - \exp(-\lambda x^\alpha), \quad f(x) = \alpha \lambda x^{\alpha-1} \exp(-\lambda x^\alpha) \quad (18)$$

ifadələri kimi yazılır. Burada $\alpha = b$ və $\lambda = \left(\frac{1}{a}\right)^b$ qəbul edilir.

Bərpa olunmayan qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqların (məsələn, pnevmatik və hidrodomkratlar, hidravlik silindrlər və genişləndiricilər, hidropazlar, kompressorlar, yanğın hidravlik alətləri, hidravlik sıxıcılar və s.) imtinaya qədər işləmə müddətini təyin etmək üçün qamma paylanmadan istifadə etmək mümkündür. Qamma paylanma kifayət qədər yüksək universallığı ilə fərqlənir və ondan bərpa olunmayan çoxlu sayda cihaz və avadanlıqların etibarlılığının qiymətləndirilməsində istifadə etmək olar. Qamma paylanma, $F(x)$ inteqral funksiyası və $f(x)$ paylanma sıxlığı ilə xarakterizə olunur

$$F(x) = \frac{1}{a\Gamma(b+1)} \int_0^x \left(\frac{x}{a}\right)^b \exp\left(-\frac{x}{a}\right) dx \quad (19)$$

$$f(x) = \frac{1}{a\Gamma(b+1)} \left(\frac{x}{a}\right)^b \exp\left(-\frac{x}{a}\right)$$

$a > 0$ və $b \geq -1$ parametrləri Qamma paylanmada miqyas və forma göstəricilərini xarakterizə edirlər.

Qamma paylanmanın əsas xassələri aşağıdakılardır:

$$M(x) = a(b+1), D(x) = a^2(b+1), v = \frac{1}{\sqrt{b+1}}. \quad (20)$$

$b = 0$ olduqda paylanma eksponensial, b -nin böyük qiymətlərində isə normal paylanmaya uyğundur. b -nin tam qiymətlərində qamma paylanma Erlanq paylanması adlanır.

Qamma paylanma, (19) ifadəsində verilmiş yazılışdan fərqli olaraq aşağıdakı düsturlarla da yazıla bilər [1]:

$$F(x) = \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} \exp(-\lambda x) dx, f(x) = \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} \exp(-\lambda x) \quad (21)$$

Burada $\alpha = b + 1$, $\lambda = \frac{1}{a}$.

Bir çox hallarda qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarının etibarlılıq göstəricilərini təyin edərkən, onların əsas parametrlərini ehtiva edən təsadüfi kəmiyyətlər iki və daha artıq təsadüfi kəmiyyətlərin qarışığı ilə (məsələn, hidravlik nasosların açıcı silindrlərinin, “Medved” və “Sprut” kimi hidro alətlərin, yanğınsöndürmə sistemlərinin, daxili yanma mühərriklərinin, porşenli və ştanqlı nasosların yüksək dəqiqliyə malik detallarının yeyilməsi və ya dağılması, onların səthlərinin kələ-kötürlülüyündən, qalıq gərginliyindən, mikrobərəkliyindən, forma xətalardan və s. asılı olurlar) xarakterizə olunurlar.

Məsələn, əgər $f(x_1), f_2(x_2), \dots, f_n(x_n)$ funksiyaları bir sıra təsadüfi kəmiyyətlərin ehtimallarının sıxlığının funksiyalarıdırsa və bu kəmiyyətlərin ehtimallarının cəmi P_i , vahidə bərabərdirsə ($P_1 + P_2 + \dots + P_n = 1$), onda

$$f(x) = P_1 f_1(x_1) + P_2 f_2(x_2) + \dots + P_n f_n(x_n) = \sum_{i=1}^n P_i f_i(x_i) \quad (22)$$

funksiyası, paylanmaların qarışığının sıxlığıdır [10].

Uyğun olaraq inteqral funksiya aşağıdakı kimi yazılır:

$$F(x) = P_1 F_1(x_1) + P_2 F_2(x_2) + \dots + P_n F_n(x_n) = \sum_{i=1}^n P_i F_i(x_i) \quad (23)$$

(22) ifadəsindən də aydın olur ki, paylanmaların qarışığının riyazi gözləməsi $M(x)$ aşağıdakı kimi olacaqdır

$$M(x) = P_1 M_1(x_1) + P_2 M_2(x_2) + \dots + P_n M_n(x_n) = \sum_{i=1}^n P_i M_i(x_i). \quad (24)$$

Qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarının parametrlərinin yorulma nəticəsində dəyişməsi (məsələn, hidravlik və pnevmatik alət və tərtibatların, hidravlik kəsicilərin və qayçıların, nasosların və kompressorların, mobil qəza-xilasetmə nəqliyyat avadanlıqlarının, xüsusi təyinatlı maşınların, manipulyatorların, yanğınsöndürmə hidravlik alətlərin intensiv istismarı zamanı ilkin parametrlərin yorulma meyarına görə dəyişməsi və s.) zamanı imtinaya qədər işləmənin təyin edilməsində, etibarlılıq parametrlərinin statistik modelləşdirmə üsulları ilə hesablanmasında əsas kimi ehtimal nəzə-

riyyəsinin mərkəzi hədd teoremindən istifadə etmək olar. Bu teoremə görə sərbəst təsadüfi kəmiyyətlərin istənilən ehtimalla paylanan cəmi $x = x_1 + x_2 + \dots + x_n$, verilmiş hədd daxilində normal paylanma qanuna yaxınlaşmağa çalışır. Bu halda riyazi gözləmə $n\mu$, dispersiya isə $n\sigma^2$ ya bərabər götürülür [1]:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P \left\{ a < \frac{x - n\mu}{\sigma\sqrt{n}} < b \right\} = \phi(b) - \phi(a). \quad (25)$$

Əgər qəza-xilasetmə avadanlıqlarının etibarlılıq parametrlərini xarakterizə edən təsadüfi kəmiyyətlər x və y , bir-biri ilə $y = y(x)$ münasibətindədirlərsə və $F_x(x)$ və $f(x)$ paylanma funksiyaları məlumdurlarsa, onda paylanma funksiyaları aşağıdakı kimi yazılır

$$F_y(y) = F_x[x(y)], \quad f_y(y) = f_x[x(y)] \cdot \left| \frac{dx}{dy} \right|. \quad (26)$$

Ümumi halda, əgər təsadüfi kəmiyyətlər (x_1, x_2, \dots, x_n) və (y_1, y_2, \dots, y_n) bir-biri ilə $y_i = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ münasibəti ilə əlaqələndirərsə, onda onların paylanma sıxlığı $f_x(x_1, x_2, \dots, x_n)$ və $f_y(y_1, y_2, \dots, y_n)$ aşağıdakı kimi yazılır [1]:

$$f_y(y_1, y_2, \dots, y_n) = f_x(x_1, x_2, \dots, x_n) \left| \frac{\partial(y_1, y_2, \dots, y_n)}{\partial(x_1, x_2, \dots, x_n)} \right| \quad (27)$$

Mürəkkəb $\varphi[y(x)]$ funksiyasının riyazi gözləməsi

$$M[\varphi(y)] = M\{\varphi[y(x)]\} = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi[y(x)] dF_x(x) \quad (28)$$

şəklində ifadə edilir.

Nəticə. Aparılan tədqiqatların nəticələri göstərir ki, qəza-xilasetmə cihaz, maşın və avadanlıqların etibarlılığının qiymətləndirilməsində və analizində ehtimal nəzəriyyəsinin və riyazi statistikanın metod və üsullardan uğurla istifadə etmək olar.

REFERENCES

1. **Nevezorov V.N., Sugak E.V.** Nadezhnost mashin i oborudovaniy. Ch.1. Krasnoyarsk: SGTU. 1998. - 240 s. (Невзоров В.Н., Сугак Е.В. Надежность машин и оборудования. Ч.1. Красноярск: СГТУ. 1998. - 240 с.)
2. **Ivanova V.M. i dr.** Matematicheskaya statistika. - M.: Vyssh.shkola. 1975. - 398 s. (Иванова В.М. и др. Математическая статистика. - М.: Высш.школа. 1975. - 398 с.)
3. **Ivashv-Misatov O.S.** Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika. - M.: Radio i svyaz. 1985. - 608 s. (Ивашев-Мисатов О.С. Теория вероятностей и математическая статистика. - М.: Радио и связь. 1985. - 608 с.)
4. **Sulejmanov P.G.** Povyshenie nadezhnosti mashin i oborudovaniy, ekspluatiruemyykh v ekstremalnykh usloviyakh. - Baku: Nauka, 2018. - 308 s. (Сулейманов П.Г. Повышение надежности машин и оборудования, эксплуатируемых в экстремальных условиях. - Баку: Наука, 2018. - 308 с.)
5. **Gafarov A.M., Sulejmanov P.G., Gafarov V.A.** Povyshenie nadezhnosti detalej mashin i oborudovaniy, rabotayushhikh v ekstremalnykh usloviyakh metodom raskatyvaniya // Vestnik Azerbajdzhanskoj inzhenernoj akademii. Baku. 2014. T.6. № 4. S.67-69. (Гафаров А.М., Сулейманов П.Г., Гафаров В.А. Повышение надежности деталей машин и оборудования, работающих в экстремальных условиях методом раскатывания // Вестник Азербайджанской инженерной академии. Баку. 2014. Т.6. № 4. С.67-69.)
6. **Gafarov A.M., Sulejmanov P.G., Gafarov V.A.** Analiz i metodika ocenki nadezhnosti mashin i oborudovaniy, ekspluatiruemyykh v ekstremalnykh usloviyakh // Tekhnologiya mashinostroeniya. 2014. № 7. S.42-48. (Гафаров А.М., Сулейманов П.Г., Гафаров В.А. Анализ и методика оценки надежности машин и оборудования, эксплуатируемых в экстремальных условиях // Технология машиностроения. 2014. № 7. С.42-48.)
7. **Gafarov A.M., Sulejmanov P.G., Gafarov V.A.** Prognozirovanie i statisticheskaya ocenka nadezhnosti mashin i oborudovaniy, ekspluatiruemyykh v ekstremalnykh usloviyakh // Khimicheskoe 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.)
8. **Sulejmanov P.G.** Razrabotka metodiki ocenki nadezhnosti mashin i oborudovaniy, ekspluatiruemyykh v chrezvychajnykh situaciyakh i ekstremalnykh usloviyakh // Teoreticheskaya i prikladnaya mekhanika. 2016. № 3-4. S.140-147.

- (Сулейманов П.Г. Разработка методики оценки надежности машин и оборудования, эксплуатируемых в чрезвычайных ситуациях и экстремальных условиях // Теоретическая и прикладная механика. 2016. № 3-4. С.140-147.)
9. **Sulejmanov P.G.** Tribotekhnicheskie kharakteristiki detalej mashin, ekspluatiruemyx v ekstremalnykh usloviyakh. - Baku: Nauka. 2013. - 186 s. (Сулейманов П.Г. Триботехнические характеристики деталей машин, эксплуатируемых в экстремальных условиях. - Баку: Наука. 2013. - 186 с.)
 10. **Gikhman I.I., Skorokhod A.V., Yadrenko M.I.** Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika. - Kiev: Vyssh.shkola. 1988. - 439 s. (Гихман И.И., Скороход А.В., Ядренко М.И. Теория вероятностей и математическая статистика. - Киев: Высш.школа. 1988. - 439 с.)
 11. **Babaev S.G., Kershenbaum V.Y., Gabibov I.A.** Evolyucziya kachestva tribosopryazhenij neftegazovoj tekhniki. - M.: NING, 2018. - 516 s. (Бабаев С.Г., Кершенбаум В.Я., Габиров И.А. Эволюция качества трибосопряжений нефтегазовой техники. - М.: НИИГ, 2018. - 516 с.)
 12. **Babaev S.G., Gabibov I.A., Melikov R.Kh.** Osnovy teorii nadezhnosti neftepromyslovogo oborudovaniya. - Baku. 2015. - 400 s. (Бабаев С.Г., Габиров И.А., Меликов Р.Х. Основы теории надежности нефтепромыслового оборудования. - Баку. 2015. - 400 с.)
 13. **Janahmadov A.Kh.** Neftyanaya tribologiya. - Baku: Elm. 2013. - 326 s. (Джанахмедов А.Х. Нефтяная трибология. - Баку: Элм. 2013. - 326 с.)
 14. **Janahmadov A.Kh., Javadov M.Y.** Fraktalnye podkhody v tribologii elastomerov. - Baku: Apostroff. 2016. - 496 s. (Джанахмедов А.Х., Джавадов М.Я. Фрактальные подходы в трибологии эластомеров. - Баку: Апострофф. 2016. - 496 с.)
 15. **Janahmadov A.Kh., Javadov M.Y., Panakhova N.D.** Prikladnaya mekhanika. - Baku: Apostroff. 2012. - 316 s. (Джанахмедов А.Х., Джавадов М.Я., Панахова Н.Д. Прикладная механика. - Баку: Апострофф. 2012. - 316 с.)
-

НАДЕЖНОСТЬ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ОБОРУДОВАНИЙ С НЕПРЕРЫВНЫМИ СЛУЧАЙНЫМИ ВЕЛИЧИНАМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ

Х.В. ГАФАРЗАДЕ, А.М. ГАФАРОВ, Б.Г. САЛАЕВ

В статье анализируются математико-статистические методы определения надежности аварийно-спасательных приборов, машин и оборудования, эксплуатационные параметры которых являются непрерывными случайными величинами. Полученные результаты обобщаются с учетом областей их применения.

Оценка надежности аварийно-спасательных приборов, машин и оборудования с точки зрения теории вероятностей, несмотря на сложности структуры соединений отдельных элементов, не учитывает влияния их механических и физико-химических свойств, а также воздействия внешних и внутренних факторов на отказ оборудования. Эти вопросы наиболее обстоятельно отражаются в физике отказов и используются при объяснении закономерностей физических процессов.

Ключевые слова: прибор, машин, оборудования, авария, спасение, отказ, величина, непрерывность, надежность, оценка.

RELIABILITY OF EMERGENCY RESCUE EQUIPMENT WITH CONTINUOUS RANDOM OPERATING PARAMETERS

H.V. GAFARZADE, A.M. GAFAROV, B.H. SALAYEV

The article analyzes mathematical-statistical methods of reliability of emergency rescue devices, machinery and equipment, the operational parameters of which are the continuous random quantities. The obtained results are summarized according to their application areas.

The reliability assessment of rescue machinery and equipment from the point of probability theory view, despite the connections structure complexity of separate elements, the influence of their mechanical and physico-chemical properties, impact of external and internal factors on equipment failure are not taken into account. These questions are reflected in the physics of failures and are more thoroughly used in explanation of physical processes regularity.

Key words: instrument, machinery, equipment, accident, rescue, failure, magnitude, continuity, reliability, evaluation.

<i>Redaksiyaya daxil olub:</i>	11.12.2019
<i>Tamamlama işlərindən sonra:</i>	09.06.2020
<i>Nəşrə qəbul edilib:</i>	18.06.2020

UOT: 622.276

NEFT-QAZ YATAQLARININ İŞLƏNMƏ LAYİHƏLƏRİNİN GEOLOJİ-TEXNOLOJİ, TEXNİKİ-İQTİSADI TƏHLİLİ VƏ RİSKLƏRİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

E.H. ƏHMƏDOV¹

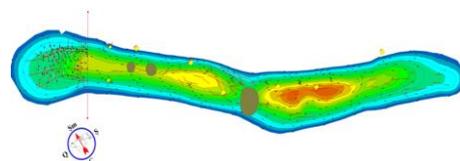
Məqalədə, yataqların işlənmə layihələrinin geoloji-texnoloji əsaslandırılması ilə bərabər texniki-iqtisadi təhlili və risklərin qiymətləndirilməsinin əhəmiyyətindən bəhs edilir. Tədqiqat işinin yerinə yetirilməsi üçün hipotetik yatağın faktiki məlumatlarından istifadə edilmişdir. İlk öncə, obyektlər üzrə karbohidrogen ehtiyatları beynəlxalq sistemdə hesablanaraq, geoloji risklər qiymətləndirilmiş, işlənmə variantları seçilmiş və hasilat proqnozlaşdırılmışdır. İşlənmə konsepsiyasının səmərəsi texniki-iqtisadi göstəricilərə görə əsaslandırılmış və riskləri qiymətləndirilmişdir. Kompleks tədqiqat işinin nəticələrinə əsasən ən optimal işlənmə konsepsiyası təklif edilmişdir.

Açar sözlər: işlənmə layihəsi, neft-qaz yatağı, qeyri-müəyyənlik, risk, iqtisadi təhlil.

Giriş. Neft-qaz və qaz-kondensat yataqlarının işlənmə konsepsiyasının tərtibi üçün kəşfiyyat mərhələsində əldə olunan geoloji-geofiziki və mədən (sınaq) məlumatlarının kəmiyyət və keyfiyyəti çox əhəmiyyətlidir. Müasir dövrdə toplanmış bu məlumatlar əsasında üçölçülü geoloji model tərtib edilərək, yataqların geoloji karbohidrogen ehtiyatları hesablanır. Geoloji-geofiziki və mədən məlumatlarının kəmiyyəti, keyfiyyəti və qeyri-müəyyənlik dərəcələrindən asılı olaraq, geoloji risklər qiymətləndirilir. Növbəti mərhələdə isə hidrodinamik modellər tərtib edilir, çıxarılabilən ehtiyatlar hesablanır və çoxvariantlı işlənmə layihələri hazırlanır.

Tədqiqatın məqsədi və məsələnin qoyuluşu. Optimal işlənmə variantının seçilməsi üçün layihələr geoloji-texnoloji, texniki-iqtisadi meyarlarına görə təhlil edilir və ekspertiza olunur. Nəticədə daha səmərəli işlənmə konsepsiyası üzrə yataqlar istismara cəlb edilir. Göründüyü kimi, yataqların səmərəli işlənmə konsepsiyalarının seçilməsi üçün geoloji-texnoloji meyarlarla birlikdə, texniki və iqtisadi təhlilin aparılması da vacib məsələdir [1].

Yuxarıda qeyd olunan məsələlərin aydınlaşdırılması üçün hipotetik qaz-kondensat yatağının təmsalında kompleks tədqiqat işi yerinə yetirilmişdir (şəkl. 1).



