



**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. № 1

Vol. 12. № 1

Том 12. № 1

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 Yalcımkaya (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 namizədlik 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 INSPEC.

Подписка на журнал осуществляется в отделениях ОАО «Азэрпочта». 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

- Paşayev A.M., Canəhmədov Ə.X., Əliyev Ə.Ə.**
Tribofatik yüklənmə ilə damla-yağış təsirinin imitasiyası 7
- Həzərhanov Ə.T., Kərimli T.İ., Neymətov V.A., Hüseynov V.S.**
Mexaniki hərəkətin parametrlərinin pyezoelektrik çeviricilərinin statik xətalının tədqiqi 16

Mexanika və maşınqayırma

- Cavadov M.Y., Juravlyov D.Y., Nəsirova M.M., Popoviç V.Y., Bekiç İ.O., Vudvud A.N.**
Özü ventilyasiya olunan disk-kündəli tikanlı əyləclərin istilik balansı 26
- İbrahimov N.Y., Məmmədəliyev R.M., Bayramov X.B.**
Lazer qurğusunda siyirtmə sipərinin səthinə metal ovuntu örtüyünün çəkilmə texnologiyası..... 38

Neft və qaz

- Şahverdiyev Ə.X., Denisov A.V.**
Durgun və zəif drenaj olunmuş neft yataqları zonalarının təyini və onların aktiv işlənməyə cəlb edilməsi 43
- İsmayılov Q.Q., Adıgözəlova M.B., İsmayılova F.B., Zeynalova G.A.**
Ballastların neft qarışıqlarının makroskopik parametrlərinə təsirinin tədqiqi 51
- Əliyeva O.Ə., Əliyev Ə.S.**
Sutəzyiq sisteminin gümbəzinə qazın vurulması ilə suyun yer səthinə sıxışdırılması 60

Neft-kimya texnologiyası

- Qurbanov Q.R., Adıgözəlova M.B., Abdullaeva Z.A., Abdullayeva N.A.**
Sulfatreduksiyaedici bakteriyaların iştirakı ilə poladın korroziyası üçün yeni bakterisid xassəli inhibitorlar 67

Energetika

- Manafov E.K.**
Dəmiryol stansiyalarının istismar etibarlığının qiymətləndirilməsi üsulu 74

İqtisadiyyat

- İsmayılova R.A.**
Azərbaycanda əqli mülkiyyətin hüquqi müdafiəsinin mükəmməlliyi 79

Cihazqayırma

- Nəbiyev R.N., Ramazanov K.Ş., Rüstəmov R.R.**
Avtomatlaşdırılmış mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin effektivliyinin qiymətləndirilməsi 84
- Eminov R.Ə., İbrahimova S.İ.**
Yağışın GPS mövqəyəyinetmə sistemlərinin keyfiyyətinə etdiyi təsirinin kompleks qiymətləndirilməsi 92
- Sultanov E.F., İsmayılov S.S., Şixiyev A.S.**
Yük nasosunun elektrik intiqalının yumşaq işəburaxıcılar vasitəsilə işə buraxılmasının tədqiqi 97

Geologiya

- Əliyev M.İ., Əhmədov Ə.Z., Şibayeva A.A., Kitaçayev Ş.M.**
Xar-Xar mis-porfir yatağının maddi tərkibi və texnoloji xüsusiyyətləri 102
- Məmmədov M.N., Bayramov A.Ə.**
Gədəbəy intruzivinin petrologiyası və potensial filizliliyi 111

Ekologiya

- Şamilova M.E., Ostrovska-Ligeza E.**
Kakao yağı istehsalında superkritik maye ekstraksiyasının optimal şəraitinə təsir edən effektlər 122

CONTENTS

Aviation

- Pashayev A.M., Janahmadov A.Kh., Aliyev A.A.**
Simulation of drop-rain impact by tribophatic loading 7
- Hazarkhanov A.T., Karimli T.I., Neymatov V.A., Huseynov V.S.**
Research of statics errors of piezoelectric converters of mechanical motion parameters 16

Mechanics and Mechanical Engineering

- Javadov M.Y., Zhuravlev D.Y., Nasirova M.M., Popovich V.Y., Bekish I.O., Wudvud A.N.**
Thermal balance of self-activated disc-shoe brakes with spikes 26
- Ibragimov N.I., Mamedaliev R.M., Bayramov Kh.B.**
Technological parameters of the laser coating of the gate valve with the metallic powder 38

Oil and Gas

- Shakhverdiev A.H., Denisov A.V.**
Discover of congested and poorly drained oil deposits and their further active development 43
- Ismayilov G.G., Adigezalova M.B., Ismayilova F.B., Zeynalova G.A.**
Study of the effect of ballast on the macroscopic parameters of oil mixtures 51
- Aliyeva O.A., Aliyev A.S.**
Gas injection into the dome of water-pressure unit to displace of water 60

Chemical Technology

- Gurbanov G.R., Adigezalova M.B., Abdullaeva Z.A., Abdullaeva N.A.**
Bactericidal properties of new corrosion inhibitors of steel in presence of sulfatoreducing bacteria 67

Energetics

- Manafov E.K.**
Assessment methods of operational reliability of railway stations 74

Economy

- Ismayilova R.A.**
Improvement in the legal protection of intellectual property in Azerbaijan 79

Instrumentation

- Nabiyev R.N., Ramazanov K.Sh., Rustamov R.R.**
Efficiency of the automated security-notification system 84
- Eminov R.A., Ibrahimova S.I.**
Complex evaluation of rain impact on the quality of CPS positioning systems 92
- Sultanov E.F., İsmayilov S.S., Şixiyev A.S.**
Investigation of the electric drive of the freight pump using a soft starter 97

Geology

- Aliiev M.I., Ahmadov A.Z., Shibayeva A.A., Kitachayev Sh.M.**
Material composition and technological features of Khar-Khar copper-porphyrlic deposit 102
- Mammadov M.N., Bayramov A.A.**
Petrology and potentially mineralized of the Gedabek intrusion 111

Ecology

- Shamilova M.E., Ewa Ostrowska-Ligeza**
The influence of effects of optimal condition of super-critical fluid extraction in the cocoa butter industry 122

СОДЕРЖАНИЕ

Авиация

- Пашаев А.М., Джанахмедов А.Х., Алиев А.А.**
Имитация капельно-дождевого воздействия трибофатическим нагружением 7
- Газарханов А.Т., Каримли Т.И., Нейматов В.А., Гусейнов В.С.**
Исследование статических погрешностей пьезоэлектрических преобразователей параметров механического движения 16

Механика и машиностроение

- Джавадов М.Я., Журавлев Д.Ю., Насирова М.М., Попович В.Я., Бекиш И.О., Вудвуд А.Н.**
Тепловой баланс самовентилируемых с шипами дисково-колодочных тормозов транспортных средств 26
- Ибрагимов Н.И., Мамедалиев Р.М., Байрамов Х.Б.**
Технологический режим нанесения порошкового металлического покрытия на поверхность шибера задвижки при помощи лазерной установки 38

Нефть и газ

- Шахвердиев А.Х., Денисов А.В.**
Определение местоположения застойных и слабодренлируемых зон нефтяной залежи и вовлечение их в активную разработку 43
- Исмайылов Г.Г., Адыгезалова М.Б., Исмайылова Ф.Б., Зейналова Г.А.**
Исследование влияния балласта на макроскопические параметры нефтяных смесей 51
- Алиева О.А., Алиев А.С.**
Вытеснение воды на поверхности нагнетанием газа в купол водонапорной системы 60

Нефтехимические технологии

- Гурбанов Г.Р., Адыгезалова М.Б., Абдуллаева З.А., Абдуллаева Н.А.**
Бактерицидные свойства новых ингибиторов коррозии стали в присутствии сульфатредуцирующих бактерий 67

Энергетика

- Манафов Э.К.**
Способ оценки эксплуатационной надежности железнодорожных станций 74

Экономика

- Исмайлова Р.А.**
Совершенствование правовой защиты интеллектуальной собственности в Азербайджане 79

Приборостроение

- Набиев Р.Н., Рамазанов К.Ш., Рустамов Р.Р.**
Оценка эффективности автоматизированной охранно-извещательной системы 84
- Эминов Р.А., Ибрагимова С.И.**
Комплексная оценка влияния дождя на качество GPS систем позиционирования 92
- Султанов Э.Ф., Исмаилов С.С., Шыхиев А. С.**
Исследование пуска электропривода грузового насоса с помощью устройства плавного пуска 97

Геология

- Алиев М.И., Ахмедов А.З., Шибаета А.А., Китачаев Ш.М.**
Вещественный состав и технологические особенности Хар-Харского медно-порфирирового месторождения 102
- Маммадов М.Н., Байрамов А.А.**
Петрология и потенциальная рудоносность Гедабекского интрузива 111

Экология

- Шамилова М.Е., Островска-Лигеза Е.**
Влияние эффектов на оптимальное состояние выдержки сверхкритической жидкости в промышленности масло какао 122

УДК 629.735, 620.178.169

ИМИТАЦИЯ КАПЕЛЬНО-ДОЖДЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРИБОФАТИЧЕСКИМ НАГРУЖЕНИЕМ

А.М. ПАШАЕВ¹, А.Х. ДЖАНАХМЕДОВ¹, А.А. АЛИЕВ^{1,2}

На основе литературных источников рассмотрена проблема капельно-дождевых испытаний внешних лакокрасочных покрытий воздушных судов. Предложена имитация гидроэрозионных воздействий сходными по кинетике процесса трибофатическими испытаниями по схеме «шар – полуплоскость»; отмечены особенности применения подобных заместительных схем. На примере полиуретанового ЛКП экспериментально определено число циклов до критического износа при трибофатическом воздействии, эквивалентном по повреждаемости ранее проведённым капельно-дождевым испытаниям.

С учетом поправочного коэффициента на основе трибофатических испытаний можно дать приближённую оценку по критерию гидроэрозионной стойкости конкретного материала без проведения капельно-дождевых испытаний.

Ключевые слова: капельно-дождевая эрозия, трибофатические испытания, полиуретан, поверхность, лакокрасочное покрытие, повреждаемость, гидроэрозия, капля, удар.

Введение. Наружные поверхности воздушных судов (ВС) периодически (~7% от общего налёта) подвергаются в полёте интенсивным дождевым потокам, вызывающим гидроэрозию внешнего лакокрасочного покрытия (ЛКП) [1 – 4]. Силовое нагружение ЛКП включает высокочастотные (свыше 100 Гц) удары капель со скоростью порядка ~200-250 м/с и последующее поперечное растекание струй с приблизительно в 10 раз большей скоростью [1, 2]. Преждевременное разрушение плёнки происходит по усталостному механизму под воздействием циклических растягивающих напряжений от капельно-ударных нагрузок и проникающего действия растекающейся жидкости [3, 4], вследствие чего прогнозирование ресурса работы покрытия является актуальным.

В настоящее время оценка стойкости покрытий ВС к капельно-дождевому износу основана на проведении испытаний в скоростном потоке воды, имитирующих условия полёта под проливным дождём [5, 6].

Обобщая данные указанных работ, можно заключить, что соударение полидисперсного дождевого потока с поверхностью ВС представляется в виде множественных периоди-

¹ Национальная Академия Авиации Азербайджана

² ПАО Корпорация «Иркут»

E-mail: a.aliyev@naa.az

ческих вертикальных ударов одиночных капель. Их пятна контактов располагаются на некотором фиксированном участке поверхности, где происходит процесс усталостного разрушения материала [7–10]. Деформация капли при ударе рассматривается как радиальное истечение жидкости из точечного источника с постепенно уменьшающейся скоростью [7] (рис. 1).

Основным недостатком подобных исследований является громоздкость гидроударных стендов, большой расход воды и энергии при создании длительных высокоскоростных потоков и, как следствие, повышенная затратность. Всё это диктует необходимость создания новых методов испытаний, реализующих аналогичные условия нагружения более доступным способом.

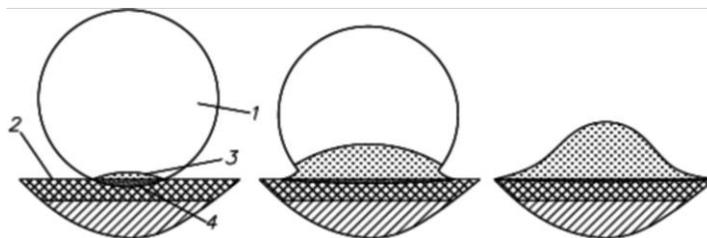


Рис. 1. Упрощённая схема вертикального удара и растекания капли по поверхности: 1 – капля; 2 – поверхность ЛКП; 3 – граница пятна контакта; 4 – деформация ЛКП от удара капли

Физическое единство некоторых методов оценки прочностных свойств дало возможность создать косвенные расчётно-экспериментальные способы определения зависимости между эмпирически измеренным и каким-либо другим (типологически близким) механическим свойством испытуемого материала [8]. Так, по диаграмме индентирования «нагрузка P – глубина h » и величине числа твёрдости с использованием соответствующих численных зависимостей возможно построение статической диаграммы $\sigma - \varepsilon$ с определением модуля упругости E , предела текучести σ_T и предела прочности σ_B [9, 10] без проведения классических испытаний макрообразцов на растяжение и т. п.

В качестве альтернативы капельно-дождевым испытаниям может выступать их замена близкими по кинетике процесса трибофатическими испытаниями [11, 12] по схеме «контртело – полуплоскость», где на полимерное покрытие на жёсткой подложке через стальной шарик прилагается вертикальная нагрузка [13]. Количественно процесс описывается толщиной изношенного слоя w и числом циклов N до наступления предельного износа.

Основным преимуществом подобных испытаний является отсутствие необходимости создания скоростных капельно-эрозионных потоков, условно заменяемых шариком, воздействующим на поверхность в пульсационном режиме. Также при относительно малых амплитудах горизонтального перемещения шарика есть возможность повторения испытаний на соседних участках одного и того же плоского образца с покрытием [14]. Экспериментально полученные трибофатические характеристики затем могут быть пересчитаны в другие близкие по смыслу показатели выносливости.

Целью настоящей работы является расчётно-экспериментальное обоснование возможности замены капельно-дождевых испытаний ЛКП на гидроэрозионный износ эквивалентными трибофатическими и использование полученных данных при оценке пригодности лакокрасочного материала (ЛКМ) по критерию гидроэрозионной стойкости.

Разработка методики. Для разработки метода, физически сопоставимого с результатами капельно-

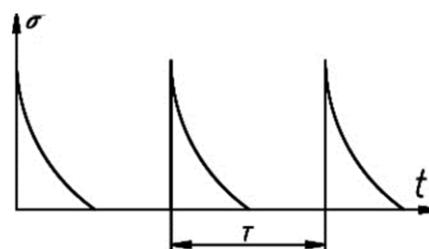


Рис. 2. Эпюра пульсирующего цикла от равномерных капельно-дождевых ударов

дождевых испытаний, необходимо воссоздать в трибофатической схеме максимально близкое напряжённое состояние. Капельно-дождевое воздействие (удар и растекание капли) на ЛКП в общем виде можно представить как пульсирующий цикл растягивающих напряжений (рис. 2).

Трибофатическая имитация указанного воздействия может быть реализована через вдавливание шарика в поверхность с силой F_N и его последующим горизонтальным качением на величину радиуса растекания капли L (с одновременным снижением нагрузки от F_N до нуля), отводом и возвратом на начальную позицию (рис. 3). Процесс циклически повторяется вплоть до истирания покрытия на заданную толщину.

При сопоставлении гидроэрозионного процесса с трибофатическим следует учесть, что высокоскоростное/высокочастотное гидроэрозионное нагружение оказывает пренебрежимо малое термическое воздействие на полимер и не вызывает гистерезисных явлений, снижающих его выносливость [15, 16]. Трибофатическая реализация высоких скоростей вертикального удара (~200-250 м/с) и горизонтального перемещения шарика (~2000 м/с) на частоте в сотни Герц исключена вследствие моментального фрикционного перегрева и выгорания ЛКП. Во избежание этого частоту цикла перемещений контртела примем равной 1 Гц. Проникающее действие растекающейся капли, вызывающее изгиб микронеровностей и вспучивание ЛКП [4], считаем кинетически и механически замещённым через качение шарика, который изгибает гребешки микронеровностей, и полагаем, что при прочих равных условиях усреднённые характеристики напряжённо-деформированного состояния обеих схем нагружения в объёме пятна контакта в первом приближении равны (эквивалентны по повреждаемости).

ЛКП рассматриваем как упругое изотропное полупространство, в котором напряжения за пределами пятна контакта равны нулю. Параметры при ударе и течении считаем постоянными в пределах малых фиксированных интервалов времени.

Алгоритм расчёта. Для количественной оценки перехода от капельно-дождевого нагружения к эквивалентному трибофатическому используем напряжение и параметры в пятне контакта капли с поверхностью [17].

Напряжение в пятне контакта от давления удара p [18]:

$$\sigma = \frac{1 - 2\mu_n}{2} p \frac{L^2}{r^2} \quad (1)$$

где μ_n – коэффициент Пуассона материала поверхности (ЛКП); L – динамический радиус пятна контакта капли; r – исходный радиус капли.

По данным Инджел-Файелла, при ударе капли о поверхность со скоростью порядка 200-300 м/с приближённое соотношение L/r можно принять равным 2 [4]. Отсюда:

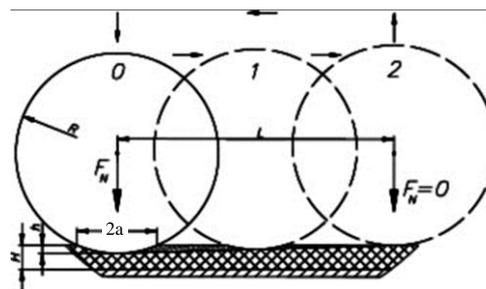


Рис. 3. Упрощённая схема основных стадий трибофатического нагружения поверхности по схеме «шар – полуплоскость», имитирующего каплеударное воздействие: 0 – вертикальный удар; 1 – качение («растекание»); 2 – отвод шарика и возврат на начальную позицию. F_N – вертикальная нагрузка, $2a$ – диаметр пятна контакта, $L \approx 2R$ – путь качения («радиус растекания»), R – радиус шарика, H – общая толщина ЛКП, h – максимальная глубина вдавливания шарика. Точечной штриховкой показана зона контакта.

$$\sigma \approx 2p(1 - 2\mu_n) \quad (2)$$

Взяв за основу классические формулы механики контактных взаимодействий [19] после элементарных математических преобразований, сила капельного удара F , радиус a и глубина вдавливания h ЛКП от удара капли, выраженные через напряжение в пятне контакта, примут вид:

$$F = \frac{\pi^3 \sigma^3 r^2}{6E_{mn}^2} \quad (3)$$

$$a = \left(\frac{3Fr}{4E_{mn}}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

$$h = \left(\frac{F^2}{2E_{mn}^2 r}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

где E_{mn} – приведённый модуль упругости первого рода для пары «поверхность (ЛКП) – жидкость (вода)»:

$$\frac{1}{E_{mn}} = \frac{1 - \mu_n^2}{E_n} + \frac{1}{K} \quad (6)$$

где E_n и μ_n – модуль упругости первого рода (МПа) и коэффициент Пуассона материала поверхности (слоя ЛКП) соответственно; K – 2200 МПа – объёмный модуль упругости воды [20].

Площадь контактной поверхности:

$$S_w = 2\pi ah \quad (7)$$

Рассчитаем эквивалентное трибофатическое нагружение по схеме «шар – полуплоскость».

Приведённый модуль упругости первого рода для пары «контртело – ЛКП»:

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1 - \mu_{ш}^2}{E_{ш}} + \frac{1 - \mu_n^2}{E_n} \quad (8)$$

где $E_{ш}$ и $\mu_{ш}$ – модуль упругости первого рода и коэффициент Пуассона материала шарика соответственно.

Радиус шарика, обеспечивающего заданное напряжение σ для пары «сталь – ЛКП»:

$$R = \sqrt{\frac{6FE^{*2}}{\pi^3 \sigma^3}} \quad (9)$$

Вертикальная нагрузка на шарик F_N , выраженная через контактное напряжение и радиус шарика:

$$F_N = \frac{\pi^3 \sigma^3 R^2}{6E^{*2}} \quad (10)$$

Радиус контакта A и глубина вдавливания H шарика:

$$A = \left(\frac{3F_N R}{4E^*}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (11)$$

$$H = \left(\frac{F_N^2}{2E^{*2} R}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (12)$$

В случае трибофатических испытаний общая толщина слоя ЛКП T должна превосходить сумму глубины вдавливания H и критической толщины изнашиваемого слоя w :

$$T > H + w \quad (13)$$

Для соблюдения геометрического подобия амплитуду перемещения (длина пробега) шарика по поверхности принимаем равной удвоенному радиусу шарика:

$$L \approx 2R \quad (14)$$

Площадь контактной поверхности:

$$S = 2\pi AH \quad (15)$$

Материалы и методы. В качестве опытного образца был выбран уже исследованный в работе [13] полиуретановый лакокрасочный материал (ЛКМ) СААРСОАТ-В274-ASP108 ($E_n=300$ МПа, $\mu_n=0,35$). Результаты экспериментальной оценки капельно-дождевой эрозии толщиной $w=0,3$ мм (подложка – алюминиевый сплав 2024-T3) при диаметре капли $d=2$ мм, вертикальной скорости (для имитации полёта под дождём) $V=224$ м/с (500 миль/ч) и давлении удара $P=75,153$ МПа (10,9 kpsi) показали, что число ударов до разрушения на 1 см^2 составило $N_{КД}=3,1 \times 10^6$, а время до разрушения $t_{\Sigma}=5,6$ ч [19]. Как следует из приведённых данных, частота каплеударных импульсов составила $\nu=154$ удара в секунду (периодичность $T=6,5 \times 10^{-3}$ с).

Напряжение в пятне контакта от давления удара p :

$$\sigma = 2p(1 - 2\mu_n) = 2 \times 75,15(1 - 2 \times 0,35) \approx 45 \text{ МПа}$$

Приведённый модуль упругости первого рода для пары «ЛКП – вода»:

$$\frac{1}{E_m} = \frac{1 - \mu_n^2}{E_n} + \frac{1}{K} = \frac{1 - 0,35^2}{300} + \frac{1}{2100} = 0,00340119$$

Сила капельного удара F :

$$F = \frac{\pi^3 \sigma^3 r^2}{6E_m^2} = \frac{\pi^3 \times 45^3 \times 1^2}{6 \times 294^2} \approx 5,5 \text{ Н}$$

Следовательно, $E_m=294$ МПа.

Радиус контакта a :

$$a = \left(\frac{3Fr}{4E_m} \right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{3 \times 5,5 \times 1}{4 \times 294} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,241 \text{ мм}$$

Максимальная глубина вдавливания покрытия от капельного удара h :

$$h = \left(\frac{F^2}{2E_m^2 r} \right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{5,5^2}{2 \times 294^2 \times 1} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,056 \text{ мм}$$

Площадь контактной поверхности:

$$S_w = 2\pi ah = 2\pi \times 0,241 \times 0,056 = 0,084 \text{ мм}^2$$

Рассчитаем параметры трибофатического нагружения при том же контактном напряжении. Испытания ЛКП предполагается вести на трибомашине UMT-2 TriboLab (BRUKER, США) [21] в условиях вертикального пульсирующего воздействия стального шарика: материал – сталь 302 SST (аналог 12X18H9), модуль упругости первого рода $E_u=20 \times 10^{10}$ Па, коэффициент Пуассона $\mu_u=0,3$ [22]. Прибор имеет возможность изменения нагрузки и смещения контртела по времени.

Приведённый модуль упругости первого рода для пары «стальной шарик – ЛКП»:

$$\frac{1}{E^*} = \left(\frac{1-\mu_u^2}{E_u} + \frac{1-\mu_n^2}{E_n} \right) = \left(\frac{1-0,3^2}{2 \times 10^{11}} + \frac{1-0,35^2}{300 \times 10^6} \right) \approx 2,93 \times 10^{-9} \text{ Па}$$

Следовательно, $E^* \approx 342$ МПа.

Радиус шарика, обеспечивающего заданное напряжение σ для пары «сталь – ЛКП»:

$$R = \sqrt{\frac{6FE^{*2}}{\pi^3 \sigma^3}} = \sqrt{\frac{6 \times 5,5 \times 342^2}{\pi^3 \times 45^3}} \approx 1 \text{ мм}$$

Фактические технические возможности прибора подразумевают использование шариков диаметром не менее 6 мм, поэтому принимаем $R=3$ мм. Также отметим, что размер естественных дождевых капель колеблется в пределах $d=0,7 \dots 5,0$ мм [23]. Однако, в силу влияния силы тяжести и сопротивления воздуха, при ударе фактический радиус кривизны уплощённой капли (и, как следствие, пятно контакта) превышает радиус исходной сферы. В этой связи радиус шарика, являющего собой имитатор уплощённой капли, равный $R=3$ мм, представляется допустимым.

Скорректированная вертикальная нагрузка на шарик F_N с учётом нового значения R :

$$F_N = \frac{\pi^3 \sigma^3 R^2}{6E^{*2}} = \frac{\pi^3 \times 45^3 \times 3^2}{6 \times 342^2} \approx 36,6 \text{ Н}$$

Фактический радиус области контакта «шарик – поверхность» A :

$$A = \left(\frac{3F_N R}{4E^*} \right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{3 \times 36,6 \times 3}{4 \times 342} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,622 \text{ мм}$$

Фактическая максимальная глубина вдавливания покрытия H :

$$H = \left(\frac{F_N^2}{2E^{*2}R} \right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{36,6^2}{2 \times 342^2 \times 3} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,124 \text{ мм}$$

Фактическая площадь контактной поверхности:

$$S = 2\pi AH = 2\pi \times 0,622 \times 0,124 \approx 0,486 \text{ мм}^2$$

Общая толщина слоя ЛКП T :

$$T > H + w = 0,124 + 0,3 = 0,424 \text{ мм}$$

Принимаем $H=1$ мм, подложка – дюралюминиевая пластина $40 \times 100 \times 5$ мм.

Амплитуда перемещения шарика:

$$L = 2R = 2 \times 3 = 6 \text{ мм}$$

Перед началом испытаний на контртело задали вертикальную нагрузку ($F_N=36$ Н), частоту горизонтального перемещения приняли равной $\nu=1$ Гц.

В процессе эксперимента непрерывно фиксировались число циклов шарика и линейный износ w (мкм). Испытания проводились поэтапно, длительность одного этапа составляла от 4 до 8 ч. Осмотр образца и удаление продуктов износа проводили каждые 2 ч. При вынужденных перерывах в испытаниях образец хранили при комнатной температуре. Общее количество завершённых циклов $N_{проб}$ представляли как сумму количества циклов от начала испытания. По достижении критического износа покрытия $w=300$ мкм на испытуемом участке шарик перемещали на следующий участок образца; всего провели 10 испытаний.

Результаты исследований и их обсуждение. Критический износ был достигнут через $N_{триб}=448523$ циклов испытаний. Введём полуэмпирический коэффициент – безразмерную величину, на которую следует умножить предельное число циклов при трибофатическом нагружении шариком радиуса R , чтобы получить предельное число циклов эквивалентного гидроэрозионного воздействия каплями радиуса r :

$$i=N_{КД}/N_{триб}=3,1\times 10^6/1,8\times 10^5=6,91 \quad (16)$$

Полученное значение показывает, что при равных расчётных контактных напряжениях интенсивность износа при трибофатическом нагружении почти в 7 раз выше по сравнению с условиями капельно-дождевой эрозии.

Причиной, объясняющей столь ощутимую разницу в характеристиках напряжённого состояния, может быть масштабный фактор, выраженный в разнице площадей начального контакта при капельном ($r=1$ мм) и трибофатическом ($R=3$ мм) нагружении:

$$\eta=S/S_w=0,486/0,084=5,75 \quad (17)$$

Значения коэффициентов i и η относительно близки друг другу (6,91 и 5,75 соответственно), их разброс (в пределах 20%) может быть объяснён эффектом динамического изменения параметров площадки контакта и напряжений при трибофатических испытаниях, когда вариация локальной повреждаемости может достигать 200% [24]. Фактически, в данном случае полная трибофатическая имитация капельно-дождевого воздействия практически нереализуема из-за неизбежного нарушения абсолютного геометрического и кинетического подобия. Но несмотря на то, что полученные данные базируются на экспериментах с конкретными материалами и режимами нагружения и потому имеют в некотором роде ограниченное применение, тем не менее, с учётом поправочного коэффициента ($i\approx 7$) они могут дать оценочную величину стойкости покрытия без проведения капельно-дождевых испытаний:

$$i=N_{КД}\approx 7N_{триб} \quad (18)$$

Заключение. Предложена возможность замены гидроэрозионных (капельно-дождевых) испытаний лакокрасочного покрытия воздушного судна эквивалентными трибофатическими по схеме «шар – полуплоскость» и расчётные формулы перехода от ударно-капельного режима нагружения поверхности к трибофатическому контакту.

В качестве примера определены значения механических параметров трибофатических взаимодействий стального шарика и полиуретанового покрытия, по напряжённому состоянию эквивалентных реальному гидроэрозионному нагружению капельно-дождевым потоком.

Критерием оценки гидроэрозионной стойкости выбрано число циклов до истирания покрытия на заданную толщину 300 мкм при соответствующей вертикальной нагрузке. Критический износ был достигнут через $N_{триб}=448523$, что при равных контактных напряжениях примерно в $i\approx 7$ раз меньше числа циклов эквивалентной капельно-дождевой эрозии.

Различие в числах циклов до разрушения объясняется масштабным эффектом, выраженным через соотношение контактных площадей и вариации контактных напряжений. С учётом поправочного коэффициента i на основе трибофатических испытаний можно дать приближённую оценку стойкости конкретного материала без проведения капельно-дождевых испытаний.

REFERENCES

1. Neustanovivshiesya techeniya vody s bol'shimi skorostyami: Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma (g. Leningrad, 22-26 iyunya 1971 g.) / Pod red. L.I. Sedova i G.Ju. Stepanova. - M.: Nauka, 1973. 496 s.
Неустановившиеся течения воды с большими скоростями: Труды международного симпозиума (г. Ленинград, 22-26 июня 1971 г.) / Под ред. Л.И. Седова и Г.Ю. Степанова. - М.: Наука, 1973. 496 с.
2. **Chizhov A.V., Shmidt A.A.** Vysokoskorostnoj udar kapli o pregradu // Zhurnal tehnichekoj fiziki, 2000, t. 70, vyp. 12.
Чижов А.В., Шмидт А.А. Высокоскоростной удар капли о преграду // Журнал технической физики, 2000, т. 70, вып. 12.
3. **Gimranov J.G., Ol'hov A.A., Svistunov A.V., Hakimova L.F.** Modelirovanie metodom krupnyh chastic poleta i udara kapli zhidkosti o tverduyu poverhnost' // Vestnik UGATU. Mashinostroenie, t. 16, №5 (50), s. 128-131.
Гимранов Э.Г., Ольхов А.А., Свистунов А.В., Хакимова Л.Ф. Моделирование методом крупных частиц полета и удара капли жидкости о твердую поверхность // Вестник УГАТУ. Машиностроение, т. 16, №5 (50), с. 128-131.
4. **Edler U.F.** Mehanika udarnogo vozdeystviya zhidkosti (per. V.F. Alymova) // v kn.: Eroziya. Pod red. K. Pris. - M.: Mir, 1982, s. 140-196.
Эдлер У.Ф. Механика ударного воздействия жидкости (пер. В.Ф. Алымова) // в кн.: Эрозия. Под ред. К. Прис. - М.: Мир, 1982, с. 140-196.
5. ASTM G73-10 (2017). Standard Test Method for Liquid Impingement Erosion Using Rotating Apparatus
6. GOST 23.219-84. Obespechenie iznosostojkosti izdelij. Metod ispytanij na iznosostojkost' materialov i detalej pri gidroerozionnom iznashivanii dispersnymi chasticami.
ГОСТ 23.219-84. Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытаний на износостойкость материалов и деталей при гидроэрозионном изнашивании дисперсными частицами.
7. **Rozhkov, A., Prunet-Foch, B., & Vignes-Adler, M.** Dynamics of a liquid lamella resulting from the impact of a water drop on a small target. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, (2004). 460(2049), 2681–2704.
8. **Tenenbaum M.M.** Ob osnovnyh napravlenijah i zadachah standartizacii metodov ispytanii na trenie i iznashivanie // v kn.: Metody ispytaniya na iznashivanie. Izd-vo AN SSSR, 1962, s. 5-11.
Тененбаум М.М. Об основных направлениях и задачах стандартизации методов испытания на трение и изнашивание // в кн.: Методы испытания на изнашивание. Изд-во АН СССР, 1962, с. 5-11.
9. **Smirnov S.V., Ekzempljarova E.O.** Uchet razlichnyh faktorov pri modelirovanii vnedreniya konicheskogo indentora v uprugoplasticheskoj material.
Смирнов С.В., Экземплярлова Е.О. Учет различных факторов при моделировании внедрения конического индентора в упругопластический материал // Ресурс и диагностика материалов и конструкций: мат-лы IV Рос. науч.-тех. конф. – Екатеринбург, 2009.
10. Avtonomov N. N., Tololo A. V. Vliyanie osevoj deformacii shara na velichinu izmeryaemoj glubiny vдавlivaniya shara po peremeshheniyu verhnej tochki shara
Автономов Н. Н., Тололо А. В. Влияние осевой деформации шара на величину измеряемой глубины вдавливания шара по перемещению верхней точки шара // Вестник СибГАУ. 2015.
11. **Bartenev G.M., Lavrent'ev V.V.** Trenie i iznos polimerov. – Leningrad: Himiya, 1972. - 31 s.
Бартнев Г.М., Лаврентьев В.В. Трение и износ полимеров. – Ленинград: Химия, 1972. - 31 с.
12. **Petrova I.M., Moskvitin G.V., Grib V.V.** Vliyanie iznosa na nakoplenie ustalostnyh povrezhdenij. Zavodskaja laboratoriya. Diagnostika materialov. № 11, 2006, t. 72, s. 49-52.
Петрова И.М., Москвитин Г.В., Гриб В.В. Влияние износа на накопление усталостных повреждений. Заводская лаборатория. Диагностика материалов. № 11, 2006, т. 72, с. 49-52.
13. **Pashaev A.M., Janahmadov A.Kh., Aliev A.A.** Opredelenie dolgovechnosti lakokrasochnyh pokrytij s ispol'zovaniem tribofaticheskij ispytanij // Vestnik Azerbajdzhanskoj inzhenernoj akademii, t. 9, №1, 2018, s. 7-14
Пашаев А.М., Джанахмедов А.Х., Алиев А.А. Определение долговечности лакокрасочных покрытий с использованием трибофатических испытаний // Вестник Азербайджанской инженерной академии, т. 9, №1, 2018, с. 7-14
14. **Aliev A.A.** Tribofaticheskie ispytaniya lakokrasochnogo pokrytiya // Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Mashinostroenie. № 1, 2018. S. 92-100.
Алиев А.А. Трибофатические испытания лакокрасочного покрытия // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. № 1, 2018. С. 92-100.
15. **J. Lorincz.** Waterjets: Evolving from Macro to Micro. Manufacturing Engineering, 143(5), November, 2009.
16. **Ogibalov P.M. i dr.** Konstrukcionnye polimery. Kniga pervaya. - M.: Izd-vo MGU, 1972. -S. 263-264.
Огибалов П.М. и др. Конструкционные полимеры. Книга первая. - М.: Изд-во МГУ, 1972. -С. 263-264.
17. **Rajher V.L.** Ustalostnaya povrezhdaemost'. - M.: MATI, 2006, 239 s.
Райхер В.Л. Усталостная повреждаемость. - М.: МАТИ, 2006, 239 с.
18. **Koval'skij A.E., Kartmazov G.N., Kunchenko V.V.** Obosnovanie tolshhiny i uslovij naneseniya vakuumnogo protiverozionnogo pokrytiya dlya rabochih lopatok poslednih stupeney moshhnyh parovyh turbin // Aviacionno-kosmicheskaya tehnika i tehnologiya, 2006, № 6 (32), s. 5-18.
Ковальский А.Э., Карتماзов Г.Н., Кунченко В.В. Обоснование толщины и условий нанесения вакуумного противэрозионного покрытия для рабочих лопаток последних ступеней мощных паровых турбин // Авиационно-космическая техника и технология, 2006, № 6 (32), с. 5-18.

19. **Pashayev A.M., Janahmadov A.Kh., Aliyev A.A.** Ocenka vnutrennih napryazhenij polimernyh plenok po harakternomu profilu poverhnosti // Fizicheskaya mezomehanika. T.22, №4, 2019. S. 95-100.
Пашаев А.М., Джанахмедов А.Х., Алиев А.А. Оценка внутренних напряжений полимерных пленок по характерному профилю поверхности // Физическая мезомеханика. Т.22, №4, 2019. С. 95-100.
 20. **Bashta T.M.** Mashinostroitel'naja gidravlika. - M.: Mashinostroenie, 1971, s. 56.
Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика. - М.: Машиностроение, 1971, с. 56.
 21. CETR-UMT&CETR-APEx. Multi-Specimen Test System. Tribology and mechanical testing. User manual. Bruker Nano, Inc Tribology & Mechanical Testing Division (pp. 13), 2014
 22. GOST 25.503-97 Raschjoty i ispytaniya na prochnost'. Metody mehanicheskikh ispytaniy metallov. Metod ispytaniya na szhatie.
ГОСТ 25.503-97 Расчёты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Метод испытания на сжатие.
 23. **Branton Dzh.H., Rochester M.K.** Eroziya poverhnosti tvyordogo tela pri udare zhidkikh kapel' // v kn.: Eroziya. Pod red. K. Pris. - M., Mir, 1982 g., s. 201-233.
Брантон Дж.Х., Рочестер М.К. Эрозия поверхности твёрдого тела при ударе жидких капель // в кн.: Эрозия. Под ред. К. Прис. М., Мир, 1982 г., с. 201-233.
 24. **Sosnovskiy L.A., Shcharbakou S.S.** Tropy Phenomenon. Proceedings of World Tribology Congress III (September 12-16, 2005, Washington D.C., USA).
-

TRIBOFATİK YÜKLƏNMƏ İLƏ DAMLA-YAĞIŞ TƏSİRİNİN İMITASİYASI

A.M. PAŞAYEV, Ə.X. CANƏHMƏDOV, Ə.Ə. ƏLİYEV

Bir sıra müəlliflərin nəşr olunan məqalələri əsasında hava gəmilərinin (HG) xarici lak boya örtüklərinin (LBÖ) damla-yağış sınaqları probleminə baxılıb. “Kürə - yarımüstəvi” sxeminə əsasən tribofatik (tribodağılma) sınaqlarla prosesin kinetikasi üzrə oxşar hidroeroziyalı təsirlərin imitasiyası təklif olunub və uyğun olan əvəz edici sxemlərin tətbiq olunmasının xüsusiyyətləri qeyd edilib. Poliuretan LBÖ nümunəsində öncə keçirilən damla-yağış sınaqlarda zədələnməyə ekvivalent tribofatik təsiri zamanı böhran dağılmaya qədər tsikllərin sayı eksperimental olaraq təyin olunub.

Tribofatik sınaqlarının əsasında düzəliş əmsalını nəzərə almaqla, damla-yağış sınaqlarının keçirmədən belə konkret materialın hidroeroziya dayanıqlığının meyarı üzrə təqribi qiymətləndirmə aparmaq mümkündür.