Şəkil 1. Yatağın struktur xəritəsi

¹ SOCAR

E-mail: elvin.ahmadov@socar.az

Yatağın bir hissəsi 1980-cı ildən işlənməkdədir [2, 3]. Hazırda həmin sahədə iki işlənmə obyektindən 38 quyu ilə gündəlik 5,2 mln. m³ qaz, 92 ton kondensat hasil edilir. Yatağın işlənməyən sahəsində geoloji qaz ehtiyatları 253,5 mlrd m³, kondensat ehtiyatları isə 33,3 mln. ton qiymətləndirilmişdir [4, 5]. Bu sahələrdə 8 kəşfiyyat quyusu qazılmışdır. Ehtiyatların beynəlxalq standartlarla qiymətləndirilməsində bu quyularla bərabər işlənmədə olan şimal-qərb sahəsində qazılmış quyuların geoloji-geofiziki və mədən məlumatlarından da istifadə olunmuşdur.

Tədqiq edilən yatağın işlənmədə olan sahəsinin hasilat göstəriciləri aşağıdakı cədvəllərdə verilmişdir (cədvəl 1 və 2).

Cədvəl 1.

Obyektlər üzrə hasilat göstəriciləri

Obyekt	Quyu sayı	Gündəlik hasilat		Cəmi hasilat	
		kondensat, ton	qaz, min m ³	kondensat, min ton	qaz, mln m ³
A	21	70	3414	2005	14726
B	17	22	1743	815	8219
Cəmi	38	92	5157	2820	22945

Cədvəl 2.

Quyular üzrə hasilat göstəriciləri

Quyu N-si	Obyekt	Gündəlik hasilat				Cəm hasilat		İstismar tarixi
		ilk		cari		kondensat, min ton	qaz, mln. m ³	
		kondensat, ton	qaz, m ³	kondensat, ton	qaz, m ³			
428	A	50	380 000	21	367 000	163,4	1409	2007
432		55	450 000	25	298 000	156,1	1251	2006
74		60	500 000	15	210 000	83,7	1103,6	2007
75	B	70	500 000	8	149 000	158,3	1281,2	2007

Cədvəllərdən görüldüyü kimi, yataqda bu işlənmə obyektləri yüksək performansla malikdir. Belə ki, A və B obyektlərində işləyən istismar quyularının hasilat göstəriciləri yüksəkdir. Bu baxımdan yatağın digər işlənməyən sahələrindən də minimum eyni həcmdə hasilat gözləmək olar.

Tədqiqatın həlli. Qeyd edildiyi kimi, bu sahədə (işlənməyən) vahid işlənmə konsepsiyasının seçilməsi üçün müxtəlif variantlara baxılmışdır. Bunlardan daha səmərəli variantlar kimi aşağıdakıları nümunə göstərmək olar.

^Birinci variantda qazılacaq quyular arasındakı məsafə 800 m, maksimal inhiraf 2500 m, quyuların sayı - A obyektinə üzrə 79, B obyektinə üzrə 98, platformaların sayı 9 olmuşdur. Bu variantda bir quyuya düşən cəmi qaz hasilatı 1,2 mlrd. m³ təşkil edir.

İkinci variantda qazılacaq quyular arasındakı məsafə 1000 m, maksimal inhiraf 2500 m, quyuların sayı - A obyektinə üzrə 38, B obyektinə üzrə 78, platformaların sayı 9 olmuşdur. Bu variantda bir quyuya düşən cəmi qaz hasilatı 1,8 mlrd. m³ təşkil edir. Bu variant yatağın işlənmədə olan sahəsinin istismar göstəricilərinə oxşardır.

Üçüncü variantda qazılacaq quyular arasındakı məsafə 1500 m, maksimal inhiraf 3000 m, quyuların sayı - A obyektinə üzrə 10, B obyektinə üzrə 39, platformaların sayı 9 olmuşdur. Bu variantda bir quyuya düşən cəmi qaz hasilatı 4,1 mlrd. m³ təşkil edir. Bu variantda yatağın işlənməyə cəlb olunma sahəsi qismən əhatə olunmur.

Qeyd olunan bütün bu variantlara görə ilk quyular B obyektinə qazılır, tükəndikdə A obyektinə qaytarılır. Sabit hasilat dövrünün müddətini artırmaq məqsədilə bütün quyular obyektlər və sahələr üzrə qazılır, sonra isə növbəli surətdə tamamlanaraq istismara verilir.

Bütün variantlar üzrə hasilat performansı və ayrılar tərtib edilərək, karbohidrogen hasilatı 2020-2051-ci illər üzrə proqnozlaşdırılmış, təhlil edilmişdir.

Geoloji-texnoloji və texniki-iqtisadi meyarlara görə ən optimal variant ikinci variant seçilmişdir (şək. 2 a və b). Yataqda qazma periodu 2020-2028-ci illərdə proqnozlaşdırılmışdır. Sabit hasilat periodu isə 2029-2044-cü illərdə proqnozlaşdırılır. Bu dövrdə 9 mlrd m³/il qaz, 680 min ton/il kondensat hasil edilməsi planlaşdırılır ki, bu da həmin müddətdə 144 mlrd m³ qaz, 10,8 mln. ton kondensat hasilatını təmin edəcəkdir. Növbəti mərhələ 2045-2051-ci illəri əhatə edir və işlənmənin tükənmə mərhələsi adlanır.

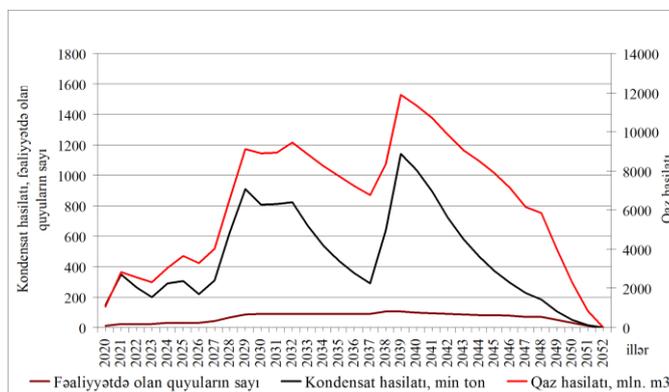
Beləliklə, hasilatın proqnozlaşdırılması və analoji obyektlərin məlumatları əsasında yatağın çıxarılabılən qaz ehtiyatları 208,6 mlrd. m³, kondensat ehtiyatları 15,1 mln. ton hesablanmışdır.

Bu hesablamalarda olan qeyri-müəyyənlikləri, onların nəticələrə təsir dərəcəsinin tədqiq edilməsi məqsədilə statistik modellər (Monte-Karlo modelləri) üzərində geoloji-mədən parametrlərinin minimum, maksimum və moda qiymətləri əsasında çoxvariantlı həssaslıq analizləri aparılmışdır [5, 6]. Həssaslıq analizləri dedikdə, qeyd olunan geoloji-mədən parametrlərinin qiymətlərinin nəticələrə təsiri nəzərdə tutulur ki, bu da risklərin qiymətləndirilməsi üçün çox əhəmiyyətlidir.

Risklərin təyin edilməsini riyazi şəkildə aşağıdakı kimi ifadə etmək olar [5]: $R = 100 - E$
Burada, R – risk, E - isə ehtimaldır, % .

İfadədən aydın olur ki, tədqiq edilən məsələlərdə ehtimal artdıqca risklər azalır. Yəni, hesabatların etibarlılıq dərəcəsi artır.

Kompleks tədqiqat işində geoloji-geofiziki və mədən parametrlərinin ehtiyatların həcminə təsir dərəcəsi qiymətləndirilmişdir. Aparılmış geniş miqyaslı tədqiqat işləri (həssaslıq analizləri, tornado diaqramları və tərtib edilmiş risk matrisi) ilə müəyyən edilmişdir ki, bu işlənmə



a

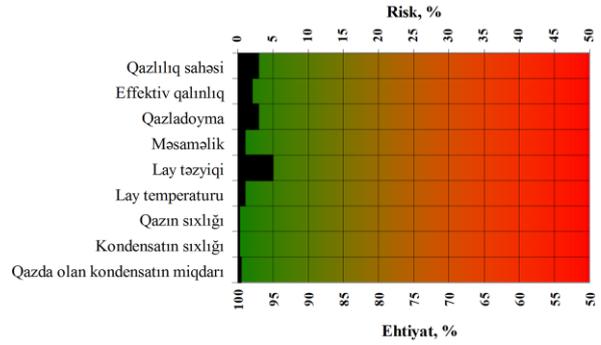


b

Şəkil 2. a - hasilat performansı, b – hasilat profili.

layihələndirilməsində yüksək səviyyəli geoloji risklər qeyd olunmur (şək. 3) [6-9, 14].

Diaqramlarda risklər 0-5% çox aşağı, 5-10% aşağı, 10-20% orta, 20-30% yüksək, 30%-dən yuxarı olduqda, çox yüksək səviyyədə qiymətləndirilir. Məlumdur ki, işlənmə layihələrinin geoloji-texnoloji əsaslandırılması ilə bərabər texniki-iqtisadi qiymətləndirilməsi də əhəmiyyətlidir. Bu baxımdan işlənmə konsepsiyasının iqtisadi səmərəsi beynəlxalq sistemdə istifadə olunan faktorlarla qiymətləndirilmişdir.



Şəkil 3. Risk matrisi

Layihələrin iqtisadi səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi meyarlarını 2 hissəyə ayırmaq olar [5, 10-13]:

1. Statistik üsullar: Layihənin dəyərinin özünü ödəmə əmsalı (PP, Payback Period); Rentabellik əmsalı (ARR, Accounting Rate of Return);

2. Dinamik üsullar: Xalis cari gəlir (NPV, Net Present Value); Daxili norma gəlirliyi (IRR, Internal Rate of Return); Gəlir indeksi (PI, Profitability index); Diskontlaşdırılmış özünü ödəmə əmsalı (DPP, Discounted Payback Period).

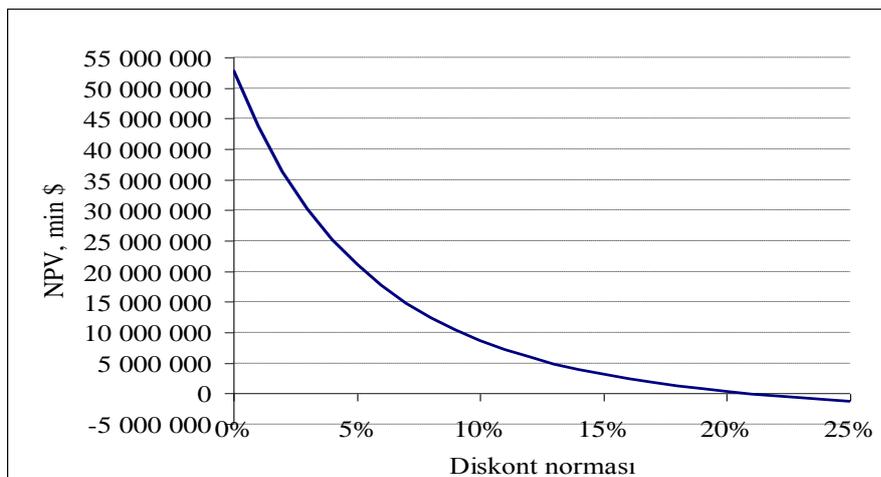
Əgər, $NPV > 0$, $IRR > \text{Diskont norması}$, $ARR > 0$, $PI > 1$ şərtləri ödənilərsə, layihə iqtisadi cəhətdən səmərəli hesab edilir. Layihənin iqtisadi səmərəliliyinə təsir göstərən əsas amillər aşağıdakılardır: kapital qoyuluşunun məbləği, əməliyyat xərcləri, diskont norması (r), qaz-kondensatın bazar qiyməti, layihənin müddəti və s. Tipindən asılı olaraq, bu amillər layihənin iqtisadi səmərəsinə müxtəlif səviyyədə təsir edə bilər. Bu amillərin layihə üzrə dəyişmə intervalları aşağıdakı cədvəldə verilmişdir (cədvəl 3).

Cədvəl 3.

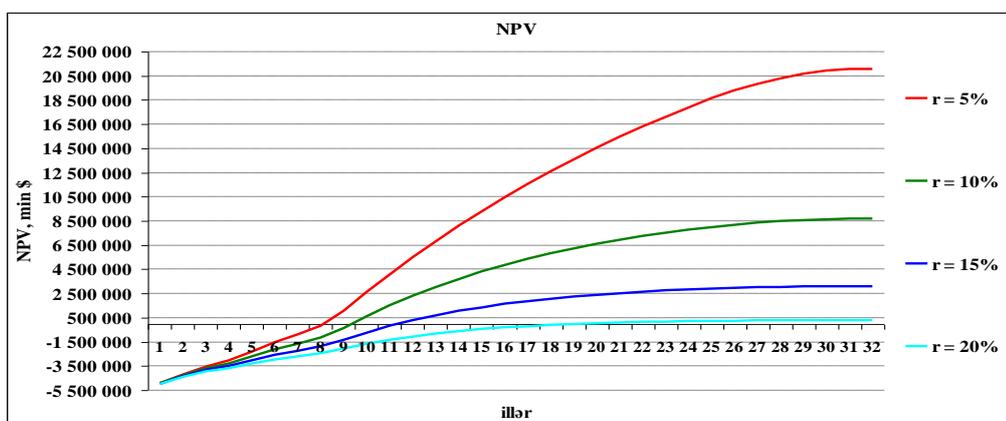
Təsir edən əsas amillər

Amillər	Dəyişmə intervalı	Baza variantı üçün qəbul edilmiş yüksək ehtimallı qiymətlər
Diskont norması (r), %	5-15	10
Qaz-kondensatın bazar qiyməti, neft ekv. \$	13,00-40,00	36,00
Kapital qoyuluşu, min \$	4 626 727,00 – 5 826 727,00	5 226 727,00
Əməliyyat xərcləri, min \$	2 600 000,00 – 3 800 000,00	3 200 000,00

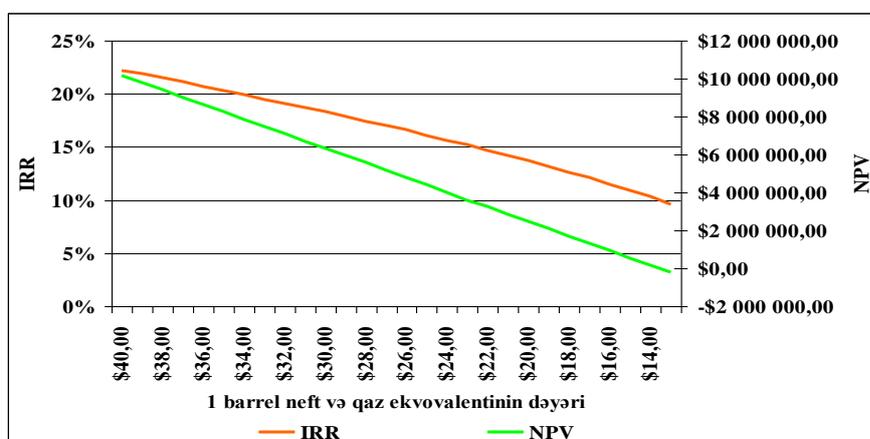
Tədqiq edilən yatağın işlənmə layihəsinin texniki-iqtisadi səmərəliliyini qiymətləndirmək məqsədi ilə qeyd olunan amillər üçün həssaslıq analizləri aparılmışdır. Layihənin baza variantında $NPV - 8,7$ mlrd \$, $IRR - 21\%$, $PI - 2,7$, $ARR - 35\%$, $PP - 7$ il, $DPP - 10$ il hesablanmışdır. NPV və diskont normasının asılılığı aşağıdakı qrafikdə təsvir edilmişdir (şək. 4 və 5). Hər iki qrafiki təsvirdən görünür ki, diskont norması ilə NPV arasında əks əlaqə vardır və iqtisadi modelə diskont norması yüksək təsir edəcəkdir. Şəkil 6-da isə qaz-kondensatın bazar qiymətinin NPV və IRR -a təsiri göstərilmişdir.



Şəkil 4. NPV və diskont normasının asılılığı.



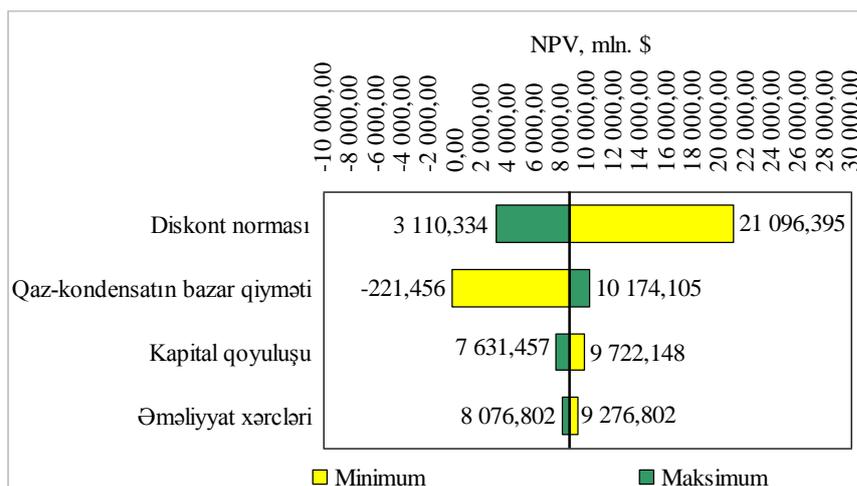
Şəkil 5. İllər üzrə NPV və diskont normasının dinamikası.



Şəkil 6. Qaz-kondensatın bazar qiymətinin NPV və IRR-a təsir qrafiki.

Diskont normasından asılı olaraq, PP və DPP də dəyişir. Əgər, diskont norması uyğun olaraq 5% qəbul edilərsə, DPP (layihənin öz xərcini ödəmə müddəti) 8 il, 10% olduqda, 10 il, 15% olduqda, 12 il, 20% olduqda isə 18 il təşkil edəcəkdir. Orta illik NPV isə müvafiq olaraq, 640 mln. \$, 275 mln. \$, 88 mln. \$ və s. hesablanmışdır.

Həssaslıq analizlərinin nəticələri kompleks şəkildə Tornado diaqramı ilə təsvir edilmişdir (şək. 7).



Şəkil 7. Tornado diaqramı.