***Açar sözlər:** damla-yağış eroziyası, tribofatik sınaqlar, poliuretan, səth, lak boya örtüyü, zədələnmə, hidroeroziya, damla, zərbə.*

SIMULATION OF DROP-RAIN IMPACT BY TRIBOPHATIC LOADING

A.M. PASHAYEV, A.Kh. JANAHMADOV, A.A. ALIYEV

The problem of drop-rain tests on the external paint coatings (EPC) of aircraft (AC) is examined with respect to the data published by other authors. The proposed invention kinetically simulates the hydroerosive effects through the process of tribophatic tests based on the scheme “ball-half-plane”; the specifics of application of such substitution schemes are noted. In the example of polyurethane EPC, authors experimentally determined under the tribophatic effect the number of cycles up to the critical wear, which is equivalent to the previously conducted the drop-rain tests.

Taking into account the correction coefficient on the basis of tribophatic tests, it is possible to provide an estimate of the criterion of the hydro-erosion resistance of particular material without conducting drip and rain tests.

***Keywords:** drop-rain erosion, tribophatic tests, polyurethane, surface, paint coating, damage, hydroerosion, drop, impact.*

Поступило в редакцию: 12.05.2019

После доработки: 01.03.2020

Принято к публикации: 15.03.2020

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ

А.Т. ГАЗАРХАНОВ¹, Т.И. КАРИМЛИ¹, В.А. НЕЙМАТОВ¹, В.С. ГУСЕЙНОВ¹

В статье представлены новые конструктивные варианты пьезоэлектрических преобразователей параметров механического движения. Составлены статические уравнения для комплексных сопротивлений пьезоэлектрических чувствительных элементов, соединенных по дифференциальной схеме, с учетом линейно-изменяющихся погрешностей геометрических размеров и угла поворота преобразователя, а также для выходного напряжения электрической мостовой схемы. Построены компьютерные модели и проанализированы результаты их симуляций. Выявлен характер влияний погрешностей на выходное напряжение преобразователя.

Выявлено, что погрешности сопротивлений ЧЭ существенно влияют на значение выходного напряжения в диапазоне, а погрешности от угловых поворотов при высоких частотах влияют на форму выходного напряжения преобразователя.

Ключевые слова: пьезоэлектрические преобразователи, дифференциальная схема, статические линейно-изменяющие погрешности.

Введение. В последнее время в Национальной авиационной академии было разработано несколько конструктивных вариантов дифференциальных пьезоэлектрических преобразователей параметров механического движения. Приоритетной целью разработки новых акселерометров являлось повышение надежности функционирования и сокращение массогабаритных характеристик этих устройств за счет уменьшения числа паразитных механических передач и их конструктивных элементов.

Типичным примером разработанных преобразователей является *дифференциальный микромеханический вибрационный акселерометр*, представленный на рис. 1, содержащий: инерционный элемент 1, два упругих элемента (изоляционные прокладки) 2, два пьезоэлектрических преобразователя 3, которые генерируют вибрацию, и два пьезоэлектрических чувствительных элемента 4, установленные в одной оси, причем инерционный элемент 1 установлен по легкоходовой посадке между упругими пьезоэлектрическими элементами [1].

¹ Азербайджанская Национальная академия авиации
E-mail: neymvasif@mail.ru

Дифференциальный микромеханический вибрационный акселерометр работает следующим образом: посредством своего корпуса 5 акселерометр компланарно устанавливается на объекте контроля. На пьезоэлектрические преобразователи 3 подается синусоидальный переменный электрический ток, вследствие чего элементы 1, 2 и 4 конструкции совершают гармонические колебания.

В стационарном состоянии или при постоянной скорости перемещения усилия F_1 и F_2 на чувствительные элементы 4 равны ($F_1=F_2$), в результате чего на их выходах генерируются равночастотные электрические сигналы ($f_{\text{вых.1}}$ и $f_{\text{вых.2}}$), т.е. на дифференциальном выходе 4 акселерометра разность частот чувствительных элементов равна нулю ($f_1 - f_2 = 0$). При наборе скорости (или её снижении) инерционный элемент 1 смещается, при этом на верхнем пьезоэлектрическом чувствительном элементе (ПЧЭ) 4 частота колебаний уменьшается, а на нижнем ПЧЭ 4 частота колебаний увеличивается (или же наоборот).

Таким образом, на выходе ПЧЭ, соединенных согласно дифференциальной схеме, формируется пропорциональная ускорению ($\alpha \sim \Delta f = f_1 - f_2 \neq 0$) разность частот.

Отметим, что для увеличения чувствительности устройства допускается увеличение частоты питания пьезоэлектрических преобразователей и (или) наращивание массы инерционного элемента.

Принципиальная схема двухканального акселерометра представлена на рис. 2 а. Используя энергию вибрации авиационного двигателя, можно построить двухканальный акселерометр с пьезоэлектрическими чувствительными элементами для одновременного измерения уровней вибрации, перегрузки, величины линейного ускорения, а также значений вертикальной скорости и высоты полета. Датчик состоит из корпуса 1, внутри которого располагаются пьезоэлектрические пластины 2, изолированные прокладкой 3 с инерционной массой 4. Вычислительная схема позволяет одновременно измерять вибрацию и ускорение по двум каналам (рис. 2 б).

Для измерения вибраций на нестационарных объектах измерительное устройство устанавливается на передних и задних опорах валов двигателя. При отсутствии ускорения или перегрузки частоты f_1 и f_2 одинаковы, а их разность, соответственно, равна нулю ($f_1 - f_2 = 0$).

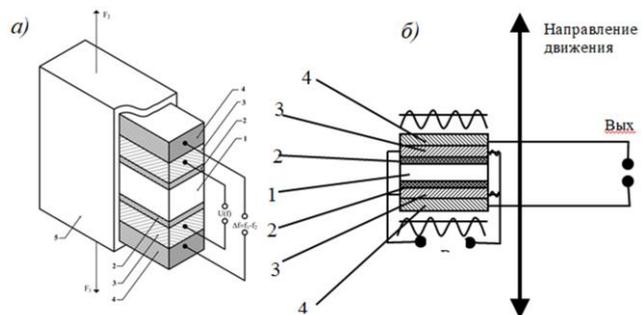


Рис. 1. Микромеханический вибрационный акселерометр
а) конструктивное исполнение; б) расположение составных элементов

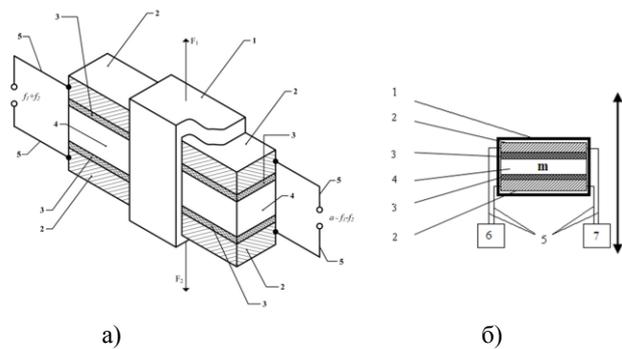


Рис.2. Принципиальная схема двухканального пьезоэлектрического датчика вибрации и линейного ускорения (ДПДВЛУ):
а) конструктивное исполнение;
б) расположение составных элементов

Для измерения вибрации используется левая часть электродов 5, подключенных к сумматору 6, а для измерения вибрации ускорения правая часть электродов 5, подключенных к дифференциатору 6.

При возникновении ускоренного перемещения инерционная масса 4 перемещается вниз (или вверх), воздействуя на прокладку 3 и на пьезоэлектрическую пластину 2 с силой ma . При этом в нижней части пьезопластины 2 увеличивается частота колебаний, ввиду того, что растет вес инерционной массы $m(g+a)$, а в верхней части пьезопластины 2 частота колебаний уменьшается, так как уменьшается вес инерционной массы $m(g-a)$. Таким образом, в правой части электродов 5 возникает разность частот ($a \sim f_1 - f_2 \neq 0$), что позволяет осуществлять измерение уровня перегрузки (или величины линейного ускорения) [2]. Ясно, что для увеличения чувствительности (без увеличения геометрического размера измерителя) в этом случае следует увеличить величину деформации пьезоэлемента за счёт применения инерционной массы с большей плотностью, например из тантала ($\rho_{\text{тантал}} = 16600 \text{ кг/м}^3$) (плотность тантала превышает плотность стали в 2 раза). И вследствие этого улучшится эффективность контроля состояния авиационных двигателей, а также расширятся функциональные возможности современных акселерометров (в том числе акселерометров на воздушных судах Boeing, Embraer, Airbus).

Использование двухканального пьезоэлектрического датчика вибрации и линейного ускорения позволит обеспечить одновременное измерение уровней вибрации и перегрузки. В частности, для модернизации успешно применяемого пьезоэлектрического датчика вибрации (на двигателях GEnx BC Boeing 787) рекомендуется выполнить инерционную массу из тантала, ввиду его большой плотности, и расположить его между пьезоэлектрическими дисками, при этом одну пару электродов пьезоэлементов необходимо подключить в дифференциальную схему измерения (для измерения линейного ускорения или перегрузки), а другую пару электродов пьезоэлементов подключить в сумматор (для измерения вибрации).

Кроме того, данное устройство в качестве датчиков измерения и обратных связей может найти широкое применение в системах измерения, управления (в том числе системах адаптивного и оптимального управления, а также в системах автоматической стабилизации), контроля технологических и эксплуатационных параметров, определения надёжностных показателей в машиностроении и авиастроении.

Опубликованные работы [3-5] посвящены исследованию статических и динамических характеристик разработанных преобразователей, в которых не рассмотрены вопросы исследования статических погрешностей. Целью данной статьи является моделирование статических ошибок пьезоэлектрических преобразователей с дифференциальной схемой подключения чувствительных элементов (ЧЭ).

Постановка задачи. Исходя из того, что разработанные преобразователи построены по дифференциальному принципу соединения ЧЭ, необходимо составить уравнения, с последующим их моделированием в обобщенной форме, учитывающие: 1) два основных вида – аддитивные и мультипликативные виды погрешностей, которые принимаются как линейно изменяющиеся; 2) возможные варианты мостовых схем, по которым могут соединяться ЧЭ.

Решение задачи. В работе [6] рассмотрена и решена аналогичная задача для дифференциальных датчиков (ДД) с мостовой схемой соединения ЧЭ, в которой, согласно общей теории измерительных мостов с соблюдением условия $Z_n \gg Z_i$, где Z_n - сопротивления

нагрузки, или же входное сопротивление схемы подключения к выходу ДД, Z_i - сопротивление каждого плеча ($i=1,2,3,4$).

Уравнение для выходного напряжения:

$$U = E \frac{Z_1 Z_4 - Z_2 Z_3}{(Z_1 + Z_2)(Z_3 + Z_4)}, \quad (1)$$

где Z_1, Z_2, Z_3 и Z_4 являются комплексными сопротивлениями плеч моста.

В ДД ЧЭ могут соединяться между собой по последовательно-дифференциальной (ПосДС) или по параллельно-дифференциальной схеме (ПарДС) (рис.3).

В ПосДС ЧЭ являются Z_1 и Z_2 сопротивления, а в ПарДС: ЧЭ являются Z_1, Z_3 и для упрощения задачи принято, что: $Z_{01} = Z_{02} = Z_{03} = Z_{04} = Z_0$. Если принять, что в процессе измерения сопротивление каждого ЧЭ ДД изменяется линейно: $Z_i = Z_{0i} + \Delta Z_i$; где, Z_{0i} - постоянная составляющая; ΔZ - изменяющаяся в процессе измерения составляющая сопротивления ЧЭ, то можно написать для ПосДС:

$$Z_1 = Z_0 + \Delta Z, \quad Z_2 = Z_0 - \Delta Z;$$

$$\text{для ПарДС: } Z_1 = Z_0 + \Delta Z, \quad Z_3 = Z_0 - \Delta Z.$$

Таким образом, согласно уравнению (1), выходное напряжение ДД с ПосДС:

$$U = E \frac{\Delta Z}{Z_0}, \quad (2)$$

выходное напряжение ДД с ПарДС:

$$U = E \frac{2\Delta Z Z_0}{4Z_0^2 - \Delta Z^2} \quad (3)$$

Для исследования погрешностей ДД с различными вариантами включения ЧЭ необходимо в уравнениях (2) и (3) учитывать основные виды погрешностей, существенно влияющие на значения выходного напряжения. Такими погрешностями приняты аддитивные и мультипликативные, которые рассмотрены как линейно изменяющиеся.

Аддитивные погрешности сопротивления плеч: $Z_1 = Z_{01}(1 + \delta_1)$; $Z_2 = Z_{02}(1 + \delta_2)$; $Z_3 = Z_{03}(1 + \delta_3)$; $Z_4 = Z_{04}(1 + \delta_4)$, где $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$ - коэффициенты, определяющие погрешности $Z_{01}\delta_1, Z_{02}\delta_2, Z_{03}\delta_3$ и $Z_{04}\delta_4$.

Мультипликативные погрешности изменения сопротивления ЧЭ: $\Delta Z = \Delta Z_0(1 + \delta_r)$, где δ_r - коэффициент, который определяет погрешность $\Delta Z_0 \delta_r$. Таким образом, все погрешности принимаются пропорциональными основным расчетным значениям сопротивлений, коэффициенты $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$ и δ_r являются относительными погрешностями. С математической точки зрения коэффициенты $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$ и δ_r принимаются как бесконечно малые числа относительно значений $Z_{01}, Z_{02}, Z_{03}, Z_{04}, \Delta Z_0$. Согласно правилам арифметических операций, над бесконечно малыми числами:

$$\delta_i \delta_j = 0, \quad \delta^k_1 = \delta^k_2 = \delta^k_3 = \delta^k_4; \quad \delta^k_r = 0. \quad (i, j, k = 1, 2, 3, \dots).$$

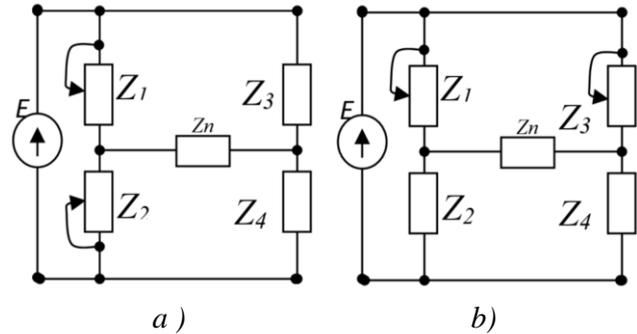


Рис.3. Мостовые схемы дифференциальных датчиков (ДД): а) схема с последовательно соединенными чувствительными элементами (ПосДС ЧЭ); б) схема с параллельно соединенными чувствительными элементами (ПарДС ЧЭ)

Таким образом, выходное напряжение ДД с ПосДС, в котором $Z_{01}=Z_{02}=Z_0$; $Z_{03}=Z_{04}$ и $Z_1=Z_0+\Delta Z$, $Z_2=Z_0-\Delta Z$:

$$U = E \frac{\frac{\Delta Z}{Z_0}(2 + 2\delta_z + \delta_3 + \delta_4) + (\delta_1 + \delta_4 - \delta_2 - \delta_3)}{2(2 + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4)},$$

$$U = E \frac{\Delta Z}{Z_0} \frac{(2 + 2\delta_z + \delta_3 + \delta_4)}{2(2 + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4)} + E \frac{\delta_1 + \delta_4 - \delta_2 - \delta_3}{2(2 + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4)}; \quad (4)$$

выходное напряжение ДД с ПарДС, в котором $Z_{01}=Z_{02}=Z_{03}=Z_{04}=Z_0$ и $Z_1=R_0+\Delta Z$, $Z_3=Z_0-\Delta Z$:

$$U = E \frac{Z_0^2(\delta_1 + \delta_4 - \delta_2 - \delta_3) - Z_0\Delta Z(2 + 2\delta_z + \delta_3 + \delta_4) + 2Z_0^2(2 + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4) - \Delta Z^2(1 + \delta_z) + Z_0\Delta Z(\delta_3 + \delta_4 - \delta_1 - \delta_2)}{2Z_0^2(2 + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4) - \left(\frac{\Delta Z}{Z_0}\right)^2(1 + \delta_z) + \frac{\Delta Z}{Z_0}(\delta_3 + \delta_4 - \delta_1 - \delta_2)},$$

$$U = E \frac{(\delta_1 + \delta_4 - \delta_2 - \delta_3) - \frac{\Delta Z}{Z_0}(2 + 2\delta_z + \delta_3 + \delta_4)}{2(2 + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4) - \left(\frac{\Delta Z}{Z_0}\right)^2(1 + \delta_z) + \frac{\Delta Z}{Z_0}(\delta_3 + \delta_4 - \delta_1 - \delta_2)} \quad (5)$$

Как видно из формул (4) и (5), напряжение, полученное в начальном положении процесса измерения, которое соответствует равновесию мостовой схемы и при котором $\Delta Z_0=0$, не зависит от способа соединения ЧЭ:

$$U_0 = E \frac{\delta_1 + \delta_4 - \delta_2 - \delta_3}{2(2 + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4)}, \quad (6)$$

что соответствует действительности.

Формула (5) определяет также смещения нуля выходного напряжения преобразователя в режиме холостого хода, то есть при $E \neq 0$, $\Delta Z=0$.

Ниже приводится немного иной способ для получения формулы определения статических погрешностей. На рис. 4а представлена электрическая схема соединения пьезоэлектрических чувствительных элементов, на рис. 4б – функциональная схема преобразования «угол поворота подвижного объекта – выходное напряжения схемы». Эти схемы применимы для большинства пьезоэлектрических преобразователей параметров механического движения, в том числе и для рассмотренных выше.

В этих схемах α - угол поворота подвижного объекта; ΔF - изменение действующей силы; Δf - разность частот относительно резонансной; $\Delta Z(j\omega)$ - изменение значения комплексного сопротивления; $U(\Delta f)$ - напряжение электрического выхода датчика вибрации и ускоре-

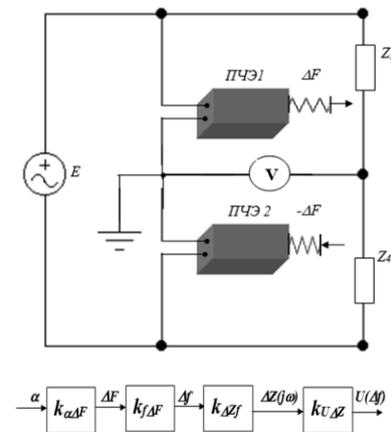


Рис. 4. Принципиальные схемы дифференциальных пьезоэлектрических преобразователей параметров механического движения: а) электрическая схема соединения ПЧЭ; б) функциональная схема преобразования «угол поворота подвижного объекта - выходное напряжение схемы».

ний; $K_{\Delta F}$ - коэффициент преобразования «угол поворота-сила»; $K_{\Delta F\omega}$ - коэффициент преобразования «сила-частота»; $K_{\omega\Delta z}$ - коэффициент преобразования «частота-сопротивление»; $K_{\Delta ZU}$ - коэффициент преобразования «сопротивление-напряжение».

Основной формулой, показывающей зависимость изменения частоты относительно резонансной от действующей силы, является выражение [7]:

$$f_1 = f_0 \left(1 - \frac{\nu}{Y_{33}^E S} \Delta F \right)$$

где f_0 - резонансная частота; E - модуль Юнга; S - сечение поверхности, на которой действует сила; ν - коэффициент Пуассона.

Формула для разности частот:

$$\Delta f = \frac{\nu \omega_0}{2\pi Y_{33}^E S} \Delta F \quad (7)$$

Зависимость изменения сопротивления $\Delta Z(j\omega)$ от разности частот Δf определим согласно мостовой схеме соединения ПЧЭ, представленной на рис.1. Известно, что для ненагруженного пьезоэлектрического преобразователя $\Delta F = 0$; $\Delta Z = 0$; $Z_{OP} = R_{OP}$.

Для нахождения зависимости $\Delta Z(j\omega) = f(\Delta f)$ целесообразно использовать не менее известную формулу:

$$Z_P = R_{OP} \sqrt{1 + Q^2 \left(n - \frac{1}{n} \right)^2} \quad (8)$$

где $Q = \omega_0 L / R_{OP}$ - добротность ПЧЭ; $n = \omega / \omega_0$ - относительное изменение частоты.

Согласно начальным условиям, $Z_0 = R_{OP}$:

$$\Delta Z = R_{OP} \left[1 - \sqrt{1 + Q^2 \left(n - \frac{1}{n} \right)^2} \right], \quad (9)$$

Учитывая выражение для относительного значения частоты, составленного на основе формулы (7):

$$n = \frac{f}{f_0} = \frac{\omega}{\omega_0} = \left(1 - \frac{\nu}{Y_{33}^E S} \Delta F \right). \quad (10)$$

И наконец, после несложных математических преобразований, получим:

$$Z = R_{OP} \sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\nu \Delta F}{Y_{33}^E S} \right)^2 \cdot \left(\frac{Y_{33}^E S}{Y_{33}^E S - \nu \Delta F} + 1 \right)^2} \quad (11)$$

Полученное выражение (11) учтем в выражении (9) и получим конечное выражение для зависимости $\Delta Z(j\omega) = f(\Delta f)$:

$$\Delta Z = R_{OP} \left[1 - \sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\nu \Delta F}{Y_{33}^E S} \right)^2 \cdot \left(\frac{Y_{33}^E S}{Y_{33}^E S - \nu \Delta F} + 1 \right)^2} \right] \quad (12)$$

Выражение для выходного электрического напряжения датчика вибрации и ускорений $U(\Delta f)$ получим после учета (11) и (12) в (2):

$$U = \frac{1}{2} E \left[1 - \sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{v \Delta F}{Y_{33}^E S} \right)^2 \left(\frac{Y_{33}^E S}{Y_{33}^E S - v \Delta F} + 1 \right)^2} \right] \quad (13)$$

Уравнение (13) является статической характеристикой рассматриваемого устройства, определяющее зависимость $U = f(\Delta F)$. Согласно принципу работы устройства, ΔF - это сила, действующая на ЧЭ, т.е. сила тяжести инерционной массы (рис.2, поз. 4):

$$\Delta F = mg - mg \cos(\alpha) = mg(1 - \cos(\alpha))$$

Таким образом, получаем выражение для статической характеристики пьезоэлектрического гироскопа-акселерометра, работающего в режиме измерения угла поворота объекта:

$$U = \frac{1}{2} E \left[1 - \sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{vmg(1 - \cos(\alpha))}{Y_{33}^E S} \right)^2 \cdot \left(\frac{Y_{33}^E S + Y_{33}^E S}{Y_{33}^E S - vmg(1 - \cos(\alpha))} - \frac{vmg(1 - \cos(\alpha))}{Y_{33}^E S - vmg(1 - \cos(\alpha))} \right)^2} \right] \quad (14)$$

Теперь, используя формулу (10) и при принятых условиях для составления уравнений (4)-(6), определим статические погрешности пьезоэлектрического преобразователя. Упростим выражение (14). Для геометрических размеров ПЧЭ можно записать:

$$a = a_0 + \delta_a; \quad b = b_0 + \delta_b; \quad c = c_0 + \delta_c,$$

то есть размеры состоят из расчетной части и из погрешности. Тогда площадь поверхности ПЧЭ:

$$S = ab = (a_0 + \delta_a)(b_0 + \delta_b) = a_0 b_0 + a_0 \delta_b + b_0 \delta_a = S_0 + \Delta S, \quad (15)$$

$$S = S_0 + \Delta S$$

Масса ПЧЭ:

$$m = \rho abc = \rho(a_0 + \delta_a)(b_0 + \delta_b)(c_0 + \delta_c),$$

$$m = \rho a_0 b_0 c_0 + \rho(a_0 b_0 \delta_c + b_0 c_0 \delta_a + a_0 c_0 \delta_b) = \rho(a_0 b_0 c_0 + a_0 b_0 \delta_c + b_0 c_0 \delta_a + a_0 c_0 \delta_b). \quad (16)$$

Тогда: $m = m_0 + \Delta m$, где: $m_0 = \rho a_0 b_0 c_0$; $\Delta m = \rho(a_0 b_0 \delta_c + b_0 c_0 \delta_a + a_0 c_0 \delta_b)$.

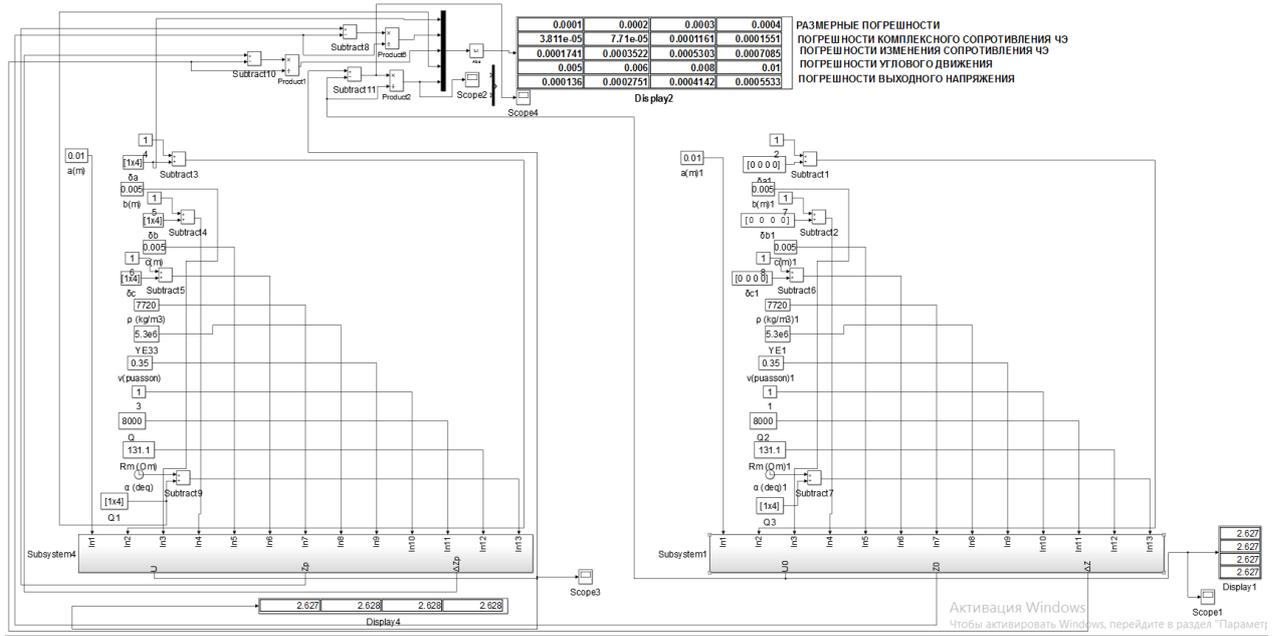
Для измеряемого угла поворота:

$$\cos(\alpha) = \cos(\alpha_0 + \delta_\alpha) = \cos(\alpha_0) \cos(\delta_\alpha) - \sin(\alpha_0) \sin(\delta_\alpha),$$

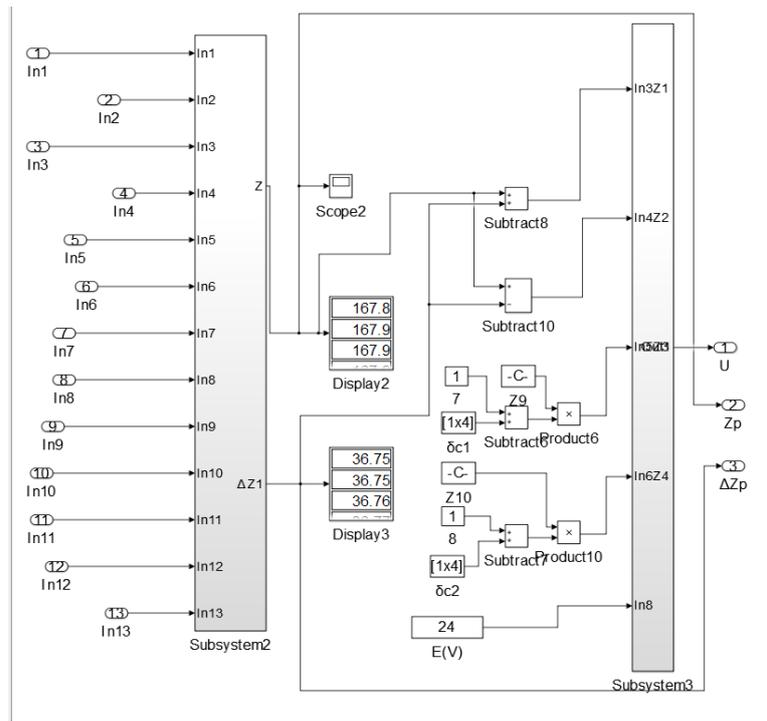
$$\cos(\alpha) = \cos(\alpha_0) - \sin(\alpha_0) \delta_\alpha \quad (17)$$

Выражение (14), с учетом (15) -(17), а также после несложных математических преобразований, получится в следующей форме:

$$U = \frac{1}{2} E \left[1 - \sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{v g \rho (c_0 + \delta_c) (1 - \cos(\alpha_0) + \delta_\alpha \sin(\alpha_0))}{Y_{33}^E} \right)^2 \cdot \left(\frac{Y_{33}^E}{Y_{33}^E - v g \rho (c_0 + \delta_c) (1 - \cos(\alpha_0) + \delta_\alpha \sin(\alpha_0))} + 1 \right)^2} \right] \quad (18)$$



а)



б)

0.0001	0.0002	0.0003	0.0004
3.811e-05	7.71e-05	0.0001161	0.0001551
0.0001741	0.0003522	0.0005303	0.0007085
0.005	0.006	0.008	0.01
0.000136	0.0002751	0.0004142	0.0005533

РАЗМЕРНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ
 ПОГРЕШНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЧЗ
 ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЧЗ
 ПОГРЕШНОСТИ УГЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ
 ПОГРЕШНОСТИ ВЫХОДНОГО НАПЯЖЕНИЯ

в)

Рис. 5. Компьютерные модели дифференциального преобразователя:
 а) общая модель; б) подсистема для вычисления сопротивлений ЧЗ и выходного напряжения;
 в) дисплей с индикацией погрешностей.

На рис. 5 представлены компьютерные модели, составленные на основе уравнений (4), (5) и (18), а на рис. 6 осциллограммы, полученные после выполнения симуляции в среде МАТЛАБ.

Выбираем пьезокерамику PZT-8 с размерами: $a = 0,01m$; $b = 0,002m$; $c = 0,005m$ (те же размеры для инерционной массы), физико-технические параметры, согласно [8]: $\rho_M = 7800 \text{ kg/m}^3$; $\rho = 7720 \text{ kg/m}^3$;

$Q = 60$; $Y_{33}^E = 5.3 \cdot 10^9 \text{ Pa}$;

$\nu = 0.35$. Напряжение питания устройства

выбираем $E = 24V$. Погрешности геометрических размеров ЧЭ (в относительных единицах): [0.0001 0.0002 0.0003 0.0004]; погрешности угла поворота (относительных единицах): [0.005 0.006 0.008 0.01].

Получены численные результаты: сопротивление ЧЭ: $Z_0 = 167.8 \text{ Ом}$; изменение сопротивления ЧЭ: $L_m = 41,14 \text{ Гн}$; $C_m = 8,476e-15 \text{ Ф}$; $R_m = 131,1 \text{ Ом}$; $f_p = 26980 \text{ Гц}$; $\alpha = 0-90^\circ$; $\Delta Z = 36,4 \text{ Ом}$; $U = 0-2.628 \text{ В}$.

Как видно из дисплея и графиков, представленных на рис. 5с и 6а, соответственно, при погрешностях геометрических размеров 0,01-0,04% и угла поворота 0,5-1% выходное напряжение имеет 0,013- 0,05%. При этом погрешности существенно влияют на выходное напряжение в диапазоне $90^\circ-270^\circ$.

Закключение. Погрешности сопротивлений ЧЭ существенно влияют на значение выходного напряжения в диапазоне, а погрешности от угловых поворотов при высоких частотах влияют на форму выходного напряжения преобразователя.

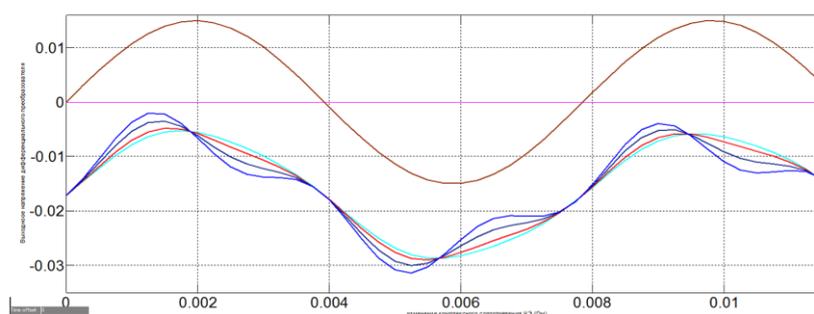
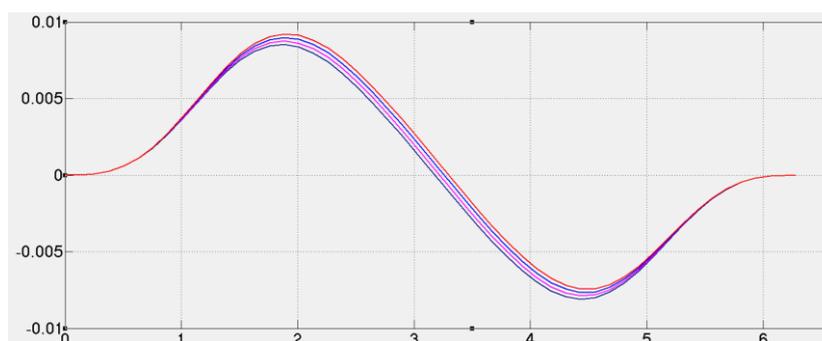


Рис. 6. Осциллограмма погрешностей выходного напряжения пьезоэлектрического преобразователя:

- а) $\Delta U[V] = f(\alpha)$ [рад] при частоте 50 Гц;
- б) $\Delta U[V] = f(\alpha)$ [рад] при частоте свыше 1000 Гц

REFERENCES

1. **Pashayev A.M., Gurbanov T.B., Nabiyev R.N., Hazarkhanov A.T., Karimli T.I.** Differential Micromechanical Vibration Accelerometer Patent-invention. İ20150063, 01.10.2015, 6 p.
Paşayev A.M., Qurbanov T.B., Nəbiyev R.N., Həzərخانov Ə.T., Kərimli T.İ. Diferensial mikromexaniki vibrasiyalı akselerometr. Patent-ixtira İ20150063, 01.10.2015, 6 s.
2. **Nabiyev R.N., Hazarkhanov A.T., Karimli T.I.** Piezoelectric Accelerometer. Decision of the publication of the invention application. №U20170008. Baku 15.08.2019, 6p.
Nəbiyev R.N. Həzərخانov Ə.T. Kərimli T.İ. Pyezoelektrik akselerometr. İxtiraya dair iddia sənədi barəsində məlumatın dərci haqqında Qərar. İddia sənədi №U20170008. Bakı: 15.08.2019, 6s.
3. **Pashayev A.M., Karimli T.I., Neymatov V.A.** Study of a measuring circuit with a piezoelectric differential accelerometer//Herald of the Azerbaijan Engineering Academy. Vol 9, №2. Baku,2017, c.7-14.
Пашаев А.М., Каримли Т.И., Нейматов В.А. Исследование схемы измерительной цепи с пьезоэлектрическим дифференциальным акселерометром //Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri. Cild 9, №2. Bakı,2017, c.7-14.
4. **Hazarkhanov A.T., Karimli T.I., Neymatov V.A.** Computer modeling and research of piezoelectric transducers used in measuring and actuating devices. //NAA, Science Collection, Cild 18, №1. Bakı, 2016, c.1-7.
Газарханов Ə.Т., Каримли Т.И., Нейматов В.А. Компьютерное моделирование и исследование пьезоэлектрических преобразователей, применяемых в измерительных и исполнительных устройствах //МАН, Elmi Məcmuə, Cild 18, №1. Bakı, 2016, c.1-7.
5. **Pashayev A.M., Neymatov V.A., Karimli T.I.** Studying on stability of piezoelectric actuators of initial alignment system accelerometers. Science and Applied Engineering Quarterly. UK, London 2017, p.4-9.
6. **Hazarkhanov A.T., Karimli T.I., Neymatov V.A., Karimli V.I.** Operating modes of piezoelectric self-adjusting gyroscope-accelerometer//HERALD of the Azerbaijan Engineering Academy. Vol 10, №1. Baku, 2018, pp.7-15.
7. Vibrations in technique: Handbook. 6/Red. Tip: V.N. Chelomay - M.: Mechanical engineering, 1981.Т. 5. Measurements and tests. "Under Ed. M. D. Genkina. 1981. 496 p.
Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т./Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). — М.: Машиностроение, 1981. Т. 5. Измерения и испытания. — Под ред. М. Д. Генкина. 1981. 496 с.
8. **Dominick A. DeAngelis, Gary W. Schulze.** Performance of PZT8 versus PZT4 piezoceramic materials in ultrasonic transducers. Physics Procedia 87 (2016) pp. 85–92.

MEXANİKİ HƏRƏKƏTİN PARAMETRLƏRİNİN PYEZOELEKTRİK ÇEVİRİCİLƏRİNİN STATİK XƏTALARININ TƏDQIQI

Ə.T. HƏZƏRXANOV, T.İ. KƏRİMLİ, V.A. NEYMƏTOV, V.S. HÜSEYNOV

Məqalədə mexaniki hərəkətin parametrlərinin pyezoelektrik çeviricilərinin yeni konstruktiv variantları təqdim edilmişdir. Çeviricinin həndəsi ölçülərinin, eləcə də dönmə bucağının xətalı nəzərə alınmaqla diferensial qoşulma sxemi ilə birləşmiş pyezoelektrik həssas elementlərin kompleks müqavimətləri və elektrik körpü sxeminin çıxış gərginliyi üçün statik tənliklər tərtib edilmişdir. Kompüter modelləri qurulmuş və onların simulyasiyasından alınan nəticələr təhlil edilmişdir. Xətalının çeviricinin çıxış gərginliyinə olan təsirinin xarakteri müəyyən edilmişdir.

Açar sözlər: pyezoelektrik çevirici; diferensial sxem, xətti dəyişən statik xəta.

RESEARCH OF STATICS ERRORS OF PIEZOELECTRIC CONVERTERS OF MECHANICAL MOTION PARAMETERS

A.T. HAZARKHANOV, T.I. KARIMLI, V.A. NEYMATOV, V.S. HUSEYNOV

The article presents new design variants of piezoelectric converters of mechanical motion parameters. Static equations are composed for complex resistances of piezoelectric sensitive elements connected by differential pattern taking into account linear-changing errors of geometric sizes and angle of the converter as well as, for the output voltage of the electric bridge scheme. Computer models were built and the results of their simulations were analyzed. The nature of the effects of errors on the output voltage of the converter has been revealed.

Keywords: piezoelectric converters, differential circuitry, static linear-changing errors.

Поступило в редакцию: 18.07.2019
После доработки: 12.03.2020
Принято к публикации: 15.03.2020

УДК 621.413 – 592.13

DOI: 10.15587/1729-4061.2019.154712

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС САМОВЕНТИЛИРУЕМЫХ ДИСКОВО-КОЛОДОЧНЫХ ТОРМОЗОВ С ШИПАМИ

М.Я. ДЖАВАДОВ¹, Д.Ю. ЖУРАВЛЕВ², М.М. НАСИРОВА³,
В.Я. ПОПОВИЧ², И.О. БЕКИШ², А.Н. ВУДВУД⁴

Проанализирован тепловой баланс самовентилируемых дисково-колодочных тормозов транспортных средств, который существенно влияет на эксплуатационные параметры их пар трения. Уровень энергонагруженности пар трения тормозов исследован при различных температурах. В основу исследований положена конструкция самовентилируемого диска с цилиндрическими шипами, которые соединяют между собой левый полудиск с правым полудиском, имеющим фланец. Предложен температурный метод оценки теплового баланса самовентилируемого тормозного диска с шипами в эксплуатационных условиях.