Diaqramdan görünür ki, iki əsas amil (diskont norması və qaz-kondensatın bazar qiyməti) layihənin iqtisadi səmərəsinə daha yüksək təsir göstərir. Buna görə də riskli amillər kimi məhz bu parametrlər qiymətləndirilir.

Beləliklə, işlənmə konsepsiyasının baza variantı geoloji-texnoloji və texniki-iqtisadi baxımdan səmərəli hesab edilir.

Nəticə. Aparılmış geoloji-texnoloji və texniki-iqtisadi təhlilə əsasən aşağıdakı nəticə əldə olunmuş və təklif irəli sürülmüşdür. Geoloji-mədən təhlilinə görə belə nəticəyə gələrək, təklif olunmuşdur ki, yataqda quyular arasındakı məsafə 1000 m, maksimal inhiraf 2500 m olmaqla, 9 platformadan qazılırsa, daha səmərəli mənimsənilmə prosesini həyata keçirmək olar. Belə ki, texniki-iqtisadi təhlilin nəticələri də işlənmə konsepsiyasının riskləri qiymətləndirildikdən sonra bu variantın daha səmərəli layihə olmasını təsdiq edir.

REFERENCES

1. **Ahmed T., McKinney P.D.** Advanced reservoir engineering. New-York: GPP, 2011, p. 424.
2. **Eminov Ə.Ş., Osmanov N.M., Əhmədov E.H.** Günəşli yatağı Fasilə lay dəstəsinin səmərəli işlənməsinin geoloji-riyazi modellər əsasında təhlili // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, 2012, №12, s. 7-10.
3. **Ahmadov E.H.** Study of water injection efficiency through modern geological-mathematical models in Guneshly field // Journal of Environmental Science and Engineering, 2013, № 10, pp. 574-577.
4. **Sobol I.M.** Metod Monte-Karlo. M.: Nauka, 1985, 80 s. (Соболь И.М. Метод Монте-Карло. М.: Наука, 1985, 80 с.)
5. **Ampilov J.L., Gert A.A.** Ekonomicheskaya geologiya. M.: Geoinformark, 2006, 339 s. (Ампиров Ю.Л., Герт А.А. Экономическая геология. М.: Геоинформарк, 2006, 339 с.)
6. **Salmanov Ə.M., Eminov Ə.Ş., Əhmədov E.H.** Neft-qaz yataqlarında ehtiyatların paylanma xüsusiyyətləri və geoloji risklər Günəşli yatağının təmsalında // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, 2015, №11, s. 3-6.
7. **Ahmedov E.G., Ragimov F.V., Kerimov S.V.** Veroyatnostnaya ocenka neftyanyh zapasov s uchotom neopredelonnostey i geologicheskikh riskov / 69-ya Mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchnaya konferenciya «Neft i gaz – 2015». M., 2015, s. 17. (Ахмедов Е.Г., Рагимов Ф.В., Керимов С.В. Вероятностная оценка нефтяных запасов с учётом неопределённости и геологических рисков / 69-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ – 2015». М., 2015, с. 17).
8. **Ahmedov E.G.** Utochnenie zapasov nefli sovremennymi metodami i ocenka geologicheskikh riskov / XXI Mezhdunarodnaya (zaochnaya) nauchno-prakticheskaya konferenciya po vsem naukam «Integraciya mirovyh nauchnyh processov kak osnova obshhestvennogo progressa». Kazan: 2015, s. 24-28 (Ахмедов Е.Г. Уточнение запасов нефти современными методами и оценка геологических рисков / XXI Международная (заочная) научно-практическая конференция по всем наукам «Интеграция мировых научных процессов как основа общественного прогресса». Казань: 2015, с. 24-28)

9. **Tasmuhanova A.E.** Sistemno-metodicheskij podhod k ocenke riskov pri planirovanii dejatelnosti neftegazodobyvajushhih predpriyatij // Neftegazovoe delo, 2006, №4, s. 10-21. (Тасмуханова А.Е. Системно-методический подход к оценке рисков при планировании деятельности нефтегазодобывающих предприятий // Нефтегазовое дело, 2006, №4, с. 10-21).
 10. **Colin Drury.** Management and Cost Accounting. London: Cengage Learning EMEA, 2008, 775 p.
 11. **Ahmed Riahi-Belkaoui.** Evaluating Capital Projects. London: Greenwood Publishing Group, 2001, 252 p.
 12. **Michael Kinney, Cecily Raiborn.** Cost Accounting: Foundations and Evolutions. Texas: Cengage Learning, 2012, 848 p.
 13. **Frank Lefley.** The FAP Model and Its Application in the Appraisal of ICT Projects. London: Palgrave Macmillan, 2015, 240 p.
 14. **Murvatov F.T., Mamedov F.M., Mamedov N.T.** Environmental risks of water injection in old oil fields of Azerbaijan // HERALD of the Azerbaijan Engineering Academy, 2014, №2, Vol. 6, pp. 107-112
-

**ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ, ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА
РИСКОВ ПРОЕКТОВ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА**

Э.Г. АХМЕДОВ

Статья посвящена технико-экономическому анализу и оценке рисков, а также геолого-технологическим основам проектов разработки месторождений. Для проведения исследования были использованы фактические данные гипотетического месторождения. В первую очередь запасы углеводородов на объектах оцениваются в международной системе, оцениваются геологические риски, выбираются варианты разработки и прогнозируется добыча. По результатам комплексной исследовательской работы была предложена наиболее оптимальная концепция разработки.

Ключевые слова: проект разработки, нефтегазовое месторождение, неопределенность, риск, экономический анализ.

**GEOLOGICAL, TECHNOLOGICAL, TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS AND RISK
ASSESSMENT OF OIL AND GAS FIELDS DEVELOPMENT PLANS**

E.N. AHMADOV

The article is devoted to the geological, technological, technical and economic analysis and risk assessment of oil and gas field development plans. The actual data of a hypothetical field used for the study. First of all, hydrocarbon reserves assessed in the international system, geological risks are assessed, development options are selected and production is predicted. According to the results of a comprehensive research work, the most optimal development concept was proposed.

Key words: development plan, oil and gas field, uncertainty, risk, economic analysis.

<i>Redaksiyaya daxil olub:</i>	<i>11.12.2019</i>
<i>Tamamlama işlərindən sonra:</i>	<i>09.06.2020</i>
<i>Nəşrə qəbul edilib:</i>	<i>18.06.2020</i>

УДК 502/504.5

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ БИБИЭЙБАТСКОГО НЕФТЕПРОМЫСЛА

Б.М. АЗИЗОВ¹, Д.А. СУЛТАНОВ¹, Д.С. МЕХТИЕВ¹,
Н.Г. ДЖАВАДОВ², Д.Р. СУЛТАНОВА²

Одним из существенных, спроецированных техногенной деятельностью человека загрязнений природы является химическое загрязнение объектов природной среды долгоживущими радионуклидами. В процессе разработки и освоения различных рудных месторождений, их обогащения и применения в атомной энергетике, а также реализации ряда прикладных работ на основе ядерного топлива радионуклиды попадают в биосферу. Районы их добычи во время разработки месторождений, а также их первичной и последующей переработки представляют большую угрозу.

В представленной работе рассматривается вопрос радиэкологического состояния и оценки уровня загрязнения радионуклидами территории бывшего Бибиэйбатского нефтепромысла. Произведена оценка уровня загрязнения территории по радиоизотопам урана, радия, цезия и калия. Установлен позволимительный суммарный уровень радиоактивности всей территории нефтепромысла.

Ключевые слова: радиэкологическое состояние, картографирование, радиоизотопы, загрязнение радионуклидами, уран, радий, цезий, калий, уровень радиоактивности, очистка нефтепромысла.

Введение. Антропогенная деятельность, приобретающая дестабилизирующий характер, привела к устойчивым и глубоким изменениям во всех взаимосвязанных компонентах биосферы и тем самым наложила существенный негативный отпечаток на биоразнообразие планеты. На Абшеронском полуострове особенный интерес представляет проблема возвращения в общехозяйственный оборот территорий нефтепромыслов, где по причине их нерентабельности были прекращены работы по добыче нефти. Для этого является важным выявление уровня загрязнения грунтов территорий нефтепромыслов различными долгоживущими радионуклидами. При эколого-географических исследованиях значимо совместное применение картографического и аэрокосмического методов. Создаваемые с этой целью в настоящее время специальные тематические карты и атласы разрабатываются с помощью новейших средств моделирования – геоинформационного картографирования (ГК). Геоинформационные системы (ГИС) позволяют хранить и обрабатывать большие объемы информации, получать новые материалы.

В настоящее время одним из востребованных направлений изучения экологической ситуации является широкое применение дистанционных методов исследования аэрокосмической информации.

¹ Национальная Академия Авиации

² Национальное Аэрокосмическое Агентство

E-mail: cafar.maa@mail.ru

Основные преимущества использования аэрокосмической информации для проведения регионального мониторинга и осуществления экологической экспертизы определяются рядом таких факторов, как одновременный охват огромных территорий, оперативность получения объективных и достоверных сведений об экологической обстановке исследуемого района. Это особенно важно для установления динамики изменений и оценки природных ресурсов и процессов, а также для решения проблем, связанных с антропогенным загрязнением, сокращением сроков и затрат на проведение работ по мониторингу и экологической экспертизе.

Многие виды антропогенного воздействия на природную среду хорошо отражаются и передаются с помощью космических снимков. В качестве наиболее ярких примеров их применения можно отметить четкое отражение загрязненности почв и водоемов, каменных карьеров и горных выработок и многое другое. Сегодня аэрокосмическая информация применяется также в программах комплексного изучения и картографирования природных ресурсов (КИКПР). В подобных исследованиях и экологической экспертизе по КИКПР выявляют расхождения между фактическими и статическими данными в оценке состояния окружающей среды, площади загрязнений и т.д.

Для решения многих задач, возникающих при исследовании радиоактивности окружающей среды, оказывается необходимым умение измерять и оценивать присутствие соответствующих радиоизотопов, характеризующихся подчас очень низким уровнем радиоактивности. Прогнозирование и оценка радиационной обстановки, тенденций в изменении радиационной обстановки на конкретной территории могут дать ответ на вопрос о степени ее благополучия либо указать, чем именно обусловлено ее неблагополучие, а также определить последовательность действий, направленных на восстановление [1-4]. При этом учет указанных изменений позволит определить возможный ущерб от естественного и антропогенного воздействия, а также выявить те дополнительные возможности, которые следует использовать в интересах человека и природных экосистем и биосферы в целом. Ныне разрабатываются и совершенствуются разные методики осуществления регионального экологического мониторинга, уточняются требования к аэрокосмической информации в целях изучения существующей экологической ситуации и, в особенности, в чрезвычайных условиях [3, 5-9].

ГИС служат систематизированным банком данных, который пополняется свежей информацией, что дает возможность обновлять имеющиеся материалы и оперативно их выдавать. В настоящее время ГИС-технологии находят широкое применение в разных областях науки и техники. Современные программные продукты позволяют создавать системы, дающие возможность значительно сократить время решения тех или иных задач, а также оптимизировать процесс принятия решений. Оптимальная продолжительность измерения фона и радиоактивного образца пробы грунта либо препарата с фоном составляет:

$$t_{S+B} = Z_{\gamma}^2 \frac{I_{SB} + \sqrt{I_{S+B} I_B}}{\sigma^2 (I_{S+B} - I_B)^2}, \quad t_B = Z_{\gamma}^2 \frac{I_B + \sqrt{I_{S+B} I_B}}{\sigma^2 (I_{S+B} - I_B)^2},$$

где t_{S+B} – оптимальная длительность измерения препарата; t_B – оптимальная длительность измерения фона; Z_{γ} – абсцисса стандартного нормального распределения, соответствующая необходимой доверительной вероятности γ (для $\gamma=95\%$ $Z=1.96$); δ – относительная погрешность результата, выраженная в долях единицы.

При измерении низких уровней активности зависимость критерия качества от эффективности регистрирующей системы и от фона можно приближенно выразить так:

$$KK = \frac{1}{t_{S+B} + t_B} \cdot \frac{\varepsilon^2}{I_B}, \text{ где } \varepsilon - \text{эффективность детектирующей системы. Эффективность регист-}$$

рации зависит в основном от типа детектора и материала, из которого он изготовлен. При этом важную роль играют геометрические условия регистрации препарата, его толщина, материалы подложки и т.п. На точность метода влияет градуировка спектрометрической аппаратуры. Необходимым моментом градуировки спектрометра является определение остаточного фона спектрометра, который обусловлен собственной радиоактивностью спектрометра (в первую очередь его детектора) и летательного аппарата, а также космического излучения. Основным в калибровке гамма спектрометра является определение остаточного фона спектрометра.

Целью работы являлось выявление уровня остаточного загрязнения бесперспективной для дальнейшей разработки территории Бибиэйбатского нефтепромысла путём проведения современных физико-технических и эколого-картографических методов исследований.

Постановка задачи. На основе картографо-аэрокосмического метода были проведены исследования на завершившем разработку Бибиэйбатском нефтепромысле Абшеронского полуострова. Было выявлено, что те или иные воздействия связаны либо непосредственно с добычей нефти, авариями на станциях перекачки и нефтепроводах, каменными и песчаными карьерами, либо со строительством сооружений, приводящим к изменению рельефа, с уничтожением почвенно-растительного покрова, загрязнением водоёмов и т. д. Полученные в результате проведения автомобильной и пешеходной гамма-съёмки материалы и результаты лабораторных анализов позволили создать карту радиоактивности исследуемой территории (рис. 1а). На основе программных продуктов ArcGis 10.3и Surfer 11 была построена в изолиниях (изогаммах) радиоэкологическая карта Абшеронского полуострова. В настоящее время занятые разработкой ГИС компании создали пакеты для интерполяции пространственных данных и построения карт методом изолиний, в составе программных пакетов ArcGIS, MapInfo, ERDASImagine, GeoMedia, QGIS, RockWorks и др. [6-11]. Это позволило строить трёхмерные модели на основе данных интерполяции. Упомянутые выше пакеты и модули позволяют обрабатывать данные о рельефе местности и, соответственно, генерировать горизонталы, так и интерполировать другие данные, например данные отбора проб почвы, геологических пород, воды, метеорологические параметры, частоту разнообразных явлений и так далее. Кроме разработок Esri, ERDAS и MapInfo, нужно отдельно остановиться на программных пакетах, разработанных американской компаний Golden Software, самый известный среди которых – Surfer. Следует отметить, что Golden Software еще в середине 80-х годов прошлого столетия разработала программные пакеты для математической обработки и визуализации наборов данных, описываемых двумерной функцией $z = f(x, y)$, то есть данных с пространственной компонентой. Пакет Surfer вскоре приобрёл прикладную популярность среди геологов, геохимиков, экологов и физиков. В более поздних версиях пакета (Surfer 6, Surfer 7 и т.д.) для эффективной обработки данных со значительно большим разбросом значений по территории и высокой неопределённостью стали использоваться новейшие алгоритмы. К таким относится метод интерполяции Криге («кригинг»), который впервые был предложен для работы с данными отбора проб при геохимических

исследованиях. Кроме кригинга, в текущей версии пакета (Surfer 11) доступно более десяти других методов интерполяции, анализ вариограмм и ковариаций многими способами, а также другие инструменты геостатистики. Так, например, компания Golden Software разработала пакет Mapper – для создания цифровых карт, Voxler – пакет для работы с трехмерной графикой, а также ряд других пакетов, по сути предназначенных исключительно для геологических исследований. Получив в результате проведенных исследований данные измерения радиоактивного фона по территории бывшего Бибиэбатского нефтепромысла Абшерона, использовали несколько ГИС-пакетов для интерполяции данных и построения карт в изолиниях. В качестве эксперимента одни и те же данные обработаны с помощью: ArcGIS 10.3 (ArcMap с модулями Spatial Analyst, 3D Analyst), а также Surfer 11. Массив данных был сформирован в виде таблиц Excel. Координаты точек измерений были получены непосредственно на местности с помощью одночастотного GPS-приёмника, в системе координат WGS84. С помощью программного пакета Surfer был сформирован массив данных для территории нефтепромысла «Бибиэбатнефть» и проанализированы полученные вариограммы. Методы интерполяции, применяемые в ГИС (сплайн-интерполяция, кригинг) исходят из аксиомы о пространственной автокорреляции. Анализ данных содержания радионуклидов в пробах грунта на территории «Бибиэбатнефть» выявил некоторый статистический разброс показателей $\gamma(h) = 0,155 \times 10^{-3} \dots 1,23 \times 10^{-3}$. Содержание радионуклидов радия и урана в пробах, отобранных на расстоянии 300-400 м друг от друга, отличается в 5-7 раз. В этих условиях было отдано предпочтение методу кригинг. На основе данных вариограммы, эмпирическим путём были подобраны три параметра: – порог вариограммы, угол наклона для линейной вариограммы или величина «самородка» для модели «чистого самородка»; – радиус вариограммы – задаётся расстояние, при которой исходные данные сохраняют автокорреляцию (при выходе за пределы круга автокорреляция теряется); – шаг сетки интерполяции – необходим для создания сетки интерполяции в областях с недостатком данных.

Был применён метод интерполяции сплайнами и радиальной базисной функцией. Карты, построенные таким методом с помощью программного пакета Surfer 11, оказались вполне информативными и не требовали дополнительной обработки, связанной с соответствием изолиний и зональной раскраски. Простота создания, масштабирования, перестройки карт является ещё одним несомненным преимуществом ГИС Surfer. Инструменты модуля ArcGIS Interoperability позволяют легко конвертировать изолинии, полигоны и точки из форматов Surfer в шейп-файлы (shp-файлы) и покрытия ArcGIS. Интерполяция пространственных данных проводилась с помощью ArcGIS Spatial Analyst. В ArcGIS использовались два метода интерполяции: интерполяция сплайнами и методом Криге. Кригинг показал практически те же результаты, что и при использовании пакета Surfer. Как и предусматривают процедуры интерполяции данных в ArcGIS, вначале создавался GRID-файл, а затем на его основе строились изолинии. При оптимально выбранном способе интерполяции по используемой территории массив исследуемых точек составлял 40-50 единиц. Полученный GRID конвертировался в растровый файл, трансформируемый в заданную систему координат.