Рассмотрены шипы разного сечения и проанализирована их роль в теплообменных процессах с омывающими встречными потоками воздуха при движении транспортного средства с различными скоростями.

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

Введение. Транспортное машиностроение и, в частности, транспортные средства широко используют современные системы торможения. Известно, что колесные тормозные устройства транспортных средств при эксплуатации характеризуются высокой силовой и тепловой удельной нагруженностью. Кроме них существенному тепловому воздействию подвержены другие детали колеса, т.е. барабан и шины. Воздействие аperiодических циклов нагревания и вынужденного воздушного охлаждения в значительной степени определяют долговечность пар трения и эффективность работы дисково-колодочного тормоза.

По прогнозам экспертов, на ближайшее будущее дисково-колодочные тормоза останутся самым распространенным видом тормозных устройств для категорий транспортных

¹ Азербайджанская инженерная академия, Баку

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

³ Азербайджанская Национальная академия авиации, Баку

⁴ Одесский национальный политехнический университет (Украина)

E-mail: udav2103@mail.ru

средств. В то же время их конструкция должна постоянно совершенствоваться на основе расчетных методов, касающихся конструктивных параметров самовентилируемых дисков. Тормоза должны отвечать постоянно растущим требованиям к увеличению мощности трения, которая зависит от скорости движения и движущейся массы. Для многих фирм (“Мерседес”, “Фольксваген”, “Ситроен” и др.) создание надежных и эффективных пар трения тормозов с высокой энергоемкостью стало приоритетной задачей. Ее решение состоит в поиске новых конструкционных материалов для изготовления пар трения тормозов и усовершенствование их конструкции. Для этого необходимо иметь базу данных теоретических и экспериментальных исследований по тепловому балансу пар трения самовентилируемых дисково-колодочных тормозов и напряженно-деформированному состоянию дисков. Решение этой проблемы позволит наметить рациональные пути усовершенствования конструкций самовентилируемых дисков с цилиндрическими шипами с целью повышения их энергоемкости. Поэтому настоящая проблема является актуальной.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Дисково-колодочные тормоза категорий транспортных средств, согласно правилу 13 ЕЭК ООН (Европейской Экономической Комиссии при Организации Объединенных Наций) [1, 2], при испытаниях подвергают циклическим и длительным режимам торможения. При этом на поверхностях пар трения тормоза развиваются температуры, превышающие допустимую для материала полимерного фрикционного элемента, т. е. 300...350°C. Это отрицательно влияет на эксплуатационные параметры пар трения тормоза, существенно снижая эффективность его действия. Поскольку тормозной диск является аккумулятором тепловой энергии, он при эксплуатации тормоза находится в наиболее тяжелом напряженно-деформируемом состоянии по сравнению с другими конструктивными элементами фрикционной пары [3, 4]. Это указывает на необходимость снижения его энергонагруженности.

Известны методы определения количества теплоты (калориметрия), заключающиеся в использовании различных типов калориметров, а именно: обыкновенного переменной температуры с изотермической оболочкой; массивного переменной температуры с изотермической оболочкой; переменной температуры с адиабатической оболочкой; дифференциального с переменной температурой; с постоянной температурой [5]. Однако представленные методы определения количества генерируемой, аккумулируемой и рассеиваемой в окружающую среду теплоты поверхностями тормозного диска с фланцем транспортного средства не могут быть использованы по следующим причинам: из-за сложной конфигурации поверхностей тормозного диска с фланцем невозможно точно оценить потери теплоты от радиационного, естественного и вынужденного конвективного теплообменов, т.к. невозможно учесть потери теплоты от фланца тормозного диска кондуктивным теплообменом.

Метод нагревания и охлаждения тормозных барабанов различных категорий транспортных средств при оценке их теплового баланса предложен в [6]. Данный метод был реализован в четыре этапа: два этапа в лабораторных и два в эксплуатационных условиях. При этом был использован температурный метод для теплоизолированного и нетеплоизолированного барабанов с оценкой их объемных температур. Метод широкого распространения не получил, поскольку является достаточно трудоемким.

Электродинамика и энергетические уровни микровыступов поясов трения тормозных дисков были рассмотрены в [6, 7]. Отмечено их влияние на тепловой баланс пар трения тормоза.

Тепловому балансу сплошных дисков тормозов транспортных средств уделено внимание в работе [8].

Исследованию теплового баланса самовентилируемых тормозных дисков, в полости которых выполнено оребрение, посвящены работы [9, 10]. Особое место среди самовентилируемых тормозных дисков занимают диски с цилиндрическими шипами, которые соединяют между собой полудиски.

В связи с изложенным проблема оценки теплового баланса самовентилируемых дисков дисково-колодочных тормозов с цилиндрическими шипами с учетом эффективности их вынужденного воздушного охлаждения остается малоизученной.

Цель и задачи исследований. Целью исследований является оценка теплового баланса самовентилируемых, с цилиндрическими шипами дисков транспортного средства для модернизации конструктивных элементов и предупреждение возникновения микротрещин на их рабочих поверхностях.

Для достижения поставленной цели поставлены следующие задачи:

- определить тепловой баланс самовентилируемого диска с шипами в составе тормоза;
- оценить тепловую и весовую эффективность шипов различного сечения самовентилируемого тормозного диска с цилиндрическими шипами.

Тепловой баланс самовентилируемых дисков с цилиндрическими шипами в составе тормоза. Оценка теплового баланса пар трения самовентилируемых, с шипами дисково-колодочных тормозов транспортного средства осложнена неадиабатностью процессов, сопровождающих электротермомеханическое трение, различием поверхностных температур пары трения «металл - полимер», присутствием инертных газов в межконтактном зазоре пар трения, неполнотой протекания термохимических процессов.

На рис. 1 представлено три уровня температур: t_o , t_n и t_k – окружающей среды, начальная и конечная. Нормальная температура окружающего воздуха равна 20°C. Начальная температура рабочих поверхностей пар трения равна 100°C [11]. Конечная температура поверхностей трения может быть ниже либо выше допустимой для материала полимерной накладке.

Процессы 1-2 и 2-3 относятся к нагревательным, а процессы 3-4 и 4-5 (рис. 1) отвечают вынужденному воздушному охлаждению пар трения самовентилируемого дисково-колодочного тормоза с шипами при движении транспортного средства.

По тепловому балансу самовентилируемых дисков тормоза транспортного средства в режимах движения и торможения можно оценить эффективность вынужденного воздушного охлаждения матовых и полированных поверхностей дисков, а также составляющую интенсивности кондуктивного теплообмена между конструктивными элементами диска [2].

На рис. 2 а представлен дисково-колодочный тормоз 1, который содержит суппорт 2 с установленными в нем тормозными колодками 3 с фрикционными накладками 4. Суппорт 2 закреплен на кронштейне цапфы (на рис. 2 а не показаны) и подключен к гидроприводу (не показан). Тормоз 1 имеет правый полудиск 5 с фланцем 6 и левый полудиск 7. Со сторо-

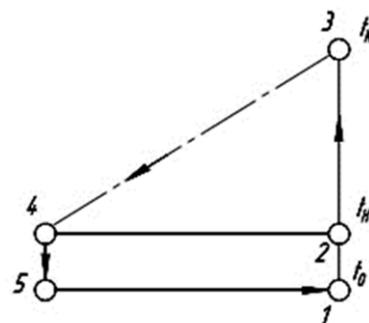


Рис. 1 - Схема протекания процессов «нагрева – охлаждения» пар трения

ны внутренних поверхностей 8 полудиски 5 и 7 соединены между собой цилиндрическими шипами 9, которые покрыты теплоизоляцией 19. Шипы 9 расположены на внешнем r_1 и внутреннем r_2 радиусах поясов трения 10 полудисков 5 и 7.

Для измерения поверхностных температур пар трения дисково-колодочного тормоза переднего моста транспортного средства в его узел трения помещают термоэлектроды 11 и 12 термопар (рис. 2 д). Двухканальная керамическая трубка 14 устанавливается в отверстие 15 фрикционной накладки 4 и выводится на ее рабочей поверхности. В трубку 14 диаметром 4,0 мм вложены термоэлектроды 11, 12 термопары, изготовленной из хромель-копелевой проволоки диаметром 0,4 мм.

Положительным термоэлектродом 11 является хромелевая проволока, а отрицательным 12 – копелевая проволока. Сферическая головка термопары 13, взаимодействующая с рабочей поверхностью тормозного диска 1, изготовлена из высокотемпературного медного припоя в виде спая диаметром 3,0 мм и установлена в ограничительное кольцо 18. Последнее препятствует выходу из строя головки термопары 13 и способствует ее работе до полного износа фрикционной накладки 4. Двухканальная керамическая трубка 14 (керамическая трубка состоит из двух частей) установлена с изоляционными втулками 17 и 18 в отверстие 16 тормозной колодки 3. Длина термоэлектродов 11 и 12 составляет 200...350 мм и выбирается из условия, чтобы за время экспериментов холодный спай не успел прогреться. Выводы на регистрирующую аппаратуру осуществлялись медными проводами. Термопара перед ее установкой тарировалась вместе с соединительными проводами.

Транспортное средство разгоняют до заданной скорости и выполняют циклические торможения дисково-колодочным тормозом путем прикладывания и снятия усилия с педали тормоза (на рис. 2 не показаны). С помощью тормозных колодок 3 фрикционные накладки 4 рабочими поверхностями прижимаются к рабочей поверхности тормозных дисков 1. После завершения циклических торможений транспортным средством снимают нагрузку с тормозной педали и при помощи гидропривода отводят тормозные колодки 3 с накладками 4 от рабочей поверхности тормозного диска 1.

На процессы механического, электрического, теплового и химического характера, протекающие на фрикционном контакте, существенное влияние оказывает геометрия микровыступов взаимодействующих поверхностей, которые в реальности отличаются от идеальной поверхности. Наличие микровыступов ведет к тому, что при сближении рабочих поверхностей пар трения под внешней нагрузкой взаимодействие происходит на пятнах контактов микровыступов (дискретный фрикционный контакт) с большими удельными нагрузками, сопровождающимися генерированием электрических токов и интенсивным тепловыделением. Особенно это касается циклического (тип I) и длительного (тип II) испытаний дисково-колодочных тор-

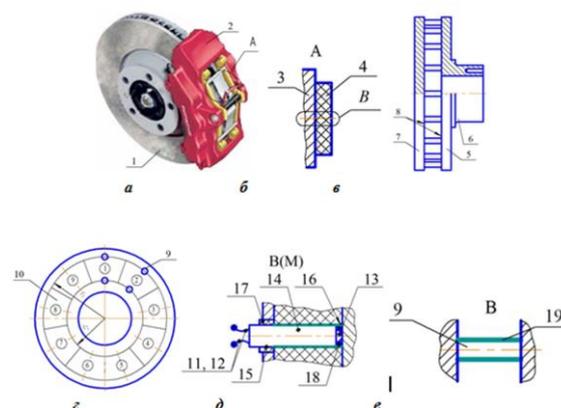


Рис. 2 - Общий вид самовентилируемого дисково-колодочного тормоза (а); вид А фрикционного узла (б); самовентилируемый тормозной диск с цилиндрическими шипами (в); полудиск с очерчением радиусов трения и положения 1-9 накладки на его поверхности (г); вид В фрикционного узла с смонтированными термопарами (д); теплоизолированный цилиндрический шип (е)

мозов транспортных средств.

При движении транспортного средства матовые и полированные поверхности полудисков 5 и 7, а также поверхности цилиндрических шипов 9 омываются встречными потоками воздуха. Последний, попадая внутрь полудисков 5 и 7 и между цилиндрическими шипами 9, завихряется, в результате чего температура воздушных потоков понижается, а интенсивность вынужденного охлаждения внутренних поверхностей 8 полудисков 5 и 7 возрастает. При фрикционном взаимодействии накладок 4 с поясами трения 10 полудисков 5 и 7 они движутся по их свежему следу (см. рис. 2 в позиции 1-9). В результате взаимодействия встречных потоков воздуха с указанными выше поверхностями правого 5 с фланцем 6 и левого 7 полудисков, соединенных между собой цилиндрическими шипами 9, происходит вынужденный конвективный и радиационный теплообмен.

Способ оценки теплового баланса самовентилируемого диска с цилиндрическими шипами для пар трения дисково-колодочного тормоза различных подкатегорий транспортных средств реализуют в *два этапа*.

На *первом* этапе транспортное средство движется в режиме циклических торможений. При этом определяют энергонагруженность пар трения, т. е. их поверхностную температуру t_1 и степень ее повышения $(t_1 - t_0)$ (где t_0 – температура окружающего воздуха) с помощью спая термопары 13, вмонтированной в тело фрикционных накладок 4.

На *втором* этапе транспортное средство движется в режиме циклических торможений с теплоизолированными 19 цельными цилиндрическими шипами 9. При этом определяют энергонагруженность левых и правых пар трения, т. е. их поверхностные температуры t_2 и t_3 , а также величину их повышения $(t_1 - t_0)$ и $(t_3 - t_0)$. Величины отношений $(t_1 - t_0)/(t_2 - t_0)$ и $(t_1 - t_0)/(t_3 - t_0)$ указывают долю теплоты, которая отводится правым 5 с фланцем 6 и левым 7 полудисками в окружающую среду.

Особенности процесса омывания воздухом цилиндрических шипов тормоза.

Наиболее распространенной формой обтекания встречными потоками воздуха цилиндрических шипов, расположенных между полудисками по окружности, является режим при числах Рейнольдса $Re \leq 2 \cdot 10^5$. Он характеризуется малым углом отрыва φ , равным примерно 82° , и большим сопротивлением движению потока цилиндрической поверхности (рис. 3 а, б).

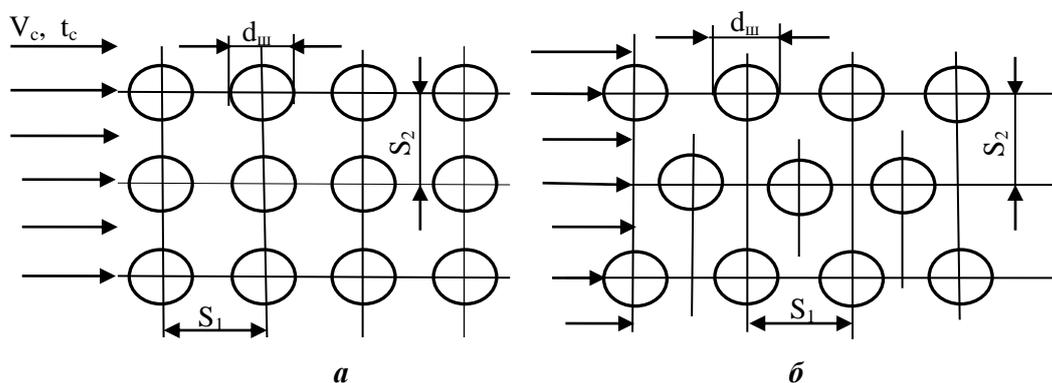


Рис. 3 а, б - Варианты расположения сплошных цилиндрических шипов (поперечное сечение) на внутренних поверхностях полудисков: а – коридорное; б – шахматное; V_c – скорость набегающего воздуха; t_c – температура воздуха

При этом движение в пограничном слое остается ламинарным вплоть до точки отрыва. Далее поток движется в турбулентном режиме. При увеличении числа Рейнольдса $Re > 2 \cdot 10^5$ точка перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный смещается вверх

по потоку и по мере увеличения числа Рейнольдса проникает в область безотрывного обтекания, где наблюдается как ламинарный, так и турбулентный пограничные слои. Первый начинается от передней критической точки на некотором расстоянии от нее, вниз по потоку переходит во второй, и отрыв происходит уже в области турбулентного пограничного слоя. При дальнейшем увеличении числа Рейнольдса наступает кризис обтекания – точка отрыва при этом смещается вниз по потоку.

В данном случае имеет место поперечное омывание воздухом цилиндрических шипов. Теплопередача поверхности цилиндрического шипа даже в первом ряду пучка несколько отличается от аналогичного процесса для одиночного шипа, так как схемы их обтекания различны. Шипы, расположенные во втором и третьем рядах, находятся в зоне потока, возмущенного предшествующими рядами, и интенсивность их теплоотдачи зависит от структуры потока омывающего воздуха.

Коэффициент теплоотдачи от поверхностей сплошных цилиндрических шипов к потокам омывающего воздуха движущегося грузового транспортного средства марки MAN модели TGA 26.430 определяли по зависимости вида:

$$\alpha = \frac{Q}{\tau A(t_1 - t_0)}, \quad (1)$$

где Q – количество теплоты; τ – время омывания воздухом; A – площадь поверхности; t_1 , t_0 – температуры: поверхности шипа и окружающей среды.

Если угол встречи набегающего на цилиндрический шип потока воздуха (угол атаки ψ) отличен от 90° , то коэффициент теплоотдачи, рассчитанный по формуле (1), следует умножить на поправочный коэффициент:

$$\varepsilon_\psi = \frac{\alpha_\psi}{\alpha_{\psi=90^\circ}}, \quad (2)$$

где α_ψ – коэффициент теплоотдачи при данном угле атаки; $\alpha_{\psi=90^\circ}$ – коэффициент теплоотдачи, рассчитанный по формуле (1).

Закономерность изменения поправочного коэффициента ε_ψ в зависимости от угла атаки ψ_1 приведена на рис. 4.

Влияние степени турбулентности набегающего потока воздуха на интенсивность теплоотдачи цилиндрического шипа при его поперечном обтекании изучено недостаточно.

В данном случае имеет место поперечное омывание воздухом цилиндрических шипов. Процесс теплоотдачи поверхности цилиндрического шипа даже в первом ряду пучка несколько отличается от аналогичного процесса для одиночного шипа, поскольку скоростные поля их обтекания различны. Шипы, расположенные во втором и третьем рядах, находятся в зоне потока, возмущенного предшествующим рядом. Их теплоотдача зависит от аэродинамической структуры потока.

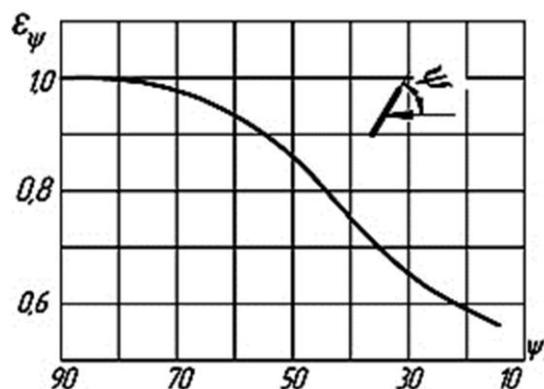


Рис. 4 - Закономерности влияния поправочного коэффициента ε_ψ на угол атаки ψ_1° воздуха при теплоотдаче единичного цилиндрического шипа

В табл. приведены значения коэффициентов теплоотдачи.

Таблица

Значения коэффициентов теплоотдачи в окружных рядах цилиндрических шипов в зависимости от скорости движения транспортного средства

Ряды шипов	Скорости движения транспортного средства, км/ч							
	20	30	40	50	60	70	80	90
Первый	Коэффициенты теплоотдачи, α , Вт/(м ² ·°С)							
	10	20	30	40	45	50	55	60
Второй	14	28	42	56	63	69	76	83
Третий	16	32	48	63	71	79	87	95

Анализ полученных значений коэффициентов теплоотдачи показал, что структура потока, начиная с третьего ряда и далее, остается практически неизменной, поэтому интенсивность теплоотдачи также сохранится постоянной. Теплоотдача первого и второго рядов шипов по сравнению с третьим рядом меньше. Средний коэффициент теплоотдачи $\bar{\alpha}$ первого ряда находят путем умножения $\bar{\alpha}$ третьего ряда на 0,6, второго ряда – на 0,7 (шахматное расположение) и на 0,9 (коридорное расположение).

Одним из путей, позволяющих интенсифицировать теплопередачу, – это увеличение площади внутренних поверхностей теплообмена за счет увеличения количества цилиндрических шипов.

Увеличения площади поверхностей теплообмена можно достичь, если вместо сплошных цилиндрических шипов применить комбинированный вариант соединения полудисков тормоза. При этом передаваемый ими тепловой поток от левого полудиска к правому полудиску с фланцем возрастает.

Термические сопротивления теплоотдачи внутренних стенок полудисков вместе с цилиндрическими шипами пропорциональны $(\alpha, A)^{-1}$. При этом в теплообмене независимо принимают участие гладкая поверхность полудисков и поверхности цилиндрических шипов. Применение последних в самовентилируемом диске является одним из основных путей интенсификации теплопередачи. Необходимо отметить, что шипы различной геометрии и теплопроводности по-разному работают даже в одинаковых условиях при однородных источниках и стоках теплоты.

В [12-13] сформулированы основные допущения, позволяющие упростить тепловой расчет шипов различной геометрии.

Критерием, которым обычно руководствуются при установке шипов на поверхности, является приблизительное равенство обоих термических сопротивлений теплоотдачи, то есть $\alpha_1 A_1 \approx \alpha_2 A_2$. Таким образом, если $\alpha_2 \ll \alpha_1$, то количество шипов на внутренней поверхности увеличивают до тех пор, пока не достигнут равенства $A_1/A_2 = \alpha_2/\alpha_1$. Дальнейшее увеличение A_2 малоэффективно, поскольку при незначительном росте теплового потока возрастает масса конструкции, а также затраты на ее изготовление.

Геометрия шипов (их форма и размер) может быть достаточно разнообразной. Расчет температурных полей в шипах довольно сложен, несмотря на некоторые упрощающие допущения. Подробно подобные задачи теплопереноса рассмотрены в [12].

Тепловая и весовая эффективность различного типа шипов самовентилируемых тормозных дисков. Проведем обобщенное исследование тепловой и весовой эффективности сплошных цилиндрических шипов (рис. 5 а, б) с постоянным диаметром d и передачей теплоты через все поверхности. Этот метод можно использовать и для ребер.

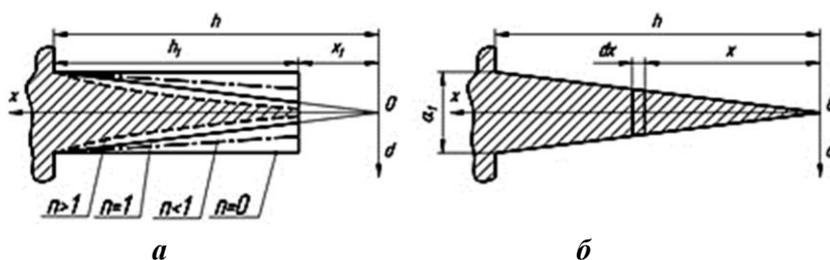


Рис. 5 а, б - Расчетная схема сплошного шипа с различными профилями боковых поверхностей (а) и конического шипа (б)

В основу исследования заложена методика анализа одномерного теплового потока в предположении постоянства коэффициента теплопроводности и переменного коэффициента теплоотдачи с дальнейшим определением коэффициента теплопередачи. Изменение профиля боковых поверхностей сплошного шипа в наиболее общем виде можно представить зависимостью [12]:

$$d = d_1 \left(\frac{x}{h} \right)^n, \quad (3)$$

где d , d_1 – полуширина сплошного цилиндрического шипа на расстоянии x от начала координат и у его основания; h – расстояние от основания сплошного цилиндрического шипа до начала координат; n – показатель, характеризующий профиль шипа.

Начало координат совместим с вершиной треугольника (отвечает коническому шипу) при $n=1$ (см. рис. 5 а). Если $n = 0$, то продольное сечение сплошного цилиндрического шипа имеет вид прямоугольника, а при $n=1$ – трапеции. В случае $n > 1$ образующие боковых поверхностей принимают вид вогнутых линий (см. рис. 5 а), а при $n < 1$ – выпуклых (рис. 5 а).

Тепловую эффективность шипов различного профиля оцениваем коэффициентом качества, равным:

$$\eta = \frac{Q_0}{Q}, \quad (4)$$

где Q_0 – количество теплоты при условии, что поверхностная температура шипа в данный момент времени изменяется и равна Q_1 ; Q – суммарный расход теплоты через охлаждаемые поверхности шипа.

Величина Q_0 определяется из выражения:

$$Q_0 = \int_{A_1}^{A_2} \alpha \theta_1 dS + 2l_1 d_2 \alpha_1 \theta_1.$$

Интеграл, входящий в это уравнение, равен:

$$I = \frac{2\alpha l_1 \theta h}{n d_1^n \cos \gamma} \int_1^{d_1} d^{\frac{1-n}{n}} db,$$

или

$$I = 2\alpha l_1 \theta_1 \frac{h_1}{\cos \gamma}.$$

Таким образом,

$$Q_0 = 2\alpha_1 \theta_1 \left[\frac{h_1}{\cos \gamma} + d_1 \frac{\alpha_1}{\alpha} \left(\frac{x_1}{h} \right)^n \right]. \quad (5)$$

где dS – элементарная боковая поверхность шипа; F – площадь сечения шипа плоскостью, перпендикулярной оси x на расстоянии x от начала координат; $\theta_1 = t - t_0$; t , t_0 – температуры: шипа в сечении F и окружающей среды; α_1 , α – коэффициент теплоотдачи боковой и торцевой поверхности шипа; A_2 , A_1 – площади боковых и торцевых поверхностей шипа.

В качестве коэффициента, характеризующего весовой показатель шипа, служит отношение площади F_p поперечного сечения шипа к площади F_n прямоугольника, построенного на основании шипа при условии равенства их высот:

$$\eta_1 = \frac{F_p}{F_n}.$$

Значение F_p и F_n определяются из следующих соотношений:

$$F_n = 2d_1 h_1, \quad dF_p = \frac{2d}{\cos \gamma} dx.$$

После подстановки в последнее выражение значения d и интегрирования находим:

$$F_p = \frac{2d_1 h}{(n+1)\cos \gamma} \left[1 - \left(\frac{x_1}{h} \right)^{n+1} \right].$$

Таким образом,

$$\eta_1 = \frac{h}{(n+1)h_1 \cos \gamma} \left[1 - \left(\frac{x_1}{h} \right)^{n+1} \right]. \quad (6)$$

При определении конструктивных и весовых параметров пустотелого цилиндрического шипа необходимо учитывать его внутренний диаметр. Такой шип нужен для соединения камер полудисков при их принудительном жидкостном охлаждении.

Результаты исследований представлены применительно к сплошному цилиндрическому шипу, расположенному между полудискарами.

Воспользуемся полученными зависимостями и проанализируем изменение тепловой и весовой эффективности сплошных цилиндрических шипов, изготовленных из различных металлов. Примем для расчетов $\alpha = \alpha_1 = 100$ Дж/(с·м²·°С) $t_0 = 20$ °С; температура у основания шипа $t_1 = 240$ °С; $l = 0,04$ м; $d_1 = 0,003$ м; $\lambda = 202$ Дж/(с·м·°С) (алюминиевый сплав); $\lambda = 52$ Дж/(с·м·°С); (чугун); $\lambda = 59$ Дж/(с·м·°С) (сталь).

На рис. 6 построены зависимости

$$\eta_1 = f\left(\frac{h_1}{2d_1}\right) \text{ для шипов, выполненных из}$$

алюминиевого сплава (кривые I), чугуна (кривые II) и стали (кривые III)

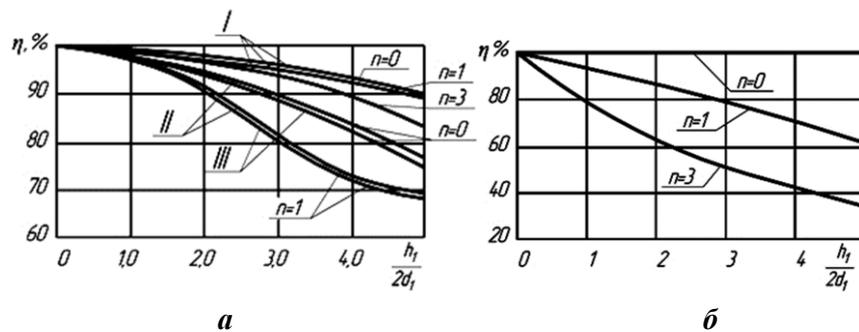


Рис. 6 а, б - Изменение тепловой (а) и весовой (б) эффективности цилиндрических шипов в зависимости от: относительной высоты и формы боковой поверхности, изготовленных из различных металлов: I, II, III – алюминиевого сплава, чугуна и стали: формы боковой поверхности

(кривые III) при различных значениях показателя n .

Графические закономерности количественно подтверждают известное положение о том, что тепловая эффективность шипов из алюминиевого сплава намного выше эффективности шипов из чугуна и стали. Тепловая эффективность шипов уменьшается по мере увеличения показателя n . Весовые показатели, наоборот, улучшаются по мере увеличения n . Нужно иметь в виду, что при увеличении n растет площадь зазора между шипами, поэтому уменьшается аэродинамическое сопротивление потоку омывающего воздуха. Если учесть, что интенсивность падения тепловой эффективности по мере увеличения показателя n намного меньше интенсивности улучшения весовой эффективности, то следует отдать предпочтение шипам с $n > 0$. Шипы с $n < 0$ имеют усложненную конфигурацию боковой поверхности, выполнение которой связано с определенными трудностями. Из рис. 5 видно, что слишком высокие шипы приводят к ухудшению весовых показателей, к уменьшению прочности и увеличению аэродинамического сопротивления образованных из них каналов как внутри тормозного диска, так и между его полудисками.

Обсуждение результатов исследования энергонагруженности пар трения самовентилируемого дисково-колодочного тормоза с цилиндрическими шипами. Результаты проведенных исследований теплового баланса самовентилируемых дисков с цилиндрическими шипами тормозов грузовой категории транспортных средств позволяет констатировать следующее:

- температурный метод оценки теплового баланса дисков позволил определить эффективность вынужденного охлаждения матовых и полированных поверхностей левого полудиска, соединенного с помощью сплошных цилиндрических шипов с правым полудиском с фланцем при отсутствии теплоизоляции. Тепловой поток направлен слева направо, поскольку правый полудиск с фланцем в 1,3-1,4 раза тяжелее левого полудиска. Эффективность вынужденного воздушного охлаждения при движении грузового транспортного средства модели MAN марки TGA 26.420 со скоростью 40 и 80 км/ч составила 8-12%;

- при исследовании интенсивности поперечного омывания воздушными потоками поверхностей сплошных цилиндрических шипов при числах Рейнольдса $Re \leq 2 \cdot 10^5$ определены количественные соотношения средних коэффициентов теплоотдачи между рядами шипов. Установлено, что количество цилиндрических шипов, устанавливаемых на внутреннюю поверхность полудисков, необходимо увеличивать до тех пор, пока не будет достигнуто равенство $A_1/A_2 = a_2/a_1$. Дальнейшее увеличение площади A_2 поверхностей шипов малоэффективно, кроме того возрастает масса диска в целом;

- при оценке тепловой и весовой эффективности различного типа шипов самовентилируемых тормозных дисков и установлены закономерности изменения эффективности цилиндрического шипа в зависимости от относительной высоты и формы боковой поверхности. Установлено, что высокие шипы приводят к ухудшению весовых показателей, к уменьшению прочности, но в то же время интенсифицируют теплообмен при увеличенном аэродинамическом сопротивлении каналов, образованных из них между полудисками тормоза.

Заключение.

Увеличение интенсивности тепловых потоков между полудисками с цилиндрическими шипами и полудиском с фланцем из-за их разного веса при электротермомеханическом взаимодействии пар трения дисково-колодочного тормоза при его неизменной конструкции

способствует росту поверхностной и объемной температуры и их градиентов в полудисках, а следовательно, температурных напряжений.

Определен тепловой баланс самовентилируемого, с шипами дисково-колодочного тормоза транспортного средства, а также указаны пути интенсификации теплообмена в зазоре между его полудисками.

При анализе полученных значений коэффициентов теплоотдачи доказано, что увеличение площади внутренних поверхностей теплообмена за счет применения цилиндрических шипов позволяет интенсифицировать теплоотдачу на 10-15%. Выравнивания интенсивности теплоотдачи в зазоре между полудисками тормоза достигают за счет изменения количества цилиндрических шипов по окружным рядам.

4. Оценена тепловая и весовая эффективность различного типа самовентилированных тормозных дисков путем уменьшения их термического сопротивления теплопроводности, т.е. увеличением коэффициента теплопроводности материала, а также путем увеличения площади боковой поверхности шипа. Такие конструктивные решения позволили повысить эффективность вынужденного воздушного охлаждения в среднем на 10%.

REFERENCES

1. GOST R41.13-2007 (Pravila №13 EJeK OON). Edinoobraznye predpisanija, kasajushhiesya transportnyh sredstv kategorij M, N i O v otnoshenii tormozhenija. M. 2009. 170 s.
ГОСТ Р41.13-2007 (Правила №13 ЕЭК ООН). Единообразные предписания, касающиеся транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения. М. 2009. 170 с.
2. Proektnyj i proverochnyj raschet frikcionnyh uzlov barabanno- i diskovo-kolodochnyh tormozov transportnyh sredstv: standart / Janahmadov A.Kh. i dr. Baku. 2016. 272 s.
Проектный и проверочный расчет фрикционных узлов барабанно- и дисково-колодочных тормозов транспортных средств: стандарт / Джанахмедов А.Х. и др. Баку. 2016. 272 с.
3. **Gudz G.S., Globchak M.V., Klipko O.R.** Kompleksnaja ocenka teplonagruzhennosti diskovyh tormozov avtobusov na dlitelnyh rezhimah raboty: monografija / pod obshh. red. G. S. Gudza. Lvov: Galickij Izdatelskij Sojuz. 2017. 123 s. – na ukr. jaz.
Гудз Г.С., Глобчак М.В., Клипко О.Р. Комплексная оценка теплонагруженности дисковых тормозов автобусов на длительных режимах работы: монография / под общ. ред. Г. С. Гудза. Львов: Галицкий Издательский Союз. 2017. 123 с. – на укр. яз.
4. **Krauser R.** Temperaturberechnung in Scheibenbremsen. – Automobile Industrie, / Krauser R., Kohlgruber K. 4/2016. S. 37-48.
5. **Kirilin V. A.** Osnovy eksperimentalnoj termodinamiki. / V.A. Kirilin, A.B. Shejdlin. – М.–Л: Gosudarstvennoe jenergeticheskoe izdatelstvo, 1950. – 310 s.
Кирилин В. А. Основы экспериментальной термодинамики. / В. А. Кирилин, А. Б. Шейдлин. – М.–Л: Государственное энергетическое издательство, 1950. – 310 с.
6. Sposob nagrevanija i ohlazhdenija tormoznyh barabanov barabanno-kolodochnogo tormoza transportnogo sredstva dlya ocenki ih teplovogo balansa: pat. 2525347 S2 Rossija, №2012110869/11; zajavl. 21.03.2012; opubl. 27.09.2013, Bol. №27. – 11 s.
Способ нагревания и охлаждения тормозных барабанов барабанно-колодочного тормоза транспортного средства для оценки их теплового баланса: пат. 2525347 С2 Россия, №2012110869/11; заявл. 21.03.2012; опубл. 27.09.2013, Бол. №27. – 11 с.
7. **Kindrachuk M. V.** Influence of hydrogen on the wear resistance of materials in the friction couples of braking units / M. V. Kindrachuk, D. A. Volchenko, N. A. Volchenko, N. M. Stebeletskaya A. V. Voznyi // Materials Science. – 2017. - №2(53). - pp. 135-141.
8. **Kindrachuk M. V.** Electrodynamics of the Thermal Contact Friction Interaction in Metal-Polymer Friction Couples / M.V. Kindrachuk, A. I. Volchenko, D. A. Volchenko, D.Y. Zhuravlev, V.M. Chufus //Material Science, Vol. 54, № 1, 2018. – Pp. 71 – 78.
9. K voprosu ocenki teplovogo balansa sploshnyh diskov tormozov pod-kategorij transportnyh sredstv / N.A. Volchenko, D.A. Volchenko, V.S. Skripnik [i dr.] Problemy treniya i iznosa: nauchn.-tehn. sb. K.: NAU, 2018. Vyp. 3 (80). – S. 16-23.
К вопросу оценки теплового баланса сплошных дисков тормозов подкатегорий транспортных средств / Н.А. Вольченко, Д.А. Вольченко, В.С. Скрипник [и др.] Проблемы трения и износа: научн.-техн. сб. К.: НАУ, 2018. Вып. 3 (80). – С. 16-23.

10. **Volchenko N.** Features of the estimation of the intensity of heat exchange in selfventilated disk-shoe brakes of vehicles / N. Volchenko, A. Volchenko, D. Volchenko, P. Poliakov, V. Malyk, D. Juravlov, V. Vitvitskiy, P. Krasin: East-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774. 1 / 5 (97) 2019. P. 47-53.
 11. **Vitvickij V.S.** Povyshenie effektivnosti samoventiliruemyh diskovo-kolodochnyh tormozov avtomobilej s uchetom energonagruzhennosti ih diskov: diss. ... kand. tehn. nauk: 05.22.02 / Vitvickij Vasilij Stepanovich. – Lvov, 2019. – 166 s. – На укр. яз.
Витвицкий В. С. Повышение эффективности самовентилируемых дисково-колодочных тормозов автомобилей с учетом энергонагруженности их дисков: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.02 / Витвицкий Василий Степанович. – Львов, 2019. – 166 с. – На укр. яз.
 12. **Gudz G.S.** Vlijanie tipa ispytaniy na temperaturnyj rezhim neventiliruemyh i ventiliruemyh diskovyh tormozov avtobusov G.S. Gudz, I.J. Zahara, O.R. Klypko // Vestnik MADI, vyp. 1 (32), 2013. – S. 3-7.
Гудз Г.С. Влияние типа испытаний на температурный режим неventилируемых и ventилируемых дисковых тормозов автобусов Г.С. Гудз, И.Я. Захара, О.Р. Клыпко // Вестник МАДИ, вып. 1 (32), 2013. – С. 3-7.
 13. **Kern D.** Razvitye poverhnosti teploobmena. Per s ang. / D. Kern, A. Kern / M: Energiya, 1977. – 464 s.
Керн Д. Развитые поверхности теплообмена. Пер с англ. / Д. Керн, А. Керн / М: Энергия, 1977. – 464 с.
-

ÖZÜ VENTİLYASIYA OLUNAN DİSK-KÜNDƏLİ TİKANLI ƏYLƏCLƏRİN İSTİLİK BALANSI

M.Y. CAVADOV, D.Y. JURAVLYOV, M.M. NƏSİROVA, V.Y. POPOVIÇ, İ.O. BEKİŞ, A.N. VUDVUD

Nəqliyyat vasitələrinin özüventilyasiya olunan disk-kündəli əyləclərinin istilik balansı təhlil edilib və onun sürütmə cütlərinin istismar parametrlərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsiri göstərilib. Əyləclərin sürütmə cütlərinin enerji yüklənmə səviyyəsi müxtəlif temperaturalarda tədqiq edilmişdir.

Tədqiqatların əsasına, öz aralarında sol diski flansı olan sağ yarımdisk ilə birləşdirən özüventilyasiya olunan silindrik tikanlı diskin konstruksiyası qoyulub. İstismar şəraitində özüventilyasiya olunan tikanlı əyləclə diskin istilik balansının qiymətləndirilməsinin temperatur metodu təklif olunub.

Müxtəlif en kəsikli tikanlara baxılıb və müxtəlif sürətlərlə nəqliyyat vasitəsinin hərəkəti zamanı havanın əhatə edən qarşılıqlı axınlarıyla hərərət mübadilə proseslərində onların rolu təhlil edilib.

Açar sözlər: disk-kündəli əyləc, özüventilyasiya olunan əyləc diski, silindrik tikan, sürütmə qayışı, istilik balansı.

THERMAL BALANCE OF SELF-ACTIVATED DISC-SHOE BRAKES WITH SPIKES

M.J. JAVADOV, D.YU. ZHURAVLEV, M.M. NASIROVA, V.Y. POPOVICH, I.O. BEKISH, A.N. WU-DVUD

The thermal balance of self-activated disc-shoe brakes of vehicles, which significantly affects the operational parameters of their friction pairs, has been analyzed. The level of power loading of friction pairs of brakes is investigated at different temperatures.

The studies are based on the design of a self-motivated disc with cylindrical spikes, which connect the left half-disc to the right half-disc, having a flange. Proposed is a temperature method for estimating thermal balance of a self-motivated brake disc with spikes under operational conditions.

Spikes of different cross-section are considered and their role in heat exchange processes with washing opposite air flows during vehicle movement at different speeds is analyzed.

Keywords: disc-shoe brake, self-activated brake disk, cylindrical stud, friction belt, heat balance.

Поступило в редакцию: 18.05.2019
После доработки: 07.03.2020
Принято к публикации: 14.03.2020

UOT.621.539.05

LAZER QURĞUSUNDA SIYIRTMƏ SİPƏRİNİN SƏTHİNƏ METAL OVUNTU ÖRTÜYÜNÜN ÇƏKİLMƏ TEXNOLOGİYASI

N.Y. İBRAHİMOV¹, R.M. MƏMMƏDƏLİYEV¹, X.B. BAYRAMOV¹

Siyirtmə sipərinin səthinə metal ovuntu ilə təbəqə çəkilməsinin texnoloji rejimi işlənib hazırlanmışdır. Texnoloji rejimin hesablanması üçün metal ovuntunun tərkibi və fiziki-kimyəvi xassələri təqdim olunmuşdur. Metal ovuntunun kimyəvi tərkibinə görə ovuntunun temperatura keçirmə əmsalı hesablanmışdır.

Temperatura keçirmə əmsalından və örtüyün qalınlığından asılı olaraq lazer şüasının gücü və impuls müddəti təyin edilmişdir.

Texnoloji rejimin bu ardıcılığının əsasında polad şiberin səthinə istənilən ovuntunu çəkmək olar. Bu texnoloji rejimin tətbiqi ilə siyirtmə şiberinin örtüklərinin möhkəmliyini, korroziyaya və yeyilməyə davamlığını artırmağa imkan verir.

Açar sözlər: Siyirtmə, sipər, ərinti örtüyü, ovuntular, korroziyaya və yeyilməyə davamlılıq, texnoloji rejim, lazer qurğusu.

Giriş. Sipərli siyirtmələr maye axınının tam açılmasını və bağlanmasını tənzimləmək üçün istifadə edilir. Əsasən bu siyirtmələr neft-qaz fontan armaturlarında tətbiq edilir ki, sipərlər intensiv korroziyaya məruz qalırlar [1].

Çox hallarda müstəvi sipərlər yüksək abraziv və korroziyalı yeyilmə nəticəsində sıradan çıxırlar. Bunların qarşısını almaq üçün korroziyaya davamlı ərintilərlə qazometrik püskürmə və plazma üstərtməsi ilə metal örtüklər çəkirlər [1, 2].

ГОСТ-24856-2014 əsaslanaraq geniş diapazonda diametrləri ϕ 50-dən ϕ 600 mm qədər siyirtmələrin sipərlərini korroziyaya və yeyilməyə davamlılığını təmin etmək tələb olunur.

Bu sipərlər işçi temperaturu 80°C-dən 120°C civarında dəyişməsinə nəzərə alaraq, sipərin səthlərinə epoksid örtüklər çəkib istifadə edirlər. Bu örtükdə cızılmalar, sıyrılmalar olmaqla, eroziya yeyilməsinə məruz qalırlar. Eyni zamanda axır vaxtlar Plakart W_/Co/ Cr əsaslı örtükləri aktiv maye mühitinə davamlığı təmin etsə də, yenə də sıradan çıxma halları baş verir [2, 3].

Bunları nəzərə alaraq, plakart karbid, volfram və karbid xrom əsaslı tərkibdə yeyilməyə davamlılıq təmin edilsə də, korroziya prosesi baş verərək sipərlər sıradan çıxırlar.

¹ ADNSU

E-mail: nazim.ibragimov.2015@mail.ru

Hazırda sipərlərin səthinə keramikalı örtüyün çəkilməsi korroziyaya və yeyilməyə davamlılığı bir qədər azalmasına səbəb olmuşdur.

İşin məqsədi. Lazer qurğusunda siyirtmə sipərinin səthlərinə müxtəlif tərkibli əlvan metal ovuntularının çəkilməsi ilə möhkəmliyə, korroziyaya və yeyilməyə davamlılığını artırılmasıdır.

Məsələnin qoyuluşu. Məsələnin qoyuluşunun əsası üçün müxtəlif aktiv maye axınında işləyən sipərlərin korroziyaya və yeyilməyə davamlılığına təsir edilən amillər təhlil edilmişdir. Bu zaman mövcud olan metal və qeyri-metal örtüklərin çəkilməsi qismən korroziyaya və yeyilməyə davamlılığın qarşısını almışdır. Hətta adgeziya möhkəmliyi 70 MPa və bərkliyi 68-72 HRC olsa da, sıradan çıxma halları müşahidə edilmişdir. Bunları nəzərə alaraq daha məqsədə uyğun lazer qurğusunda (bərk aktiv maddəli) tərkibləri korroziyaya və yeyilməyə davamlı xassələrə malik olan örtüklər çəkilməsi əsas məqsəd hesab edilərək işin aktuallığını özündə əks etdirir. Bu tədqiqatın nəticəsi ilə geniş miqyasda nəzəri və praktiki [3, 4] tədqiqatların aparılması qarşıya qoyulmuşdur.

Nəzəri tədqiqat. Bərk maddəli lazerin impulsu kiçik milli saniyələrlə davam etdiyindən, kiçik çıxış gücündə impulsun qısa davam etmə müddəti ilə əlaqədar olaraq, yüksək gücə malik işıq almaq mümkündür. Hal-hazırda çalışırlar ki, bərk lazerlərin gücünü daha da artıraraq, detalların səthinə müxtəlif örtüklərin çəkilməsi üçün texnoloji rejimin işlənilməsi hazırlanması tələb olunur. Bu texnoloji rejimin ardıcılığı aşağıdakı kimi yerinə yetirilməlidir [3, 5].

1. Bərk maddəli impuls lazeri üçün onun enerjisini təyin edirlər

$$E_L = P_L \cdot t_L \quad (1)$$

Burada: E_L – lazerin enerjisi, VattSan (Ws); P_L – lazerin gücü, Vatt; t_L – lazer impulsunun davam etmə müddəti, san.

2. Fokus nöqtəsi minimal linzanın həndəsi ölçüləri ilə yanaşı, həmçinin şüanın diametrindən və ona uyğun işığın dalğa uzunluğundan asılıdır. Minimal fokuslama məsafəsi, əsasən diametrdən yəni, diametri nə qədər kiçik olarsa, lazerin gücünü (güc sıxlığını) bir o qədər artırmaq olar.

Lazerin güc sıxlığı təyin edilir.

$$J = \frac{P_L}{F} \text{ və ya } J = \frac{E_L}{t_L \cdot F} \quad (2)$$

J – güc sıxlığı və ya intensivlik, Vatt/sm²; F – şüanın sahəsini, kiçik diametrlı dairənin sahəsi kimi təyin etmək olar.

$$F = \frac{\pi d_{\min}^2}{4}$$

Burada: d_{\min} – konsentrasiya işıq nöqtəsinin diametridir.

Qeyd etmək olar ki, lazer impulsunun gücü toplayıcı linzalar vasitəsi ilə fokuslanaraq, kiçik sahəyə konsentrasiya olunur. Konsentrasiya olunmuş nöqtənin minimal diametri təyin edilir. [6]

$$d_{\min} = 2,44 \cdot \lambda \cdot \frac{f}{d_s} \quad (3)$$

Burada: λ – işığın dalğa uzunluğu; f – linzanın fokus məsafəsi (yandırma məsafəsi); d_s – işıq şüasının diametridir.

3. Texnoloji prosesdə lazerin impulsunun davam etmə müddəti aşağıdakı ifadə ilə hesablanır.

$$t_L = \frac{S^2}{4a} \quad (4)$$

Burada: S – lazer şüası ilə sipərin səthində təbəqənin alınması və səthin ərimə qalınlığıdır.

$$S = h_0 + S_0 \quad (5)$$

h_0 – sipərin səthinin ərimə dərinliyidir, sm; S_0 – alınan üstəritmə qatının qalınlığıdır (hündürlük), sm; a – təbəqənin ovuntularındakı kimyəvi elementlərin temperatura keçirmə əmsəlidir.

$$a = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{c_i \rho_i} = \frac{\lambda_1}{c_1 \rho_1} + \frac{\lambda_2}{c_2 \rho_2} + \dots + \frac{\lambda_i}{c_i \rho_i} \quad (6)$$

Burada: λ_i – elementlərin xüsusi istilik keçirmə əmsallarıdır; c_i – elementlərin istilik tutumlarıdır; ρ_i – hər bir elementin sıxlığıdır.

Bu kəmiyyətlər aşağıdakı ifadələrlə hesablanılır.

$$\begin{aligned}\lambda_i &= \sum \lambda_i \rho_i = \lambda_1 P_1 + \lambda_2 P_2 + \lambda_3 P_3 + \dots + \lambda_i P_i \\ C_i &= \sum c_i P_i = c_1 P_1 + c_2 P_2 + c_3 P_3 + \dots + c_i P_i \\ \rho_i &= \sum \rho_i P_i = \rho_1 P_1 + \rho_2 P_2 + \rho_3 P_3 + \dots + \rho_i P_i\end{aligned}\quad (7)$$

P_1, P_2, P_3, \dots – ovuntunun tərkibindəki elementlərin miqdarıdır.

Bu düsturlardan ardıcılıqla istifadə edərək, lazer qurğusunda istənilən ovuntu ilə texnoloji rejimi yerinə yetirməklə keyfiyyətli örtük təbəqəsi almaq mümkündür.

Tədqiqatın texnoloji rejiminin hesabı. Texnoloji rejimin nəzəri tədqiqatı ilə ovuntuların tərkibini və fiziki-kimyəvi xarakteristikasını bilərək dəqiq hesabat aparmaq olar.

Aşağıdakı cədvəl 1-də ovuntunun tərkibi və onların xarakteristikası verilmişdir.

Cədvəl 1

Ovuntunun tərkibinin istilik xassələri

Elementlər Parametrləri	Ni	Cr	Fe	Si	W	Mo	Co	V
Sıxlıq ρ q/sm ³	8907	7190	7500	5170	19250	10220	8900	5960
İstilik tutumu (C) kkal/m·K	143,6	116	640,57	1450	134,4	244	415	24,95
İstilikkeçirmə əmsalı (λ) Vt/m·K	90,4	93,7	92	150	162,8	135	69	30,7
Elementlərin miqdarı, tərkibi (P)	63	15	7	0,08	3,0	17	2,5	0,3

Cədvəl 1-də təqdim olunan elementlərin ovuntularının göstərilən miqdarı ilə aşağıdakı hesabat aparılmışdır.

$$\begin{aligned}\lambda &= \sum_{i=1}^8 \lambda_i P_i = \lambda_1 P_1 + \lambda_2 P_2 + \lambda_3 P_3 + \dots + \lambda_i P_i = \\ &5,695+1,405+644+12+488,4+2995+172,5+9,21= 11421,1\end{aligned}$$

$$C = \sum_{i=1}^8 c_i P_i = 9046+10,869+4,483+217500+21880+ 329,40+ 28635+765,9=326118,9$$

$$\rho = \sum_{i=1}^8 \rho_i P_i = 561141+107850+52500+ 413,6+57750+ 173740+22250+1780= 977432,6.$$

Bu ifadələri aşağıdakı düsturda yerinə yazaraq ovuntunun temperatura keçirmə əmsalı təyin edilir.

$$a = \frac{\lambda}{c\rho} = 3,5829 \text{ mm}^2/\text{san}.\quad (8)$$

Bu ovuntuların tərkibinə görə yarımkeçiricili bərk aktiv maddəli lazer qurğusunda siyirtmənin sipərinin səthinə müxtəlif qalınlıqda örtüklərin alınması aşağıdakı parametrlər əsasında, yəni lazer qurğusunun pasport göstəricilərinə görə yerinə yetirmək olar.

$E = 1000Vt$ – gücü; $d = 3,0$ mm - işıq selinin diametri $f=200$ mm – lazerin fokus məsafəsi; $\lambda = 900-1050$ – işıq dalğasının uzunluğu

Bu parametrlər lazer qurğusunun xarakteristikasına əsaslanaraq, aşağıdakı cədvəl 2-də texnoloji parametrləri müxtəlif polad materialları üçün tərtib edib, (1-8) düsturlarının hesablanması təqdim olunmuşdur.

Cədvəl 2.

Polad materialların səthində ovuntu təbəqələrinin texnoloji rejimləri

Material	S ₀ , mm qalınlıq	h ₀ , mm dərnlilik	S- ümumi qalınlıq, mm	t, san zaman	J, enerji sıxlığı
Polad 45	0,200	0,100	0,300	6,32	100,25
Polad 40X	0,400	0,150	0,550	2,21	331,42
Polad 38XM	0,600	0,200	0,800	4,31	142,32
Polad 20 X	0,800	0,300	1,100	8,86	81,49

Lazer qurğusunun qısa xarakteristikası. Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetində lazer mərkəzi fəaliyyət göstərir. Bu lazer qurğusunda lazer başlıqları ilə neft-qaz mədən avadanlıqların sıradan çıxan detallarının bərpa texnologiyasını və möhkəmliyə davamlığını artırmaq mümkündür.

Lazer işıq gücləndiricisi olub, alınan lazer şüasının yenidən geri aktiv mühitə yönəltməklə, işıq ossilatoru (generatoru) alınır. Burada rezonator yüksək əksətdirmə qabiliyyətinə malik müstəvi güzgülərlə bircə qazboşalma borusudur. Güzgülər bir-birlərinə qarşı bir ox üzərində dəqiq paralel yerləşdirilir. Rezenatorun güzgülər arasında əks olunan dayanmış dalğa fasiləsiz əks olunaraq özü-özünü gücləndirir. Hər iki güzgüdən biri nisbətən şəffafdır. Lazerin aktiv elementinin ölçülərinin artırılması ilə onun gücünü yüksəltmək olur [5, 6].

Tətbiq sahəsi. Yarımkəçirici lazer qurğusunda detalların bərpa texnologiyası və möhkəmliyə davamlığın artırılması yüksək səviyyədə yerinə yetirilir. Sənayenin bütün sahələrində, o cümlədən neft-qaz mədən avadanlıqlarının, aqrar sahənin, yüngül və məişət texnologiyası sənayesinin, daha çox aktiv kimyəvi mühit olan neft-kimya sənayesində tətbiqi məqsədə uyğun hesab edilə bilər [7]. Bu qurğuda detalların bərpası, üstəritmə təbəqəsinin və termiki emalla bərkliyin, möhkəmliyin artırılması ilə etibarlılığı, uzunömürlüyü bir neçə dəfə artırılması mümkündür. İstismar şəraitindən asılı olaraq detalların bərpa texnologiyası və möhkəmliyə davamlığının artırılması ilə texnoloji prosesləri müasir tələblərə uyğun olaraq yerinə yetirə yetirmək mümkündür [7,8].

Nəticə. Siyirtmənin sipərinin korroziyaya və yeyilməyə davamlığını artırılmasının mövcud üsulları təhlil edilərək, müasir lazer qurğusunda ovuntulu örtüklərlə təbəqənin alınması üçün texnoloji rejim işlənmişdir. Bu rejimlə istənilən detalların səthlərinə ovuntulu örtük çəkilərək möhkəmliyə, korroziyaya və yeyilməyə davamlığı dəfələrlə artırmaq mümkündür.

REFERENCES

1. **Buhalenko E.I.** Neftepromyslovoe oborudovanie. – M.: Nedra, 1990. - 558s.
Бухаленко Е.И. Нефтепромысловое оборудование. – М.: Недра, 1990. - 558с.
2. **Sadıxov Ə.N, Məmmədov N.P.** Lazerlə emal texnologiyası. AZTU. Bakı: Elm, 2012. – 225 s.
3. **Arhipov V.E., Birger E.M.** Primenenie lazernoj tehnologii pri remonte oborudovanija. 1990. – 63 s.
Архипов В.Е., Биргер Е.М. Применение лазерной технологии при ремонте оборудования. 1990. – 63 с.
4. **Gajiev A.M.** Izuchenie ostatocnyh makronaprjazhenij na poverhnosti sloev pri lazernom oblucenii// Tehnologija metallov. №2. M., 2000, s. 15-16.
Гаджиев А.М. Изучение остаточных макронапряжений на поверхности слоев при лазерном облучении// Технология металлов. №2. М., 2000, с. 15-16.

5. **Golovko L.F.** Formirovanie iznosostojkix materialov v uslovijah lazernoj ustanovki // Svarochnoe proizvodstvo. – Kiev, 2001, №7, с 20-24.
Головко Л.Ф. Формирование износостойких материалов в условиях лазерной установки // Сварочное производство. – Киев, 2001, №7, с 20-24.
 6. **Gajiev A.M.** Parametry teplovyh processov pri lazernoj naplavke // Tehnologicheskie sistemy. Kiev, 2001, №7, с 24-29.
Гаджиев А.М. Параметры тепловых процессов при лазерной наплавке // Технологические системы. Киев, 2001, №7, с 24-29.
 7. **Gafarov A.M., Sulejmanov P.G. i dr.** Metody opredelenija iznosostojkix materialov poverhnostej vysokotochnyh detalej // Vestnik Azerbajdzhanskoj inzhenernoj akademii, 2018. T.10, №1, s.28-35.
Гафаров А.М., Сулейманов П.Г. и др. Методы определения износостойких материалов поверхностей высокоточных деталей // Вестник Азербайджанской инженерной академии, 2018. Т.10, №1, с.28-35.
 8. **Ibrahimov N.J.** Dişli çapxların dişlərinin səthində abraziv yeyilmə prosesinin tədqiqi // Azərbaycan Mühəndislik akademiyasının xəbərləri. 2018, Cild 10, №1, s.37-41.
-

ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ПОРОШКОВОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА НА ПОВЕРХНОСТЬ ШИБЕРА ЗАДВИЖКИ ПРИ ПОМОЩИ ЛАЗЕРНОЙ УСТАНОВКИ

Н.И. ИБРАГИМОВ, Р.М. МАМЕДАЛИЕВ, Х.Б. БАЙРАМОВ

Разработан технологический режим нанесения металлического порошка на поверхность шибера задвижки. Для расчета технологического режима представлен состав и физико-химические свойства металлического порошка. По составу химического элемента порошка рассчитан коэффициент температуропроводности металлического порошка.

В зависимости от коэффициента температуропроводности и толщины покрытия определены время лазерного импульса и мощность лазерного луча.

На основании последовательности этого технологического режима в зависимости от толщины металлического покрытия можно нанести любой порошок на поверхность стального шибера. Последовательность технологического режима нанесения порошка на поверхность шибера дает возможность повышения коррозионной прочности и износостойкости металлического покрытия шибера задвижки.

Ключевые слова: лазерная установка, технологический режим, порошковые материалы, шибер, задвижки, физико-химические характеристики, основные параметры лазерной установки.

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF THE LASER COATING OF GATE VALVE WITH THE METALIC POWDER

N.I. IBRAGIMOV, R.M. MAMEDALIEV, Kh.B. BAYRAMOV

The technological mode of applying metal powder to the gate valve surface has been developed. To calculate the technological regime, the composition and physicochemical properties of the metal powder are presented. According to the composition of the chemical element of the powder, the thermal diffusivity of the metal powder is calculated.

Depending on the coefficient of thermal diffusivity and coating thickness, the laser pulse time and the laser beam power are determined.

Based on the sequence of this technological regime, depending on the thickness of the metal coating, any powder can be applied to the surface of the steel gate. The sequence of the technological regime of applying the powder to the gate surface makes it possible to increase the corrosion strength and wear resistance of the gate valve metal coating.

Keywords: laser installation, technological parameters, powder materials, gate, gate valves, physico-chemical characteristics, the main parameters of the laser installation.

<i>Redaksiyaya daxil olub:</i>	28.06.2019
<i>Tamamlama işlərindən sonra:</i>	12.03.2020
<i>Nəşrə qəbul edilib:</i>	15.03.2020

УДК 622.276.43

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЗАСТОЙНЫХ И СЛАБОДРЕНИРУЕМЫХ ЗОН НЕФТЯНОЙ ЗАЛЕЖИ И ВОВЛЕЧЕНИЕ ИХ В АКТИВНУЮ РАЗРАБОТКУ

А.Х. ШАХВЕРДИЕВ^{1,2}, А.В. ДЕНИСОВ²

В статье рассматривается альтернативная концепция нестационарного заводнения нефтяной залежи. Особую актуальность приобретает задача определения местоположения застойных и слабодренируемых зон нефтяной залежи, для которых предлагается использовать новый информативный показатель – коэффициент нормированного удельного отбора, а также карты равных уровней нормированного удельного отбора. Для вовлечения этих участков в активную разработку предлагается использовать принцип Парето, который позволяет разделить весь фонд добывающих скважин на четыре группы для назначения адресной программы геолого-технических мероприятий по каждой из них.

Ключевые слова: застойные и слабодренируемые зоны, заводнение нефтяной залежи, коэффициент нормированного удельного отбора нефти, воды, жидкости; распределение Парето, дискриминантный критерий.

Введение. Основная задача системного анализа состояния и прогноза показателей разработки нефтяных месторождений состоит в трансформации фактической информации в определённые синтезированные знания, представляющие собой некие унифицированные и универсальные высокоинформативные управляющие параметры и критерии [1-12].

Таковыми особенностями обладают предложенные ранее автором в предыдущих номерах этого журнала:

- дискриминантные критерии по нефти и воде, рассчитанные на основе динамической модели роста, разработанной на основе теории катастроф [1];
- показатели взаимодействия добывающих и нагнетательных скважин, установленные по статистическим ранговым корреляциям [2].

Цель работы. В данной работе представлено описание двух оставшихся критериев, составляющих альтернативную концепцию нестационарного заводнения нефтяной залежи:

- коэффициенты нормированного удельного отбора нефти, воды и жидкости с составленными на этой основе новыми картами равных уровней нормированных отборов, по которым устанавливается местоположение застойных и слабодренируемых зон нефтяной залежи;

¹ Институт системных исследований РАН

² ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ)
E-mail: ah_shah@mail.ru

- распределение скважин по вкладу в добычу нефти и разделение на технологические группы по принципу Парето, для последующего назначения геолого-технологических мероприятий в соответствии с потенциалом скважин в каждой группе.

Постановка задачи. В рамках новой альтернативной концепции нестационарного воздействия заводнением, особую актуальность приобретает задача определения местоположения застойных и слабодренируемых зон нефтяной залежи, а также вовлечение этих участков в активную разработку.

Под застойными и слабодренируемыми зонами понимаются участки залежи со значительными остаточными запасами нефти, характеризующиеся слабой фильтрацией пластового флюида. Их наличие – результат некачественного вытеснения и неполного охвата дренированием, в целом неэффективность системы ППД и других третичных методов повышения нефтеотдачи пластов в условиях сильной природной и техногенной неоднородности залежи с содержимыми флюидами.

Решение задачи. Для выбранного объекта разработки, используя фактические промышленные данные для каждой добывающей и нагнетательной скважины, определяется коэффициент нормированного удельного отбора нефти, воды и жидкости. Новая карта, построенная на более информативном показателе – коэффициенте нормированного удельного отбора, может стать дополнением к имеющейся традиционной промышленной информации, в том числе картам разработки и дает возможность точнее определять местоположения застойных и слабодренируемых зон нефтяной залежи.

Для более полного анализа охвата пласта фильтрацией вводится новый информативный показатель – коэффициент нормированного удельного отбора, который рассчитывается отдельно по нефти, воде и жидкости по формуле:

$$P_i = \frac{Q_i}{T_i V_i} \quad (1)$$

где Q_i – накопленный отбор нефти, воды и жидкости для добывающих скважин, объем закачиваемой воды для нагнетательных скважин; T_i – наработка, фактическое время эксплуатации скважин с начала разработки; V_i – эффективный нефтенасыщенный объем пласта (в дренируемой скважине при равномерности площадей можно использовать нефтенасыщенную мощность залежи); N – количество скважин рассматриваемого участка.

Текущие коэффициенты удельного отбора нормируются разделением на средний коэффициент P_m :

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^N P_i}{N} \quad (2)$$

$$P_{ui} = \frac{P_i}{P_m} \quad (3)$$

Полученная величина P_{ui} называется коэффициентом нормированного удельного отбора i -ой скважины. На выбранном участке нефтяной залежи строятся изолинии с коэффициентами нормированного удельного отбора нефти, воды и жидкости по каждой скважине (рис.1). Единицей идентифицируется среднее значение коэффициента. Области, где коэффициент нормированного удельного отбора больше единицы, имеют лучшую выработку продуктивных толщин или объемов по сравнению с зонами, в которых этот коэффициент меньше единицы. Карты равных уровней нормированного удельного отбора, построенные по расчетным данным, наглядно выявляют застойные и слабодренируемые зоны, содержа-

иной причине недостаточно дренируются существующим фондом скважин или же, наоборот, чрезмерно дренируются ими, то есть промытые области или области, где существует конкуренция между скважинами за одни и те же объемы флюидов.

Альтернативной концепцией нестационарного заводнения предусмотрена методика определения группы скважин, расположенных в застойных зонах, оценка их вклада в общую добычу, рекомендации по вовлечению их в более активный процесс разработки. Поскольку скважины, расположенные в застойных и слабодренируемых зонах формируют отдельную группу, то и геолого-технические мероприятия для них будут существенно отличаться от ГТМ для других групп скважин. Поэтому так важно распределить фонд скважин по группам их вклада в общую добычу нефти и воды с целью выбора для этих групп соответствующих технологий повышения нефтеотдачи пластов и интенсификации добычи нефти.

Распределение фонда скважин на группы по принципу Парето для активного вовлечения в разработку застойных и слабодренируемых зон нефтяной залежи.

В статистическом анализе совокупности или их выборки принято выражать в виде законов распределения. Многие статистические закономерности поведения больших систем имеют форму гиперболической кривой, называемой распределением Парето, согласно которому большая часть следствий (порядка 70-80%) вызывается меньшей частью причин (порядка 20-30%), и наоборот. Этот принцип проявляется и в процессе разработки нефтяных месторождений с большим фондом скважин. Использование принципа Парето позволяет осуществить мониторинг фонда эксплуатационных скважин разрабатываемого объекта и распределить скважины по характерным группам, которые отличаются по вкладу в общую добычу нефти. В дальнейшем внутри выделившихся групп возможен более детальный анализ перспективности назначения геолого-технического мероприятия, что значительно снижает объем детально анализируемой информации и уточняет принятые решения.

Распределение числа скважин по интервалам изменения дебитов, как правило, имеет асимметричный характер, так что большая часть добычи нефти определяется работой меньшей части фонда скважин, и наоборот.

То же явление наблюдается и для добычи попутной воды. Особенно явно проявляется асимметричность распределения фонда скважин для месторождений с сильно неоднородными коллекторами и вступившими в стадию интенсивного обводнения продукции.

Для оценки соответствия распределения принципу Парето используется ранговый подход, который описывается зависимостью вида:

$$Q_i = \frac{a}{R^{1-\alpha}},$$

где R - ранг соответствующего значения Q_i дебит нефти или воды, то есть его упорядоченной номер по мере убывания последовательности значений Q_i , a - константа, α - характеристический показатель, определяющий быстроту схождения распределения.

На рис. 2 и 3 отражено распределение ранжированных по мере убывания отборов добывающих скважин по нефти и воде соответственно по данным объекта разработки залежи N.

Принцип Парето позволяет разделить весь фонд добывающих скважин на четыре группы, включающие скважины:

1. высокодебитные по нефти и по воде;
2. высокодебитные по нефти и низкодебитные по воде;
3. высокодебитные по воде и низкодебитные по нефти;

4. низкодебитные как по нефти, так и по воде.

Для определения параметров Парето необходимо вычислить суммарный дебит нефти по всем скважинам и суммарные доли от общей суммы по i -ой скважине, а также доли I -ых скважин от общего количества скважин. Как только сумма (в процентах) этих долей достигнет 100%, то это число и станет показателем Парето, соответствующий этому целочисленному рангу, а дебит будет пороговым дебитом нефти. В данном случае для добывающих скважин залежи пороговый дебит нефти составил 343 т. Аналогичная процедура предусмотрена для данных по дебиту воды, и в этом случае пороговая величина дебита воды составила 814 т. С качественной точки зрения эти величины позволяют соотносить скважины в соответствующие 4 группы – высокодебитные и низкодебитные (по нефти и воде). Эти процедуры показаны графически на рис.4. и рис.5. по данным контрольного примера. Результаты группировки добывающих скважин представлены на рис. 6-8.

Предложенная методика является первой в серии диагностических экспресс-методов, использующих только фактические показатели работы действующих скважин, для того чтобы анализировать и совершенствовать режим их работы с целью увеличения нефтеотдачи методами гидродинамического воздействия на залежь.

Скважины, входящие в первую, вторую и третью группы, наиболее перспективны для проведения на них мероприятий по гидродинамическому воздействию на залежь вплоть до остановки скважин с целью повыше-

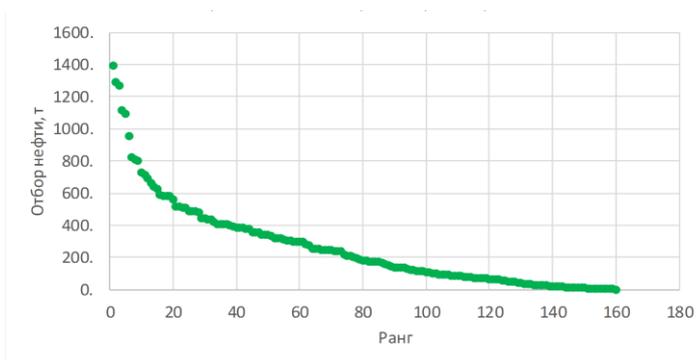


Рис. 2. Ранговое распределение отборов по нефти

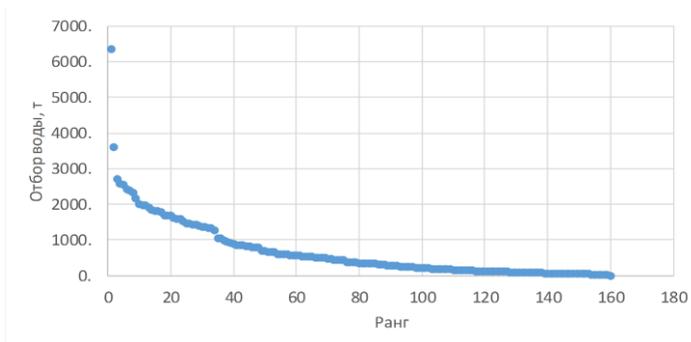


Рис. 3. Ранговое распределение отборов по воде

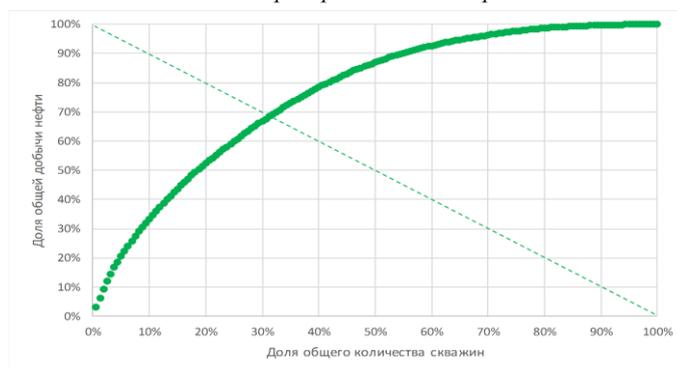


Рис. 4. Определение параметра Парето по доле от общей добычи нефти и пороговой величины добычи нефти

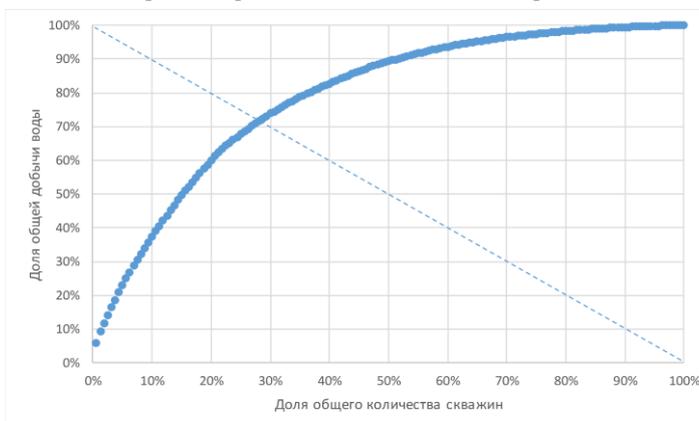


Рис. 5. Определение параметра Парето по доле от общей добычи воды и пороговой величины добычи воды

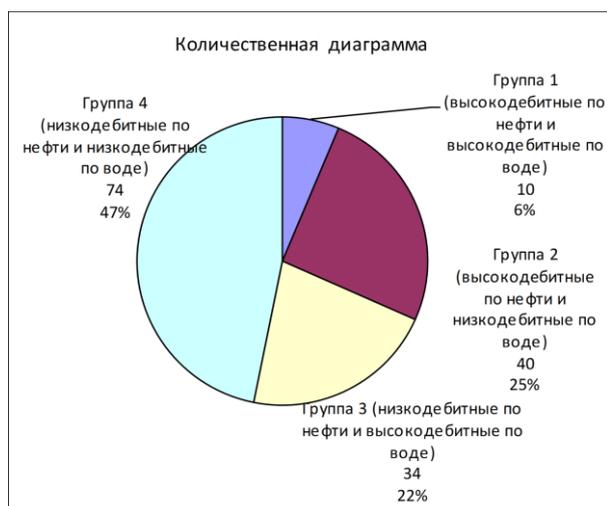


Рис. 6. Группы скважин по распределению Парето

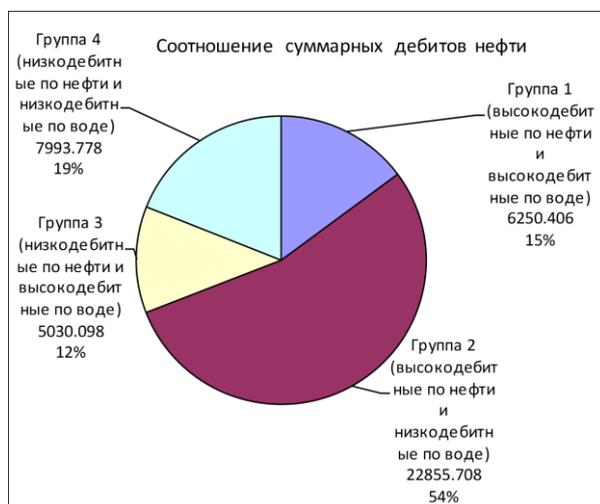


Рис. 7. Соотношение суммарных отборов нефти по распределению Парето



Рис. 8. Соотношение суммарных отборов воды по распределению Парето

ния дебитов нефти и ограничения водоотдачи. Скважины этих групп необходимо также исследовать с использованием критериев дискриминант, полученных на основе моделей роста на предмет определения опережающего темпа отбора нефти или воды на текущий момент, и регулировать режимы работы через взаимодействующие нагнетательные и добывающие скважины [1-5].

Первая и третья группы в основном определяют добычу воды по залежи, поэтому ограничение отборов и проведение ремонтно-изоляционных работ на скважинах этой группы может дать наибольший эффект по уменьшению удельной водоотдачи.

Скважины второй группы обычно редко в промышленной практике подвергаются интенсивным гидродинамическим воздействиям (форсированию) из-за повышенной вероятности обводнения их продукции из-за скачкообразного изменения водонасыщенности при резком увеличении отбора и из-за значительных потерь при ограничении отбора.

В целом, для скважин 1-3 групп рекомендуется проведение нестационарных методов воздействия на залежь посредством регулирования режимов отбора в добывающих скважинах, а также закачки в нагнетательные скважины, что позволяет достигнуть мобильности воды и добиться повышения нефтеотдачи пластов и интенсификации добычи нефти.

Четвертая группа скважин – самая большая, 47% от общего числа, при этом ее вклад в общую добычу нефти и воды относительно невелик, но стабилен. Как правило, для 4 группы скважин целесообразно проведение геолого-технических мероприятий по интенсификации добычи нефти и повышению нефтеотдачи пласта, такие как гидроразрыв пласта, газовое и

водогазовое воздействие, физико-химические методы и регазохимические технологии, предусматривающие генерацию углекислого газа в пластовых условиях [10-12].

В 4 группу вошли в основном проблемные скважины, работающие в накоплении, находящиеся в низкопроницаемых областях залежи с низкой нефтенасыщенной толщиной в центральной, восточной и северной частях, формирующие таким образом застойные и слабодренируемые зоны залежи N. Из числа скважин слабодренируемой зоны можно показать пример регулирования режима работы скважин на основе критерия дискриминант, подробно изложенный в работах [1-3].

На рис.9. показана динамика дискриминант по нефти и воде в течение последних 24 месяцев. Очевидно, что основное время дискриминант находится выше красной линии в области положительных значений $D_o > 0$, и только более 3-х месяцев находится в области ниже красной линии $D_o < 0$.

При этом, за это же время наблюдается рост воды в потоке (точнее прорыв воды) более 8 месяцев, от точки 1-12 до точки 9-20 рис.9. В точке 11-22 $D_o > 0$ и $D_w > 0$ нефть и вода находились в области ограничения роста отбора, после проведения очистки призабойной зоны скважины наметился рост отбора нефти, $D_o < 0$ (точка 13-24).

Заключение. Следует отметить, что предлагаемая методика является достаточно мобильной и точной для мониторинга и контроля за состоянием фонда скважин и за разработкой залежи в целом. Имеется потенциальная возможность ежемесячно пополнять базу данных и так же ежемесячно на основе предполагаемых критериев и решающих правил вносить конкретные уточнения в программу геолого-технических мероприятий, в том числе при оптимизации системы поддержания пластового давления посредством регулирования режимов работы добывающих и нагнетательных скважин.

Для вовлечения в активную разработку скважин 4 группы по распределению Парето и скважин, находящихся в застойных слабодренируемых зонах, рекомендуется использовать водогазовую оторочку, формируемую во внутрипластовых условиях [3, 10, 12].

Предложенные решения являются составной частью альтернативной концепции нестационарного заводнения, предусматривающего ранний прогноз и принятие мер при проявлении неустойчивости фронта вытеснения и, как следствие, прорыва воды в зоне водонефтяного контакта.

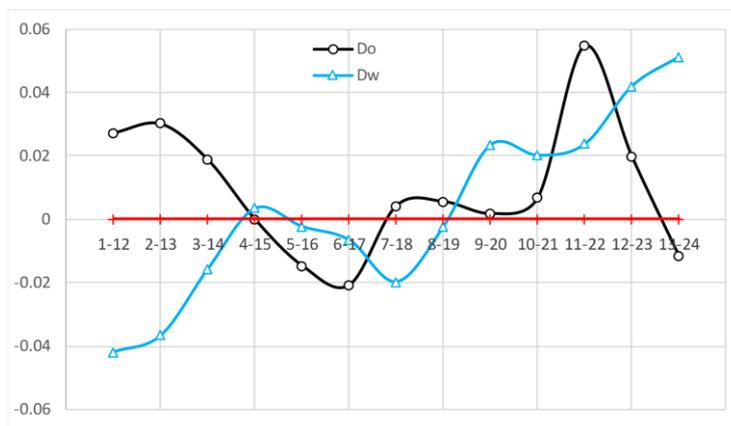


Рис.9. Динамика дискриминантного критерия по одной скважине.