По каждому радиоактивному элементу были составлены представленные в нижеследующих рисунках (рис.1-12) изогаммы - линии их распределения, а также 3D модели их распределения по территории «Бибиэбатнефть». Интерпретация с помощью ГИС Surfer 11.

Shape *	Y	X	Drillhole	Radiation	Cs137	Ra226	Ra228	K40	U235	U238	Aeff
Точка	40,317861	49,830556	1	6,5	1,22	36,5	30,2	640	1,2	26	165,7
Точка	40,320778	49,836444	2	7,6	0,72	30,7	34,5	740	2,2	400	168
Точка	40,326111	49,828361	3	16,9	0,7	1180	562	410	16,3	353,7	1548
Точка	40,326083	49,828417	4	24,6	0,92	1230	760	360	25,2	548	2700
Точка	40,326111	49,828306	5	6,3	0,88	25,8	32,1	560	2,4	52,1	160
Точка	40,326583	49,840972	6	4,6	1,72	25,1	21,2	720	2,1	45,6	166
Точка	40,330611	49,842028	8	40	0,92	12600	1760	360	25,2	546,8	8810
Точка	40,322833	49,832778	10	5,6	1,22	31,1	30,2	660	2,5	54,3	192
Точка	40,328333	49,827778	14	26	1,1	2170	140	325	19,9	418	251
Точка	40,328833	49,829222	15	3,6	1,7	25,2	31,2	552	2,1	45,6	225
Точка	40,327	49,830167	16	4,8	1,25	31,2	33,1	620	2,2	47,7	190
Точка	40,326639	49,83	17	8,3	1,22	35,2	38,2	440	2,8	60,8	365
Точка	40,326667	49,83	18	6,9	1,72	30,2	32,2	380	1,8	36,8	555
Точка	40,326139	49,829722	19	15,6	0,6	13100	520	240	40,6	881	18557
Точка	40,32675	49,830083	20	14,3	0,43	23470	1240	540	34,6	695,9	7457
Точка	40,324222	49,835	21	16,3	1,2	3240	765	654	100,2	2155,3	9190
Точка	40,324222	49,835278	22	6,8	0,7	80	39	360	4,2	91,1	400
Точка	40,32375	49,836861	23	5,6	0,8	65	54	398	5,2	112,8	155,5
Точка	40,32375	49,836944	26	32,4	1,45	2876	840	725	19,9	418,8	11475
Точка	40,3235	49,838139	27	21,3	0,8	11192	660	500	32,4	703	8507
Точка	40,328611	49,828778	1d	7,6	0,89	98	64,2	406	5,7	107	145,4
Точка	40,333361	49,834306	B-0001	6,9	2	131,2	53,1	690	4,2	87,7	184
Точка	40,329389	49,835417	b-003	6,6	1,22	55,2	28,2	640	2,8	60,8	184,1
Точка	40,331028	49,836194	B-0002	8,2	1,7	180	56,2	490	6,3	153,7	185,5
Точка	40,329417	49,838639	B-0004	6,3	1,45	120	40	725	9,9	208,8	185
Точка	40,330028	49,839333	B-0005	5,9	0,87	68	57,2	430	7,3	153,7	154
Точка	40,3265	49,840611	B-0006	4,8	1,45	87,6	84	525	1,9	54	171,8

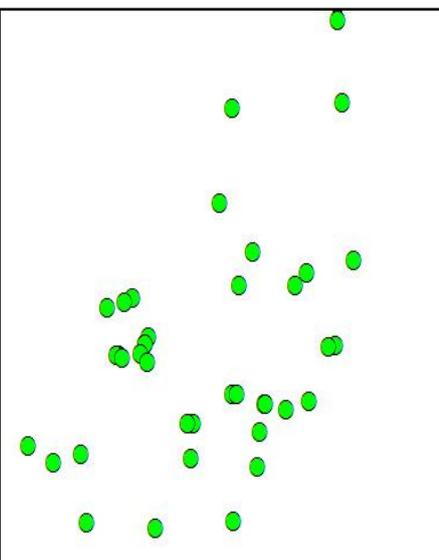


Рис. 1а. Исследованные точки уровней радиоактивности на космическом снимке

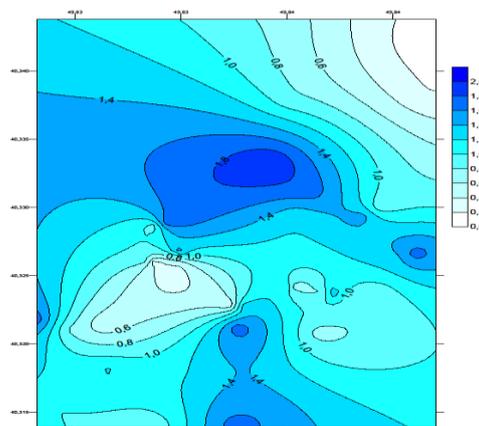


Рис. 1. Содержание радионуклида Cs-137 в грунтах на нефтепромысловой территории «Бибизьбатнефть». (Интерпретация с помощью ГИС Surfer 11)

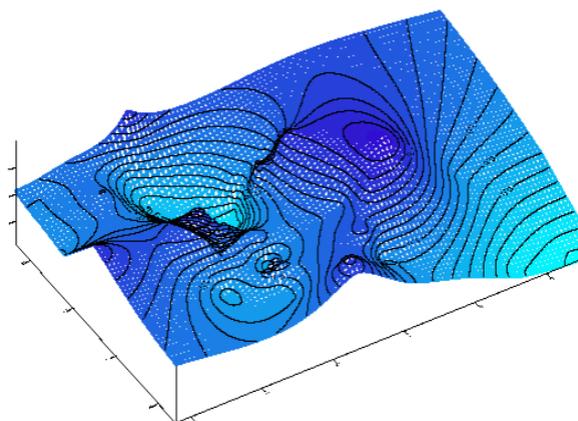


Рис. 2. 3D модели содержания радионуклида Cs-137 в грунтах на территории «Бибизьбатнефть» (Построены с помощью ГИС Surfer 11)

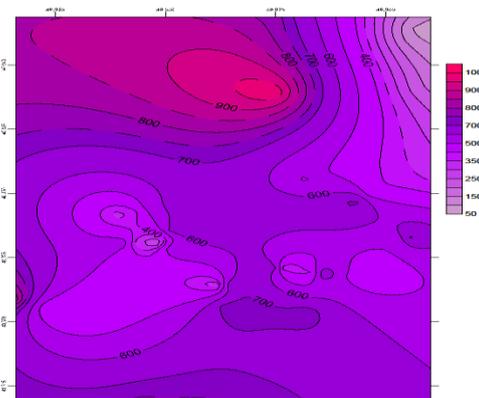


Рис. 3. Содержание радионуклида K-40 в грунтах на территории «Бибизьбатнефть». (Интерпретация с помощью ГИС Surfer 11)

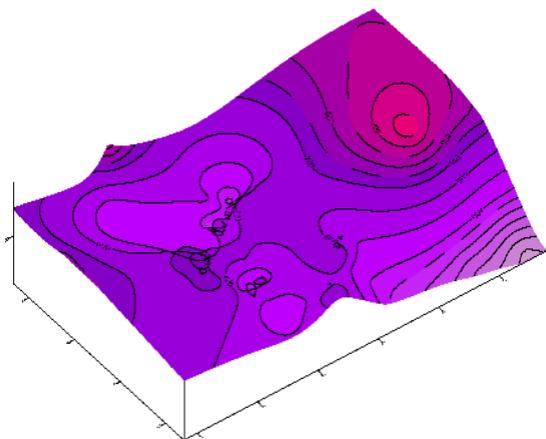


Рис. 4. 3D модели содержания радионуклида К-40 в грунтах на территории «Бибизйбатнефть» (Построены с помощью ГИС Surfer 11)

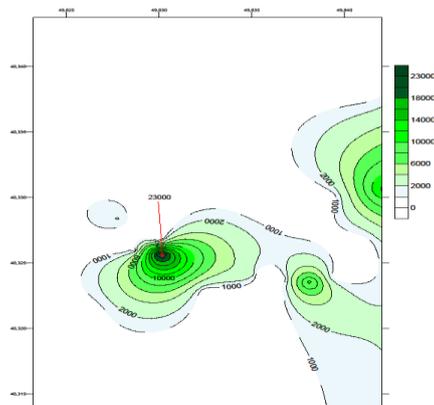


Рис.5. Содержание радионуклида Ra-226 в грунтах на территории «Бибизйбатнефть». (Интерпретация с помощью ГИС Surfer 11)

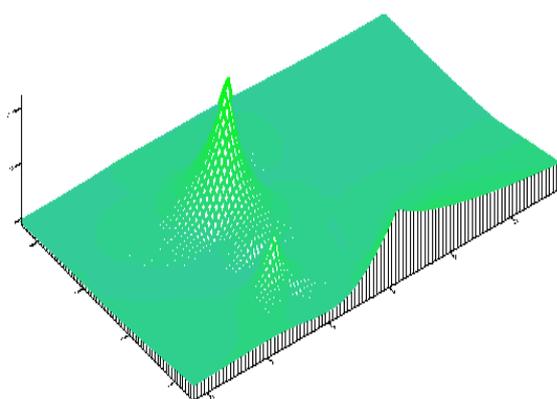


Рис. 6. 3D модели содержания радионуклида Ra-226 в грунтах на территории «Бибизйбатнефть» (Построены с помощью ГИС Surfer 11)

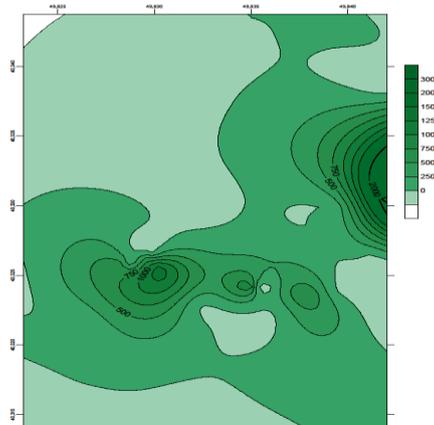


Рис. 7. Содержание радионуклида Ra-228 в грунтах на территории «Бибизйбатнефть» (Интерпретация с помощью ГИС Surfer 11)

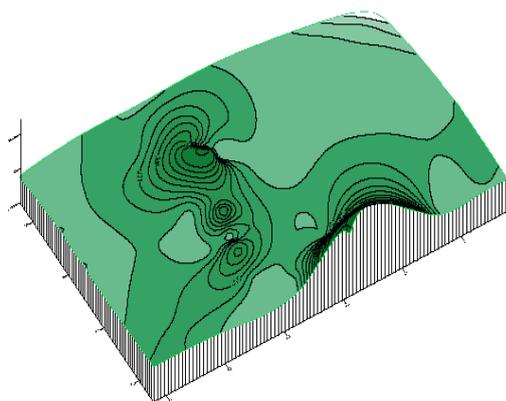


Рис. 8. 3D модели содержания радионуклида Ra-228 в грунтах на территории «Бибизйбатнефть» (построены с помощью ГИС Surfer 11)

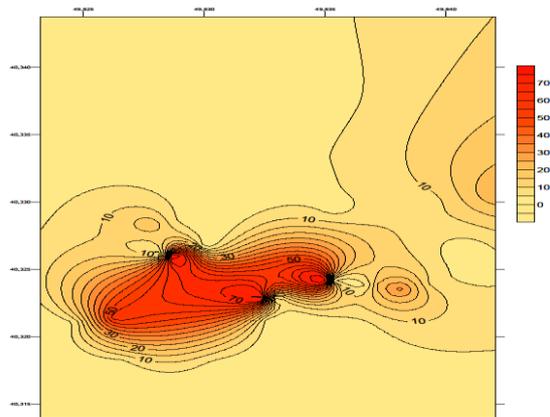


Рис.9. Содержание радионуклида U-235 в грунтах на территории «Бибизйбатнефть» (Интерпретация с помощью ГИС Surfer 11)

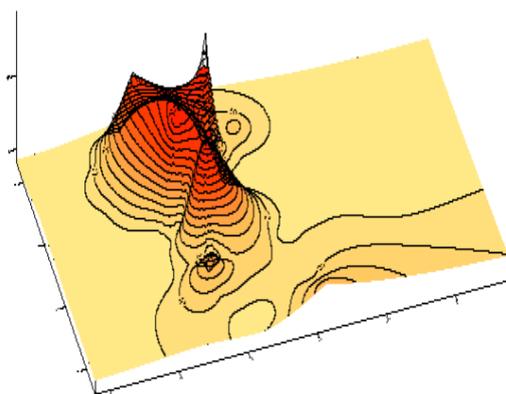


Рис. 10. 3D модели содержания радионуклида U-235 в грунтах на территории «Бибизьбатнефть» (Построены с помощью ГИС Surfer 11)

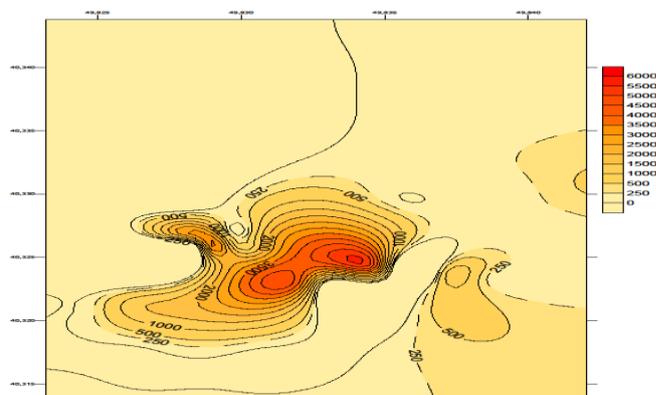


Рис. 11. Содержание радионуклида U-238 в грунтах на территории «Бибизьбатнефть» (Интерпретация с помощью ГИС Surfer 11)

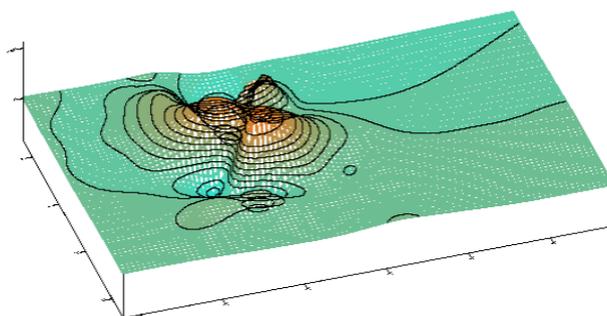


Рис. 12. 3D модели содержания радионуклида U-238 в грунтах на территории «Бибизьбатнефть» (построены с помощью ГИС Surfer 11)

Заключение. Полученные в проведенных исследованиях изолинии были конвертированы в shp-файлы. После экспорта точек и их визуализации на карте проведена интерполяция данных по радиационному фону. Для получения оптимальных результатов при использовании ГИС MapInfo использовался большой массив точек, равномерно расположенных по территории нефтепромысла. Процесс выполнения работ базировался на создании точек по таблице с известными координатами и на построении по указанным точкам изолиний.

Таким образом, произведена оценка уровней загрязнения территории бывшего Бибизьбатского нефтепромысла по радиоизотопам урана и радия, а также цезия и калия. Установлен вполне допустимый суммарный уровень радиоактивности всей территории нефтепромысла. Указанная территория, после её освобождения от элементов техногенного характера и посадки определённых растительных культур, вполне может быть использована для строительства и в любых других целях. Для задействования обширных площадей, расположенных на бесперспективных бывших нефтепромыслах, расположенных на Абшеронском полуострове, следует предварительно произвести исследование уровня их загрязнения различными долгоживущими радионуклидами и осуществить реальную объективную оценку их состояния и особенностей их последующего практического применения в народном хозяйстве.

REFERENCES

1. **Pivovarov J.P., Michaylov V.P.** Radiatsionnaya ekologiya. M., 2004, 285 s.
2. **Sapojnikov J.I., Aliev R.A., Kalmikov S.N.** Radioaktivnost okrujayushey sredi. M., 2006, 285 s.
3. **Azizov B.M., Mekhtiyev J.S., Sultanov J.A.** Some results investigation radioactivity and their realation with landskape geomorphologic zones in the Absheron peninsula // Vestnik Moskovskoqo qosudarstvennoqo universiteta. M., Stankin, 2014, №14, 78-81s.
4. **Zachartchuk S.A., Krampit I.A., Miltchakov V.I.** Radioaktivnoe zaqryaznenie okrujayushey sredi pri neftedobitshe // ANRI,- № 4(15). 1998. - 18-20 s.
5. **Sultanov J.A., Mechtiyev J.S., Azizov B.M.** K radioekoloqitsheskomu issledovaniyu i sostavleniyu kart-schem raspredeleniya radionuklidov kaliya i tseziya v rayone NQDU «Bibieybatneft» Azerbayjana // Omsk, elektronniy jurnal «Vestnik sovremennich nautchnich issledovaniy», №33, oktyabr, 2018.
6. **Sultanov J.A., Azizov B.M.** Ob otsenke soderjaniya radionuklidov na territorii Absheronскоqo poluoostrova na osnove aeroqammaspektrometrirovaniya // Vestnik Azerbayjanskoy injenemoy akademii, 2010, №4, v. 2, s. 89-94.
7. **Mechtiyev A.Sh., Azizov B.M.,Mechtiyev J.S., Sultanov J.A.** Voprosi ekoloqitsheskoq bezopasnosti i otsenka osobennostey radioekoloqitsheskoq obstanovki na technoqennich territoriyach Absheronскоqo poluoostrova / Problemi bezopasnosti XXI veka, Velikiy Novqorod, 01- 05 iyunya 2011.
8. **Mechtiyev A.Sh., Azizov B.M.,Mechtiyev J.S., Sultanov J.A.** Radiatsionno-ekoloqitsheskoe kartoqrafirovanie s primeneniem QIS tehnoloqiy s tselyu ochrani prirodi (na primere Absheronскоqo poluoostrova) // Inform.techn. i sistemi Sankt-Peterburq, Mejvuzovskiy sbornik nautchnich trudov, 2013, s. 207-210.
9. **Mechtiyev A.Sh., Azizov B.M.,Mechtiyev J.S., Sultanov J.A.** K probleme radiatsionnoqo monitorinqa Absheronскоqo poluoostrova / Trudi XIII Mejdunarodnoy nautchno-praktitsheskoq konferentsii po problemam zashiti naseleniya i territoriy ot tchrezvitichaynich situatsiy «Aktualnie problemi formirovaniya kulturni bezopasnosti jiznedeyatelnosti v sovremennich usloviyach». Moskva, 15-16 maya 2008.
10. Ooit ispolzovaniya tsifrovich kart dlya analiza radiatsionnoy obstanovki / B.T. Mazurov, O.N.Nikolaeva, L.A. Romashova, O.A.Volkova // Izvestiya vuzov. Qeodeziya i aerofotosyemka. - 2012. - № 2/1. - s. 91-95.
11. **Romashova L.A., Nikolaeva O.N., Volkova O.A.** Rol kartoqrafitsheskoq metoda issledovaniya v reshenii problem radiatsionnoy obstanovki okrujayushey sredi // Vestnik SQA. - 2012. - Vip. 1 (17). - s. 104-108.