REFERENCES

1. **Shakhverdiev A.Kh.** Innovacionnyj potencial nestacionarnogo zavodneniya v celyah povysheniya nefteotdachi plastov // Vestnik Azerbajdžanskoj inženernoj akademii, № 1, 2019. – S.32-41.
Шахвердиев А.Х. Инновационный потенциал нестационарного заводнения в целях повышения нефтеотдачи пластов // Вестник Азербайджанской инженерной академии, № 1, 2019. – С.32-41.
2. **Shakhverdiev A.Kh.** Vzaimodejstvie skvazhin – osnovnoj faktor sistemnosti pri razrabotke neftyanyh mestorozhdenij // Vestnik Azerbajdžanskoj inženernoj akademii, № 3, 2019. – S. 52-61.
Шахвердиев А.Х. Взаимодействие скважин – основной фактор системности при разработке нефтяных месторождений // Вестник Азербайджанской инженерной академии, № 3, 2019. – С. 52-61.

3. **Shakhverdiev A.Kh., Panahov G.M., Sulejmanov B.A., Abbasov E.M., Kurbanov R.A., Matveev K.L.** Sposob razrabotki neftyanoj zalezhi. Patent na izobrenie RUS 2123586, 1998.
Шахвердиев А.Х., Панахов Г.М., Сулейманов Б.А., Аббасов Э.М., Курбанов Р.А., Матвеев К.Л. Способ разработки нефтяной залежи. Патент на изобретение RUS 2123586, 1998.
4. **Shakhverdiev A.Kh.** Sistemnaya optimizaciya nestacionarnogo zavodneniya s celju povysheniya nefteotdachi plastov // Neftyanoe hozjajstvo (RF), № 1, 2019. – S.44-50.s.
Шахвердиев А.Х. Системная оптимизация нестационарного заводнения с целью повышения нефтеотдачи пластов // Нефтяное хозяйство (РФ), № 1, 2019. – С.44-50.с.
5. **Shakhverdiev A.Kh.** Sistemnaya optimizaciya processa razrabotki neftyanyh mestorozhdenij. – M.: Nedra. 2004. – 452 s.
Шахвердиев А.Х. Системная оптимизация процесса разработки нефтяных месторождений. – М.: Недра. 2004. – 452 с.
6. **Buckley I. and Leverett M.C.** Mechanism of Fluid Displacement in Sands. Trans. AIME, 1942, vol. 146: 107.
7. **Krejg F.F.** Razrabotka neftyanyh mestorozhdenij pri zavodnenii. – M.: Nedra. 1974. – 191 s.
Крейг Ф.Ф. Разработка нефтяных месторождений при заводнении. – М.: Недра. 1974. – 191 с.
8. **Arnold V.I.** Teoriya katastrof. – M.: Nauka, 1990. – 128 s.
Арнольд В.И. Теория катастроф. – М.: Наука, 1990. – 128 с.
9. **V.A. Gaiko,** On global bifurcations and Hilbert's sixteenth problem, Nonlinear Phenomena in Complex Systems 3 (2000), no.1, Pp.11–27.
10. **Bezickij S.V., Jafarov I.S., Panahov G.M., Shakhverdiev A.Kh.** Sposob razrabotki neftyanoj zalezhi. Patent na izobrenie RUS 2142557, 1999.
Бецицкий С.В., Джафаров И.С., Панахов Г.М., Шахвердиев А.Х. Способ разработки нефтяной залежи. Патент на изобретение RUS 2142557, 1999.
11. **Shakhverdiev A.Kh., Panahov G.M., Sulejmanov B.A., Abbasov E.M., Berman A.V.** Sposob izolacii zon pogloshheniya v skvazhine. Patent na izobrenie RUS2111337,
Шахвердиев А.Х., Панахов Г.М., Сулейманов Б.А., Аббасов Э.М., Берман А.В. Способ изоляции зон поглощения в скважине. Патент на изобретение RUS2111337,
12. **Gumersky Kh.Kh., Jafarov I.S., Shakhverdiev A.Kh, Mamedov Yu.G.** In-Situ Generation of carbon dioxide: New way to increase oil recovery. Proseedings of the European Petroleum Conference (EUROPEC). Paris, France, 2000/ Pp.499-504.

DURĞUN VƏ ZƏİF DRENAJ OLUNMUŞ NEFT YATAQLARI ZONALARININ TƏYİNİ VƏ ONLARIN AKTİV İŞLƏNMƏYƏ CƏLB EDİLMƏSİ

Ə.X. ŞAHVERDİYEV, A.V. DENİSOV

Məqalədə neft yataqlarının qeyri-stasionar su vurmaşının alternativ konsepsiyasına baxılıb. Xüsusi aktualığı durğun və zəif drenaj olunmuş neft yataqlarının yerinin təyin edilməsi məsələsi əldə edir, belə ki, yeni informativ göstəricilərdən istifadə etərək – normaya salınmış (normallaşdırılmış) xüsusi seçmə əmsalı, həmçinin normaya salınmış xüsusi seçmənin bərabər səviyyələrinin xəritəsi təklif olunur. Bu sahələrin aktiv işlənməyə cəlb edilməsi üçün Pareto prinsipindən istifadə edilməsi təklif edilir, bu da öz növbəsində geoloji-texniki tədbirlərin hər birinə görə ünvan proqramının təyinatı üçün əldə edilən quyuların bütün fondunu dörd qrupa bölməyə imkan verir.

Açar sözlər: durğun və zəif drenaj olunmuş sahələr, neft yataqlarının su vurmaşısı, neftin, suyun, mayenin normaya salınmış xüsusi seçmə əmsalı, Pareto paylanması, bölgüsü, diskriminant meyar.

DISCOVER OF CONGESTED AND POORLY DRAINED OIL DEPOSITS AND THEIR FURTHER ACTIVE DEVELOPMENT

A.H. SHAKHVERDIEV, A.V. DENISOV

The article examines an alternative concept to the non-stationary flooding of oil deposit. Of particular relevance, it is the task of determining the location of congested and poorly drained zones of oil deposits, for which it is proposed to use a new informative indicator - the coefficient of normalized unit selection, as well as maps of the equal levels of normalized unit selection. To engage these areas in active development, it is proposed to use the Pareto principle, which allows to divide the entire stock of producing wells into four groups to assign an addressable program of geological and technical measures for each of them.

Keywords: congested and poorly drained deposits, flooding of oil deposits, coefficient of normalized unit selection of oil, water and fluids, Pareto distribution, discriminant criterion.

*Поступило в редакцию: 19.07.2019
После доработки: 10.03.2020
Принято к публикации: 14.03.2020*

UOT 665.7614

BALLASTLARIN NEFT QARIŞIQLARININ MAKROSKOPİK PARAMETRLƏRİNƏ TƏSİRİNİN TƏDQIQI

Q.Q. İSMAYILOV¹, M.B. ADIGÖZƏLOVA¹, F.B. İSMAYILOVA¹, G.A. ZEYNALOVA¹

Məqalədə müxtəlif çeşidli neftlərin qarışması zamanı tərkiblərindəki ballastların miqdarından asılı olaraq sıxlıq, özlülük və donma temperaturu kimi makroskopik göstəricilərin dəyişməsi tədqiq edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, neftlərin qarışma nisbətindən asılı olaraq onların makroskopik göstəricilərində nəzərə çarpacaq dəyişikliklər baş verir. Ballastların miqdarının dəyişməsi ilə sıxlıq, kinematik özlülük parametrləri arasında müəyyən korrelyasiya hallarının mövcudluğu ilə yanaşı, neftlərin qarışma nisbətindən təsirinə də əhəmiyyətli dərəcədə olması müşahidə olunmuşdur. Bəzi hallarda hətta qarışma nisbətindən asılı olaraq makroskopik parametrlərin anomal artması halı da aşkar edilmişdir. Neft qarışıqlarının saxlanması və nəqli prosesində problemlərin yaranmaması və ya vaxtında qarşısının alınması üçün qarışıqda ballastların çökməsinin kinetikasının da tədqiq edilməsinin vacibliyi göstərilmişdir.

Açar sözlər: neftlərin qarışması, AQP, makroskopik göstəricilər, ballastlar, mexaniki qarışıqlar, suyun miqdarı, sıxlıq, özlülük, donma temperaturu, reoloji xüsusiyyət, kimyəvi tərkib.

Giriş. Neft-mədən təcrübəsindən yaxşı məlumdur ki, istismar quyuları və quyu-yığıq sistemlərinin boru kəmərləri sistemində çoxsaylı amillərlə xarakterizə olunan asfalten-qatran-parafin (AQP), mexaniki qarışıqlar (MQ), suyun və duzların (D) çökmə prosesləri müşahidə olunur. Bu proseslər neft yataqlarının işlənməsinin son mərhələsində daha ciddi və aktual bir problemə çevrilir. Aparılan tədqiqatlar nəticəsində neftin çıxarılması, yığılması, hazırlanması və nəqli sistemlərində AQP və digər çöküntülərinin yaranmasına və intensivləşməsinə təsir göstərən amillər daima dəyişdiyi baş verdiyi üçün çöküntülərin miqdarı və xüsusiyyətlərinin də stabil olmadığı müəyyən edilmişdir. Bu zaman çökmələrin yaranmasına əsas səbəb təzyiq və temperaturun düşməsi, həmçinin neftin qazsızlaşması, əsas amil kimi isə, temperatur göstərilir, duzların və neftlərin qarışma nisbətindən asılı olaraq su, AQP, mexaniki qarışıqlar kimi ballastların miqdarının neft qarışıqlarının sıxlıq, donma temperaturu və özlülük kimi parametrlərinin dəyişməsinə olan təsirinə birmənalı olmaması müəyyən edilmişdir [1,2]. AQP çöküntülərinin yığılması isə əsasən quyu nasosları, nasos-kompresor boruları, mədən texnoloji boru xətləri və yığıq çənlərində baş verməsi müşahidə edilmişdir.

Neftlərin kimyəvi tərkibinin müxtəlifliyi AQP və duz çöküntülərinin əmələgəlmə prosesinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Neftlərin karbohidrogen qrupu - aromatik, naften və parafin

¹ Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
E-mail: mehpareadigozelova@yahoo.com

karbohidrogenlərindən asılı olaraq müxtəlif kimyəvi tərkibli çöküntülərin əmələ gəlməsi mümkündür [1].

Azərbaycanda hasil edilən neftlər həm fiziki-kimyəvi xassələri, həm də reoloji xüsusiyyətlərinə görə müxtəlifdir. Bu neftlər yüksək özlülüyü, tərkibində AQP birləşmələrinin olması ilə də fərqlənirlər. Tərkibində bu və ya digər dərəcədə AQP birləşmələri və digər ballastlar olan bir çox neftlər məlumdur ki, bu neftlərin hasilatı və nəqli zamanı müəyyən şəraitlərdə həmin ballastların çökməsi halları baş verir. Göstərilən halların qarşısını almaq və aradan qaldırmaq məqsədi ilə müxtəlif zamanlarda ayrı-ayrı tədqiqatçılar tərəfindən çox saylı elmi-tədqiqat işləri aparılmışdır.

Müxtəlif çeşidli və xassəli neftlərin bir qayda olaraq, eyni boru kəməri ilə nəql olunması, eyni bir çənə yığılması nəticəsində onların qarışması baş verir ki, bu da onların fiziki-kimyəvi və reoloji göstəricilərinə nəzərə çarpacaq dərəcədə təsir edir. Bəzi neft qarışıqları üçün sıxlıq, özlülük, həcm və digər praktiki əhəmiyyət kəsb edən parametrlərin hətta anomal şəkildə, kəskin dəyişməsi halları son illərin təcrübəsində tez-tez rast gəlinən hallardandır [1, 3-5].

İşin məqsədi. Ballastların neft qarışıqlarının sıxlıq, özlülük və donma temperaturu kimi makroskopik parametrlərinə təsirinin tədqiqi.

Məsələnin qoyuluşu. Ağır xam neftlərin yüngül neftlərlə qarışdırılması ilə bu cür neftlərin yığılı, nəqli və emalı zamanı texnoloji proseslərin səmərəliliyini artırmaq və iqtisadi baxımdan yaxşı nəticələr əldə edilməsi məqsəduyğun hesab edilir. Lakin buna baxmayaraq müxtəlif çeşidli xam neftlərin bir-biri ilə və ya yüngül neftlə qarışdırılması zamanı xüsusi problemlərin yaranması halları danılmazdır. Tədqiqatlar göstərir ki, bu problemlərin yaranmasının əsas səbəbi müxtəlif xam neftlərin qarışması ilə onlarda çökmə ehtimalı asfaltenlər kimi üzvi bərk hissəciklərin olmasıdır [1,3]. Məlumdur ki, digər ballastların - su, mexaniki qarışıqlar, duzlarının miqdarına görə də xam neftlərin tərkibi müxtəlifdir. Bir çox hallarda neftlərin qarışması zamanı asfalten, parafin, və qatranlarla yanaşı qeyd olunan ballastların da çökməsi baş verir. Son illərdə Azərbaycan neftlərinin qarışması timsalında bir neçə maraqlı tədqiqat işləri aparılmışdır [3-5]. Bu tədqiqat işlərində xam neftlərin qarışması ilə bağlı yaranan spesifik problemlər və "birarayasız"lıq problemləri öz əksini tapmışdır.

Məsələnin həlli. Neftlərin qarışması zamanı onların qarışma nisbətindən asılı olaraq qarışıqlarda ballastların miqdarının necə dəyişməsi və bu dəyişmənin neft qarışıqlarının makroskopik göstəricilərinə təsiri məsələlərinin araşdırılması tərəfimizdən laboratoriya sınaqları əsasında araşdırılmışdır.

Bu məqsədlə üç müxtəlif çeşidli xam neftlərin qarışmasına baxılmışdır.

İlkin "Bulla"- I, "Qaraçuxur" - II və "Siyəzən" - III neftlərinin və onların müxtəlif nisbətlərdə qarışıqlarının tərkibindəki ballastların miqdarı və makroskopik göstəriciləri cədvəldə verilmişdir.

Sıxlıq, özlülük və donma temperaturu kimi makroskopik parametrlərin qarışdırılan neftlərin nisbətindən asılı olaraq dəyişməsi ilə yanaşı uyğun qarışıqlarında olan ballastların miqdarının həmin göstəricilərə təsiri də tədqiq edilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, ballastların miqdarının dəyişməsinin neft qarışıqlarının sıxlıq, kinematik özlülük və donma temperaturu kimi parametrlərinə aşağıdakı variantlar üçün təsiri tədqiq edilmişdir: a) (AQP+MQ+Su) ballastların təsiri; b) (AQP+MQ) ballastların təsiri; c) (AQP+Su) ballastların təsiri; d) (AQP) birləşmələrinin təsiri; e) duzların (D) təsiri.

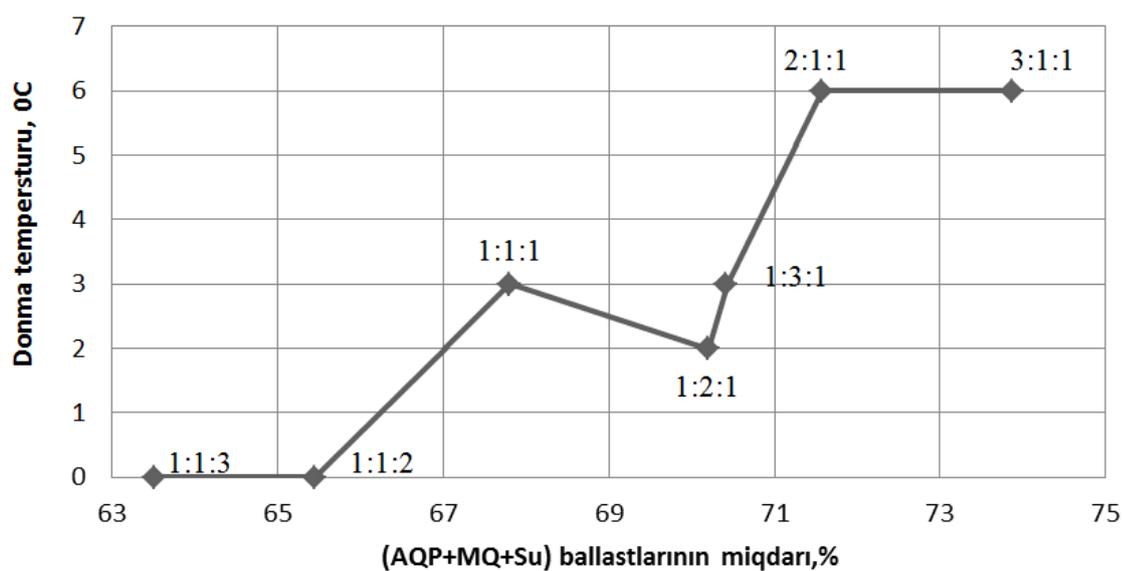
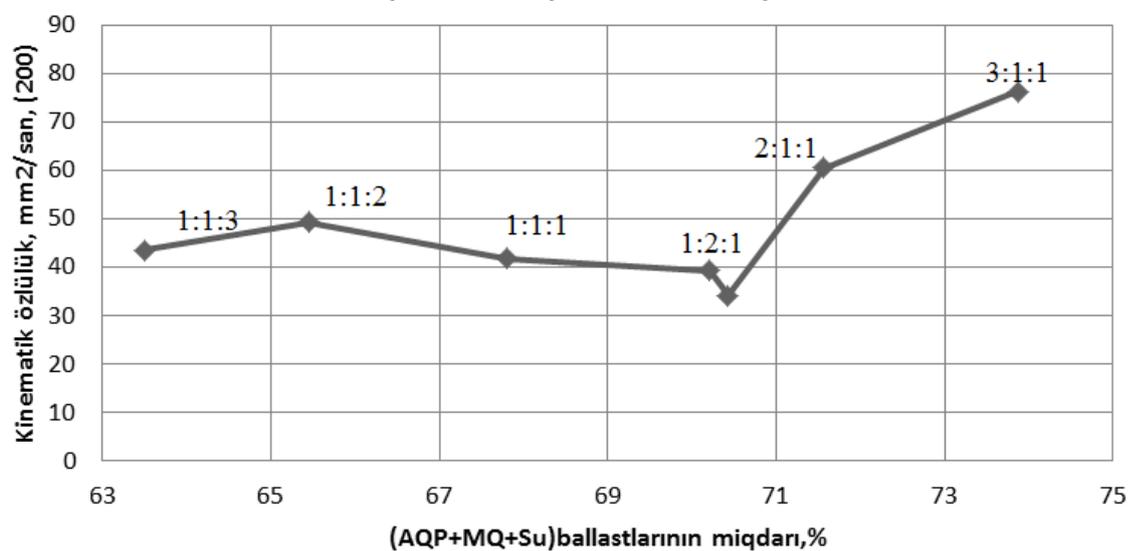
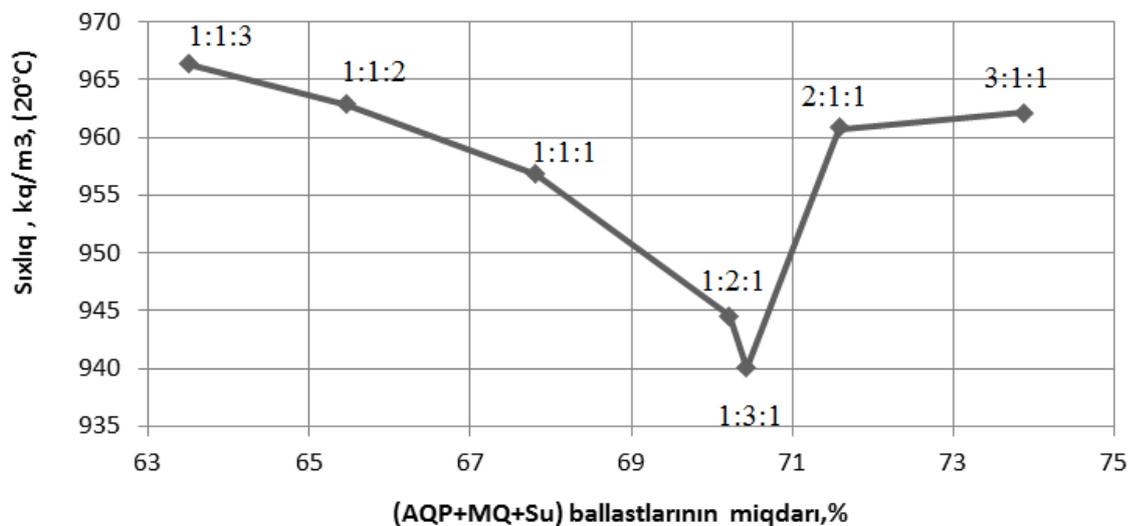
İlkin – Bulla-I, Qaraçuxur-II və Siyəzən-III neftlərində və onların müxtəlif qarışıqlarında ballastların miqdarının dəyişməsi (kütlə %).

Neftlər və onların qarışıqları		AQP+MQ+SU a)	AQP+MQ b)	AQP+SU c)	AQP d)	Duzların miqdarı, mq/l	Sıxlıq, kq/m ³ , (20°C)	Donma temperaturu, °C	Kinematik özlülük, mm ² /san, (20°C)
I	BN	72.76	29.56	66.2	23.84	480.6	973.4	+9	15.76
II	QN	79.22	22.82	72.9	16.4	530.3	978.9	-6	8.23
III	SN	53.72	18.02	48.9	13.19	398.4	914.7	+3	6.41
1:1:1		67.81	22.41	62.1	16.68	471.8	956.8	+3	41.78
1:1:2		65.45	23.25	60.0	17.78	453.5	962.9	0	49.29
1:1:3		63.5	21.9	59.1	17.48	443.8	966.3	0	43.54
2:1:1		71.57	27.37	66.1	21.9	473.9	960.7	+6	60.52
3:1:1		73.87	29.17	68.1	23.42	476.6	962.1	+6	76.23
1:2:1		70.21	21.7	64.6	16.1	483.7	944.6	+2	39.31
1:3:1		70.43	21.23	65.0	15.7	495.2	940.1	+3	34.23

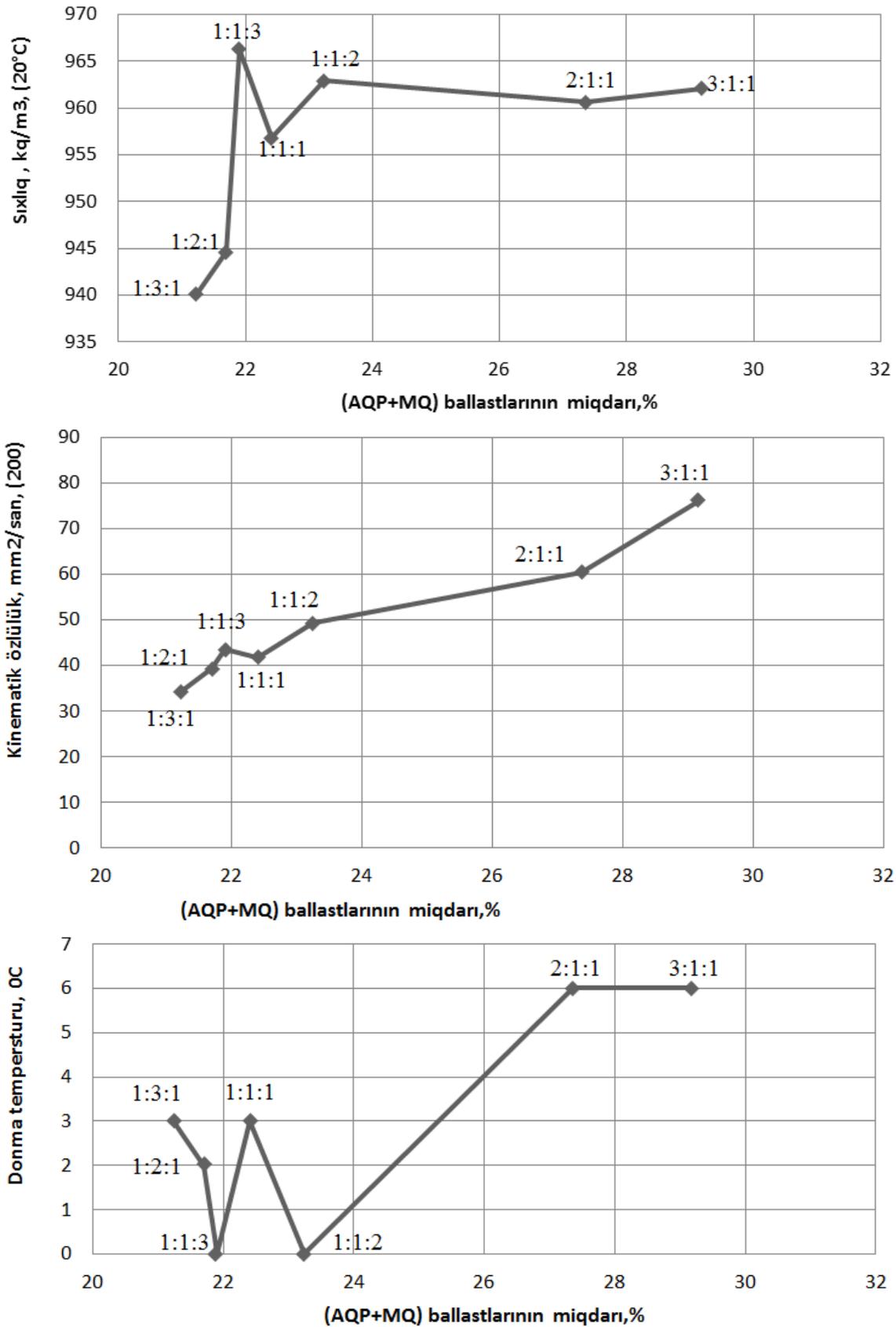
* Qeyd: 1:1:1, yəni I, II və III neftlərin qarışma nisbəti eynidir.

Hər bir neft qarışığı üçün ballastların makroskopik parametrlərə təsirini müəyyən etmək üçün sıxlıq, kinematik özlülük və donma temperaturunun qeyd olunan (a-e) variantlar üzrə ballastlardan asılılıqları qurulmuşdur. Həmin asılılıqlar qeyd olunan a-e variantları üzrə uyğun olaraq şəkil 1-5-də göstərilmişdir. Şəkillərdən görüldüyü kimi, heç bir halda qeyd olunan asılılıqlarda, demək olar ki, monotonluq aşkar edilməmişdir. Ən maraqlı odur ki, ballastların qeyd olunan praktiki vacib parametrlərə təsiri heç də birmənalı olmamışdır. Belə ki, ballastların miqdarının dəyişməsi ilə sıxlıq, kinematik özlülük parametrləri arasında müəyyən korrelyasiya halları mövcud olsa da, neftlərin hansı nisbətdə qarışmasının da təsiri əhəmiyyətli dərəcədə çox olmuşdur. Bəzi hallarda qarışma nisbətindən asılı olaraq həmin parametrlərin anomal artması halı da müşahidə olunmuşdur (şək.5). Məsələn, neftlərin 2:1:1 və 3:1:1 nisbətlərdə qarışması zamanı duzların 473-480 mq/l qatılığında hər üç parametr anomal olaraq çoxalmışdır. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, duzların miqdarının çoxalması ilə sıxlıq və kinematik özlülük kimi parametrlər üçün ümumi tendensiya azalsa da, donma temperaturu üçün bu tendensiya artmışdır.

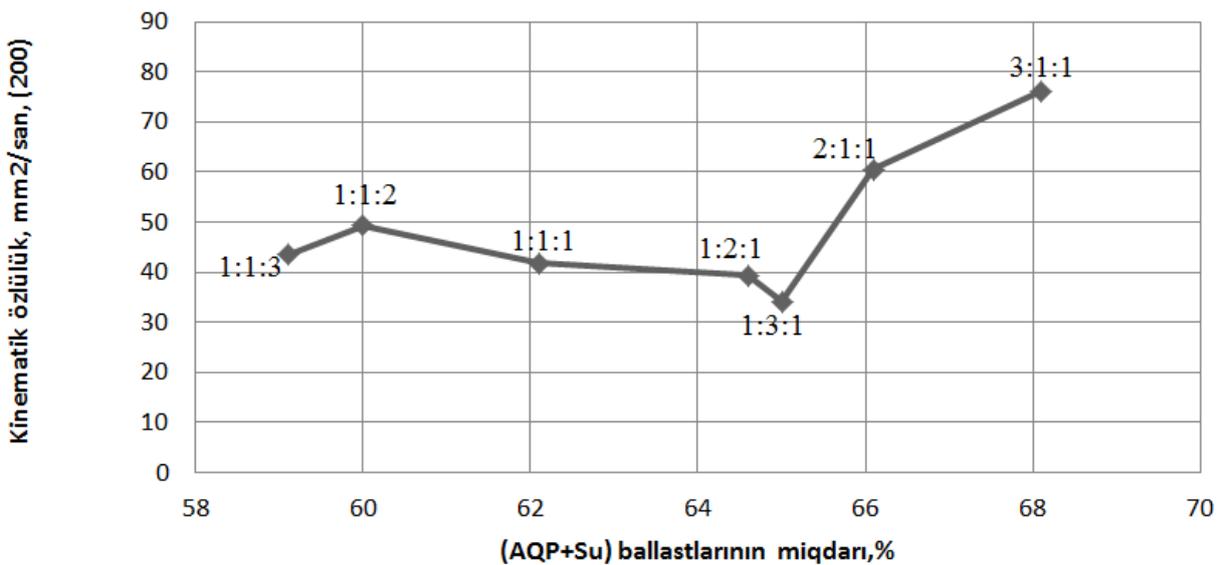
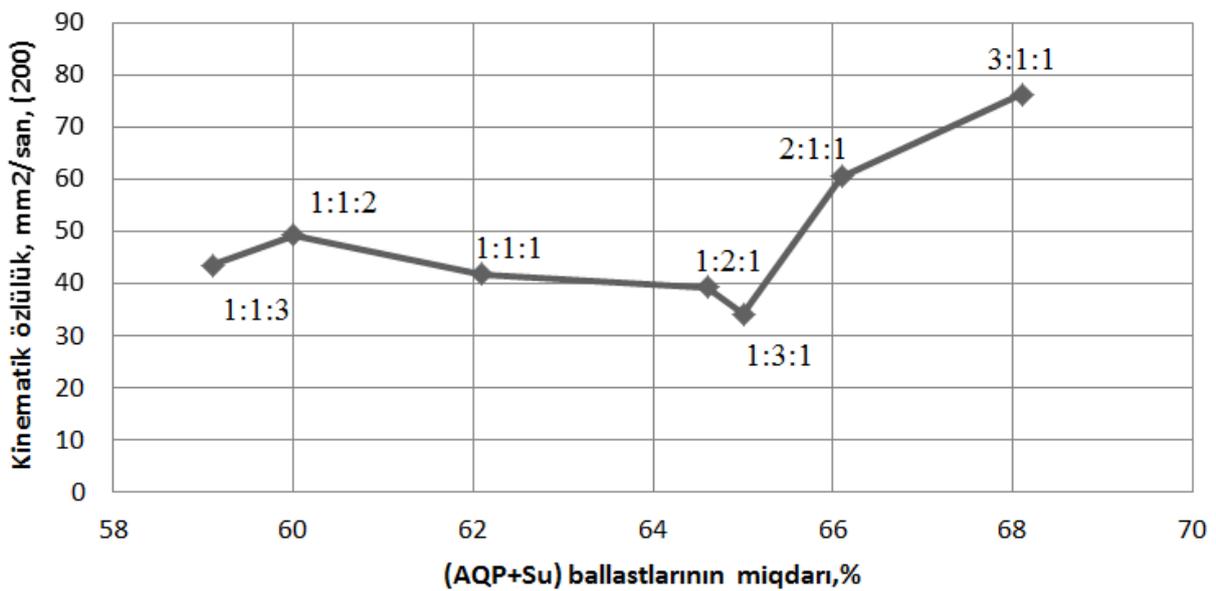
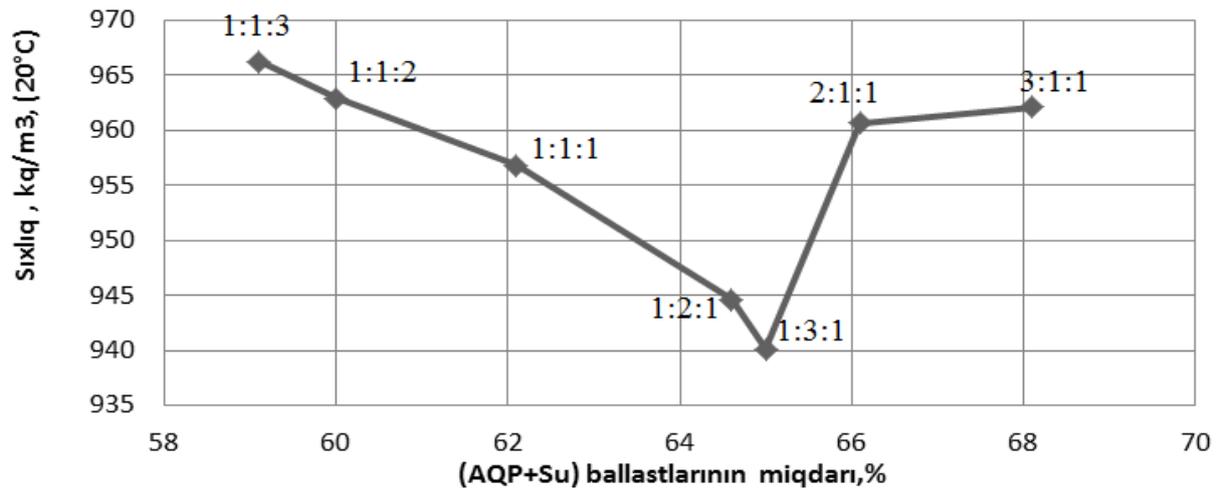
AQP birləşmələrinin miqdarı çoxaldıqca sıxlıq, kinematik özlülük və donma temperaturu parametrlərində ümumi (şək.4) tendensiya artmağa doğru yönəlmişdir. AQP-nin 15-18% kütlə payında sıxlığın anomal çoxalması, donma temperaturunun isə azalması halları qeydə alınmışdır. AQP birləşmələrinə suyun əlavə olunması ilə baş verən dəyişikliklər də maraqlı nəticələrlə müşahidə edilmişdir. Belə ki, (AQP+Su) ballastlarının 65 kütlə %-nə uyğun qiymətindən başlayaraq hər üç parametrin qiyməti əhəmiyyətli dərəcədə çoxalmağa başlamışdır (şək.3). Neftlərin qarışma nisbətindən asılı olmayaraq c variantı üçün kinematik özlülük ballastın qeyd olunan qiymətinə kimi praktiki olaraq dəyişməz qalır.



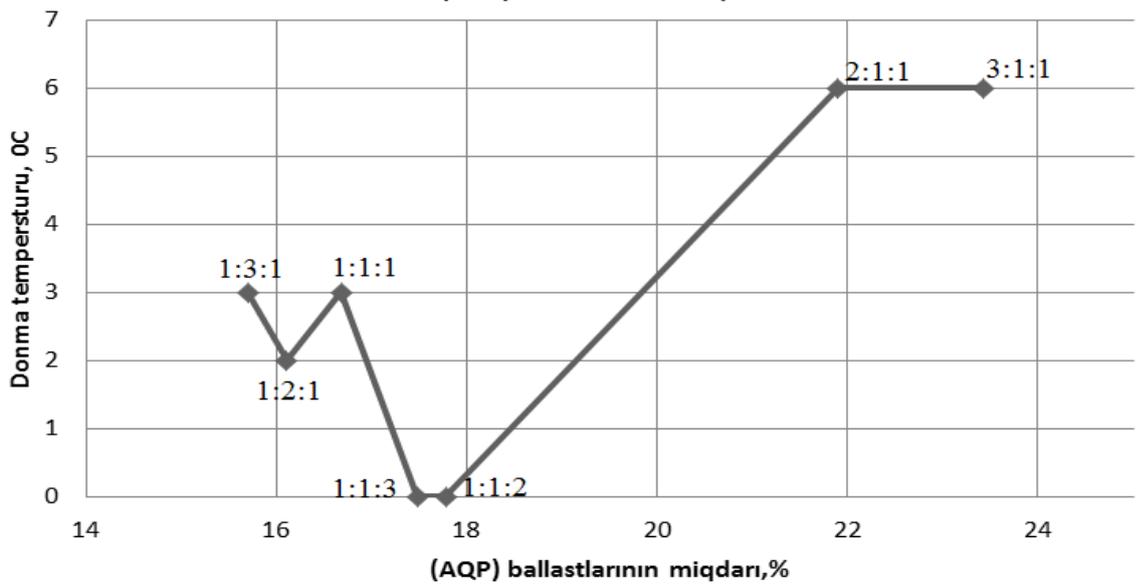
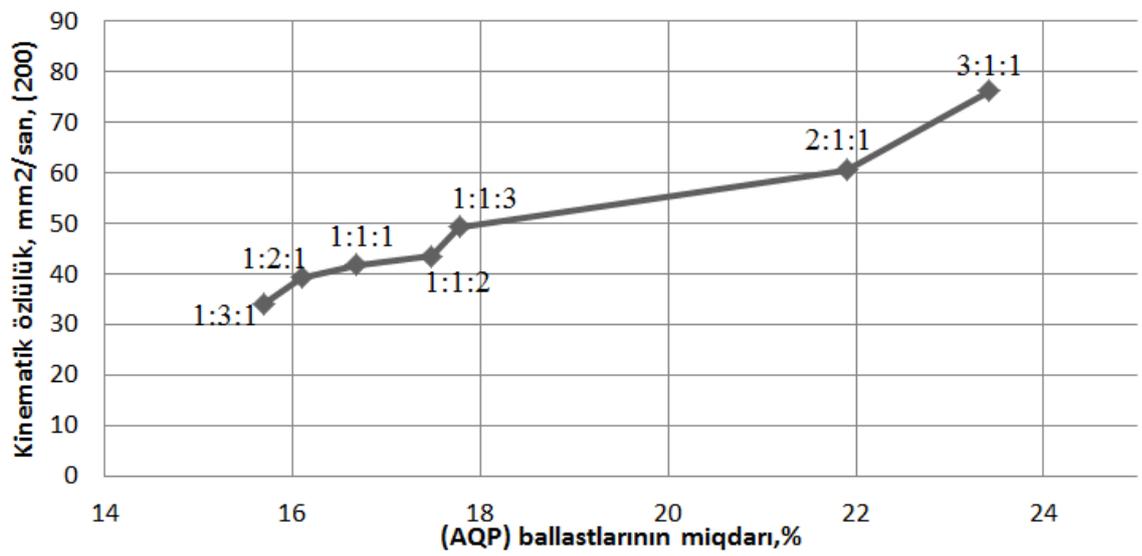
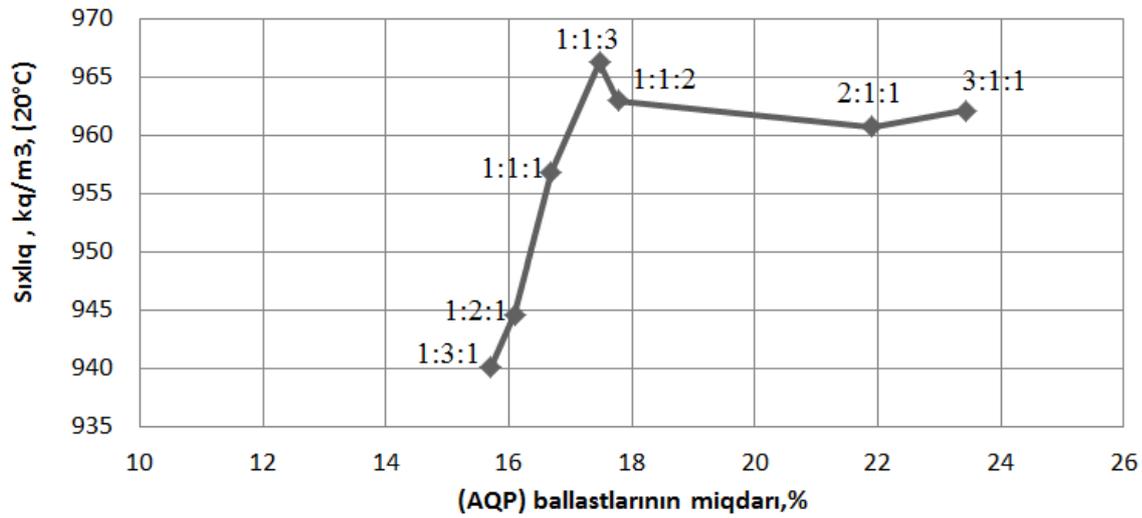
Şəkil 1 Neft qarışıqları üçün sıxlığın, kinematik özlülüğün və donma temperaturunun ballastların (a-AQP+MQ+Su) miqdarından asılı dəyişməsi



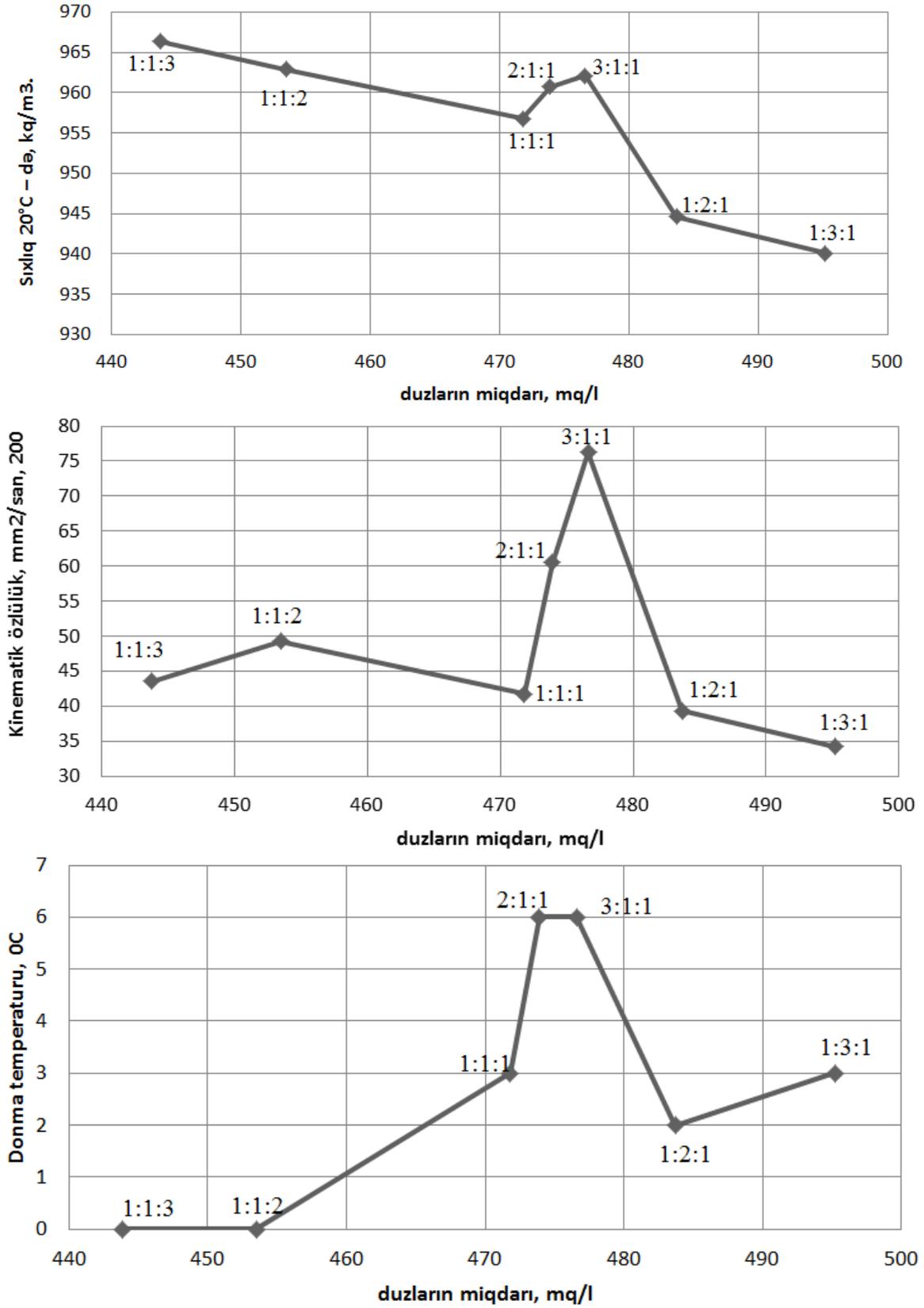
Şək.2 Neft qarışıqları üçün sıxlığın, kinematik özlülüğün və donma temperaturunun ballastların (b-AQP+ mexaniki qarışıqlar) miqdarından asılı dəyişməsi



Şək.3 Neft qarışıqları üçün sıxlığın, kinematik özlülüyn və donma tempersturunun ballastların (c-AQP+ Su) miqdarından asılı dəyişməsi



Şək.4 Neft qarışıqları üçün sıxlığın, kinematik özlülüynün və donma temperaturunun ballastların (d-AQP) miqdarından asılı dəyişməsi



Şək.5 Neft qarışıqları üçün sıxlığın, kinematik özlülüynün və donma temperaturunun duzların miqdarından asılı dəyişməsi

Nəticə. Müxtəlif çeşidli neftlərin qarışması bir çox hallarda yolverilməzdir. Belə ki, neftlərin qarışması zamanı ballastların çökməsi nəticəsində onların makroskopik parametrləri xeyli dəyişikliyə məruz qalır.

Qarışan neftlərin tərkibində olan ballastların –asfalten-qatran-parafin birləşmələri, mexaniki qarışıqlar və suyun neftlərin sıxlıq, kinematik özlülük və donma temperaturu kimi makroskopik parametrlərinə təsiri əhəmiyyətli dərəcədə olmaqla onların qarışma nisbətindən çox asılıdır. Odur ki, mədən şəraitində neft qarışıqlarını yığılması, hazırlanması və nəqli proseslərinin səmərəliliyini artırmaq üçün həmin qarışıqlar ilk öncə laboratoriyaya sınaqları əsasında tədqiq edilməlidir.

REFERENCES

1. **Evdokimov I.N., Losev A.P.** Osobennosti analiza associativnyh uglevodorodnyh sred. Primenimost' refraktometricheskikh metodov // Himiya i texnologiya topliva i masel. 2007, №2, s.38-41.
Евдокимов И.Н., Лосев А.П. Особенности анализа ассоциативных углеводородных сред. Применимость рефрактометрических методов // Химия и технология топлива и масел. 2007, №2, с.38-41.
2. **Sharifullin A.V., Bajbekova L.R., Sulejmanov A.T.** Osobennosti sostava i stroenija neftjanyh otlozhenij // Tehnologiya nefti i gaza. 2006, № 6, s. 19-24.
Шарифуллин А.В., Байбекова Л.Р., Сулейманов А.Т. Особенности состава и строения нефтяных отложений // Технология нефти и газа. 2006, № 6, с. 19-24.
3. **İsmayilov Q.Q., Nurməmmədova R.Q., Nurullayev V.X., Zeynalov R.L.** Neftlərin qarışması zamanı yaranan spesifik problemlər haqqında // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, Bakı, 2015, №10, s.30-37.
4. **Ismayilov Q.Q., Nurullayev V.X., Adıgözəlova M.B.** Neft qarışıqlarının reo-nano kimyəvi xüsusiyyətləri haqqında // Azərbaycan Mühəndislik akademiyasının xəbərləri, 2017, cild 9. № 4, c.75-85.
5. **Ismayilov G.G. Zeynalov R.L., Agigozalova M.B.** The Impact of Chemical Composition on the Qualitative Indicators of Oil Mixtures. // International Journal of Petroleum and Petrochemical Engineering (IJPPE), 2017, Volume 3, Issue 4, P. 111-117.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БАЛЛАСТА НА МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ НЕФТЯНЫХ СМЕСЕЙ

Г.Г. ИСМАЙЛОВ, М.Б. АДЫГЕЗАЛОВА, Ф.Б. ИСМАЙЛОВА, Г.А. ЗЕЙНАЛОВА

В статье исследуется изменение макроскопических показателей, таких как плотность, вязкость и температура застывания, в зависимости от количества балластов в их составе при смешивании разносортных нефтей. Установлена корреляция между макроскопическими параметрами и наличием балластов, а также соотношением нефтей в смеси. В некоторых случаях наблюдалось аномальное влияние балластов. Показана необходимость исследования кинетики осаждения балластов в смеси при смешивании нефтей.

Ключевые слова: смешивание нефтей, АСП (асфальтен-смола-парафин), макроскопические показатели, балласт, механические смеси, количество воды, плотность, вязкость, температура застывания, реологические свойства, химический состав.

STUDY OF THE EFFECT OF BALLAST ON THE MACROSCOPIC PARAMETERS OF OIL MIXTURES

G.G. ISMAYILOV, M.B. ADIGEZALOVA, F.B. ISMAYILOVA, G.A. ZEYNALOVA

The article investigates the change of macroscopic parameters, such as density, viscosity and pour point, depending on the number of ballasts in their composition when mixing different-grade oils. The correlation between macroscopic parameters and the presence of ballasts, as well as the ratio of oils in the mixture, was established. In some cases, there was even an abnormal influence of ballasts. It is shown that it is necessary to study the kinetics of ballast deposition in a mixture during oil mixing.

Keywords: oil mixture, ARP (asphalt-resin-paraffin), macroscopic indicators, ballast, mechanical mixtures, amount of water, density, viscosity, pour point, rheological properties, chemical composition.

<i>Redaksiyaya daxil olub:</i>	21.09.2019
<i>Tamamlama işlərindən sonra:</i>	08.03.2020
<i>Nəşrə qəbul edilib:</i>	13.03.2020

UOT 622.27.621.52

SUTƏZYİQ SİSTEMİNİN GÜMBƏZİNƏ QAZIN VURULMASI İLƏ SUYUN YER SƏTHİNƏ SIXIŞDIRILMASI

O.Ə. ƏLİYEV¹, Ə.S. ƏLİYEV¹

Məqalədə, sutəzyiq sisteminin kümbəzinə qazın vurulması ilə suyun yer səthinə sıxışdırılması məsələsinə baxılmışdır. Yataq bütövlükdə maye ilə doldurulmuşdur. Bunun üçün sutəzyiq sisteminin mərkəzi yuxarı hissəsində yeraltı qaz anbarlarının yaradılması tələb olunur. Bu məqsədlə də həmin suyu qazılmış və yüksüzləşdirilmiş xüsusi quyulardan təzyiq altında sıxışdırmaq lazımdır. Məsələni həll edərkən ardıcıl yaxınlaşma üsulundan istifadə edilir və anbarın yaranması işləyən quyular vasitəsilə mayenin sıxışdırılması hesabına baş verir.

Sutəzyiq sistemi, yatağın sistemi və parametrləri zənginləşdirən maye və qazlar məlumdurlar. Sonuncuların sərhədləri basma konturları və axmasıdır. Zamana görə anbarda su təzyiqi, anbarın qırağında boşluğun həcmi, yaradılmış qazın gücünün və vurulmuş qaz miqdarının cəminin dəyişməsi ilə təyin edilmişdir.

Baxılan şərtlərdə qovma və axma konturu ilə məhdudlaşan sahələrdə suyun hərəkətini radial kimi qəbul etmək olar. Qeyd olunan sahə çox da böyük sahə olmadığından suyun elastikliyi və mühitin məsələliyini nəzərə almamaq olar. Bu maraqlandıran məsələyə deformasiya olmayan yataqda sıxılmayan mayenin süzülməsi kimi baxmaq olar.

Axma konturunda sabit təzyiqin olması ilə debitin müqayisəli kiçik dəyişmə-sində qazla sıxışdırılan su, boşaltma quyusunun ağzından sərbəst axması ilə nəticələnir.

Açar sözlər: yeraltı qaz anbarı, kümbəz, su təzyiqi, axma konturu, işləyən quyular, vurucu quyular, təzyiq itkisi, qaz-su konturu.

Giriş. Məqalədə sxematik yatağın sutəzyiq sisteminə baxılmışdır. Yataq bütövlükdə maye ilə doldurulmuşdur. Kümbəzvari qaldırması olan sutəzyiq yatağının mərkəzi yuxarı hissəsində yeraltı qaz anbarının yaradılması tələb olunur. Bunun üçün qazı kümbəzin mərkəz hissəsinə vurmaq və oradan suyu bu məqsədlə qazılmış və yüksüzləşdirilən quyularla daşıyan xüsusi quyularla sıxışdırmaq lazımdır. Bu quyular $R_{k,s}$ radiusu boyunca dairəvi batareya şəklində yerləşirlər. Maye o vaxta qədər sıxışdırılır ki, qaz-su kontakt səthi AB vəziyyətini alsın. Sonrakı sıxışdırma rentabelli olmur, çünki, bu zaman qaz su tələsi (lovuşka) həddindən çıxır və yataq üzrə yayılır.

İşin məqsədi: Sutəzyiq sistemi, yatağın sistemi və parametrləri zənginləşdirən maye və qazlar məlumdurlar. Sonuncuların sərhədləri basma konturları və axmasıdır. Zamana görə anbarda

¹ Neftin, qazın geotexnoloji problemləri və kimya ETİ (Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti)
E-mail: afeliyaaliyeva@mail.ru

təzyiqi, anbarın qırağında boşluğun həcmi, yaradılmış qazlılığın gücünü və vurulmuş qaz miqdarının cəminin dəyişməsinə təyin etmək lazımdır [1].

Vurucu quyuları yerləşən qovma konturunu və axma konturunun ətrafında yerləşən vurucu quyuları dairə adlandıraraq. Baxılan şərtlərdə qovma və axma konturu ilə məhdudlaşan sahələrdə suyun hərəkətini radial kimi qəbul etmək olar. Qeyd olunan sahə çox da böyük sahə olmadığından suyun elastikliyi və mühitin məsaməliyini nəzərə almamaq olar və bu məsələyə deformasiya olmayan yataqda sıxılmayan mayenin süzülməsi kimi baxmaq olar [2–6].

Yatağın qırağının qazlı hissəsindəki boşluğun həcmi Ω_q ; qaz-su kontakt sahəsini $F = F(Z)$; bu halda yatağın qazlı hissəsinin təzyiqini \bar{p}_q -la; qazvurma başlanğıcından keçən müddəti t ; örtüyün ən yüksək nöqtəsindən hesablanan suyun səviyyəsinin azalmasını Z ; yatağın qazlı hissəsinin məsaməliliyini m -lə; $Z=H$ olduqda qaz-su kontakt sahəsini F_h -lə; AB vəziyyətində suyun çəkməsinin orta radiusunu $R_{k.s.}$ -lə; suyun dinamik özlülük əmsalını μ_{su} -lə; yatağın R_o və $R_{k.s.}$ – radiusları ilə göstərilən konturları arasındakı qazlı hissənin gücünü h -la; keçiricilik əmsalını K ilə; suyun axma konturunda təzyiqi $p_{k.s.}$ -lə; suyun xüsusi çəkisini γ_{su} -ilə; su tələsinin hündürlüyünü H -la; boşaltma quyusunun radiusunu R_s - ilə işarə edək (şəkil 1).

İşin yerinə yetirilməsi: Məsələni həll etməkdən ötrü ardıcıl yaxınlaşma üsulundan istifadə edək. Hesablamanı aşağıdakı kimi qəbul edirik. Kiçik vaxt kəsimi $\Delta t = t_s - t_i$ -də (burada t_s və t_i – kəsiyin sonu və əvvəlidir) və yatağın Ω_q qazlı hissəsindən kənar boşluğun həcmi ilə kəsiyin sonuna yaxın t_s - vaxtından istifadə edirik [7,8].

$$\bar{p}_q = \frac{\int_{t_n}^s q_{qPat} dt + P_n \Omega_n}{\Omega_q} \quad (1)$$

$$P_{at} = \frac{P_q \Omega_0 - P' \Omega_q}{Q}$$

$$P' = P_q - \gamma_{su} Z - \Delta P$$

düsturu ilə t_s –son kəsim vaxtına yatağın qazlı hissəsindəki p_n –təzyiqini, t_i - başlanğıc kəsim vaxtında yatağın qazlı hissəsindəki Ω_n – təzyiq və həcmi tapırıq, $\Omega = \Omega(Z)$ asılılıq qrafiki üzrə Z_k qazlılığın gücünü t_s vaxt kəsində və

$\Delta p = \bar{p}_q + \gamma_{su} (H - Z) - p_{k.c.}$ -ni müəyyən edirik.

$$q_k = \frac{2\pi kh \Delta p n}{\mu_{su} \ln \frac{R_{k.s.}^{2n} - R_b^{2n}}{n R_{k.s.}^n R_b^{n-1} R_s}} \quad (2)$$

düsturu üzrə t_s kəsik vaxtının sonu üzrə sıxışdırılan suyun debit cəmini tapırıq. Sonra yatağın qazlı hissəsinin kənarındakı boşluq həcmi $\Delta \Omega$ dəyişməsinə Δt vaxtda dəyişməsinə müəyyən edirik. Bununla yanaşı qeyd etmək lazımdır ki, kiçik vaxt kəsində Δt mayenin orta sərfi başlanğıc və son vaxt kəsiminin orta arifmetik qiymətinə bərabərdir.

$$\Delta \Omega = \frac{q_n + q_k}{2} \Delta t \quad (3)$$

Kənar boşluq həcmi yeni qiyməti $\Omega'_q = \Omega_n + \Delta \Omega$

Hesabatı yuxarıda göstəriləyi qaydada o vaxta kimi təkrarlayırıq ki, qəbul olunmuş Ω_q -in və alınan Ω'_q -n qiymətləri bərabər olmasın və ya buraxıla bilən hesabat dəqiqlikdən fərqlənsin. Sonra Δt -in və Ω_q -in aşağıdakı qiymətləri ilə işləyir və hesabatı eyni qaydada \bar{p}_q və Ω_q -in başlanğıc Ω_n və p_n alınmış qiymətlərini qəbul edirik.

İşləyən quyulardan mayeni qazla su tələsindən (lovuşkadan) sıxışdırmaqla basma konturlarındakı müxtəlif sərhəd şərtlərinə yeraltı anbarlar yaratmaq olar [1,4]. Ümumi halda $q_q = q_q(t)$.

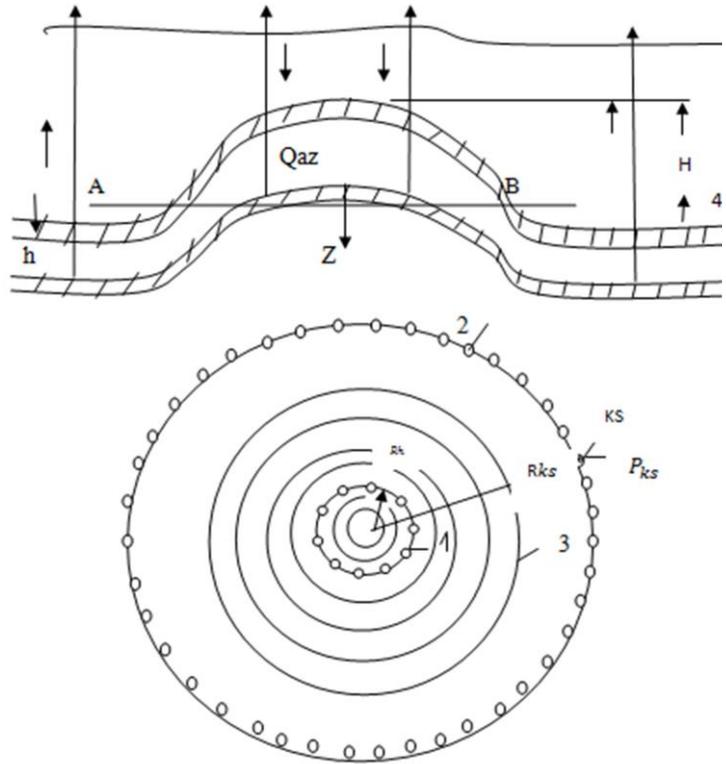
Bu hal onu göstərir ki, su tələsində vurulan qazın sərfi anbarın yaradılması işində məlumdur. Axma konturunda sərhəd şərtləri $p_{k.s.} = \text{const}$. Axma konturunda sabit təzyiğin olması debitin müqayisəli kiçik dəyişməsində qazla sıxışdırılan su, boşaltma quyusunun ağzından sərbəst axması ilə nəticələnir.

Aşağıdakı məsələdə yatağın sutəzyiqli sistemində mayenin işləyən quyularından sıxışdırılması ilə qaz anbarları yaradılır və bu halda vurulan qazın sərfi məlum olur. Anbarın yaranmasını hesablamaq tələb olunur. Bu zaman aşağıdakı hesabatı aparaq. Yataq sutəzyiqli sisteminin sxemi şəkil 1-də verilmişdir. Hesabat üçün aşağıdakı verilənləri qəbul edirik. Yatağın məsaməliliyi 0,2 m, keçiricilik əmsalı 1,5 darsi, suyun özlülüyünün dinamik əmsalı, μ_{su} , santipuaz 1, yatağın gücü 20 m, axma konturunda təzyiç $R_{a.k.}$, 6 MPa, qidalanma sahəsi konturunda təzyiç $P_{q.k.}$, 6 MPa, axma konturunun radiusu, $R_{a.k.}$, 3000 m, suyun xüsusi çəkisi γ_{su} , 1000 Q/m³, su tələsinin hündürlüyü 55m, boşalan quyunun radiusu, R_s , 0,1 m, sabit qəbul edilən su çəkilməsinin orta radiusu, $R_0 = R_b$, 500m, vurulan qazın sabit sərfi q_q , 10⁶ m³/gün, qidalanma sahəsi konturunun radiusu R_k , 19,47 km, işlək quyuların sayı, 40, basqı quyuların sayı, 20.

A_0 -ın qiymətini hesablayaq.

$$q_k = \Delta P \cdot A_0$$

$$A_0 \text{ [2]} = \frac{2\pi k h n'}{\mu_{su} \ln \frac{R_{k.c.}^{2n'} - R_b^{2n'}}{n' R_{k.c.}^{n'} R_b^{n'-1} R_c}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 2000 \cdot 40 \cdot 0,864 \cdot 10}{2,3 \cdot 33,5 \cdot 10} = 845 \text{ m}^3/\text{gün at.}$$



Şəkil 1. Yatağın sutəzyiqli sisteminin sxemi
1 - basma quyuları; 2 - işlək quyular; 3 - izogipslər; 4 - yatağın keçirməyən örtüyü; KC - axma konturu; KH - basma konturu; R_b - basma quyularının batareyalarının radiusu ($R_b = R_0$); H - su tələsinin (lovuşkanın) hündürlüyü; h - su yatağının hündürlüyü; AB - qaz-su şərtin ən aşağı mümkün səviyyəsinin vəziyyətidir.

Yuxarıda göstərilən qaydada hesablamaların nəticələri cədvəl 1-də verilmişdir.

Cədvəl 1

İşləyən quyulardan suyun sıxışdırılması ilə yaradılan qaz anbarlarını xarakterizə edən əsas verilənlər

$t_s-t_i=\Delta t$, günlər	Ω_q , $10^6 m^3$	\bar{p}_q , MPa	Z, m	Δp , at	A_0 , $m^3/gün$, at	q_k , 10^3 $m^3/gün$	$\Delta\Omega$, $10^6 m^3$	Ω'_q , $10^6 m^3$
60-0=60	0,84	7,15	5,35	16,56	845	13,900	0,84	0,84
120-60=60	1,675	7,165	7,45	16,41	845	13,60	0,834	1,674
180-120=60	2,507	7,18	9,05	16,39	845	13,830	0,831	2,505
240-180=60	3,336	7,192	10,5	16,37	845	13,820	0,830	3,335
300-240=60	4,16	7,202	11,7	16,35	845	13,810	0,828	4,163
360-300=60	4,99	7,212	12,9	16,33	845	13,800	0,827	4,99

Cədvəl 1-in verilənlərinə görə $\bar{p}_q = \bar{p}_q(t)$ və $Z=Z(t)$ asılılıqları qurulmuşdur (şək.2).

Hesabatdan göründüyü kimi, əgər anbarın yaranması işləyən quyular vasitəsilə mayenin sıxışdırılması hesabına əmələ gəlsə, onda sabit qaz vurmada anbarın yaranma tempi, demək olar ki, sabit olur ($\frac{d\Omega_q}{dt}$).

$$1 - \bar{p}_q = \bar{p}_q(t); \quad 2 - Z = Z(t)$$

Yuxarıda verilənlərə əsasən (cədvəl 1) qaz anbarının hesablanması (1) düsturu vasitəsilə aparmaq olar [5,6]

$$\Delta\bar{\Omega} = \Delta\tau \frac{\left[-1 + \alpha(1 - \bar{Z}_0) + \frac{\bar{Q}_{o+} \bar{Q}_1}{2\bar{\Omega}_0} \right]}{1 + \frac{1}{2}\Delta\tau \left(\frac{\alpha\beta 1}{\bar{F}_0} + \frac{\bar{Q}_1}{\bar{\Omega}_0^2} \right)} \quad (4)$$

Burada

$$\beta_1 = \frac{\Omega_k}{HF_k m}, \quad \Omega_k = \int_0^n FmdZ,$$

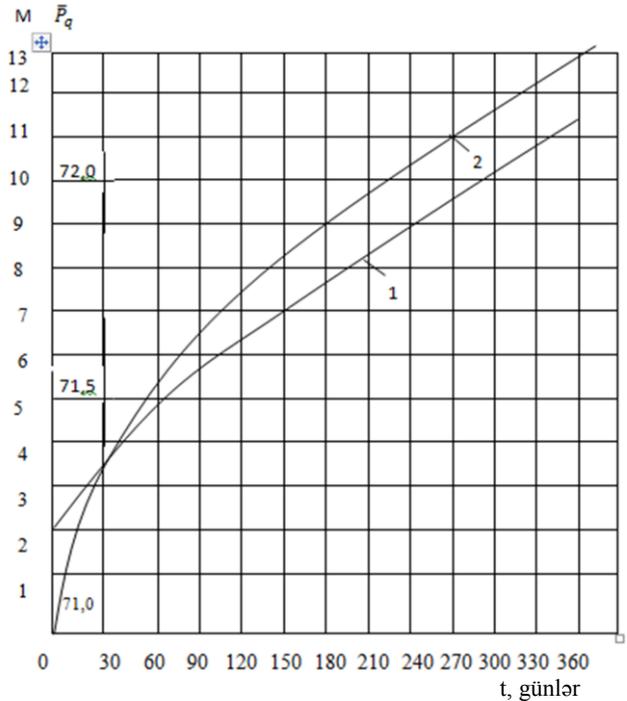
$$\Omega_q = \int_0^Z FmdZ, \quad \bar{\Omega} = \frac{\Omega_q}{\Omega_k}, \quad \bar{Z} = \frac{Z}{H}$$

$$\bar{F} = \frac{F}{F_k}, \quad \alpha = \frac{\gamma_{su} H}{p_{a.k.}}, \quad q_0 = \frac{2\pi k h p_{a.k.} n}{\mu_{su} \ln \frac{R_{a.k.}^{2n} - R_b^{2n}}{n R_{a.k.}^{n-1} R_b^{n-1} R_q}}$$

n – işləyən quyuların sayı, $\frac{\Omega_k}{q_0} = T$, $\tau = \frac{t}{T}$,

$Q = \int_0^t q_q p_{at} dt$, $Q = q_q p_{at} t$, qazın sabit vurulmasında ($q_q = const$).

(4) düsturu üzrə hesablamaları aparmaqdan ötrü ilkin verilənləri bundan əvvəlki



Şək.2. Asılılıq ayriləri

misalda $t = 60$ gün; $\Omega_n = 0,84 \cdot 10^6 m^3$; $p_n = 7,15$ MPa; $Z_n = 5,35$ m ; $F_m = 32 \cdot 10^4 m^2$;
 $\Omega_k = 56,5 \cdot 10^6 m^3$; $F_k = 6,16 \cdot 10^6 m^2$
 ilkin verilənlərə görə aparılmışdır.

Hesablamaları aparmaq üçün köməkçi cədvəl (2)-ni tərtib etmək lazımdır.

$$\alpha = \frac{1000 \cdot 55}{60 \cdot 10^4} = 0,092, \quad \beta_1 = \frac{56,5 \cdot 10^6}{55 \cdot 6,16 \cdot 10^6 \cdot 0,2} = 0,833$$

$$\bar{Z}_0 = \frac{5,35}{55} = 0,00975, \quad q_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 2000 \cdot 60 \cdot 40 \cdot 0,864 \cdot 10^5}{2,3 \cdot 33,5 \cdot 10^6} = 50700 m^3/gün$$

$$\bar{\Omega}_0 = \frac{0,84 \cdot 10^6}{56,5 \cdot 10^6} = 0,01487, \quad \bar{F}_0 = \frac{32 \cdot 10^4}{0,2 \cdot 6,16 \cdot 10^6} = 0,257, \quad T = \frac{56,5 \cdot 10^6}{5,07 \cdot 10^4} = 1113 \text{ gün}$$

Cədvəl 2

t, τ və \bar{Q} – nün qiymətləri

t, günlər	τ	\bar{Q}	t, günlər	τ	\bar{Q}
0	0	0,0177	180	0,1617	0,0708
60	0,0539	0,0354	240	0,2156	0,0885
120	0,1078	0,0531	300	0,2695	0,1062

$$\Delta \bar{\Omega}_1 = \frac{0,0539 \left[-1 + 0,092(1 - 0,0975) + \frac{0,0177 + 0,0354}{2 \cdot 0,01487} \right]}{1 + \frac{1}{2} 0,0539 \left(\frac{0,092 \cdot 0,833}{0,257} + \frac{0,0354}{(0,01487)^2} \right)} = 0,0088$$

$$\bar{\Omega}_1 = 0,01487 + 0,0088 = 0,02377$$

$$\bar{\Omega}_1 = 56,5 \cdot 10^6 \times 0,02377 = 1,34 \cdot 10^6 m^3$$

$$Z_1 = 6,7 \text{ m}, 40,0 \cdot 10^4 m^2$$

$$\bar{Z}_1 = \frac{6,7}{55} = 0,122, \quad \bar{F}_1 = \frac{40,0 \cdot 10^4}{0,2 \cdot 6,16 \cdot 10^6} = 0,322, \quad p_q = 8,95 \text{ MPa}$$

Sonrakı hesabatı Ω, Z və F_1 – in qiymətlərini ilkin qiymət kimi götürüb eyni qayda ilə apararaq. Hesablamaların nəticələri və ardıcıl yaxınlaşma üsulu ilə alınmış verilənlərlə müqayisəsi (cədvəl 1), cədvəl 3-də verilmişdir.

(1) düsturu ilə hesablanmış Ω və ona uyğun Z, F_m, p_q qiymətləri

t_k , günlər	Ω $10^6 m^3$	Z m	F_m $10^4 m^2$	\bar{p}_q , MPa	$\frac{(\Omega_q - \Omega) \cdot 100}{\Omega_q}, \%$	$\frac{(p_q - p) \cdot 100}{p_q}, \%$
0	0,84	5,35	32,0	7,15	0	0
60	1,34	6,70	40,0	8,95	20	24,9
120	2,15	8,45	50,0	8,37	14,3	16,6
180	3,07	10,0	60,0	7,82	8,0	8,74
240	3,99	11,5	69,0	7,52	4,08	4,83
300	4,87	12,7	76,0	7,4	2,4	2,61

Cədvəl 3-dən görünür ki, $\Delta\tau = 0,0539$ ardıcıl yaxınlaşma üsulu ilə qəbul olunmuş Ω və p_q -i alınmış qiymətlərində nisbi səhv hesabatın əvvəlində həddən artıq böyükdür və uyğun olaraq 20 və 24,9%-ə çatır. Sonradan bu qiymətlər azalır və $t=300$ gün olduqda uyğun olaraq 2,4 və 2,61% olur.

Hesabatın dəqiqliyini çoxaltmaq üçün $\Delta\tau$ -ni $\Delta\tau=1,01...0,005$ -dək qiymə-tini azaltmaq lazımdır ki, bu da öz növbəsində hesablama işlərinin həcmi-ni əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Lakin müasir hesablama texnikasında bütün əməliyyatları tez və $\Delta\tau$ -nin həddən az qiymətində aparmaq olar.

Basqı quyularının dibində təzyiq p_q -nin hesablanmış qiymətində qazın süzülməsində quyudan qaz-su konturuna-dək təzyiq itkisi qədər yuxarı olur.

Nəticə. Beləliklə, axma konturunda sabit təzyiqin olması debitin müqayisəli kiçik qiymətində qazla sıxışdırılan su, işləyən quyunun ağzından sərbəst axması ilə nəticələnir və anbarın yaranması işləyən quyular vasitəsilə mayenin sıxışdırılması hesabına baş verir.

REFERENCES

1. İsmayilov F.S., Abbasov E.M., Qədirov Z.S. Qaradağ yeraltı qaz anbarına qazvurma prosesinin başlanğıc mərhələsində quyuların iş rejiminin təyini // Azərbaycan neft təsərrüfatı, 2018, №12, s.14-17.
2. Cəfərov R.R., Hacıyev S.S., Hüseynova S.M. Qaradağ yeraltı qaz anbarının genişləndirilməsi ilə əlaqədar kollektorların məsəmə həcmi-nin təyini // Azərbaycan neft təsərrüfatı, 2013, №6, s.10-15
3. Rəsulov A.M. Təbii qazların yığılması, nəqlə hazırlanması və istifadəsi. – Bakı, 2008, s.379-39.
4. Əliyeva O.A. Qazsaxlama anbarlarının təsnifatı // Azərbaycan Mühəndislik akademiyasının xəbərləri, cild 8, №3, 2016, s.94 -97.
5. Асланов В.Д. Геологические основы создания подземных хранилищ газа в связи с решением проблемы газоснабжения. - Баку, 2001, с. 97-100.
6. Əliyeva O.A. Qaz-neftmədən yatağının tükənmiş qaz papaqlarında lokal tipli YQA yaradılmasının xüsusiyyətləri // Azərbaycan Mühəndislik akademiyasının xəbərləri, cild 10, №4, 2018, s.44-47.
7. Mustafayev S.D., Əliyeva O.A., Əliyev Ə.S. Su tələsinə yığılan daban suyunun hərəkətinin yeraltı qaz anbarlarının iş rejiminə təsiri // «Azərbaycan Neft Təsərrüfatı» jurnalı, №8, 2019, s. 19-21.
8. Əliyeva O.A. Yeraltı qaz anbarında təbii qazın quyuya yarım sferik-radial axınla stasionar rejimdə süzülməsi // Eko energetika-texniki jurnal №3, 2019, s.110-113.

ВЫТЕСНЕНИЕ ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТЬ НАГНЕТАНИЕМ ГАЗА В КУПОЛ ВОДОНАПОРНОЙ СИСТЕМЫ

О.А. АЛИЕВА, А.С. АЛИЕВ

В статье рассмотрена проблема вытеснения воды на поверхность способом нагнетания газа в купол водонапорной системы. Когда залежь полностью заполнена жидкостью, требуется создание подземных газовых хранилищ на центральной верхней части водонапорной системы. Для этой цели необходимо вытеснение воды из пробуренных разгруженных скважин под давлением. При решении этой проблемы используется метод последовательного приближения. Создание хранилища происходит за счет вытеснения жидкости с помощью действующих скважин.

Известны жидкости и газы, которые обогащают водонапорную систему, систему и параметры месторождения. Границами последнего являются контуры и поток. В зависимости от времени необходимо определить давление в хранилище, объем пустоты на границе хранилища, силу газа и изменения количества нагнетённого газа.

В рассматриваемых условиях в зонах ограничивающихся контурами нагнетания и потоки движение воды можно принять как радиальное. Так как отмеченная зона не является большой, то эластичность воды и пористость окружающей среды не принимается во внимание и интересующая нас проблема может рассматриваться как фильтрация несжимаемой жидкости в недеформированном месторождении. В результате постоянного давления в контуре потока происходит свободный поток воды, сжимаемый газом при маленьком изменении дебита.

Ключевые слова: *подземное газохранилище, купол, напор воды, контур потока, действующие скважины, нагнетательные скважины, потеря давления, газо-водный контур.*

GAS INJECTION INTO THE DOME OF WATER-PRESSURE UNIT TO DISPLACE OF WATER

O.A. ALIYEVA, A.S. ALIYEV

The paper examines the displacement of water to the surface by injecting gas into the dome of water-pressure unit. The deposit has been filled with fluid. That's why, it is required to create underground gas storages in the central upper part of water-pressure system. It is necessary to displace the water under the pressure from the drilled and unloaded special wells.

Consequentivie approaching method is used for solving the task and formation of the storage takes place at the expense of displacement of fluid by operating wells. Liquids and gases enriching water pumping system, field system and, parameters are known. Contours and flows are the boundaries of the lastone. Depending on the time it is necessary to determine pressure in the storage, the volume of the cavity on the boundary of the storage, power of the occured gas change of the quantity of the injected gas.

In the considered condition the zones having the boundaries with injection and flow contours the water movement can be taken into account as radial. Az the mentioned zone is not big, then elasticity of water and porosity of the medium are not considered and the problem of interest can be noted as filtration of uncompressed luquid in the undeformed field. As a result of the constant pressure in the flow contour free water flow takes qlace by compressed gas in a small change of discharge.

Keywords: *underground gas storage, dome, water pressure, flow contour, operating wells, injection wells, pressure loss, gas-water contour.*

<i>Redaksiyaya daxil olub:</i>	<i>28.06. 2019</i>
<i>Tamamlama işlərindən sonra:</i>	<i>15.03.2020</i>
<i>Nəşrə qəbul edilib:</i>	<i>18.03.2020</i>

УДК. 620.193

БАКТЕРИЦИДНЫЕ СВОЙСТВА НОВЫХ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ СТАЛИ В ПРИСУТСТВИИ СУЛЬФАТРЕДУЦИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ

Г.Р. ГУРБАНОВ¹, М.Б. АДЫГЕЗАЛОВА²,
З.А. АБДУЛЛАЕВА², Н.А. АБДУЛЛАЕВА¹

Установлено, что при содержании ингибиторов ГАЗАН-1 и ГАЗАН-2 10 мг/л в минерализованной среде достигается скорость коррозии, близкая к 0.003 г/м²·ч, что соответствует величине порядка 0.05 мм/год, которая предлагается в качестве эталона, для характеристики достаточной эффективности ингибитора.