BİBİHEYBƏT NEFT ÇIXARMA RAYONUNUN RADİOEKOLOJİ VƏZİYYƏTİ

B.M. ƏZİZOV, C.A. SULTANOV, C.S. MEHDİYEV, N.H. CAVADOV, C.R. SULTANOVA

Texnoqen insan fəaliyyətinin mövcud hallarından biri ətraf mühit obyektlərinin uzun ömürlü radionuklidlərlə kimyəvi çirklənməsidir. Onun fəaliyyətinin belə növləri ilə yanaşı işlərin genişləndirilməsi, müxtəlif filiz yataqlarının mənimsənilməsi, atom energetikasında onların zənginləşdirilməsi və tətbiqi, həmçinin nüvə yanacağına əsaslanan bir sıra tətbiqi işlərin həyata keçirilməsi prosesində radionuklidlər biosferə daxil olur. Yataqların işlənməsi zamanı onların istehsal sahələri, eləcə də ilkin və sonrakı emalı böyük təhlükə yaradır.

Təqdim edilən işdə radioekoloji vəziyyət və keçmiş Bibiheybət neft mədəni ərazisinin radionuklidlə çirklənmə səviyyəsinin qiymətləndirilməsi məsələsi nəzərdən keçirilir. Uranın, radiumun, seziyumun və kaliumun radioizotoplarına görə ərazinin çirklənmə səviyyələrinin qiyməti alınmışdır. Neft mədən ərazinin bütün hissəsinin radioaktivliyinin icazə veilən ümumi səviyyəsi təyin edilmişdir.

Açar sözlər: radioekoloji vəziyyət, xəritələşdirmə, radioizotoplar, radionuklidlərlə çirklənmə, uran, radium, seziyum, kalium, radioaktivliyin səviyyəsi, neft mədəninin təmizləməsi.

RADIOECOLOGICAL CONDITION OF THE BIBIHEYBAT OIL PRODUCTION AREA

B.M. AZIZOV, J.A. SULTANOV, J.S. MEKHTIYEV, N.H. JAVADOV, J.R. SULTANOVA

One of the significant ones projected by man-made human activity is the chemical pollution of natural objects by long-lived radionuclides. In the process of expanding the development, development of various ore deposits, their enrichment and use in nuclear energy, as well as the implementation of a number of applied works based on nuclear fuel, radionuclides enter the biosphere. Their production areas during field development, as well as their primary and subsequent processing, pose a great threat. In our work, we consider the issue of the radioecological state and the assessment of the level of radionuclide contamination of the territory of the Bibiheybat oil field.

Key words: radioecological state, mapping, radioisotopes, contamination with radionuclides, uranium, radium, cesium, potassium, level of radioactivity, refining of the oil field.

Redaksiyaya daxil olub: 11.12.2019
Tamamlama işlərindən sonra: 09.06.2020
Nəşrə qəbul edilib: 18.06.2020

UOT: 665: 502.7

NEFT MƏDƏNLƏRİNDƏ LAY SULARININ KORROZİYA AKTİVLİYİNƏ QARŞI MÜBARİZƏ VƏ ƏTRAF MÜHİTİN MÜHAFİZƏSİ

E.Q. ŞAHBAZOV¹, N.İ. MƏMMƏDOVA¹

Neft-qaz sənayesində müxtəlif üzvi və qeyri-üzvi birləşmələrin qarışığından ibarət olan lay sularının həcmi ətraf mühitə təsirinə görə ən vacib tullantı axınıdır. Hasil edilən suyun keyfiyyət və miqdarı isə horizontlar üzrə dəyişir. Son on ildə dünyada tullantıların həcmi artması səbəbindən lay suyunun ətraf mühitə axıdılması və nəticələri ciddi ekoloji narahatlığa səbəb olur. Mədən şəraitində mühitə təsir səbəbləri tərkibindəki aqressiv komponentlərin hasilat avadanlıqlarını intensiv şəkildə korroziyaya uğratması və nəticədə yataqların işlənilməsində bu suların sızaraq qrunnt sularını, torpaq örtüyünü çirkləndirməsidir.

Açar sözlər: lay suları, korroziya, klaster analizi, nanohissəcik, emulsiya, mədən avadanlığı, ətraf mühit.

İşin məqsədi. Tədqiqatımızda məqsəd lay sularının ənənəvi utilizasiya üsullarını nanotexnologiyanın sərhədsiz imkanlarından istifadə etməklə təkmilləşdirmək və bu suların ətraf mühitə təsirini azaltmaqdır.

Giriş. Yer səthinə atılan və ya qəza səbəbindən lay sularının dağılması ərazinin mikrorel-yefinin dəyişməsinə, quyuaətrafi zonanın torpaqlarının təkrar duzlaşmasına səbəb olur. Bu sular mürəkkəb quruluşlu, yüksək toksiki tərkibə və geokimyəvi aktivliyə malikdir. Belə ki, lay sularının tərkibindəki karbohidrogenlər, müxtəlif duzlar torpaq məsamələrindən sızaraq qrunnt sularına daxil olur, onların kimyəvi tərkibinə və fiziki xüsusiyyətlərinə kəskin təsir edərək, nəticədə qrunnt sularının duz tərkibi, qələviliyi, hava-su mübadiləsi, karbon-azot balansının pozulmasına səbəb olur.

Neft-qaz sənayesinin mədən avadanlıqlarında bir çox hallarda səmt sularının korroziya aqressivliyi müşahidə edilir. Korroziya quyuların hermetikliyinin pozulmasına və məhsulun yığılı, hazırlanması və doldurulmasında sızmalara səbəb olur ki, bu da torpaq örtüyünün və içməli qrunnt sularının duzlaşmasına, bitkilərin məhvəsinə gətirir. Nəticədə, şoranlaşma prosesi intensivləşərək, torpaqlar yararsız hala gəlir və geniş miqyasda torpaq sahəsinin itirilməsi baş verir.

Dəniz şəraitində səmt sularını lay təzyiqinin saxlanması məqsədilə laya vurduqda, lazımı qaydada təmizlənmə və yoxlanma aparmadıqda bilavasitə istifadə istiqamətində effekt versə də, çox zaman quyuların gələcək istismar dövründə korroziya aqressivliyinin hiss ediləcək dərəcədə güclənməsinə səbəb olur. Müəyyən şəraitdə lay suları məhsuldar layın kapilyar kanalla-

¹ Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
E-mail: naza_366@mail.ru

rına daxil olur və tərkibindəki duzun çökməsi nəticəsində yaranmış duz çöküntüləri suyun laya daxil olmasına mane olur. Layda duzun çökməsinə səbəb, laya vurulan zidiyyətli suların qarışdırılması, termobarik şəraitin dəyişməsi, suyun deqazasiyası və suyun ümumi mineralizasiyasının dəyişməsidir. Belə ki, lay mənsubluğu nəzərə alınmadan müxtəlif tərkibli lay sularının qarışdırılmasından sulfat və karbonat duzlarının çökməsi baş verir. Temperatur və təzyiq dəyişməsindən isə natrium xlor, eləcə də, karbonat duzları çökür.

Ümumiyyətlə, lay sularının təmizlənmə metodologiyasının seçilməsində suyun tərkibi, lay mənsubluğu, istifadə məqsədi nəzərə alınmalıdır. Tərkibi kifayət qədər aqressiv komponentlərlə, eləcə də dağılmış neft emulsiyası ilə zəngin olan bu suların eyni çökdürücülərdə toplanaraq təmizlənməsi, işlənilmə dövründə istifadə olunan avadanlıq və boruların tez sıradan çıxmasına səbəb olur. Eyni zamanda, təmizlənmə keyfiyyətinin (normativ qaydalardan) aşağı olması utilizasiya quyuları ilə vurulan suyun təzyiqini artırıdığca işçi agentin quyu ətraflarından çıxması baş verir. Mövcud vəziyyət isə ətraf mühitin ekoloji tarazlığının pozulmasına gətirir.

Uzun müddət istismar edilən neft yataqlarının əksəriyyəti sulaşmış olduğundan qeyri-rentabellidir və belə quyulara yalnız yeni texnologiya olan nanotexnologiya tətbiq etməklə, həm qalıq ehtiyatı çıxarmaq, həm də istismar zamanı mürəkkəbləşmələri həll etmək olar [4,8]. Çünki, hasil edilən suların utilizasiyası, xüsusilə, dəniz əməliyyatlarında olduqca çətinidir. Belə ki, təkrar istifadə ediləcək lay sularının təmizlənməsində metal nanohissəciklərdən (MNH) istifadə müasir təmizləyici texnologiyaların qarşılaşdığı çətinlikləri aradan qaldırmaq üçün perspektivli bir yoldur.

Məsələnin qoyuluşu. Tədqiqat zamanı Neft Daşları yatağının ayrı-ayrı sulaşmış horizontlarından hasil edilən lay sularının kimyəvi tərkibi laboratoriyada müəyyənənəşdirilmiş və Cədvəl 1-də sistemləşdirilmişdir. Yatağının işlənilməsindən keçən 63 il ərzində ilk balans ehtiyatları 44% artıq hasil edilmiş və buna uyğun olaraq məhsuldar horizontlar bu və ya digər dərəcədə sulaşmışlar [1,3]. İşlənilmənin sonuncu mərhələsində olan yataqda suvurma prosesində vurucu agent kimi istifadə edilən suyun təbii mühitə təsirinin mövcud təmizləmə qurğularının potensialından istifadə edərək, ardıcıl yüksək keyfiyyətinin təmin edilməsi aktual məsələlərdəndir. Çünki, cari dövrdə neft mədənlərimizdə bu texnoloji qurğuların təkmilləşdirilməsi və proseslərin intensivləşdirilməsi tələb olunur.

Ümumiyyətlə, uzun müddət istismar edilən neft yataqlarının əksəriyyəti sulaşmış olduğundan qeyri-rentabellidir və belə quyulara yalnız yeni texnologiya olan nanotexnologiya tətbiq etməklə, həm qalıq ehtiyatı çıxarmaq, həm də istismar zamanı mürəkkəbləşmələri həll etmək olar [4-8].

Lay sularının kimyəvi tərkibi və korroziya sürətinin öyrənilməsi göstərdi ki, səbəb quyuların 51 %-nin yüksək sulaşmaya məruz qalmasıdır. Neft Daşları yatağında neft hasilatını artırmaq üçün həyata keçirilən bir çox texniki və texnoloji tədbirlərdən sonra yatağın quyuları, nəql və yığım kompleks sistemləri aqressiv maddələrlə zənginləşir, oksigen, karbon, hidrogen-sulfid qazlarının miqdarı xeyli çoxalır, nəticədə korroziya aqressivliyinə malik elementlərin olması korroziya prosesinə səbəb olur [7]. Karbon qazının rütubətli mühitdə mövcudluğu da neft mədən avadanlıqlarında korroziya aqressivliyini sürətləndirir. Üzvi birləşmələr yüksək təzyiq və ya bakteriyaların təsirindən parçalanaraq CO₂ qazının əmələ gəlməsinə səbəb olur.

Cədvəl 1

Neft daşları yatağının blok və horizontları üzrə lay suları

Blok	Horizont	Minerallaşma dərəcəsi q/ekv,	Tip	Palmer xarakteristikaları, %			
				S ₁	S ₂	A ₁	A ₂
I	QaLD-2	0,1818	q	91,84	1,54	0	5,62
I	QaLD-3	0,12765	q	83,05	0	7,09	9,41
	QaLD-2	0,164	q	88,21	1,08	2,42	8,29
	QaLD-1	0,3322	q	88,19	0,17	2,477	9,17
	QA-2a	0,0987	q	82,58	1,29	1,30	14,83
	QA-2y	0,1179	q	86,44	5,36	1,07	8,13
	QA-1+1y	0,1249	C	87,42	1,22	1,66	9,70
	QD-2	0,1298	q	87,73	0,84	1,70	9,73
	QD-1	0,0708	q	83,605	0	5,38	11,02
III	Q-1	0,1392	q	83,90	0,17	5,07	10,90
	QD-1	0,1869	C	90,74	4,80	0	4,46
	QÜQ	0,343	C	94,86	1,46	0	3,68
	X	0,1954	C	92,84	1,22	0	5,94
	IX	0,2998	C	95,06	0,80	0	4,14
	VIII	0,2512	C	95,06	2,14	0	2,80
	VII	0,3665	q	96,00	0	0,59	3,41
	VI	0,339	C	88,91	8,39	0	2,70
IV	V	0,3174	q	9,09	3,40	0,94	4,57
	QA-2a	0,127	q	85,95	2,48	0	11,57
	QA-2	0,1198	q	84,98	0	3,00	12,02
	QA-1	0,2084	q	88,42	0	4,49	7,09
	QD-2	0,2025	q	89,50	0	2,54	7,96
	QÜQ	0,1003	q	80,46	0,60	6,00	12,94
	FLD	0,1414	q	88,07	3,67	0,95	8,26
	X	0,3029	q	94,03	1,38	0,23	4,36
V	IX	0,168	q	91,62	5,75	0	2,63
	VIII	0,1927	C	85,56	2,53	31,14	8,77
	VIIa	0,1592	q	80,83	3,37	2,18	13,62
	QA-3	0,1189	q	83,41	0,51	0,84	15,24
	QA-2+1	0,1308	q	90,57	0	0,24	9,19
	QA-2y	0,0726	q	81,82	6,06	0	12,12
	QA-1	0,1036	q	86,58	0,96	0	12,37
	QÜQ	0,1381	C	81,61	5,68	2,7	10,00
	FLD	0,171	HK q	86,42	2,32	2,13	9,13
	X	0,1753	q	85,87	4,38	1,45	8,30
	IX	0,1455	q	83,32	6,10	2,16	8,42
	VIII	0,1819	q	86,43	0	4,87	8,70
V	VIIa	0,2332	HK q	88,70	6,23	0,23	4,84
	VII	0,1592	q	88,28	0	3,85	7,93
	V	0,1542	q	86,90	0	2,46	10,64

Çünki, CO₂ qazı suda yaxşı həll olur və zəif karbonat turşusuna çevrilir. Yataqda CO₂ qazının su ilə reaksiyasından pH-ın qiyməti 4-5 olur[2].

Lay sularının hidrogeologiyası və hidrokimyəvi xarakteristikası quyulardan sınaq və mənimsənilmə zamanı götürülən su nümunələrinin analizlərinə əsaslanır. Duzluluq və qələvilik göstəriciləri ilə xarakterizə olunur. Duzluluq dedikdə, tərkibində qüvvəli turşuların ionlarının (SO₄²⁻, Cl⁻), qələvilik isə zəif turşu ionlarının (HCO₃⁻, CO₃²⁻) iştirak etməsidir [2, 6]. Palmer üsuluna əsasən lay sularının öyrənilməsi zamanı iki cür duzluluğun və iki cür qələvililiyin olması qəbul edilmişdir.

Beləliklə, xarakterinə görə lay suları şərti olaraq 2 tipə - birinci, qələvilik olan “qələvi sular”a; ikinci, duzluluq olan “cod” sulara bölünür. Birinci tip, əsasən, kalsium-xlorid, ikincisi isə natrium-hidrokarbonat tərkibli. Cod suda duzların miqdarı bəzən 200 q/l-dək, qələvi tipdə isə bu rəqəm 70 q/l həddindən çox deyildir. Lay sularının tipi laboratoriya şəraitində müəyyən edilmiş və aşağıdakı cədvəl 1-də sistemləşdirilmişdir.

Aparılan analizlərdən təqdim edilən hidrokimyəvi informasiyaya görə yataq üzrə lay sularının minerallaşması 72,2-dən (Abşeron mərtəbəsi) 48,0 mq-ekv/100 q-a (QaLD) kimi dəyişir [3]. Dərinliyə getdikcə suların mineralizasiya dərəcəsi tədricən azalır. Əgər məhsuldar qatın yuxarı horizontlarında suyun tərkibi xlorkalsiumlu və xlorkalsiumludursa, alt şöbədə, QÜQ başlayaraq QaLD dabanına kimi hidrokarbonat-natrium tipli sular əsas

yer tutur [3]. Təhlil göstərir ki, avadanlıqların korroziyaya uğraması yatağın yuxarı horizontlarında daha intensiv gedir.

Palmer təsnifatına əsasən kəsiliş boyu birinci qələviliyin artması (A_1), birinci duzluluğun azalması müşahidə olunur. QaLD, QA, QD və QÜQ-ün kəsilişlərində qələvi sular yayılmışdır. Suların belə yayılması çöküntü toplanmadan tutmuş strukturların formalaşmasına kimi müşahidə edilmişdir. Suların mineralaşmasının dərinlikdən asılı olaraq azalması və MQ alt şöbəsində tipinin sabit qalması tərkibinin formalaşması dövründə səth sularının təsiri və sərbəst su mübadiləsi zonasından hidrogeoloji təcrid olduğunu göstərir [3].

Eksperimental hissə (Məsələnin həlli). Neft Daşları yatağında 4 saylı NQÇİ-nin sulaşmış quyularından götürdüyümüz lay sularının mikrobioloji tədqiqi zamanı müxtəlif mikrobioloji qruplardan olan sulfatreduksiyaedici (SRB), dəmir (FeB), karbohidrogen oksidləşdirici (KOB) və tion bakteriyaları (TB) ilə kompleks sənaye qurğularının yoluxduğunu göstərdi (Cədvəl 2.). Yataqda suvurma üsulunun tətbiqi məhsuldar neft laylarının mikroorqanizmlərlə çirklənməsinə səbəb olmuşdur [3]. Bəzi tədqiqatlar neftqazçıxarma sənayesində istismar olunan avadanlıqların dağılmasının 80%-nin mikroorqanizmlərin həyat fəaliyyəti nəticəsində baş verən bioloji korroziyadan olduğunu göstərir [9].