Оценено влияние ингибиторов ГАЗАН-1 и ГАЗАН-2 на численность бактериальных клеток и образование сероводорода в питательной среде Постгейта. Выявлено, что ингибиторы ГАЗАН-1 и ГАЗАН-2 оказывали бактерицидный эффект на сульфатредуцирующие бактерии. В зависимости от концентрации (максимально 10 мг/л) и природы ингибитора численность жизнеспособных бактериальных клеток снижалась на 90-100%, что коррелировало со снижением образования сероводорода на 90%.

Ключевые слова: бактерициды, ингибиторы серии «ГАЗАН», сероводород, численность сульфатредуцирующих бактерий (СРБ), коррозия.

Введение. В настоящее время основная масса нефти добывается с применением методов заводнения продуктивных пластов поверхностными и минерализованными сточными водами нефтепромыслов. Многолетний опыт добычи показывает, что на последней стадии эксплуатации крупнейших месторождений в продукции нефтяных скважин в значительных количествах появляется сероводород. Его наличие приводит к ухудшению качества нефти и газа, осложняет их переработку, создает трудности при эксплуатации месторождений. Пластовые воды, содержащие сероводород, опасны и в коррозионном отношении. От коррозионного разрушения подземного и надземного оборудования в разветвленной сети трубопроводов нарушается герметичность этих объектов. В результате этого происходят аварийные многотонные разливы углеводородов и их водных смесей в окружающую среду и ее необратимое загрязнение. Поэтому защита от коррозии всего металлического оборудования и трубопроводов – важная технико-экономическая и экологическая задача [1-5].

¹ Научно-исследовательский институт «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия»

² Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности
E-mail: mehpareadigozelova@yahoo.com

С другой стороны, образование H_2S в нефтяных пластах в большинстве случаев вызвано микробиологическими процессами. Особенно активны в этом отношении анаэробные микроорганизмы, условно объединяемые в группу сульфатредуцирующих / сульфатвосстанавливающих бактерий (СРБ), которые заносятся в продуктивные горизонты поверхностными водами.

Надежная защита от коррозии с участием биогенных факторов представляет собой сложную техническую задачу. Необходимо отметить, что микроорганизмы принимают участие в наиболее опасной разновидности коррозионных процессов, а именно, в местных коррозионных разрушениях: питтинге, язвенной коррозии под изоляционным покрытием, ручейковой коррозии, коррозионном растрескивании под напряжением и т.п. [6-10].

Для снижения коррозии в условиях биостимуляции на нефтепромыслах используют различные методы противокоррозионной защиты. На поздних стадиях разработки месторождений наиболее эффективными оказались ингибиторы коррозии, поскольку для их применения не требуется серьезная перестройка существующей системы и технологии добычи и транспортировки нефти. Их применение является одним из наиболее экономичных и надежных средств [11-13].

Одним из основных требований, предъявляемых к ингибиторам, является полифункциональность – они должны быть способны одновременно не только защищать от различных видов коррозионных поражений конструкционные металлические материалы, но и замедлять новодороживание металла в средах, а также обладать бактерицидными свойствами – подавлять жизнедеятельность СРБ и уменьшать, тем самым, количество сероводорода, попадающего в пластовые воды. Полифункциональность используемых ингибиторов позволяет существенно сократить номенклатуру замедлителей, повысить технологичность методов защиты от коррозии, тем самым решая сложные экологические проблемы.

Целью данной работы является исследование ингибирующего действия по отношению к углеродистой стали в сероводородной среде и бактерицидного действия по отношению к сульфатредуцирующим бактериям композиций серии «ГАЗАН».

Методика эксперимента. Коррозионные испытания проводились гравиметрическим методом в высокоминерализованной среде, содержащей 50 мг/л NaCl и насыщенной сероводородом (10-200 мг/л), моделирующей пластовые воды в условиях нефтедобычи. Сероводород получали непосредственно в фоновой среде путем введения эквивалентного количества сульфида натрия и соляной кислоты. Концентрацию сероводорода контролировали методом обратного йодометрического титрования [13]. В качестве ингибиторов коррозии исследовали ГАЗАН-1 и ГАЗАН-2.

Коррозионные испытания проводились на образцах стали Ст3 (таблица). Образцы стали Ст3 размером 30x20x1 мм зачищались наждачной бумагой различной дисперсности до блестящей поверхности. После этого образцы тщательно промывали в воде и ацетоне. После обезжиривания последующие операции с образцами проводили с помощью пинцета или фильтровальной бумаги.

Для активации поверхности образец погружался на одну минуту в раствор 15%-ной соляной кислоты, затем тщательно промывался проточной и дистиллированной водой, высушивался фильтровальной бумагой, упаковывался в нее, выдерживался в эксикаторе с влагопоглотителем в течение 24 часов и взвешивался на аналитических весах с погрешностью не более 0.0001 г [14].

Скорость коррозии рассчитывалась по формуле $W = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau}$, где Δm - разность масс образцов до и после экспозиции; S – площадь поверхности образцов; τ - время экспозиции.

Коэффициент торможения вычисляли как $\gamma = \frac{W_0}{W_{inh}}$, где W_0 - скорость коррозии образца в отсутствие ингибитора; W_{inh} – скорость коррозии образца в присутствии ингибитора ($г/м^2 \cdot час$).

Эффективность ингибитора (степень защиты) $\eta(\%) = (1 - \frac{1}{\gamma}) \cdot 100$.

Бактерицидные свойства ГАЗАН-1 и ГАЗАН-2 по отношению к сульфатредуцирующим бактериям изучали в питательной среде Постгейта «Б», содержащей г/л NH_4Cl -1.0; K_2HPO_4 -0.5; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ -2.0; $CaSO_4$ -1; лактат Ca-2.6; Na_2S -0.2; $FeSO_4$ (5%-ный раствор в 1%-ный HCl) - 0.5; Na_2CO_3 -2.0. В качестве СРБ использованы сульфатредуцирующие бактерии рода *Desulfomicrobium*.

Продолжительность экспериментов составляла 168 часов. Бактерии инкубировали при температуре 32⁰С в присутствии и в отсутствие ингибиторов и ежедневно определяли численность микроорганизмом и концентрацию биогенного сероводорода в культуральной среде.

Количество клеток в 1 мл исходной суспензии вычисляли по формуле $M = \frac{a \cdot 1000}{h \cdot S} \cdot n$, где M - число клеток в 1 мл суспензии; a – среднее число клеток в квадрате сетки; h - глубина камеры в мм; S - площадь квадрата сетки в мм²; N – разведение исходной суспензии.

Коэффициент подавления числа клеток СРБ исследованными композициями рассчитывали из соотношения $N = \frac{n_0 \cdot n_{ina}}{n_0} \cdot 100\%$, где n_0 и n_{ina} - численность микроорганизмов в отсутствие и в присутствии ингибиторов при прочих постоянных условиях.

Эффективность действия ингибиторов ГАЗАН-1 и ГАЗАН-2 определяли из величины степени подавления ими жизнедеятельности микроорганизмов: $S = \frac{C_0 \cdot C_i}{C_0} \cdot 100\%$, где C_0 и C_i - концентрация биогенного сероводорода в отсутствие и в присутствии ингибиторов.

Точный химический состав ингибиторов не раскрывается производителями, поэтому при проведении эксперимента ограничились только условным названием. ГАЗАН-1 и ГАЗАН-2 – это химические вещества, в молекулярной состав которых входит атомы углерода, водорода, кислорода, галогена и т.д. В молекуле ГАЗАН-1 и ГАЗАН-2 имеется тройная ковалентная связь.

Результаты и их обсуждение. В таблице приведены полученные в результате лабораторных испытаний данные по скорости коррозии стали Ст3 и защитному эффекту (Z) ингибиторов ГАЗАН-1 и ГАЗАН-2 в зависимости от концентрации в растворе с 50г/л NaCl. Как видно из таблицы, защитный эффект Z возрастает с увеличением концентрации ГАЗАН-1 и ГАЗАН-2 в растворе, и уже при содержании ингибиторов 10 мг/л достигается скорость коррозии, близкая к 0.03 г/м²·ч, что соответствует величине порядка 0.05 мм/год, эта вели-

чина предлагается в качестве эталона для характеристики достаточной эффективности ингибитора [15].

Таблица

Скорость коррозии стали Ст3 в высокоминерализованной среде, содержащей сероводород в присутствии ингибиторов ГАЗАН-1 и ГАЗАН-2

№	Название ингибитора	Концентрация ингибитора, мг/л	Скорость коррозии, г/м ² ·час	Коэффициент торможения, γ	Защитный эффект, Z, %	Стационарная потенция φ, мВ
1	Без ингибитора	-	3.2	-	5	460
2	ГАЗАН-1	5.0	0.7	4.57	78.1	440
	ГАЗАН-2		0.25	12.8	92.2	
3	ГАЗАН-1	10	0.08	40	97.5	430
	ГАЗАН-2		0.03	100	99.0	420

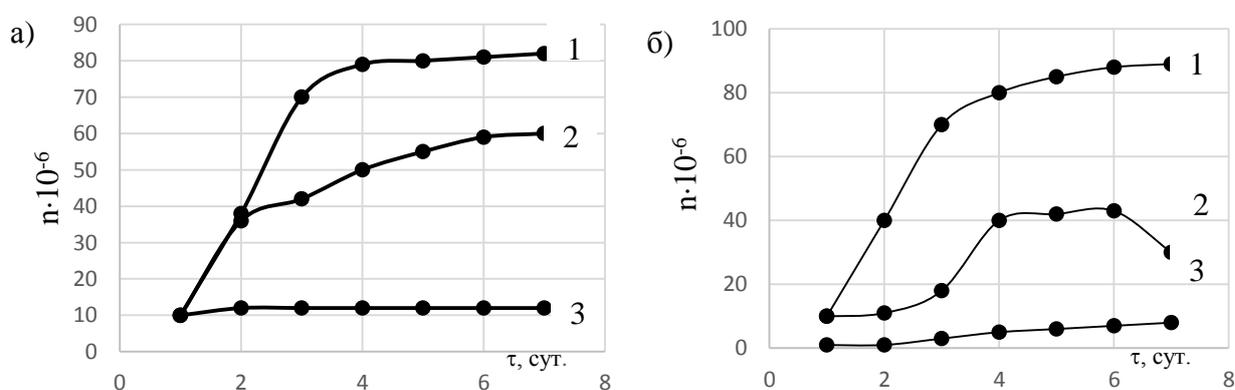


Рис 1. Численность клеток СРБ ($n \cdot 10^{-6}$) в питательной среде Постгейта в отсутствие (1) и в присутствии композиций ГАЗАН-1 (а) и ГАЗАН-2 (б) в концентрации 5 мг/л (2) и 10 мг/л (3)

В отсутствие ингибиторов наблюдается активный рост СРБ в среде Постгейта, выражающийся в увеличении численности бактерий и переходе в экспоненциальную фазу роста уже на первые сутки (рисунок 1, кривая 1).

Введение в среду Постгейта ингибитора ГАЗАН-1 в концентрации 5 мг/л в первые сутки приводило в стимуляции роста бактерий, на третьи сутки наблюдался максимум подавления численности сульфатредуцирующих бактерий, что отражает систематически нисходящий участок в координатах N, τ , на рисунке 2а (кривая 1). Увеличение концентрации ГАЗАН-1 до 10 мг/л сопровождается подавлением жизнедеятельности СРБ, утратой способности к делению, хотя клетки сохраняют жизнеспособность. Величина коэффициента подавления численности бактериальных клеток $N[N=f(\tau)]$ возрастает до 80-90% и не меняется на протяжении всего эксперимента (рисунок 2а, кривая 2).

В случае введения ингибитора ГАЗАН-2 в концентрации 5 мг/л наблюдается задержка роста сульфатредуцирующих бактерий, но способность клеток к делению сохраняется (рисунок 1б, кривая 2). Функция в координатах N, τ носит более сложный характер, чем при неиспользовании ГАЗАН-1, судя по виду, указанной концентрации ингибитора недостаточно для стойкого подавления роста бактерий (рисунок 1б и 2б).

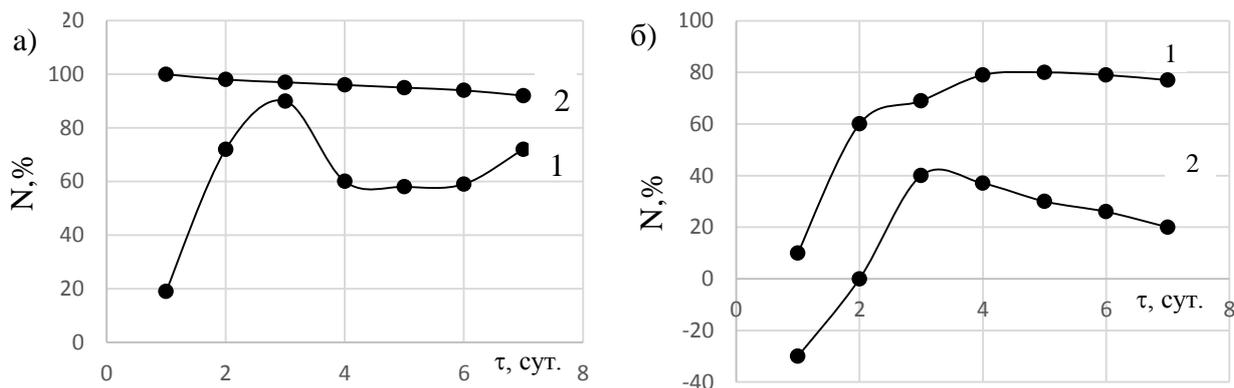


Рис. 2. Величина коэффициента подавления численности N (%) бактериальных клеток в питательной среде Постгейта при внесении ГАЗАН-1 (а) и ГАЗАН-2 (б) в концентрации 5 мг/л (1) и 10 мг/л (2).

Повышение концентрации ГАЗАН-2 до 10 мг/л приводит к подавлению роста бактерий, возрастанию коэффициента подавления N численности бактериальных клеток почти до 100% (на вторые сутки), хотя жизнеспособные клетки при этом сохранялись, что свидетельствует о бактерицидном характере используемых ингибиторов (рисунок 2б, кривая 2).

H_2S является основным продуктом жизнедеятельности СРБ и обуславливает их участие в процессах коррозии. Изменение скорости накопления биогенного H_2S в среде может быть следствием снижения численности бактериальных клеток либо снижением их функциональной активности и способности продуцировать сероводород.

Полученные результаты определения образования H_2S накопительной культурой сульфатредуцирующих бактерий в среде Постгейта в отсутствие и в присутствии ингибиторов ГАЗАН-1 и ГАЗАН-2 приведены на рисунке 3 а, б. Внесение в течение двух суток в среду исследуемых ингибиторов практически не влияет на образование H_2S , однако затем наблюдается снижение прироста H_2S в среде по сравнению с контролем без ингибитора, которое было максимальным в присутствии ГАЗАН-1 и ГАЗАН-2, внесенных в концентрации 10 мг/л.

Полученные нами результаты (рисунки 2 и 3) дают основание полагать, что оба ингибитора подавляют как деление клеток сульфатредуцирующих бактерий, так и образование ими H_2S .

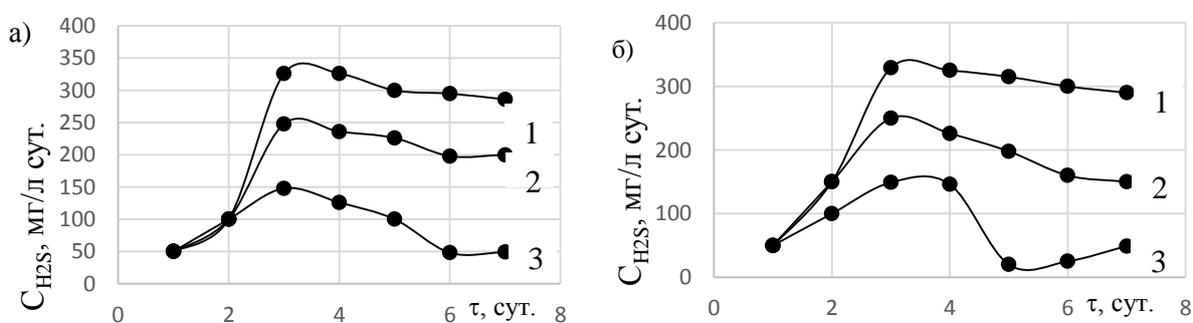


Рис. 3. Образование сероводорода питательной культурой СРБ в питательной среде Постгейта в отсутствие (1) и в присутствии композиций ГАЗАН-1 (а) и ГАЗАН-2 (б) в концентрации 5 мг/л (2) и 10 мг/л (3)

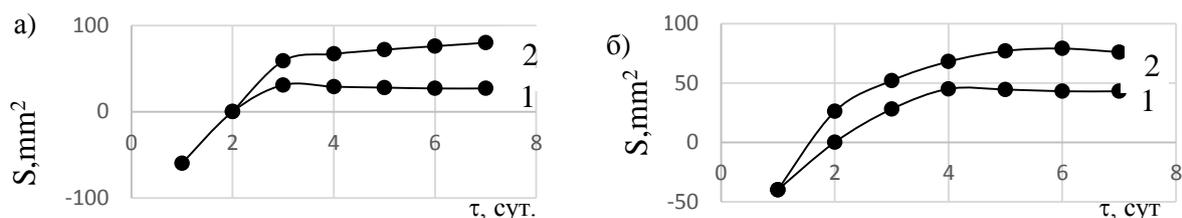


Рис. 4. Степень подавления жизнедеятельности бактерий в среде в присутствии композиций ГАЗАН-1 (а) и ГАЗАН-2 (б) в концентрации 10 мг/л (1) и 10 мг/л (2)

Результаты степени подавления жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий ингибиторами по снижению накопления сероводорода нашли отражение на рисунке 4. Как видно из рисунка, уже на третьи сутки после внесения ингибиторов увеличивается количество СРБ (S, %), которое повышается с возрастанием концентрации ингибиторов с 5 мг/л до 10 мг/л среды Постгейта, достигая максимального значения порядка 90% в присутствии ГАЗАН-2.

Заключение. Ингибиторы ГАЗАН-1 и ГАЗАН-2 в концентрации 5 мг/л замедляют коррозию углеродистой стали лишь при содержании H_2S в растворе не менее 200 мг/л. Увеличение их концентрации до 10 мг/л снижает концентрацию H_2S , при которой наблюдается торможение коррозии. Установлено что, ингибиторы ГАЗАН-1 и ГАЗАН-2 обладают бактерицидным действием по отношению к накопительной культуре, содержащей сульфатредуцирующие бактерии рода *Desulfomicrobium*.

Введение в среду Постгейта ингибиторов ГАЗАН-1 и ГАЗАН-2 в концентрации 10 мг/л приводит к подавлению роста численности клеток сульфатредуцирующей бактерии на 100% и к снижению H_2S на 90%.

REFERENCES

1. **Abdullin I.G., Davydov S.N., Hudjakov M.A.** Korroziya neftegazovogo neftepromyslovogo: uchebnoe posobie. – Ufa: Izd. UNI, 1990, 70 S.
Абдуллин И.Г., Давыдов С.Н., Худяков М.А. Коррозия нефтегазового нефтепромыслового: Учебное пособие. – Уфа: Изд. УНИ, 1990, 70 с.
2. **Inyushin N.V., Leffrid A.V., Valeev A.S., Rivkin P.R.** Korroziya vnutrenney poverhnosti neftesbornykh promyslovykh truboprovodov // Neftyanoe hozyajstvo, 2002, №3. S.85-86.
Инюшин Н.В., Лейфрид А.В., Валеев А.С., Ривкин П.Р. Коррозия внутренней поверхности нефтесборных промышленных трубопроводов // Нефтяное хозяйство, 2002, №3. С.85-86.
3. **Kuznecov J.I., Fralova L.N.** Ingibitory serovodorodnoy korrozii i navodorozhivaniya stalej // Korroziya: materialy, zashhita - 2004. №8. S.11-16.
Кузнецов Ю.И., Фралова Л.Н. Ингибиторы сероводородной коррозии и наводороживания сталей // Коррозия: материалы, защита - 2004. №8. С.11-16.
4. **Efreman A.P., Kim S.K.** Ingibitornaya zashhita neftepromyslovogo oborudovaniya ot korrozii v sredah, sodержashhih serovodorod i sulfatvosstanavliyayushhie bakterii // Korroziya: materialy, zashhita. - 2005. №10. S.14-18.
Эфреман А.П., Ким С.К. Ингибиторная защита нефтепромыслового оборудования от коррозии в средах, содержащих сероводород и сульфатвосстанавливающие бактерии // Коррозия: материалы, защита. - 2005. №10. С.14-18.
5. **Syganova L.E., Kim J.R., Kichigin V.I., Vigdorovich V.I.** Issledovanie ingibirovaniya korrozii i proniknovenie vodoroda v stal v imitatah plastovykh vod // Praktika protivokorroziionnoy zashhity - 2005. №4 (38). S.29-38.
Цыганова Л.Е., Ким Я.Р., Кичигин В.И., Вигдорович В.И. Исследование ингибирования коррозии и проникновение водорода в сталь в имитатах пластовых вод // Практика противокоррозионной защиты - 2005. №4 (38). С.29-38.
6. **Javadov N.G., Sadikhov A.H., Astanova E.R., Mekhtiev A.M.** Corrosion and coating destruction factors of the exploited oil-field pumps // Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2014, V.6, №3, p37
7. **Beloglazov S. M., Mjamina A.A.** Korroziya stalej v vodno-solevykh sredah, sodержashhih sulfatreduciruyushhie bakterii // Praktika protivokorroziionnoy zashhity. 1999. №2 (12). S. 38-43.
Белоглазов С. М., Мямина А.А. Коррозия сталей в водно-солевых средах, содержащих сульфатредуцирующие бактерии // Практика противокоррозионной защиты. 1999. №2 (12). С. 38-43.
8. **Andreyuk E.I., Bilaj V.I., Koval Je.Z., Kozlova I.A.** Mikrobnaya korroziya i ee vzbuditeli. Kiev: Naukova dumka. 1980. 287 s.

- Андреюк Е.И., Билай В.И., Коваль Э.З., Козлова И.А. Микробная коррозия и ее возбудители. Киев: Наукова думка. 1980. 287 с.
9. Zaverhensij A.N., Vigdorovich V.I. О о-дигидроксиазосоединения как возможные бициды ингибиторы коррозии стали Ст3 в присутствии D Desulfuricans // Практика противокоррозионной защиты. 2001. №2 (20). С.16-22.
Завершенсий А.Н., Вигдорович В.И. О о-дигидроксиазосоединения как возможные бициды ингибиторы коррозии стали Ст3 в присутствии D Desulfuricans // Практика противокоррозионной защиты. 2001. №2 (20). С.16-22.
 10. Rozanova S.P., Dubinina G.A. Биокоррозия как основной фактор внутренних повреждений трубопроводов теплотсетей и проблема борьбы с ней. В сб. «Москва и наука». М.: комитет по телеком, и средствам масс инф. 1977. №27. С.27-33.
Розанова С.П., Дубинина Г.А. Биокоррозия как основной фактор внутренних повреждений трубопроводов теплотсетей и проблема борьбы с ней. В сб. «Москва и наука». М.: комитет по телеком, и средствам масс инф. 1977. №27. С.27-33.
 11. Kozlova I.A., Konteva Zh.P., Purish L.M. i dr. Mikrobnaaya korroziya i zashhita podzemnyh metallicheskih sooruzhenij. // Praktika protivokorroziionnoj zashhity. 1999. №3. С. 21-27.
Козлова И.А., Контева Ж.П., Пуриш Л.М. и др. Микробная коррозия и защита подземных металлических сооружений. // Практика противокоррозионной защиты. 1999. №3. С. 21-27.
 12. Nabutovskij Z.A., Antonov V.T., Filippov A.G. Problemy korrozii i ingibitornoj zashhity na mestorozhdenijah gaza. // Praktika protivokorroziionnoj zashhity. 2000. №3(17). С. 53-59.
Набутовский З.А., Антонов В.Т., Филиппов А.Г. Проблемы коррозии и ингибиторной защиты на месторождениях газа. // Практика противокоррозионной защиты. 2000. №3(17). С. 53-59.
 13. Loginov N.J. Analiticheskaya himiya. - М.: Prosveshhenie. 1975. - 487 s.
Логинов Н.Я. Аналитическая химия. - М.: Просвещение. 1975. - 487 с.
 14. Rozanova E.P., Nazina T.N., Galushko A.S. Isolation of a new genus of sulfate – reducing bacteria and description of a new species of this genus, Desulfomicrobium apsheronum gen. nov. sp nov.// Microbiology (English translation). 1988. V57. P.514-520.
 15. Postgate J.R. The sulphate reducing bacteria/ Postgate J.R. – 2nd.ed. Cambridge: Cambridge University Press. 1984/ -9/1208.
-

SULFATREDUKSIYAEDICI BAKTERİYALARIN İŞTİRAKI İLƏ POLADIN KORROZİYASI ÜÇÜN YENİ BAKTERİSİD XASSƏLİ İNHİBİTORLAR

Q.R. QURBANOV, M.B. ADIGÖZƏLOVA, Z.A. ABDULLAEVA, N.A. ABDULLAYEVA

Müəyyən olunmuşdur ki, mineralaşdırılmış mühitdə QAZAN-1 və QAZAN-2 inhibitorlarının qatılığı 10 mq/l olduğu zaman, korroziyanın sürəti $0.003 \text{ g} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$ yaxınlaşır ki, bu da inhibitorun effektivliyini xarakterizə etmək üçün etalon kimi təklif olunmuş $0,05 \text{ mm} / \text{il}$ dəyərinə ölçü vahidinə uyğun gəlir.

QAZAN-1 və QAZAN-2 reagentin bakterisid xassəli olmasını müəyyənləşdirmək üçün laboratoriya şəraitində Pasqeyt-B mühitində növbəli durulaşdırma metodu ilə SRB-in məhv edilməsi tədqiq edilmişdir. Reagent 10 mq/l qatılıqda 90-100%-li mühafizə effekti göstərilmiş və SRB-in həyat fəaliyyətini dayandırmış və bu zaman hidrogen sulfidin əmələ gəlməsi 90% azalmışdır.

Açar sözlər: bakteriyalar, QAZAN seriyalı inhibitorlar, hidrogen sulfid, sulfatreduksiyaedici bakteriyaların miqdarı, korroziya.

BACTERICIDAL PROPERTIES OF NEW CORROSION INHIBITORS OF STEEL IN PRESENCE OF SULFATOREDUCING BACTERIA

G.R. GURBANOV, M.B. ADIGEZALOVA, Z.A. ABDULLAEVA, N.A. ABDULLAEVA

It is established that at the content of GAZAN-1 and GAZAN-2 inhibitors of 10 mg/l in the mineralized environment the speed of corrosion, close $0.003 \text{ g} / \text{m}^2 \cdot \text{t}$ is reached, which corresponds to the value of about 0.05 mm/year used as a standard to describe the sufficient efficiency of inhibitor.

The influence of inhibitors GAZAN-1 and GAZAN-2 on the number of bacterial cells and formation of hydrogen sulfide was evaluated in the Postgate nutrient medium. It was revealed that the inhibitors of GAZAN-1 and GAZAN-2 had a bactericidal effect on the sulfate-reducing bacteria. Depending on the concentration (max. 10 mg / l) and the nature of the inhibitor, the number of viable bacterial cells decreased by 90-100%, which correlated with a decrease in the formation of hydrogen sulfide by 90%.

Keywords: bactericides, inhibitors of the range "GAZAN", hydrogen sulfide, number of sulfate-reducing bacteria, corrosion.

Поступило в редакцию: 19.07.2019

После доработки: 11.03.2020

Принято к публикации: 15.03.2020

UOT 656.223

DƏMİRYOL STANSİYALARININ İSTİSMAR ETİBARLIĞININ QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ ÜSULU

E.K. MANAFOV¹

Məqalə dəmiryol stansiyalarında istismar etibarlığının qiymətləndirilməsi üsullarına həsr edilmişdir. Müxtəlif mənbələrdə qeyd edilmiş “fiziki etibarlıq” və “texnoloji etibarlıq” anlayışlarının təsvir formaları araşdırılmış, dəmiryol stansiyaları üçün etibarlıq xarakteristikasına baxılmışdır. Qeyd edilmişdir ki, dəmiryol stansiyası kimi mürəkkəb sistemin fəaliyyətinin etibarlığına əsasən texniki elementlərin (dəmir yolu; avtomatika, telemexanika və rəbitə qurğuları; elektrik təchizatı qurğuları; lokomotivlər; vaqonlar; yolların uzunluğu və sayı və s.) etibarlığı və təşkilati-texnoloji (yolların yaxud parkların vəziyyəti, emalın yaxud çeşidləmənin müddəti, lokomotiv yaxud lokomotiv briqadasının sayı və s.) amillərin etibarlığı təsir göstərir. Dəmiryol stansiyalarında baş verə biləcək imtinaların ümumi təsnifatı verilmişdir. Stansiyalarının fəaliyyətinin qiymətləndirilməsi üçün ayrı-ayrı altsistemlərdən ibarət hissələrə bölünməsi və hər bir altsistem üçün texnoloji imtinaların sistemləşdirilməsi təhlil edilmişdir. Nəticə olaraq qeyd edilmişdir ki, dəmiryol stansiyasının mürəkkəbliyi və onun funksional əlaqələrinin çoxşaxəli olması etibarlığın ədədi təyin edilməsi zamanı böyük çətinliklər yaradır. Bunun üçün stansiya altsistemlərinin qarşılıqlı əlaqəsini nəzərə alan statistik qiymətləndirmə metodları ilə birgə stansiya proseslərinin modelləşdirilməsi metodlarından istifadə etmək daha məqsəduyğundur.

Açar sözlər: dəmiryol stansiyası, istismar etibarlığı, texniki və texnoloji imtinalar, qiymətləndirmə, imitasiya modelləşdirməsi.

Giriş. İstənilən texniki sahədə maliyyələşdirmə çətinlikləri yarandıqda müxtəlif texniki qurğu və sistemlərin etibarlığının yüksəldilməsi məsələlərinin aktuallığı artır. Etibarlıq istənilən texniki qurğu, yaxud sistemin vacib texniki-iqtisadi keyfiyyət göstəricisidir. Texniki vasitələrin etibarlığını yüksəltmədən layihələndirilən sistemlərin effektivliyinin və keyfiyyətinin artırılmasına nail olmaq çox çətindir. Digər tərəfdən texniki sistemlərin, avadanlıqların və onlara xidmət işlərinin mürəkkəbləşməsi, istismar şəraitinin və həll edilən məsələlərin məsuliyyətliliyinin sərtləşdirilməsi etibarlığın yüksəldilməsi tələblərinin əsas meyarlarıdır. Texniki sistemlərin etibarlığının kifayət qədər olmaması bu sistemlərin layihələndirilməsi, istehsalı və istismarına çəkilən ümumi xərclərlə müqayisədə istismar xərclərinin payının artması diqqəti cəlb edir. Bu zaman texniki sistemlərin istismar dəyəri onların layihələndirmə və istehsal dəyərindən dəfələrlə çox ola bilər. Bundan əlavə texniki sistemlərin imtinası informasiya itkiləri, bu sistemlərlə birbaşa əlaqəli olan digər sistemlərin səmərəsiz dayanması, qəza və texnoloji dayanmalar kimi müxtəlif növ nəticələrə səbəb ola bilər. Hazırda istismar etibarlığının rolunun yüksəldilmə səbəblərindən biri də iqtisadi amildir. Bununla

¹ Milli Aviasiya Akademiyası
E-mail: elshan_manafov@mail.ru

əlaqədar istismar proseslərinin idarəetmə sistemlərində maşın və icra mexanizmlərinin, qurğuların geniş istifadəsi zamanı istismar səviyyəsi əsasən bu maşın və mexanizmlərin, qurğuların etibarlı fəaliyyətindən asılı olur. Mürəkkəblik dərəcəsindən asılı olaraq istənilən tip sistemlərdə, o cümlədən dəmiryol stansiyaları kimi böyük sistemlərdə etibarlılıq məsələlərinin araşdırılması aktual məsələlərdəndir.

İşin məqsədi. Dəmiryol stansiyalarının istismar etibarlığının xüsusiyyətlərini araşdırmaq və onun qiymətləndirilməsi üçün imitasiya modelinin qurulmasını əsaslandırmaqdır.

Məsələnin qoyuluşu. Etibarlıq – texniki obyektin (cihazın, qurğunun, avadanlığın, sistemin) kompleks xüsusiyyətidir və əsas xüsusiyyətlərini (müəyyən istismar şəraitlərində) təyin edilmiş hədlərdə saxlamaqla verilmiş müddət ərzində nəzərdə tutulmuş funksiyaları yerinə yetirmə qabiliyyətindən ibarətdir. Etibarlıq imtinasızlıq, uzunömürlülük, təmirəyararlılıq və saxlama xüsusiyyətlərilə xarakterizə olunur. Texniki sahələrdə obyektin imtinaya qədər işləmə müddəti ilə ölçülür, iqtisadiyyatda iqtisadi yaxud maliyyə subyektinin (məsələn, bankın) davamlılığını əks etdirir və s.

Uzun illər ərzində bir çox sənaye müəssisələrində məhsulun etibarlıq səviyyəsinin təmini üçün hesablamalar və sınaqlar aparılır, normativ tənzimləyici sənədlər tərtib edilirdi. Keçən əsrin 60-70-ci illərində riyazi etibarlıqla yanaşı “fiziki etibarlıq” və “texnoloji etibarlıq” anlayışları yarandı. Bu istehsal texnologiyasının buraxılan məmulatın etibarlığına təsiri ilə əlaqədardır. İndiyədək etibarlıq problemlərilə məşğul olan bir çox alimlər “fiziki etibarlıq” və “texnoloji etibarlıq” anlayışlarına fərqli izahatlar vermişdir. [1]-də texnoloji və fiziki etibarlığa daha dolğun aydınlıq gətirilmişdir. “Texnoloji etibarlıq” – məmulatın istehsal prosesində yaranan, lakin məmulata, yaxud proseslərə nəzarət səviyyəsinin və istehsalat faktorlarının məmulatın istismar xüsusiyyətlərinə təsiri ilə əlaqədar lazımi məlumatların kifayət qədər olmaması səbəbindən aşkarlanmamış qüsurların mövcudluğu ilə təyin edilən ümumi etibarlığın bir hissəsidir. “Fiziki etibarlıq” – istismar zamanı imtinaların yaranmasına səbəb olan və dağıdıcı təsirə malik fiziki-kimyəvi-mexaniki proseslərin mövcudluğu və baş vermə sürəti ilə təyin edilən ümumi etibarlığın bir hissəsidir. Bu proseslərə yeyilmə, aşınma, yorğunluq prosesləri, çatılma və onun inkişafı və s. aiddir.

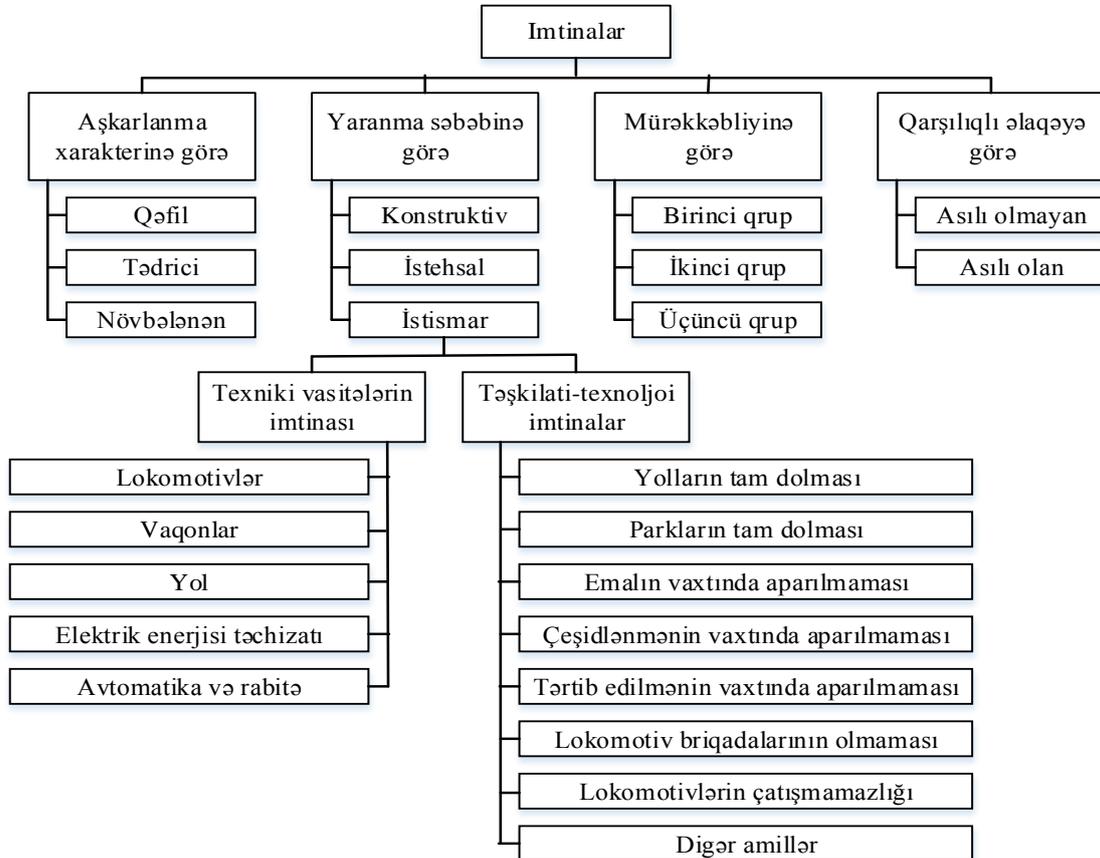
Dəmiryol stansiyalarındakı obyektlər üçün etibarlıq xüsusiyyətinin daha dolğun xarakteristikası P.S. Qruntov tərəfindən verilmişdir: Etibarlıq – obyektin (dəmiryol stansiyası, qovşağı, sahəsi və s.) öz funksiya və iş xarakteristikasını təyin edilmiş tapşırıq hədlərində və əvvəlcədən təyin edilmiş istismar şəraitlərində saxlama qabiliyyətidir [2]. Etibarlıq sistemin işinin imtinasızlığı və onun işləmə qabiliyyətindən ibarət olan mürəkkəb anlayışdır. Sistemin mürəkkəbliyi artdıqca onun istismar etibarlığına təsir edən amillərin sayı artır. Dəmiryol stansiyası kimi mürəkkəb sistemin etibarlığına aşağıdakı texniki elementlərin fəaliyyətinin etibarlığı təsir göstərir: yol; avtomatika, tele-mexanika və rabitə qurğuları; lokomotivlər; vaqonlar; yolların uzunluğu və sayı; buraxma qabiliyyəti; idarəetmə sisteminin yüklənmə dərəcəsi və insan amili kimi bir çox başqa amillər. Stansiyalarda qatar və tərkiblərin ləngiməsinə gətirib çıxaran iş fəaliyyətinin pozulma halı müvəqqəti imtinalara səbəb olur. Bu məsələ müxtəlif xidmətlərlə (qatarların və tərkiblərin çeşidlənməsi və tərtib edilməsi üzrə iş məhsuldarlığının kifayət qədər olmaması, onların stansiyadan vaxtında çıxarılmaması və s.) də əlaqədar ola bilər.

Ümumiyyətlə yaranma təbiətinə görə bütün istismar imtinalarını 2 hissəyə ayırmaq olar: texniki vasitələrin imtinası və təşkilati-texnoloji imtinalar. Təşkilati-texnoloji imtinalar texniki vasitələrin stansiyada bütün yolların və parkların tam dolmasına, yük qatarlarının vaxtında emal edilməməsi, dağıdılması və tərtib edilməməsinə, qatar lokomotivlərinin olmamasına və s. gətirib çıxara

ran qeyri-rasional proseslərlə bağlı olur. Dəmiryol stansiyalarında baş verən imtinaların təsnifatı şəklidə verilmişdir.