Neft sənayesində səmt sularının təmizlənməsində əsasən üç üsul tətbiq edilir: çökdürmə, filtrləmə və flotasiya. Müxtəlif kəsilişlərdən hasil edilən səmt suları ümumi çənlərə vurulur və yalnız mexaniki üsulla təmizləndikdən sonra təkrar istifadə edilir. Bu da vurulan suyun effektivliyinin məhdudluğuna gətirir. Cədvəl 1-də verildiyi kimi, eyni lay daxilində lay sularının kimyəvi tərkibi sabit qalmır. Tələb edilən təmizlik dərəcəsində utilizə edilməmiş bu suların tərkibindəki həll olmayan duzlar və digər komponentlər kollektorların məsamələrinə dolaraq, hasilatın azalmasına səbəb olur.

Tədqiqatımızda qarşıya çıxan geoloji-texnoloji mürəkkəbləşmələrin həlli üçün klaster analizi ilə riyazi model qurduq. Klaster analizi ilə oxşarlıq əmsalının təyin edilmiş qiymətlərində obyektləri optimal qruplaşdırmaq olur. Modelə əsasən horizontlar üzrə hasil edilən səmt suları hidrokimyəvi tərkibə görə qruplaşdırıldı. Belə ki, oxşar tərkibli suların lay mənsubluğunu nəzərə alaraq, ayrıca rezervuarlarda toplanıb daha sonra utilizasiyasını təmin edə bilərik. Qruplaşma ziddiyyətli suların lay mənsubluğuna əsasən utilizasiyası üsulunun seçilməsini təmin edəcək.

Üsul iki yanaşma ilə realizə olunur [1].

1. Korrelyasiya əmsalı – oxşar göstəriciləri daha çox olan obyektlər və ya parametrlər arasında müqayisə aparmaq üçün istifadə edilir.

2. Standartlaşdırılmış n ölçüsündə Evklid məsafə – hər birinin n ölçüsü olan m obyekt götürülsə, onda məlumatlar $m \cdot n$ ölçülü matris alınar. Obyektlər arasında oxşarlıq ölçüsünü müəyyənləşdirmək üçün aşağıda göstərilən düsturdan istifadə edilir:

$$d_{ij} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (X_{ik} - X_{jk})^2}{n}} \quad (1)$$

Neft Daşları yatağının horizontları üzrə su analiz göstəriciləri cədvəl 3-də toplanmış və bu parametrlər əsasında qurulmuş dendrogram isə şəkil 1-də verilmişdir.

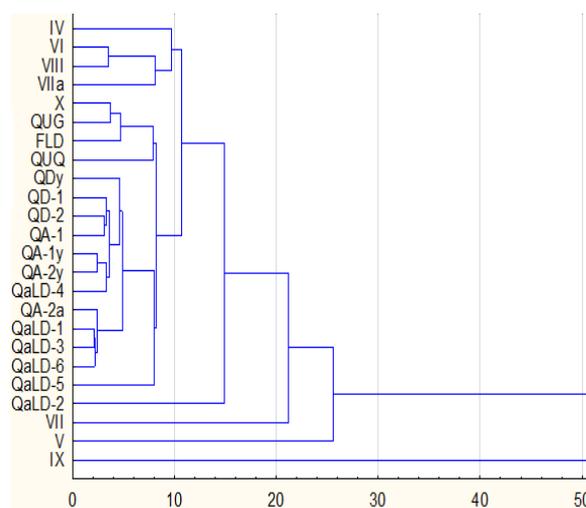
4 saylı NQÇS-nin sulaşmış quyularının lay sularının mikrobioloji göstəriciləri

Meydança, №	Quyu, №	Horizont, №	Sulaşma, %	pH	H ₂ S miqdarı, mq/l	Mikroorqanizmlərin miqdarı, hüç/ml		
						SRB	FeO	KOB
1	2	3	4	5	6	7	8	9
99	99	QA-2a	65	8,0	34,0	10 ¹	10 ⁵	10 ⁸
	113	QÜQ	52	7,8	17,0	10 ¹	10 ⁶	10 ⁸
	147	QD-2	55	7,6	59,4	10 ⁴	10 ⁸	10 ⁷
	312	QD-2	64	7,6	34,0	10 ³	10 ⁵	10 ⁷
	1677	QA-2a	48	7,8	85,0	10 ⁴	10 ⁶	10 ⁸
1637	1931	FLD	60	7,0	34,0	10 ²	10 ⁷	10 ⁷
	1933	FLD	50	6,2	22,5	10 ²	10 ⁷	10 ⁸
1637a	2643	QA-2y	79	8,0	23,7	10 ³	10 ⁷	10 ⁷
679	798	VIII	85	6,0	68	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁶
	1558	VIIa	91	6,4	59,5	10 ²	10 ⁷	10 ⁸
1770	1852	X	25	7,8	21,0	10 ²	10 ⁶	10 ⁸
	1858	VIII	-	6,2	0	10 ²	10 ⁶	10 ⁷
	1861	VII	-	6,8	17,0	10 ³	10 ⁷	10 ⁷
2182	2146	X	83	6,0	0	10 ¹	10 ⁶	10 ⁷
	2182	VIII	78	6,0	34,0	10 ³	10 ⁷	10 ⁷
	2183	FLD	64	6,8	8,2	10 ²	10 ⁶	10 ⁷
	2184	X	79	7,0	17,0	10 ¹	10 ⁵	10 ⁷
	2306	X	88	7,4	81,0	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁸
	2186	VIIa	58	6,8	1,2	-	10 ⁷	10 ⁶
	2188	FLD	67	6,0	6,8	10 ²	10 ⁶	10 ⁶
	2187	X	-	7,6	34,0	10 ²	10 ⁷	10 ⁶
2214	2214	QÜQ	54	7,6	34,0	10 ³	10 ⁷	10 ⁶
	2216	FLD	33	7,0	8,5	-	10 ⁶	10 ⁷
	2218	FLD	67	7,0	17,0	10 ³	10 ⁷	10 ⁷
	2222	VIII	40	7,8	8,5	10 ²	10 ⁷	10 ⁷
	2305	FLD	83	8,0	0,3	10 ²	10 ⁷	10 ⁶
1620	1625	VIII	71	6,0	17,0	10 ²	10 ⁷	10 ⁷
	1650	QÜQ	77	6,6	61,0	10 ⁵	10 ⁷	10 ⁸
	1659	QA-1	60	6,4	59,5	10 ²	10 ⁷	10 ⁷
	1673	VIIa	33	5,2	0	10 ¹	10 ⁷	10 ⁷
1841	1798	QD-2	58	5,2	8,5	10 ²	10 ⁷	10 ⁷
	1949	QD-2	50	6,4	17,0	10 ³	10 ⁸	10 ⁷
2192	2193	VIII	75	5,2	51,0	10 ⁵	10 ⁷	10 ⁷
	2195	X	71	6,2	34,0	10 ²	10 ⁷	10 ⁷
	2197	QD-2	76	6,4	51,0	10 ⁴	10 ⁷	10 ⁸
1841	2198	FLD	95	7,6	3,6	-	10 ⁷	10 ⁷
2223	2191	VIII	67	5,0	0	-	10 ⁶	10 ⁷
	2200	VIII	78	5,0	47,3	10 ⁵	10 ⁷	10 ⁷
	2224	IX	33	6,0	8,5	10 ¹	10 ⁷	10 ⁶
	2225	IX	78	5,0	8,5	10 ¹	10 ⁷	10 ⁷
	2227	IX	38	6,8	0	-	10 ⁶	10 ¹
	2223	VIII	67	6,0	0	-	10 ⁶	10 ⁶

Neft Daşları yatağında horizontlar üzrə su analizinin nəticələri

Horizont	Sulaşma q/l	‰	Kimyəvi analizin nəticələri							
			Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₃	NB ₄ O ₇	Ca	Mg	Na+K
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IV	1,0295	4,25	58,9	0,2	5	0,9	0,2	0,8	1,8	62,8
V	1,0336	4,8	46,09	0,4	1,9	0,2	0,2	3,2	2,9	106,5
VI	1,0314	4,35	68,7	1,1	4,2	0,2	0,2	3,4	2,7	68,8
VII	1,0361	4,98	89,9	0,8	3,4	0,3	0,2	3,4	2,7	89
VII _a	1,0306	4,66	74,3	1,3	4	0,2	0,2	3,1	2,6	74,7
VIII	1,0306	5,28	66,3	1	4,3	0,3	0,1	2,2	20,62	68,6
IX	1,0247	3,69	50,2	0,7	5,2	0,3	1,5	1,8	1,8	131
X	1,0238	3,83	47,2	0,8	5,8	0,5	0,7	1,1	1,3	53,2
FLD	1,0201	3,08	50,6	0,8	5,2	0,4	0,3	0,8	1,6	56,2
QÜG	1,0261	3,89	49,5	1	3,3	0,3	0,2	1,2	1,1	51,8
QÜQ	1,0202	3,08	42,3	1,8	3,8	0,3	0,2	0,7	0,8	47,5
QDy	1,0184	3,34	37,6	0,6	3,4	0	0,3	0,9	0,8	40,9
QD-1	1,0166	3,16	33,5	1	4,4	0,7	0,3	0,5	0,8	39,3
QD-2	1,0177	2,47	31,1	1	4,7	0,6	0,2	0,5	0,6	37,2
QA-1y	1,0188	2,51	25,9	0,7	5,8	0,6	0,3	0,5	0,6	33,1
QA-1	1,019	2,68	28,7	0,9	5,5	0,5	0,4	0,6	0,8	35,4
QA-2y	1,0136	2,68	24	1,1	6,1	0,7	0,4	0,5	0,9	31,8
QA-2a	1,0233	2,38	19,8	1,1	5,8	1	0,4	0,5	0,6	27,7
QaLD-1	1,009	1,87	20	0,7	4,9	0,4	0,3	0,5	0,6	25,6
QaLD-2	1,0143	17,27	19,9	0,6	5,6	0,7	0,5	0,5	0,6	26,9
QaLD-3	1,012	1,85	18,2	0,3	5,6	0,6	0,5	0,4	0,4	25
QaLD-4	1,0126	1,98	24,1	0,4	4,3	0,6	0,5	0,5	0,5	29,2
QaLD-5	1,0092	1,48	13,19	0,2	4,9	0,4	0,4	0,2	0,3	18,8
QaLD-6	1,0125	1,93	20,8	0,1	3,2	1,3	0,3	0,2	0,3	25,7

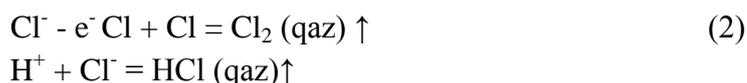
Riyazi modelə görə oxşar sular aşağıdakı kimi qruplaşır: IV, VI, VIII, VIIa horizontlarının suları oxşar olduğunda eyni rezervuarda toplanıb, utilizə edilə bilər. X, QUG, FLD, QUQ horizontların lay suları ikinci rezervuarda, QDy, QD-1, QD-2, QA-1, QA1y, QaLD-4 horizontların səmt suları isə üçüncü rezervuarda, QA-2a, QaLD-1, QaLD-3, QaLD-6 horizontların suları dördüncü rezervuarda utilizasiya edilə bilər. Fiziki-kimyəvi xassələri kəskin fərqlənən V, VII, IX, QaLD-2 horizontların suları isə ayrıca rezervuarlarda toplanması və bu sistemlərdə utilizasiya olunub istifadə edilməsi məqsəduyğundur.



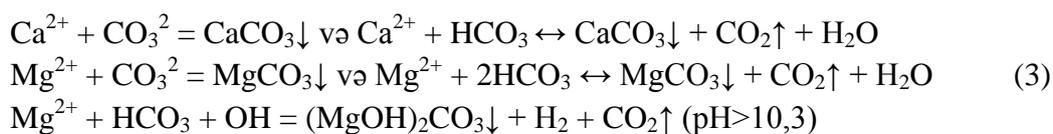
Şəkil 1. Oxşar tipli səmt sularının dendoqramması.

Məlumdur ki, metal nanohissəciklər kiçik konsentrasiyalarda SAM-ların aktivliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Bu səbəbdən, SAM-lar Al-nanohissəciklər polimerdən ibarətdir, və məhlulun pH-nı xlorid turşusu ilə tənzimləmək üçün nanokompozit hazırlanmışdır.

Mədən sınaqlarını aparmaq üçün nanotoz Al – 0,0001%, HCl (15%) – 0,02%, karboksimetilsellüloza (KMS) – 0,01%, sulfanol 0,01%, alkan 0,0125% olmaqla laboratoriyada sulu məhlul hazırlanmışdır. Hazırlanan nanokompozitin 150q/t sərfində 60⁰C-də 5 saat ərzində lay suyu ilə reaksiyası aparılmışdır. Beləliklə, nanokompozit sayəsində “Kiçik təsir və həyəcan” effekti bütün hissəciklərin kimyəvi çevrilmələrinə səbəb oldu. Sistem nanolaşdıqda yeni nanostrukturlaşma baş verdi. Belə ki, suda iştirak edən oksigen güclü kimyəvi reaksiyalarda iştirak etdiyindən, miqdarı azalır. Sistemdə yaranan güclü nanomərkəzlər neft-su emulsiyasının sabitliyinin pozulmasına, su mühitinin fiziki-kimyəvi tərkibinə təsir edir. Korroziyaya səbəb olan xlorid duzlarının ionları nano mühitdə Kulon qüvvəsinin təsiri ilə daha enerjili atomlara çevrilir. Bu zaman müxtəlif tezlikli elektromaqnit dalğaları yaranır. Onlar müstəqil rezonansa malik hissəciklərə çevrilir.



Karbonat və hidrokarbonat ionlarının mühiti tərk etməsi isə aşağıdakı reaksiyada göstərilir:



Reaksiyadan görüldüyü kimi, kalsium və maqnezium ionları karbonat ionları ilə birləşib, karbonat şəklində çökür və mühitdən ayrılır.

“Kiçik təsir və həyəcan” effektinin təsiri ilə nanosistemdə olan sulfat ionları ilə kalsium ionları birləşir və həllolma qabiliyyəti az olan kalsium-sulfat əmələ gətirir. Bu da məhlulda çöküb, neytral vəziyyətə keçir. Kalsium və sulfat ionlarının miqdarının azalma reaksiyası:



İstifadə etdiyimiz metal nanohissəciyin (Al 50-70) lay sularında yaratdığı paramaqnit sahəsi cod suyun fiziki-kimyəvi xassələrini dəyişdi. Bununla da, ilkin mühitdə lay sularının korroziya aktivliyinə malik aqressiv komponentlərin (H₂S və O₂) təsiri nanotəsirdən sonra xeyli azaldı.

Nəticə. İşimizdə iqtisadi effekt, müasir tələblərə cavab verməyən avadanlıqlarla mövcud mürəkkəb texnoloji şəraitdə məhsuldarlığın artırılması, avadanlıqların davamlılığının təmin edilməsi, ekoloji problemlərin nisbətən həlli elmi-nəzəri biliklərə və eksperimental işlərə əsaslanır. Belə ki, innovativ yanaşma əsas tələblərdən olan yeni avadanlıqların alınması və quraşdırılması üçün kapital xərclərə qənaət etməklə iqtisadi səmərəliliyi təmin etdi.

Beləliklə, ətraf mühit üçün olduqca təhlükəli çirkləndirici olan lay sularının zərərsizləşdirilməsi istiqamətində görülən işlərə əsasən, ilk olaraq, oxşar parametrlərinə görə qruplaşdırıldıqdan sonra nanolaşdırılıb, təkrar istifadəsi suyun effektivliyini artırır.

Qeyd edilən texnoloji, ekoloji-iqtisadi problemlərin həllində tətbiq etdiyimiz nanokompozit sayəsində əldə ediləcək müsbət amillər: ətraf mühitin mühafizəsi; sulaşmış quyulardan həddindən artıq hasil edilən lay sularının təkrar istifadəsi və istifadəsinin

səmərəliliyinin artırılması; geoloji qeyri-müəyyənliyin texnoloji göstəricilərə təsirinin azalması; nanostruktur aqressiv komponentlərin korroziya aktivliyini azaltdı; müasir tələblərə cavab verməyən təmizləmə avadanlıqlarının rentabelliği; texnoloji qurğuların təmirlərarası müddəti artar.

REFERENCES

1. **Bağirov B.Ə.** Azərbaycanın neft və qaz yataqlarının işlənilməsinin müasir vəziyyəti və perspektivləri. Bakı, 2003, s. 311.
2. **Hüseynov F.Ə., Kazımov Ş.P.** Karbohidrogen yataqlarının lay suları və işlənmənin texniki-iqtisadi göstəriciləri. Bakı 2010, 211 s.
3. Neftqazəlməhdəqiqatlayihə İnstitutu. Neft Daşları yatağının sulaşmış istismar quyularının lay sularının kimyəvi, mikrobioloji tədqiqi və korroziya aqressivlik xəritəsinin tərtibi mövzusu üzrə Elmi Tədqiqat İşləri haqqında Hesabat. Bakı 2016, s. 232.
4. **Şahbazov E.Q., Məmmədova N.İ.** Yataqların işlənilməsi zamanı yaranan ekoloji problemlərə qarşı nanosistemlərin tətbiqi. Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərinin Xəbərləri jurnalı Cild 21, Bakı 2019, s. 25-28.
5. **Agayev F.G., Tataraev T.M., Faradzheva L.N., Ragimov E.R.** (Агаев Ф. Г., Татаряев Т.М., Фараджева Л.Н., Рагимов Э.Р.) Oil pollution control of the Caspian Sea with help of space radiolocation. International symposium «Natural cataclysms and global problems of the modern civilization», Bakı, 2007, c. 555-558.
6. **Agalarov M.S.** Gidroximiya osnovnyh neftnyah mestorozhdenij Azerbajdzhana. Bakı: Azorneftneshr, 1960, 263 s. (Агаларов М.С. Гидрохимия основных нефтяных месторождений Азербайджана. Баку: Азернефтнешр, 1960, 263 с.)
7. **Mammadova N.I., Abdullaeva L.A.** Geoekologicheskie problemy utilizacii plastovyh vod mestorozhdenij Neftnyane Kamni // «Eko-Energetika» nauchno-tehnicheskij zhurnal, №3 Bakı, 2018, s. 35-38. (Маммадова Н.И., Абдуллаева Л.А. Геоэкологические проблемы утилизации пластových вод месторождений Нефтяные Камни//«Эко-Энергетика» научно-технический журнал, №3 Баку, 2018, с. 35-38).
8. **Miralamov G.F.** Nanotekhnologiya v povyshenii nefteotdachi // Vestnik Azerbajdzhanskoj inzhenernoj akademii, 2009, Tom 1, №1, s. 83-92. (Мираламов Г.Ф. Нанотехнология в повышении нефтеотдачи // Вестник Азербайджанской инженерной академии, 2009, Том 1, №1, с. 83-92).
9. **Solnceva N.P.** Obshchie zakonomernosti transformacii pochv v rajonah dobychi nefti. Vosstanovlenie nefte zagryaznennyh pochvennyh ekosistem. – M.: Nauka, 1988, s. 253. (Солнцева Н.П. Общие закономерности трансформации почв в районах добычи нефти. Восстановление нефте загрязненных почвенных экосистем. – М.: Наука, 1988, с. 253).

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ КОРРОЗИИ ПЛАСТОВЫХ ВОД В НЕФТЯНЫХ ПРОМЫСЛАХ

Е.Г. ШАХБАЗОВ, Н.И. МАМЕДОВА

В нефтегазовой промышленности объем пластových вод, состоящий из смеси различных органических и неорганических соединений, является наиболее важным потоком отходов из-за его воздействия на окружающую среду. Качество и количество производимой воды варьируется в зависимости от горизонтов. Из-за увеличения объема отходов в мире за последние десять лет выбросы и последствия разлива пластových вод в окружающую среду вызывают серьезные экологические проблемы. Причинами воздействия на окружающую среду в промышленных условиях являются интенсивная коррозия оборудования агрессивными компонентами и, как следствие, загрязнение грунтовых вод, почвенного покрова за счет утечки этих вод при разработке месторождений.

Ключевые слова: пластовая вода, коррозия, анализ кластера, наночистота, эмульсия, нефтепромысловое оборудование, окружающая среда.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGAINST CORROSION PROCESSES OF PRODUCED WATER IN OIL FIELDS

E.Q. SHAHBAZOV, N.I. MAMMADOVA

The volume of produced water consisting of a mixture of various organic and inorganic compounds is the most important waste stream due to its impact on the environment. The quality and quantity of produced water varies depending on the horizons. Recently, increase the volume of waste, the emissions and consequences of produced water spills into the environment cause serious environmental problems. The causes of environmental impact in field conditions are intensive corrosion of equipment by aggressive components and, as a result, contamination of ground water and soil cover due to leakage of these waters during oil recovery.

Key words: produced water, corrosion, cluster analysis, nanoparticle, emulsion, oilfield equipment, environment.

Redaksiyaya daxil olub: 11.12.2019
Tamamlama işlərindən sonra: 09.06.2020
Nəşrə qəbul edilib: 18.06.2020

УДК 502.3:351.773

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ АЗЕРБАЙДЖАНА

З.А. ТАРИХАЗЕР¹, А.Р. ГУДРАТЛИ¹

Рассмотрены принципы и методология оценки техногенного воздействия водохозяйственной деятельности на состояние окружающей среды и здоровье населения. Целью исследований была оценка состояния водохозяйственных объектов на Абшеронском полуострове и определение степени антропогенного воздействия их на окружающую среду. При проведении исследовательских работ были учтены работы и опыт специалистов в решении практических задач оценки и обеспечении экологической безопасности и надежности хозяйственных систем. Экологическая безопасность хозяйственного объекта рассматривается с вопросами, связанными с размещением объекта по отношению к природоохранным территориям, использованием земель, охраной атмосферного воздуха, охраной и использованием водных ресурсов, утилизацией отходов. В статье представлена взаимосвязь природно-техногенных факторов и экологического риска, а также представлена структура организации и управления комплексным экологическим мониторингом систем водоотведения на территории Абшеронского полуострова. В заключение, для решения проблемы количественного описания процессов, определяющих свойства экосистем водохозяйственного объекта, дана рекомендация применения математических моделей.

Ключевые слова: водохозяйственный объект, экологический риск, системы экологического мониторинга, оценка экологического риска, очистные сооружения, методика моделирования.

Введение. В практике водохозяйственных систем отсутствует единый общепринятый подход к оценке свойств экологических систем: устойчивости, экологического благополучия. С решением проблем экологического благополучия неразрывно связана проблема ограничения водных ресурсов, загрязнения и изменения климата, а также проблема модернизации экологического нормирования.

Одним из эффективных подходов к созданию устойчивой системы экологического благополучия может оказаться постепенный переход к внедрению системы нормирования по принципу «наилучших технологий без чрезмерных затрат». В данном случае под «технологиями» понимается весь жизненный цикл производственного объекта, от проектирования до утилизации. Внедрение этого принципа в большинстве европейских стран положило начало разработке систем экологического мониторинга.

¹ ОАО «Азерсу», Научно-исследовательский и проектный институт «Суканал»
E-mail: aydanqudratli@gmail.com

Сохранение экологической устойчивости, рациональное использование запасов, охрана водных источников, снижение экологического риска производственных объектов является приоритетной задачей для независимого Азербайджана. За последние десять лет в стране были осуществлены широкомасштабные государственные программы, направленные на оздоровление экологического положения, а также были внедрены большие дорогостоящие проекты. Во всех государственных программах особое место уделено вопросам водной политики. В рамках «Национальной программы устойчивого социально-экологического развития страны» каждый житель страны должен иметь доступ к чистой качественной воде [1].

С созданием современных курортных комплексов вдоль всего азербайджанского побережья Каспийского моря, а также в рамках реализации Государственной экологической программ проводятся работы по рекультивации загрязненных земель, озеленению и посадке на обширных территориях лесных деревьев и работы для полного прекращения сброса неочищенных сточных вод в море. Следует подчеркнуть, что Азербайджан является единственной прикаспийской страной, осуществляющей комплексные меры для защиты Каспия от загрязнения. Кроме того, в ряде городов страны для сохранения благоприятной экологической ситуации и для совершенствования систем водоснабжения и канализации были сданы в эксплуатацию современные станции биологической очистки и ультрафиолетового обеззараживания сточных вод, модернизированы существующие очистные сооружения.

В то же время следует отметить, что сосредоточение большинства предприятий промышленности, энергетики, коммунального хозяйства и автомобильного транспорта на Абшеронском полуострове в сочетании с высокой плотностью населения привели к появлению проблем как социального, так и санитарно-гигиенического и экологического характера. Абшерон располагается на западном побережье Каспийского моря, представляет собой юго-восточное окончание Большого Кавказского хребта, относится к сейсмоактивной зоне (последнее землетрясение произошло в 2000 году) и состоит, главным образом, из неогеновых и антропогеновых отложений. Для рельефа характерны бессточные котловины с солончаками и солеными озерами, имеются участки подвижных песков. Абшерон и прилегающая акватория Каспийского моря относятся к нефтегазоносному району, поэтому наблюдаются такие экологические проблемы, как деградация почв, случаи загрязнения поверхности нефтью, буровые отвалы и т.д. Следует подчеркнуть, что Каспийское море является уникальным закрытым водоемом и деятельность экологов и нефтяных концернов направлено на максимальное снижение уровня воздействия на Каспий путем применения при разработке и эксплуатации нефтяных месторождений самых передовых технологий, применения безопасных химических реагентов и материалов.

Абшеронский полуостров является аридной зоной и испытывает на себе сильное антропогенное воздействие, застроен в основном индивидуальными домами, а центральная часть города застроена многоэтажными домами и высотными зданиями. В связи с этим нарастающие противоречия между загрязнением окружающей среды и ее экологической значимостью определяют необходимость разработки системы оценки последствий и поиска путей оптимального решения проблем техногенного воздействия на окружающую среду.

Постановка задачи. Понятно, что комплексные исследования экологической ситуации в крупном хозяйственном регионе является сложной проблемой. Проводить анализ большого количества показателей неоднородных по информативности и размерности, улавливать скрытые закономерности и изучение динамики природно-хозяйственных систем

определенно сложная задача. Поэтому оценка антропоэкологической системы (по Данилову Ю.Д., «антропоэкологическая система» представляет собой различные сообщества людей, которые находятся в постоянной и динамической взаимосвязи с окружающей средой и используют ее для удовлетворения своих потребностей.) должна рассматриваться как единая система: источники воздействия - окружающая среда – человек.

Целью работы является оценка состояния водохозяйственных объектов на Абшеронском полуострове и определение степени антропогенного воздействия их на окружающую среду. В международных природоохранных документах воздействие на окружающую среду означает «любые последствия планируемой деятельности для окружающей среды, включая здоровье и безопасность людей, флору, фауну, почву, воздух, воду, климат, ландшафт, исторические памятники и другие материальные объекты...» [2].

В Законе Азербайджанской Республики «Об охране окружающей среды» при эксплуатации промышленных объектов подчеркивается необходимость в соблюдении установленных экологических требований и экологически обоснованных технологий. «...Объекты систем водоснабжения и канализации... должны быть оснащены эффективными средствами для очистки, обезвреживания, должны экономно и рационально пользоваться природными ресурсами и принимать меры по экологической безопасности» [3].

При проведении исследовательских работ были учтены методологические подходы и накопленный опыт в решении практических задач оценки и обеспечении экологической безопасности и надежности хозяйственных систем, а также фундаментальные работы таких исследователей, как: Н.Ф. Реймерс, Н.Н. Моисеев, Е.И. Пупырев, Р.Г. Мамин, И.И. Мазур, Н.Н.Абрамов, Л.Ф.Мошнин, С.В.Яковлев, В.И.Калищун, Ю.Н.Руденко, Ю.А.Ильин, М.И.Алексеев, В.С.Игнатчик, С.В.Храменков, Ю.Д. Данилов, В.И. Баженов, А.В. Хохряков, Р.К. Херц, М. Роман, Г. Майер, Н. Левин, Р. Барлоу, Ф. Прошан и др [4].

Методика принципов комплексной оценки и прогноза состояния источников опасности окружающей среды и здоровья населения базируется на принципах системности, приоритета ограничения природопользования, экологической безопасности, превентивности природоохранных мероприятий и др. [5]. Следует отметить, что имеются существенные различия в оценке воздействия на окружающую среду действующих водохозяйственных объектов и оценке уровня антропогенного воздействия в самих хозяйственных системах. В таком случае при исследовании экологической безопасности рассматриваются вопросы, связанные с размещением объекта по отношению к природоохранным территориям, использованием земель, охраной атмосферного воздуха, охраной и использованием водных ресурсов, утилизацией отходов. Поэтому требуются покомпонентные научные исследования, разделение антропогенных воздействий по видам, длительности, масштабу и интенсивности в пределах природных и природно-хозяйственных систем.

Экологический мониторинг окружающей среды в пределах водохозяйственных систем становится основой и важнейшим вопросом в стратегии управления этих систем. При проведении мониторинга определяются наиболее опасные источники и факторы антропогенного воздействия на человека, с одной стороны, а с другой стороны – наиболее уязвимые элементы и звенья окружающей среды, подверженные вредному воздействию со стороны хозяйственной деятельности человека. К основным задачам экологического мониторинга относятся: получение достоверной и оперативной информации о ситуации водохозяйственной системы; выявление основных источников поступления загрязняющих веществ окру-

жающей среды и определение степени их воздействия на системы; прогноз природно-техногенной опасности в территориальных и объектовых звеньях систем; установление фактов аварийного загрязнения объектов и других антропогенных ситуаций, оценка их экологических последствий; разработка рекомендаций по предупреждению и устранению негативных тенденций, связанных с возникновением чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Методы испытаний. На уровне производственного комплекса детальная оценка состояния окружающей среды, самого объекта и здоровья населения ведется по следующим контролируемым параметрам: выбросы и сбросы (потоки и содержание в них загрязняющих веществ); атмосферный воздух (температура, влажность, давление, осадки, скорость и направление ветра, диоксиды, оксиды, фенолы и т.д.); почвенный покров (агрохимические показатели, загрязнение пестицидами, ядохимикатами, тяжелыми металлами); грунтовые и поверхностные воды (гидрологические параметры концентрации загрязняющих веществ и изменения в результате антропогенных воздействий); количество работающих сотрудников и населения, попадающего в зону поражения (риск для здоровья от различных факторов техногенной нагрузки и природных явлений); способы защиты и меры предупреждения аварийных ситуаций.

Создание математической модели происходит параллельно со сбором информации процессов антропогенного воздействия и с учетом проведенных необходимых расчетов и визуализации результатов. Используется также геоинформационный программный комплекс, который объединяет базы данных по всем природным и антропогенным изменениям, источникам техногенного воздействия. Следует подчеркнуть, что на некоторых вновь построенных станциях водоснабжения и канализации на территории Абшерона и в регионах страны внедрены современные ГИС технологии.



Рис. 1. Основные этапы проведения экологического мониторинга водохозяйственного объекта

Следует отметить, что за последние десятилетия отношение к экологическому мониторингу претерпели существенные изменения. Если ранее мониторинг производственного объекта воспринимался как наблюдение за состоянием окружающей среды и носил свойства «диагностического мониторинга», то на сегодняшний день становится актуальным учитывать взаимосвязь природно-техногенных факторов и экологического риска.

Экологический риск – это оценка уровня экологической опасности хозяйственного объекта, определяющая как произведение величины ущерба, наносимого воздействием хозяйственного объекта на вероятность возникновения чрезвычайной ситуации [6].

Исходя из национального и международного опыта для оценки рисков R , используется функционал F , связывающий вероятность P возникновения неблагоприятного события и математическое ожидание ущерба U от этого неблагоприятного события:

$$R = \sum P \times U, \quad (1)$$

где P – вероятность возникновения чрезвычайной ситуации, влияющей на окружающую среду и здоровье человека; U – ущерб от воздействия опасного фактора.

К преимуществам такой оценки экологического риска можно отнести: надежность, простота анализа, обеспечивает наглядность и психологическую приемлемость. К недостаткам же относится то, что существует потенциальная возможность упустить из вида какие-либо редкие, но важные цепочки событий при развитии аварии, требуется большое число исходных данных, недостаточная статистика по отказам оборудования, и все это может повлиять на достоверность полученных оценок.

При условии, что ущербы от различных событий измеряются по одной шкале, а именно в стоимостном выражении, для определения величины среднего риска вместо выражения (1) можно применять следующую формулу:

$$R = \sum_{i=1}^n \times \sum_{j=1}^m P_j \times P_{i(j)} \times X_i, \quad (2)$$

где i - виды неблагоприятных событий, P_j - выражает закон распределения вероятностей наступления неблагоприятных событий; $P_{i(j)}$ - выражает законы распределения ущербов при наступлении каждого из таких событий.

Вероятность P возникновения анализируемого по неблагоприятному событию (или его составляющих P_i) в общем случае определяется как функционал вероятностей, зависящий от источников, соответствующих поражающих факторов и объектов поражения – человек N , объект техно сферы T и окружающая среда S

$$P = F_p \{P_N, P_T, P_S\} = \sum_i [F_{P_i} (P_{N_i}, P_{T_i}, P_{S_i})] \quad (3)$$

Управление экологическими рисками с учетом выражения (3) сводится к тому, чтобы выполнить комплекс трех основных мероприятий: научно с применением расчетно-экспериментальных методов оценить риски; с учетом международного, национального, отраслевого и локального опыта научно обосновать предельно допускаемые уровни рисков; разработать мероприятия с необходимыми затратами и их эффективностью для обеспечения заданного уровня безопасности исследуемого объекта (рис.2). Таким образом, для количественной оценки экологических рисков необходимо знать, прежде всего, сами риски (факторы экологической опасности), а также методы оценки ущерба от их проявления.

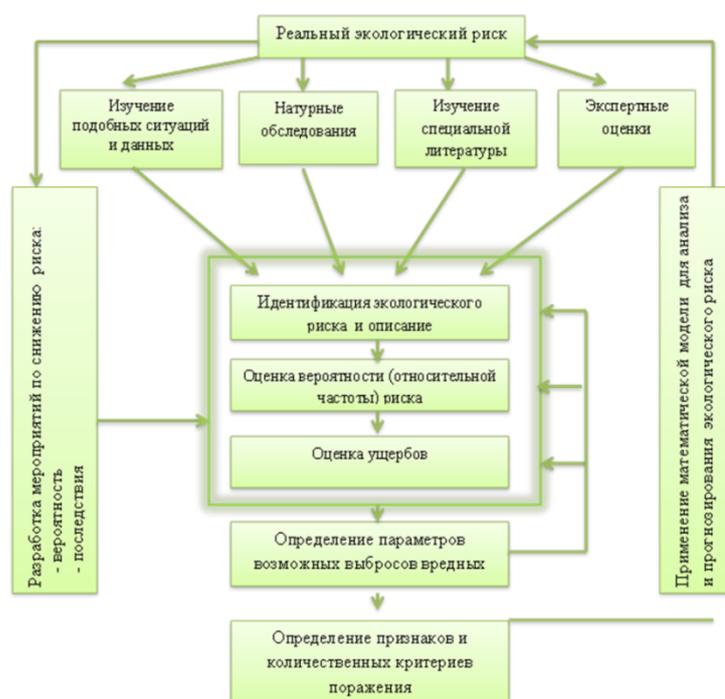


Рис. 2. Этапы процесса прогнозирования чрезвычайных ситуаций

Типичными производственными эмиссиями на станциях аэрации являются: твердые отходы (взвеси, органические химические вещества, отходы после промывки скрубберов, илы, случайные сбросы); загрязнение атмосферы (пыль, шум, вибрация), риск взрывов и пожаров, аварии. Проведенные исследования показали, что кроме критериев нормирования, при оценке негативного воздействия хозяйственного объекта очень важно учитывать критерии экологического риска и часть дополнительных критериев, в частности специфику производства и уровень здоровья населения. Степень возможной опасности и риска на Каспийское море представлена в таблице (усредненные данные за первое полугодие 2018 г).

Из анализа таблицы следует, что в среднем критерии экологического риска Каспийского моря осуществляется по содержанию в сточной воде ионов хлорида, общего фосфора, нитратов, нитритов, нефтепродуктов, фенолов, количества и разновидности биомассы, процессами продукции и деструкции микроорганизмов. Для исследования загрязнителей используются химические, экспрессные и высокочувствительные физико-химические методы анализа. Технологический процесс сооружений сточных вод контролируется на основании лабораторного контроля самих станций и Центральной лабораторией ОАО «Азерсу», а также с учетом данных природного контроля.

Точки отбора проб выбираются таким образом, чтобы они удовлетворяли, с одной стороны, требованиям контролирующих организаций, а с другой – обеспечивали возможность технологического контроля работы станции. Список контролируемых параметров сточной воды определяют исходя их параметров, контролируемых экологическими службами, и из необходимости оценки эффективности работы очистных сооружений (рис. 3, 4, 5).

Таблица

**Основные исследуемые загрязняющие параметры станций водоотведения
Абшеронского полуострова**

№	Наименование показателя загрязнения	Единица измерения	Методика	Говсанинская СА		Мардакан-Шувеланская СА		Сумгайтская СА	
				вход	выход	вход	выход	вход	выход
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Физико-химические показатели									
1	рН	-	ISO 10523	7,75	7,41	7,65	7,32	7,55	7,23
2	Запах	балл		4	1	4	1	4	1
3	Цветность	мг/л	ISO7887 C	53	23	237	32	156	26
4	Растворимый кислород	мгО ₂ /л	SM4500 O ₂ C	1,8	5,82	0,80	4,32	1,06	3,06
5	Мутность	НТУ	TS EN ISO7027	103	5,9	299	27,1	106	19
6	Взвешенные вещества	мг/л	TS EN 872	125	22	290	45	135	21
7	ХПК	мгО ₂ /л	SM 5220 B	211	62	438	86	318,1	144,4
8	БПК ₅	мгО ₂ /л	SM 5210 B	73	-	130	-	126	-
9	Хлорид ионы	мг/л	TS EN ISO9297	308	265	487	466	1138	1024
10	Сульфат SO ₄ ²⁻	мг/л	SM4500 SO ₄ ²⁻ E	291	361	342	335	567	569
11	Азот аммония NH ₃ ⁻	мг/л	SM4500 NH ₃ ⁻ C	15,5	8,7	26	13,5	28	20,5
12	Нитрат азота NO ₃ ⁻	мг/л	SM4500 NO ₃ ⁻ D	0,5	1,1	0,7	2,5	0,8	0,4
13	Нитрит азота NO ₂ ⁻	мг/л	SM4500 NO ₂ ⁻	<0,1	0,1	<0,1	0,07	<0,1	<0,1
14	Цианид	мг/л	SM4500-CN-F	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
15	Остаточный хлор	мг/л	ГОСТ18119072	-	1,45	-	1,25	-	0
16	ПАВ	мг/л	-	1,9	1,3	2,3	1,4	2,05	1,8
17	Фенол	мг/л	SM 5530 D	0,75	0,2	1,3	0,25	0,82	0,31
18	Нефтепродукты	мг/л	ПНВФ 14.1:2.116-97	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,4	<0,3
19	Органические вещества, содержащие азот	-	SM 4500-N _{org} B	21,5	11	31	17	33	26
20	Общий фосфор	-	EPA 200,7	8,7	0,8	7,1	3,1	2,0	1,1
21	Масло и масляные вещества	-	SM 5520 D	1,5	0,8	0,9	0,4	1,6	0,5
Микробиологические показатели									
1	Общие колиформ бактерии	КОЕ/100мл	SM 9222 B		0		4		1500000
2	Е.Коли	КОЕ/100мл	SM 9222 B		0		4		1500000
3	Энтерококки	КОЕ/100мл	EN ISO 7899-2		0		900		800000
4	Фекальные колиформ бактерии	КОЕ/100мл	SM 9222D		0		13		500000

Результаты эксперимента

и их обсуждение. Несмотря на то, что в области моделирования и прогноза чрезвычайных ситуаций было получено много важных результатов, ряд проблем остается нерешенными до настоящего времени. Однако научные исследования в этой области охватывают далеко не все хозяйственные объекты, подверженные риску возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера. Так, например, что касается таких природных катаклизмов, как сели, оползни, землетрясения, то исследования в основном направлены на оценку вероятности возникновения ситуаций на горных территориях, и к равнинным территориям неприменимы.

Стоит отметить, что большая часть математических моделей и методов основана на многолетних наблюдениях хозяйственных объектов и предназначена для долгосрочного прогноза, в результате чего точность краткосрочного прогноза, полученного этими методами, снижается. Что касается прогноза оценки экономического ущерба от последствий природно-техногенных чрезвычайных ситуаций, то в этой области также не существует универсальных методов и схем, позволяющих выбрать оптимальную стратегию поведения на рассматриваемой территории [9-12]. Модели, которые будут выбраны нами для проведения оценки и прогнозирования в системе мониторинга экологической ситуации на выбранных водохозяйственных объектах Абшерона, будут собраны в систему в виде составляющих множеств v : v^1 (оценка), v^2 (прогнозирование) и x (компоненты природной среды). Значения компонентов природной среды выбираются согласно особенностям природной среды изучаемого хозяйственного объекта, а значения, выбранные для проведения оценки и прогнозирования изменения показателей, определяются на основе измерений и теоретических расчетов по известным значениям параметров функционирующей системы. Таким образом, методика оценивания устойчивости и экологического благополучия водохозяйственных объектов связана с решением проблемы количественного описания большого числа процессов, определяющих свойства экосистем. В этом случае наиболее удобным и эффективным является применение расчетных методик и математических моделей с программным обеспечением. Каждый из предложенных сегодня методов техногенного воздействия производственного объекта имеет свои преимущества и недостатки и в каждом случае требуется построить упрощенную модель объекта, чтобы сохранить ее адекватность реальному объекту. Проверка адекватности модели требует работу широкого круга специалистов различного профиля, и трудность заключается в получении достоверных исходных данных как объективных, так и субъективных вероятностей. Так в



Рис. 3. Комплекс сооружений водоотведения Говсаны (фактической мощностью 490 м³/сут.)



Рис. 4. Комплекс сооружений Мардакан-Шувелан (фактической мощностью 10 м³/сут.)



Рис. 5. Станция аэрации в городе Сумгаит (фактической мощностью 65 м³/сут.)

рамках статистических методик наиболее общим показателем риска считается математическое ожидание (среднее значение) ущерба от опасного события за год: Показатель риска (ущерб/время) = частота (событие/время) \times средний ущерб (ущерб/события). Однако, имеется определение прогноза техногенных рискованных для окружающей среды ситуаций, которое формулируется следующим образом: опережающее отражение вероятности появления и развития техногенных чрезвычайных ситуаций и их последствий на основе оценки риска возникновения пожаров, взрывов, аварий, катастроф и т.д. [7, 8]. Таким образом, в зависимости от решаемой проблемы необходимо оптимальное сочетание параметров: точность прогноза и глубина прогноза риска аварийной ситуации как природного, так и техногенного характера.

Заключение. Анализ основных принципов организации экологического мониторинга на водохозяйственных объектах определяет основные функции и модель системы мониторинга экологической ситуации как интеллектуальной автоматизированной системы. Методы организации практического функционирования системы мониторинга обеспечивают возможность решения комплекса задач, связанных с поддержкой принятия управленческих решений в сфере экологической безопасности хозяйственного объекта. В результате организации практического функционирования системы мониторинга объективные и оперативные управленческие решения необходимы для ликвидации негативных последствий техногенного воздействия на природную среду и здоровье населения.

REFERENCES

1. Realization of technologies treatment of waste waters in Azerbaijan. A.A.Mammadov, F.Y.Ibadullayev. Herald of the Azerbaijan Engineering Academy. The international scientifically technical journal. Cild 7. №2 / Vol. 7. №2 / Том 7. №2, Bakı 2015. (Реализация технологий очистки сточных вод в Азербайджане. А. А. Мамедов, Ф. Ю. Ибадуллаев. Вестник Азербайджанской Инженерной Академии. Международный научно-технический журнал. Том 7. №2, Баку, 2015).
Council Regulation (EEC) No. 1210/90 of 7 May 1990 on the establishment of the European Environment Agency and the European Network of information and environmental monitoring. (Регламент совета (ЕЭС) № 1210/90 от 7 мая 1990 года об учреждении Европейского агентства по окружающей среде и Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой)
[/http://eulaw.edu.ru/old/documents/legislation/okr_sreda/evr_ag_okr_sred.html](http://eulaw.edu.ru/old/documents/legislation/okr_sreda/evr_ag_okr_sred.html)
2. Law of the Azerbaijan Republic "About Environmental Protection" No. 678-IQ of June 8, 1999, Baku
Закон Азербайджанской Республики «Об охране окружающей среды» №678-IQ от 8 июня 1999 г., г. Баку
3. Estimating criteria for the environmental situation in the territories to identify areas of environmental emergency and areas of environmental disaster. Moscow. 1992.
Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М. 1992.
4. **Akimov V.A.** Natural and man-made emergencies: dangers, threats, risks/V.A.Akimov, V.D.Novikov, N.N.Radev.-M.: Business express, 2001. (Акимов В.А. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски / В.А. Акимов, В.Д. Новиков, Н.Н. Радев. – М.: Деловой экспресс, 2001).
5. Methodological instructions on the analysis of the hazardous industrial facilities' risk RD 03-418-01. St. Petersburg. 2002.
Методические указания по проведению анализа риска опасных промышленных объектов РД 03-418-01. СПб. 2002.
6. ГОСТ R. 22.1.01-95. Safety at emergency situations. Monitoring and forecasting. Basic provisions. Introduction. 1997-01-01. Moscow: IPK Publishing Standards. 1996
ГОСТ Р. 22.1.01-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Основные положения. Введение. 1997-01-01. М.: ИПК Изд-во стандартов. 1996
7. ГОСТ R. 22.1.02-95. Safety in emergency situations. Monitoring and forecasting. Terms and Definitions. Introduction. 1997-01-01. Moscow: IPK Publishing House of Standards 1996, 10 p.
ГОСТ Р. 22.1.02-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Термины и определения. Введение. 1997-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов 1996, 10 с.

8. Environmental monitoring: step by step. / E.V. Venizianov and [others]; Ed. E.A. Stutterer. - Moscow: RHTU, 2003. - 252 p. - ISBN 5-7237-0447-8.
Экологический мониторинг: шаг за шагом. / Е.В. Веницианов и [др.]; под ред. Е.А. Заика. – М.: РХТУ, 2003. – 252 с. – ISBN 5-7237-0447-8.
 9. **Dmitriev V.V., Frumin G.T.** Ecological regulation and stability of natural systems. - St. Petersburg. 2004 (Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. - СПб. 2004).
 10. Bases of modeling of extreme situations: the manual / V.G.Shaptala, V.Yu.Radautsky, V.V.Shaptala; under obs.red. V.G.Shaptaly, - Belgorod: Publishing house of BSTU, 2010. - 166.
Основы моделирования чрезвычайных ситуаций: учебное пособие /В.Г.Шаптала, В.Ю.Радоуцкий, В.В.Шаптала; под общ.ред. В.Г.Шапталы, - Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – 166.
 11. Life safety: a training manual. Edited by LA Muravyov, Moscow, 2004.
Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие. Под редакцией Л.А.Муравья, - М., 2004.
-

AZƏRBAYCANIN SUTƏSƏRRÜFAT OBYEKTŁƏRİNƏ TƏBİİ-TEKNOGEN TƏSİRLƏRİN QANUNAUYGUNLUQLARININ TƏDQIQI

Z.A. TARİXAZƏR, A.R. QÜDRƏTLİ

Su təsərrüfatı fəaliyyətinin ətraf mühitin vəziyyətinə və əhalinin sağlamlığına texnogen təsirinin qiymətləndirilməsinin prinsip və üsulları nəzərdən keçirilmişdir. Axtarışların hədəfi Abşeron yarımadasında yerləşən su təsərrüfatı obyektlərinin vəziyyətinin qiymətləndirilməsi və onların ətraf mühitə antropogen təsirinin dərəcəsini təyin etməkdən ibarət idi. Axtarış işlərinin aparılması zaman təsərrüfat sistemlərinin etibarlılığı və ekoloji təhlükəsizliyin təmin edilməsində praktiki məsələlərin həll edilməsi üçün mütəxəssislərin iş və təcrübəsi nəzərə alınmışdır. Təsərrüfat obyektlərinin ekoloji təhlükəsizliyi; obyektin təbiət mühafizə sahələrinə nisbətən yerləşməsi, torpaqlardan istifadə, havanın mühafizəsi, su resurslarından istifadə və mühafizə, tullantıların təkrar emal edilməsi məsələləri ilə birgə nəzərdən keçirilir. Məqalədə təbii-technogen faktorların və ekoloji risklərin qarşılıqlı əlaqəsi və Abşeron yarımadasının ərazisində su ayırıcı sistemlərin kompleks ekoloji monitoringinin idarə edilməsi göstərilmişdir. Nəticədə, su təsərrüfatı obyektinin ekosistemlərinin xüsusiyyətlərini təyin edən proseslərin kəmiyyət təsviri probleminin həlli üçün, riyazi modellərin tətbiqinə dair tövsiyələr verilmişdir.

Açar sözlər: su təsərrüfatı obyektı, ekoloji risk, ekoloji monitoring sistemi, ekoloji riskin qiymətləndirilməsi, təmizləyici qurğular, modelləşdirmənin metodikası.

STUDY OF PATTERNS OF NATURAL AND TECHNOGENIC IMPACTS ON WATER MANAGEMENT FACILITIES IN AZERBAIJAN

Z.A. TARIKHAZER, A.R. QUDRATLI

There are considered the principles and methodology for assessing the technogenic impact of water management on the environment and public health. The purpose of the research was to assess the state of water facilities on the Absheron Peninsula and determine the degree of their anthropogenic impact on the environment. During research, the work and experience of specialists in solving practical problems of assessment and ensuring environmental safety and reliability of economic systems were taken into account. The environmental safety of the economic object is considered with issues related to the location of the object in relation to nature conservation areas, land use, air protection, water resources protection and use, and waste management. The article presents the relationship of natural and technological factors and environmental risk, and also presents the structure of the organization and management of integrated environmental monitoring of wastewater systems on the territory of the Absheron Peninsula. In conclusion, to solve the problem of a quantitative description of the processes that determine the properties of ecosystems of a water management facility, a recommendation is given to the use of mathematical models.

Key words: water management facility, environmental risk, environmental monitoring systems, environmental risk assessment, treatment facilities, modeling methodology.

<i>Поступило:</i>	<i>06.11.2018</i>
<i>Доработано:</i>	<i>06.06.2020</i>
<i>Принято:</i>	<i>16.06.2020</i>

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 yazıla bilər və onun bir nüsxəsi redaksiyaya təqdim olunmaqla, aşağıdakıları özündə əks etdirməlidir:

1. Məqalənin adı, müəlliflərin adı (3 dildə tərcüməsi), işin yerinə yetirildiyi müəssisənin adı və E-mail;
2. UDK kodu;
3. Annotasiya, 12–15 sətir (3 dildə tərcüməsi);
4. Açar sözlər, 6 sözdən çox olmayaraq (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 (adı, soyadı, atasının adı, elmi dərəcəsi, elmi rütbəsi, vəzifəsi, telefon nömrəsi, e-mail adresi), hansı müəlliflə yazışma aparılmalı olduğu qeyd edilməli;

Məqalənin əlyazmasına müəssisə rəhbərinin imzası ilə razılıq məktubu əlavə olunmalıdır.

9. Redaksiyaya daxil olmuş əlyazmalara redaksiya heyəti tərəfindən təyin olunmuş elmlər doktorları və ya namizədləri rəy verir. Redaksiya heyəti məqalələrə rəy vermək üçün redaksiya heyəti və şurası üzvlərini, eləcə də aparıcı mütəxəssisləri cəlb edir. Rəyin verilmə müddəti 3 aya qədərdir. Məqaləyə mənfi rəy verildiyi halda redaksiya bu barədə müəllifə məlumat verir.

Mətnin yenidən yığılması zamanı yarana biləcək nöqsanları aradan qaldırmaq məqsədi ilə məqalə mətni Word for Windows formatında, Times New Roman şrifti ilə elektron şəkildə də redaksiyaya təqdim edilməlidir.

Əlyazmanın nəşri üçün müəlliflərdən ödəniş alınmır.

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 и E-mail;
2. Коды УДК;
3. Аннотацию, 12-15 строк (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 том числе 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.

9. Поступившие в редакцию рукописи рецензируются докторами или кандидатами наук, назначаемыми редакционной коллегией. Редакционная коллегия привлекает к рецензированию статей членов редколлегии, редсовета и ведущих специалистов. Срок рецензирования составляет до 3 месяцев. В случае отклонения статьи редакция сообщает об этом автору.

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 взимается.

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 and E-mail;

1. Title, authors' names (translated into three languages), name where the actual research was conducted;
2. UDK codes;
3. Annotations, 12-15 lines (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. Information 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.

9. The submitted for publication manuscripts are reviewed by the doctors of science or doctors of philosophy by the editorial board. The editorial board uses the services of the associate editors, the editorial advisory board and the leading experts in their fields for the purpose of reviewing articles. The term of reviewing is up to 3 months. In case of a rejection of article, the editorial office informs a author about the outcome of reviewing.

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**

Beynəlxalq elmi-texniki jurnal

HERALD

of the Azerbaijan Engineering Academy
The international science-technical journal

ВЕСТНИК

Азербайджанской Инженерной Академии
Международный научно-технический журнал

Cild 12. № 2

Vol. 12. № 2

Том 12. № 2

BAKİ – 2020

İnformasiya şöbəsinin müdiri

N.Z. Əskərova

Nəşriyyat və yayım şöbəsinin müdiri

A.M. Dənziyev

**“Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının
XƏBƏRLƏRİ”**

jurnalı redaksiyanın kompyuterlərində yığılmış və
hazır diapozitivlərdən **“Apostrof-A”**
mətbəəsində ofset üsulu ilə çap olunmuşdur.

Çapa imzalanmış 24.06.2020,

formatı 60x84 1/8,

kağız təbaşirli, f.ç.v. 16.5

Tirajı 1255 əd.