Çeşidləmə stansiyalarının fəaliyyətini ayrı-ayrı altsistemlərdən ibarət olan 5 zonaya bölmək olar: giriş sahələri və qəbuletmə parkı, çeşidləmə təpəsi, çeşidləmə parkı, tərtib etmə üçün dartqı yolları, göndərmə parkı və çıxış sahələri. Hər bir altsistem üçün texnoloji imtinalar sistemləşdirilmişdir [3]. Məsələn, giriş sahələri – qəbuletmə parkı – çeşidləmə təpəsi altsistemi üçün:

- qəbuletmə parkının bütün yollarının tərkiblərlə tutulu olması;
 - boğazcılarda manevrlik qabiliyyətinin kifayət qədər olmaması;
 - tərkiblərdə texniki və kommersiya cəhətdən nasaz vaqonların mövcudluğu;
 - qəbul edilən qatarların daşıma sənədlərində çatışmazlıq;
 - çeşidlənəcək tərkib üçün müəyyən səbəblərdən çeşidləmə vərəqinin hazır olmaması;
 - təpə lokomotivinin məşğul olması;
 - xüsusi təpədən buraxma şərti tələb edən vaqonların mövcudluğu;
- çeşidləmə vərəqinin tərtib edilməsi zamanı buraxılmış səhvlər.



Şək. Dəmiryol stansiyalarında baş verən imtinaların təsnifatı

E.V. Arxangelskiy qeyd edir ki, texniki vasitələrin imtinası stansiyaların ümumi gücündə sutkada orta hesabla 1%-dən artıq itki yaratmır. Ona görə də stansiyanın istismar etibarlığının təyini zamanı bu itkini nəzərə almamaq olar [4]. Gəlirə ikinci dərəcəli məsələ kimi baxılan dövrlərdə bu itkiləri nəzərə almamaq olardı. Lakin indiki bazar münasibətlərində çeşidləmə stansiyası üçün 1% itkinin yaranması dəmir yolları üçün böyük əlavə xərclər yaratdığından, bunu etmək məsləhət deyil. Bazar münasibətlərinə keçidlə əlaqədar stansiyanın istismar etibarlığının təyini zamanı isə texniki vasitələrin imtinasını nəzərə almaq vacibdir.

P.S.Qruntova görə “çeşidləmə stansiyasının etibarlığı” dedikdə iş texnologiyasından, idarəetmədən və yol inkişafından asılı olan qatarların verilmiş müddət ərzində qeyri-bərabər və imtinasız qəbulu, çeşidlənməsi, yığılması, tərtib edilməsi və göndərilməsi xüsusiyyəti başa düşülür. Ədədi olaraq bu xüsusiyyət müəyyən zaman ərzində imtinasız iş ehtimalı vasitəsilə ifadə edilə bilər. Bu ehtimalın qiyməti 3 ayrıca altsistemə görə əsaslandırılır: giriş sahələri – qəbuletmə parkı – çeşidləmə təpəsi, çeşidləmə təpəsi – çeşidləmə parkı – tərtib etmə üçün dartqı yolu, tərtib etmə üçün dartqı yolu – göndərmə parkı – çıxış sahələri [3].

Lakin bütövlükdə stansiya üçün istismar etibarlığının əsaslandırılmasına nail olunmamışdır. İmtinasız iş ehtimalının ədədi təyin edilməsi zamanı sistemin mürəkkəbliyi və onun funksional əlaqələrinin çoxşaxəli olması böyük çətinliklər yaradır. Ona görə də texniki və texnoloji imtinaların ədədi qiymətləndirilməsi üçün stansiya altsistemlərinin qarşılıqlı əlaqəsini nəzərə alan statistik qiymətləndirmə metodlarından və stansiya proseslərinin modelləşdirilməsi metodlarından istifadə etmək daha məqsədəuyğundur [4–6].

Məsələnin həlli. Qəbul edilmiş texnologiya, təsadüfi proseslərin və idarəetmənin təsiri zamanı axının və strukturun mürəkkəb qarşılıqlı əlaqəsinin nəticələrinin qiymətləndirilməsi yalnız korrekt qurulmuş modelin üzərində mümkündür.

Dəmiryol stansiyaları kimi mürəkkəb struktura malik nəqliyyat obyektləri ciddi formallaşmaya məruz qalmır və onların işinin parametrlərini riyazi ifadələrlə hesablamaq mümkün olmur. Bunun üçün layihələndirilən stansiyaların imitasiya modellərini qurmaq, bu modellərin üzərində tədqiqatlar aparmaqla onların işini araşdırmaq və alınan parametrlərin kompleks qiymətləndirilməsini həyata keçirmək lazımdır.

İmitasiya modelləşdirilməsinin əsas üstünlüyü ondan ibarətdir ki, burada ciddi formallaşmaya məruz qalmayan obyektlər təsvir edilə bilər. Məsələn, modeldə boğazcığın buraxma qabiliyyətini bütün hallara uyğun əks etdirmək olmur. O, boğazcıqdakı texnologiya və strukturun uyğunluğundan, yüklənmə dərəcəsindən, təsadüfi amillərdən, digər qurğularla qarşılıqlı əlaqədən asılıdır. Modeldə optimallaşdırma məsələsi ciddi formada həll olunmadığından, burada hissəvi-formallaşma biliklərindən, yəni təcrübə xarakterli biliklərdən istifadə edilə bilər.

İmitasiya modelləşdirilməsinin tətbiqini çətinləşdirən xüsusiyyətləri aşağıdakılardır:

- modelin qurulmasının böyük zəhmət tələb etməsi. Ehtiyac olan parametrləri verməklə bütün texnoloji prosesi ətraflı təsvir etmək, strukturun parametrlərini vermək, statistik məlumatlar toplamaq və parametrlərin təsadüfi səpələnməsini vermək tələbi;
- böyük sayda eksperimentlərin keçirilməsinə ehtiyacın olması. Parametrlərdə təsadüfi səpələnmənin mövcudluğu zamanı hər bir hesablamağa yalnız texnoloji prosesin təsadüfi realizə olunması kimi baxıla bilər. Eyni ilkin verilənlər və təsadüfi ədədlər silsiləsinin müxtəlif qiymətlərində hesablamanın dəfələrlə təkrarlanması və sonda nəticələrin orta qiymətinin çıxarılma tələbi;
- istifadəçilərin yüksək ixtisaslaşmış mütəxəssislərdən ibarət olması. Modelləşdirmə prosesində müəyyən bacarıqlar və yaradıcılıq qabiliyyətinin olması tələbi.

Hazırda bu mürəkkəbliklərin aradan qaldırılması üzrə aşağıdakı üsullar təklif edilir:

- modellərin qurulması üçün avtomatlaşdırılmış sistemlərin tərtibi və tətbiqi;
- imitasiya modellərində xüsusi optimallaşdırma metodlarının istifadəsi.

Nəticə. Beləliklə, “funksional etibarlılıq” və “istismar etibarlılığı” anlayışlarının izahını bir çox alimlər vermiş, lakin onların optimal xarakteristikalarının təyin edilməsinin çətin olduğunu vurğulamışlar. Belə ki, dəmiryol stansiyalarındakı obyektlər ciddi formallaşmaya məruz qalmayan mürəkkəb sistemlərdir. Bu məqsədlə təklif olunacaq imitasiya modelinin köməyiylə stansiyalardakı obyektlərin funksional etibarlığını qiymətləndirmək mümkün olacaqdır. Bu dəmiryol stansiyalarının etibarlı işləmə qabiliyyəti məsələsinin həlli üçün ən adekvat vasitədir.

REFERENCES

1. **Moiseev J.A., Chelyshev S.V.** Tehnologicheskaya nadezhnost' slozhnogo izdeliya i ee otrabotka. – M.: URSS, 2003. – 310 c.
Моисеев Ю.А., Чельшев С.В. Технологическая надежность сложного изделия и ее отработка. – М.: УРСС, 2003. – 310 с.
2. **Gruntov P.S.** Eksploatatsionnaya nadezhnost' stancii / P.S. Gruntov. – M., 1986. - 248 s.
Грунтов П.С. Эксплуатационная надежность станции / П.С. Грунтов. – М., 1986. - 248 с.
3. Upravlenie eksploatatsionnoj rabotoj i kachestvom perevozok na zheleznodorozhnom transporte: Uchebn. dlya vuzov zh.-d. transp. / P.S. Gruntov i dr. – M.: 1994. – 544 s.
Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте: Учебн. для вузов ж.-д. трансп. / П.С. Грунтов и др. – М.: 1994. – 544 с.
4. **Arhangel'skij E.V.** Zheleznodorozhnye stancii (ustrojstvo i organizaciya raboty): Uchebn. dlja tehn. shkoll zh.-d transp. / E.V. Arhangel'skij, Ju.E. Luk'janov. – M.: 1996. – 352 s.
Архангельский Е.В. Железнодорожные станции (устройство и организация работы): Учебн. для техн. школ ж.-д трансп. / Е.В. Архангельский, Ю.Е. Лукьянов. – М.: 1996. – 352 с.
5. **Kozachenko, D.N.** Matematicheskaja model' dlja ocenki tehniko-tehnologicheskix pokazatelej raboty zheleznodorozhnyx stancij / D.N. Kozachenko // Nauka ta progres transportu. – 2013. – Vip. 45. – С. 22-28.
Козаченко, Д.Н. Математическая модель для оценки технико-технологических показателей работы железнодорожных станций / Д.Н. Козаченко // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – Вип. 45. – С. 22-28.
6. **Qafarov A.M., Süleymanov P.H., Kəlbiyev F.M., Qafarov V.A.** Ekstremal vəziyyətlərdə işləyən maşın və avadanlıqların etibarlılığının və uzunömürlüliyünün tədqiqində riyazi metodların analizi // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri. Bakı, 2018, №4, s. 24-32

СПОСОБ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

Э.К. МАНАФОВ

Статья посвящена методам оценки эксплуатационной надежности железнодорожных станций. В работе исследованы физическая и технологическая надежности, рассмотрена роль технологической надежности для оценки комплексной надежности сложных систем. Было отмечено, что на надежность функционирования сложной системы как железнодорожная станция в основном влияет надежность технических элементов (железнодорожный путь; средства автоматизации, телемеханики и связи; система электроснабжения; локомотивы; вагоны; длина или количество путей и т. д.), а также надежность организационно-технологических факторов (состояние путей или парков, продолжительность обработки или сортирования составов, количество локомотивов или локомотивных бригад и т. д.). Рассмотрена общая классификация возможных отказов на железнодорожных станциях. Для оценки работы был проведен анализ разделения станций на части состоящих из отдельных подсистем и систематизации технологических отказов каждой подсистемы. Как результат проведенных исследований было отмечено, что сложность железнодорожных станций и разветвленность функциональных связей создают большие трудности в числовой оценке надежности. Показано, что для этой цели совместно со статистическими методами оценки учитывающие взаимосвязь подсистем станции более целесообразно использовать методы моделирования функциональных процессов станции.

Ключевые слова: железнодорожная станция, эксплуатационная надежность, технические и технологические отказы, оценка, имитационное моделирование

ASSESSMENT METHODS OF OPERATIONAL RELIABILITY OF RAILWAY STATIONS

E.K. MANAFOV

The article studies methods of assessing the operational reliability of railway stations. The work examined physical and technological reliability, considered the role of technological reliability for assessing integrated reliability of complex systems. It was noted that the reliability of a complex system as a railway station was mainly affected by the reliability of technical elements (railway track; Automation, telemetry and communication equipment; Power supply system; locomotives; cars; Length or number of tracks, etc.), as well as reliability of organizational and technological factors (state of tracks or parks, duration of processing or sorting of trains, number of locomotives or locomotive crews, etc.). General classification of possible failures at railway stations is considered. In order to evaluate the operation, the analysis of the division of stations into parts consisting of separate subsystems and systematization of technological failures of each subsystem was carried out. As a result of the studies carried out, it was noted that the complexity of the railway station and the branching of the functional links create great difficulties in the numerical evaluation of reliability. It is shown that for this purpose, it is more useful to use methods of simulating functional processes of the station together with statistical methods of estimation taking into account the relationship of station subsystems.

Keywords: railway station, operational reliability, technical and technological failures, evaluation, simulation.

Redaksiyaya daxil olub: 28.05.2019
Tamamlama işlərindən sonra: 09.03.2020
Nəşrə qəbul edilib: 13.03.2020

УДК 343.533.6

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРАВОВОЙ ЗАЩИТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

Р.А. ИСМАЙЛОВА¹

Статья посвящена анализу законодательной базы Азербайджана, основанной на международных нормах в области защиты интеллектуальной собственности (ИС). Отмечена роль государства, гарантирующая, с одной стороны, обеспечить исключительное право правообладателей объектов ИС, а с другой – не допустить возможности монополизации рынка. Среди ряда принятых законов рассмотрен закон «Об антимонопольной деятельности» с позиции права на объекты ИС. Обращено внимание на тот факт, что в статье закона, касающейся сферы исключения действия антимонопольной политики, отражены отдельно взятые объекты ИС. Высказано мнение о внесении поправки в редакцию рассматриваемого закона для предоставления монопольного права правообладателям всех объектов ИС. Уделено внимание вопросу пересечения злоупотреблением монопольным правом, отраженному в законе «О недобросовестной конкуренции», направленном на борьбу с незаконным использованием результатов интеллектуальной деятельности. Для выполнения законности правовой защиты правообладателей и создания благоприятных условий ведения бизнеса предложено рассмотреть вопрос о возможности создания в Азербайджане специализированного Суда по интеллектуальной собственности.

Ключевые слова: интеллектуальная собственность, антимонопольная деятельность, недобросовестная конкуренция, специализированный суд.

Введение. Экономика сегодняшнего дня опирается на результаты интеллектуальной деятельности, которые способны обеспечить благосостояние и развитие страны в целом.

Созданные в процессе творческой деятельности в области науки и техники объекты интеллектуальной собственности (ИС) могут составить основу инновационного предпринимательства. Для того чтобы объекты ИС стали выгодным товаром, необходима надежная правовая база, регулирующая взаимоотношения, возникающие между их создателями и потребителями. С одной стороны, закон о предоставлении государством исключительных прав должен обеспечить исключение использования прав правообладателя третьими лицами. С другой стороны, закон должен установить пределы использования исключительного права, чтобы не допустить возможности монополизации рынка, а также исключить недобросовестную конкуренцию. Таким образом, необходимо поддержание баланса между интересами правообладателя и всех участников товарного рынка.

Постановка задачи. Правовую охрану создателям интеллектуальной собственности обеспечивают несколько правовых институтов: патентное право; авторское право и смежные

¹ Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности
E-mail: ruqiyya.ismailova@mail.ru

права; право на средства индивидуализации товаров и услуг; право на нетрадиционные объекты ИС.

Реформа Азербайджанского законодательства, посвященная объектам ИС, началась с 90-х годов прошлого века, когда были приняты такие основные законы, как: «О селекционных достижениях» (1996), «О патентах» (1997), «Об авторском праве и смежных правах», «О товарных знаках и географических указаниях» (1998). В настоящее время нет ни одного объекта интеллектуальной собственности, которому бы не был отведен отдельный вид правового регулирования.

Государство гарантирует авторам и патентовладельцам исключительные материальные и личные нематериальные права с помощью национальных законов, основанных на международных нормах. Азербайджан присоединился ко всем международным договорам в сфере охраны ИС. Кроме того, для защиты объектов ИС приняты законы Азербайджанской Республики, имеющие к ним непосредственное отношение: «Об антимонопольной деятельности» (1993), «О недобросовестной конкуренции» (1995), «Об административных правонарушениях» (2000), «Об утверждении таможенного контроля над провозом через границу товаров, в составе которых имеются объекты интеллектуальной собственности» (2002), «Об обеспечении прав интеллектуальной собственности и о борьбе с пиратством» (2012).

Как видно, целый ряд законов направлен на осуществление контроля для исключения правонарушений относительно создателей объектов ИС.

Следует отметить, что формулирование статей законов должно быть предельно четким, обеспечивающим правовую охрану правообладателей всех объектов ИС, поддержку предпринимателям при нарушении их прав, приводящих к потере прибыли.

Обсуждение. Для успешного осуществления политики защиты ИС одним из важных инструментов является антимонопольная политика государства. Европейский союз в 2004 году принял новый Регламент в сфере антимонопольной политики, предоставив специальное исключение из антимонопольного законодательства – интеллектуальную собственность.

Закон Азербайджанской Республики «Об антимонопольной деятельности» также содержит определенную позицию относительно ИС, исключив из сферы применения этого закона отношения, вытекающие из прав хозяйствующих субъектов на изобретения, полезные модели, промышленные образцы, товарные знаки, географические указатели авторских прав и смежных прав [1]. При этом сохранено действие закона на случаи умышленного использования этих прав в целях ограничения конкуренции (п.3 статья 2). Обращает на себя внимание тот факт, что при указании сферы исключения действия закона указаны отношения, вытекающие из прав на отдельные объекты ИС (изобретения, полезные модели, промышленные образцы, товарные знаки, географические указания), часть из которых является объектами института патентного права.

Указанные в перечне товарные знаки и географические указатели относятся к объектам, охраняемым Институтом права на средства индивидуализации товаров и услуг. Однако к последнему правовому институту относятся также объекты, приравненные к объектам ИС, как, например, фирменные наименования и коммерческие обозначения, которые вообще не упомянуты в данном пункте. Со стороны предпринимателей часто поступают жалобы на нарушение прав именно на эти объекты ИС.

С особыми трудностями сталкиваются предприниматели при оспаривании своих прав на коммерческие обозначения, поскольку этот объект не подлежит регистрации.

Наравне с традиционными объектами ИС, охраняемыми патентным и авторским правом из сферы действия закона Азербайджана «Об антимонопольной деятельности» должны быть исключены и такие объекты, как: селекционные достижения, топология интегральных микросхем, ноу-хау. Эти объекты также являются результатом интеллектуальной деятельности, выраженные в объективной форме и охраняемые институтом права на нетрадиционные объекты интеллектуальной собственности.

С одной стороны, в законе фактически перечислены права на некоторые объекты ИС в наборе с конкретными отдельными правовыми институтами (авторское право и смежные права). С другой стороны, можно предположить, что выбор перечисленных объектов ИС основан на принципе материальности активов. Однако в условиях «новой экономики» информационные технологии способствуют переходу многих объектов ИС в нематериальные объекты, превращая Интернет в виртуальный рынок объектов ИС [2]. Весьма популярна электронная торговля [3], и недалек тот день, когда в нашу жизнь волеется новый институт права, обеспечивающий охрану информационным технологиям как объекту ИС.

Нельзя не учесть, что признанные на сегодняшний день объекты ИС не являются раз и навсегда данными. Пример информационных технологий обязывает нас учесть эволюционный характер объектов ИС и предусмотреть охрану всем видам интеллектуальной деятельности.

В этой связи представляется возможным изложение п.3 статьи 2 закона «Об антимонопольной политике» в следующей редакции, обеспечивающей охрану прав правообладателей всех объектов ИС: «Закон не распространяется на отношения, вытекающие из исключительных прав правообладателей на результаты интеллектуальной деятельности и приравненные к ним средства индивидуализации юридических лиц, продукции, работ и услуг, за исключением случаев умышленного использования ими этих прав в целях ограничения конкуренции».

Если закон «Об антимонопольной деятельности» предоставляет монопольное право правообладателям объектов ИС, то закон «О недобросовестной конкуренции» обязывает их наравне со всеми хозяйствующими субъектами выполнять организационные и правовые основы защиты конкуренции от недобросовестных действий [4]. Именно оговорка в п.3 статьи 2 первого закона: «...за исключением случаев умышленного использования ими этих прав в целях ограничения конкуренции» - является связующим звеном этих двух законов, содержащих нормы конкурентного права. В законе Азербайджана «О недобросовестной конкуренции» статья 12 направлена на борьбу с противоправными действиями, связанными с патентно-лицензионным монополизмом. Одним из примеров злоупотребления монопольного права, приводящего к недобросовестной конкуренции, является навязывание лицензиаром (продавцом) принудительного пакета лицензионных условий лицензиату (покупателю).

Не секрет, что при оценке состояния рыночных отношений с позиции недобросовестной конкуренции основная доля нарушений приходится на действия по продаже, обмену или иному введению в оборот товара, представляющего объекты ИС.

Вполне понятно желание хозяйствующих субъектов достичь преимуществ в предпринимательской деятельности. Однако при этом не должны быть незаконно использованы результаты интеллектуальной деятельности с причинением убытков конкурентам.

Распоряжением Президента Азербайджанской Республики от 20.04.2018 г. на базе Государственной службы антимонопольной политики и защиты прав потребителей при

Министерстве экономики Азербайджанской Республики созданы: 1) Государственное антимонопольное агентство и 2) Агентство по надзору за потребительским рынком Азербайджанской Республики (государственное агентство), на которое возложено управление в области надзора за потребительским рынком, охраны объектов стандартизации, метрологии и прав интеллектуальной собственности.

Следует отметить, что при наличии в Азербайджане столь прогрессивной правовой базы для охраны прав правообладателей наблюдаются нарушения этих прав, чаще всего в тех случаях, когда от использования объектов ИС может быть получен доход. Споры, возникшие между физическими и юридическими лицами, занимающимися предпринимательской деятельностью, рассматривает Административно-Экономический суд Азербайджана. Между тем споры о нарушениях интеллектуального права считаются наиболее сложными и требуют иного подхода, поскольку объекты интеллектуальной собственности наделены особыми качествами, базирующимися на достижениях науки и техники.

По мнению Председателя Суда по интеллектуальным правам России, разрешение конфликтов, возникающих вокруг объектов ИС, может быть успешно завершено квалифицированными специалистами, обладающими не только юридическими, но и техническими, а иногда и естественнонаучными знаниями [4]. С этим нельзя не согласиться, учитывая многообразие конфликтов, возникающих как при охране, так и при защите объектов ИС. Среди часто возникающих конфликтных ситуаций достаточно перечислить некоторые из спорных вопросов: оспаривание решений компетентных органов при рассмотрении заявок на получение патентов на изобретения, полезные модели, селекционные достижения; об установлении патентовладельца; о досрочном прекращении правовой охраны товарного знака вследствие его неиспользования; об оспаривании решения антимонопольного органа о признании недобросовестных действий, связанных с приобретением, а также с нарушением исключительного права на средства индивидуализации товаров, и многие другие.

В связи с возрастающим числом споров в сфере защиты интеллектуальных прав на сегодняшний день в мире насчитывается более 90 специализированных судов. Независимо от принятого названия, основной функцией их деятельности является разрешение конфликтов в сфере интеллектуальной деятельности.

Наша страна не является исключением в плане нарушений прав на объекты ИС, возникающих при рыночных отношениях, и рассмотрении конфликтных ситуаций в судебном порядке. Представляется, что сегодняшний день диктует необходимость создания в Азербайджане специализированного Суда по интеллектуальным правам.

Укрепление правовой базы, обеспечивающей высокий уровень конкурентных отношений, позволит сформировать цивилизованный рынок и увеличить инвестиционную привлекательность нашей страны.

Заключение. Совершенствование правовой защиты интеллектуальной собственности должно обеспечить высокую степень защищенности всех объектов ИС в конкурентных отношениях рынка. Создание специализированного Суда по интеллектуальной собственности наряду с существующими законами, обеспечивающими антимонопольный контроль, позволит создать благоприятные условия ведения бизнеса предпринимателям Азербайджана. Надежная правовая система, исключая недобросовестную конкуренцию, откроет ворота для входа иностранных инвесторов на рынок страны.

REFERENCES

1. "Antiinhisar fəaliyyəti haqqında" Azərbaycan Respublikasının Qanunu.
 2. **Иманов К.** // сб. Информационные технологии – интеллектуальная собственность'. Баку, 2016
Иманов К. // сб. Информационные технологии – интеллектуальная собственность. Баку, 2016
 3. **Markova O.N.** Povyshenie konkurentosposobnosti azerbajdzhanskih proizvoditelej posredstvom sozdaniya elektronnoj trgovli // Vestnik Azerbajdzhanskoj inzhenernoj akademii. 2018. T.10, №4. S. 86-93.
Маркова О.Н. Повышение конкурентоспособности азербайджанских производителей посредством создания электронной торговли // Вестник Азербайджанской инженерной академии. 2018. Т.10, №4. С. 86-93.
 4. Haqsız rəqabət haqqında Azərbaycan Respublikasının Qanunu
 5. **Novoselova L.A., Rozhkova M.A.** O konsul'tacii specialista pri razbiratel'stve del v Sude po intellektual'nym pravam // Vestnik VAS RF. 2013. №5. S.113-125.
Новоселова Л.А., Рожкова М.А. О консультации специалиста при разбирательстве дел в Суде по интеллектуальным правам // Вестник ВАС РФ. 2013. №5. С.113-125.
-

AZƏRBAYCANDA ƏQLİ MÜLKİYYƏTİN HÜQUQİ MÜDAFİƏSİNİN MÜKƏMMƏLLİYİ

R.A. İSMAYILOVA

Məqalə Azərbaycanın əqli mülkiyyətin qorunması sahəsində beynəlxalq normalara əsaslanan qanunvericilik bazasının təhlilinə həsr olunub. Bir tərəfdən, ƏM obyektlərinin hüquq sahiblərinin müstəsna hüququnu təmin etməyə, digər tərəfdən isə bazarın inhisarlaşdırılması imkanlarına imkan verməməyə təminat verən dövlətin rolu qeyd edilib. Qəbul edilmiş bir sıra qanunlar arasında "Antiinhisar fəaliyyəti haqqında" qanun ƏM obyektlərinə hüquq mövqeyindən nəzərdən keçirilib. Məqalədə antiinhisar siyasətinin istisnası ilə bağlı qanunun ayrı-ayrı obyektlərini əks etdirədiyi faktlara diqqət yetirilir. Baxılan Qanunun redaksiyasına ƏM-in bütün obyektlərinə inhisarçı hüquq verilməsi üçün düzəlişlər edilməsi barədə fikir bildirilib. Əqli fəaliyyətin nəticələrindən qanunsuz istifadə ilə mübarizəyə yönəlmiş "vidansız rəqabət haqqında" qanunda əks olunmuş monopoliya hüququndan sui-istifadə məsələsinə diqqət yetirilmişdir. Hüquq sahiblərinin hüquqi müdafiəsinin qanuniliyinin yerinə yetirilməsi və biznesin aparılması üçün əlverişli şəraitin yaradılması üçün təklif edilib ki, Azərbaycanda əqli mülkiyyət üzrə ixtisaslaşdırılmış məhkəmənin yaradılması mümkünlüyü məsələsinə baxılsın

Açar sözlər: əqli mülkiyyət, apa fəaliyyəti, haqsız rəqabət, ixtisaslaşdırılmış məhkəməsi.

IMPROVEMENT IN THE LEGAL PROTECTION OF INTELLECTUAL PROPERTY IN AZERBAIJAN

R.A. ISMAYILOVA

The article is devoted to the analysis of the legislative base of Azerbaijan based on international norms in the field of intellectual property (IP) protection. The role of the state is noted on the one hand to guarantee the exclusive rights of the owners of IP objects, and on the other to prevent the possibility of monopolization of the market. Among a number of adopted laws, the law "on Antimonopoly activity" is considered from the position of the right to IP objects. Attention is drawn to the fact that the article of the law concerning the scope of exclusion of the Antimonopoly policy reflects individual IP objects. The opinion was expressed on amending the wording of the law in question to grant a monopoly right to the owners of all IP objects. Attention is paid to the issue of abuse of monopoly rights, reflected in the law "on unfair competition", aimed at combating the illegal use of the results of intellectual activity. In order to fulfill the legality of legal protection of rights holders and create favorable business conditions, it is proposed to consider the possibility of establishing a specialized court for intellectual property in Azerbaijan.

Keywords: intellectual property, antimonopoly activity, unfair competition, specialized court.

Поступило в редакцию: 17.05.2019

После доработки: 08.03.2020

Принято к публикации: 13.03.2020

УДК 654.9

AVTOMATLAŞDIRILMIŞ MÜHAFİZƏ-XƏBƏRDARLIQ SİSTEMİNİN EFFEKTİVLİYİNİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

R.N. NƏBİYEV¹, K.Ş. RAMAZANOV¹, R.R. RÜSTƏMOV¹

Məqalədə avtomatlaşdırılmış mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin fəaliyyətinin effektivliyinin qiymətləndirilməsi məsələləri nəzərdən keçirilmişdir.

İdeal şəraitdə texniki vasitələrlə pozucunun dürüst aşkarlanması, mühafizə qrupunun məlumatlandırılması və mühafizənin mühəndis texniki vasitələrinin işçi vəziyyətdə olması şərtləri daxilində mühafizə edilən meteoroloji radiolokator obyektinin perimetrinin təkmilləşdirilmiş «İQM 4.00.000 TT və İT» mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin effektivliyinin qiymətləndirilməsi ilə əlaqədar hesablamalar aparılmışdır. Hesablamalar nəticəsində sistemin əldə olunan kifayət qədər yüksək effektivlik göstəricilərinin qiymətləri mülki aviasiya avadanlıqları üçün təyin olunmuş hədd diapazonunda olduğu müəyyən edilmişdir.

Açar sözlər: mülki aviasiya, aviasiya təhlükəsizliyi, mühafizə, obyekt, perimetr, pozucu, inteqrasiya olunmuş, mühafizə-xəbərdarlıq sistemi, effektivlik.

Strateji əhəmiyyət kəsb edən mülki aviasiya obyektlərinin qanunsuz müdaxilə aktlarından müdafiə və mühafizə edilməsi aviasiya təhlükəsizliyinin əsas tədbirlərindən hesab edilir. Bu tədbirlərin etibarlı, dayanıqlı və effektiv təmin edilməsi üçün avtomatik distansion idarə edilən inteqrasiya olunmuş mühafizə-xəbərdarlıq sistemlərindən istifadə edilir [1, 2].

Mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin effektivliyi, fəaliyyət şərtləri dəyişilsə də, sistemin bu dəyişikliklərə reaksiya vermə qabiliyyətindən və müdaxilələr haqqında informasiyanın ilkin mərhələdə alınması imkanından asılıdır. Obyektin perimetrinin mühafizə-xəbərdarlıq sistemi mürəkkəb təşkilati-texniki sistem olduğu üçün onun fəaliyyətinin effektivliyinin qiymətləndirilməsi olduqca mürəkkəb məsələdir [3, 4].

Məqalədə məqsəd, mülki aviasiyada tətbiq edilən meteoroloji radiolokator obyektinin təkmilləşdirilmiş avtomatik distansion idarə edilən inteqrasiya olunmuş «İQM 4.00.000 TT və İT» mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin fəaliyyətinin effektivliyinin qiymətləndirilməsindən ibarətdir.

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

Məqsədə çatmaq üçün meteoroloji radiolokator obyektinin perimetrinin mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin effektivliyinin qiymətləndirilməsinin bir neçə metodu nəzərdən keçirilmişdir.

Sistemin effektivliyini qiymətləndirmək üçün istifadə olunan məlum metodlar, bir qayda olaraq, daxili və xarici təhlükələrin təsirlərindən obyektlərin təhlükəsizliyinin təmin edilməsinə və sistemin fəaliyyət prosesinin formalaşdırılmasına əsaslandırılmışdır. Bunun üçün müvafiq modellər hazırlanır [5, 6]:

- obyektin və onun fəaliyyət rejiminin modeli;
- pozucunun modeli;
- normal və ya təhlükəli vəziyyətlərdə mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin planlaşdırılmış fəaliyyət rejiminin modeli;

Yuxarıda sadalananları təhlil edərək, seçilmiş model çərçivəsində mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin effektivliyinin müvafiq göstəricisinin qiyməti əldə edilmişdir.

Determinist yanaşma, məntiqi-ehtimal, iyerarxik təhlil, qeyri-səlis çoxluqlar, ehtimal-zaman təhlili və s. kimi effektivliyin qiymətləndirilməsinin bir çox metodları məlumdur. Obyektin fərqli zonalarında təhdidlərin reallaşdırılmasının qarşısının alınmasının müxtəlif mərhələləri üçün bu metodların birgə istifadəsi mümkündür. Mühafizə olunan real obyektlərin mürəkkəbliyi, bir qayda olaraq, kompüter modelləşdirilməsi və hesablamalarından istifadə edilən metodların yerinə yetirilməsini tələb edir. Baxılan məsələnin həlli üçün mövcud metodlar prinsipial yanaşma baxımından əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənə bilər və fərqlər əsasən obyekt, təhdidlər və effektivliyin istifadə edilən meyarına dair aprior məlumatlara əsaslanır. Məsələn, bu məlumatlar aşağıda sadalananlardır [6].

1. Səmərəlilik - bu metodun meyarı, mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin fəaliyyətində bir sıra nəticələrə nail olmaqdır;
2. Funksionallıq - qurulmuş sistemin funksional imkanlarının texniki tapşırıq şərtlərinə uyğun olmasıdır.
3. İqtisadi - müəyyən iqtisadi səmərənin əldə olunması üçün əsas meyardır. Bu metod vasitəsilə adətən sistemin qurulması, eləcə də zərərin qarşısının alınması nisbətindən iqtisadi səmərə əldə olunur.
4. Ehtimallılıq - bu halda, müəyyən hadisələrin baş vermə ehtimalları əsas meyar kimi götürülür.

Avtomatlaşdırılmış mühafizə-xəbərdarlıq sistemini kompleks bir iyerarxik sistem kimi təhlil edərkən, nəticələrin qiymətləndirilməsi meyarları üçün istifadə edilən və nəzərdə tutulan metodlar bütövlükdə mühafizə-xəbərdarlıq sisteminə və obyektin zonalarına və ya alt sistemlərə tətbiq olunur. Bu halda, adətən dekompozisiya prinsipi (hissələrə ayrılma) tətbiq edilir. Əlbəttə ki, bu zaman, bütün alt sistemlərin fəaliyyətini ayrı-ayrılıqda yox, qarşılıqlı təsir əsasında təhlil edərək effektivliyin qiymətləndirilməsində daha dolğun və yekun nəticəni əldə etmək mümkündür [6].

Nəzərdən keçirilən əsas metodlardan biri mühafizə edilən obyektə qanunsuz daxilolmanın qarşısını almaq üçün ümumi məqsədi birləşdirən perimetrin avtomatlaşdırılmış mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin alt sistemlərinin qarşılıqlı təsir imkanlarının təhlili prinsiplərinə əsaslanmışdır. Perimetrin avtomatlaşdırılmış mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin alt sistemləri vasitəsilə pozucunun saxlanılmasına sərf edilən ümumi vaxt daha çox olarsa, sistemi effektiv hesab etmək olar, bu halda pozuntuların qarşısını almaq üçün zəruri yanaşma aşağıdakı bərabərsizliklə ifadə edilmişdir [7]:

$$\sum_{i=1}^s T_{sax.i} > T_{poz.qar.al} \quad (1)$$

Burada, $T_{sax,i}$ - i-ci alt sistem vasitəsilə pozucunun qarşısının alınması müddəti; i - obyektin qadağan olunmuş zonasında (aşkaretmənin birinci sərhədindən sonra) alt sistemlərin nömrəsidir; $T_{poz.sax}$ - pozucunun qarşısının alınması üçün zəruri vaxtdır.

Pozucunun mühafizə olunan obyektin perimetrinin aşma bilməsi müddətinin çox olması alt sistemlərin sayından və keyfiyyətindən, pozucuların tutulub- saxlanması isə mühafizə qrupunun hazırlıq səviyyəsindən asılı olduğu müəyyənləşdirilmişdir.

Bundan başqa, perimetrin avtomatlaşdırılmış mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin effektivliyi, "Həyəcan" signalı və xəbərdarədicilər (bərqvuran, sirena və yangın signalizasiya sistemi) vasitəsilə pozucunun aşkar edilməsi ehtimalından asılıdır. Çünki məhz, "Həyəcan" signalının verilməsi anından mühafizə qrupu vasitəsilə pozucunun saxlanması istiqamətində fəaliyyətə başlanılır. Ümumi halda, mühafizə edilən obyektin perimetrinin avtomatlaşdırılmış mühafizə-xəbərdarlıq sistemi müvafiq zonanın aşkaretmə vasitələrindən daxil olan informasiyanı mərkəzi obyekt idarəetmə blokuna (MOİB-a) toplayan obyekt idarəetmə blokundan (OİB-dan) və həmin informasiyanı emal edərək idarəetmə mərkəzinə ötürən radiomodemdən (ötürücü və qəbuledicidən) ibarətdir [2].

Müxtəlif amillərin bütün növ neqativ təsirlərinə baxmayaraq, mühafizə edilən obyektin perimetrinin avtomatlaşdırılmış mühafizə-xəbərdarlıq sistemi ideal halda, pozucunun obyektə qanunsuz daxil olması ilə əlaqədar bütün cəhdlərinin qarşısının alınmasını təmin etməlidir. Buna görə də, avtomatlaşdırılmış mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin effektivliyi - F, nəzərdə tutulan t müddəti ərzində mühafizə edilən obyektin perimetrindən pozucunun bütün qanunsuz daxilolma cəhdlərinin qarşısının alınması ehtimalı - P_{ef} göstəricisi kimi qiymətləndirilmişdir [7]:

$$F = P_{ef} (N > 0, n = 0, t > 0) \quad (2)$$

Burada, t - nəzərdə tutulan müddət (məsələn, bir il); N - t müddəti ərzində mühafizə edilən obyektin perimetrindən pozucunun qanunsuz daxilolma cəhdlərinin sayı; n - t müddəti ərzində pozucuların qarşısının alınması sayıdır.

Heydər Əliyev Beynəlxalq Aeroportundan 35 km-ə qədər uzaqda yerləşə bilən meteoroloji radiolokator obyektinin perimetrinin mühafizə-xəbərdarlıq sistemi və onun ayrı-ayrı alt sistemləri aşağıda sadalanan xüsusi effektivlik göstəriciləri ilə xarakterizə edilmişdir [7, 8]:

- mühəndis mühafizə qurğularının hazırlıq əmsalı - K_{MMQ} ;
- informasiyanı MOİB-a toplayan və OİB-dan həmin informasiyanı emal edərək idarəetmə mərkəzinə ötürən radiomodemin hazırlıq əmsalı - K_{IYER} ;
- hər bir alt sistem vasitəsilə qorunan texniki zonanın pozucuların aşma bilməmələri ehtimalı - $P_{per.tex}$;
- ərazidə baş verə bilən qeyri-qanuni müdaxilələrin ideal şəraitdə aşkar edilməsi ehtimalı - $P_{tex.ər}$;
- müxtəlif metodlarla pozulma cəhdlərinin olma ehtimalı, yəni hasara dırmaşaraq aşma (γ_1), bütövlükdə hasarın dağıdılması (γ_2) və lağımlama yolu ilə (γ_3), γ_j ehtimalı, ümumi cəhdlərə nisbətən göstərilən hər bir üsulla mühafizə olunan obyektə nəzərdə tutulmamış daxilolma cəhdlərinin rəqəm nisbətini göstərir;
- silahlı pozucuların müdaxiləsi zamanı mühafizə xidmətinin silahlı mühafizə qrupunun xidməti avtomobillə (Bakı şəhərinin iqlim şəraiti nəzərə alınaraq [9], MXMQ-nun 70 km/saat orta sürətlə) 35 km [8] uzaqda yerləşən meteoroloji radiolokator obyektinə gəlib-çatma müddəti - $t_{MXMQ} \approx 0,5$ saat, post-patrol xidməti əməkdaşlarının hadisə yerinə gəlib-çatma müddəti - $t_{PPXƏ} \approx 0,0167$ saat [10] olmalıdır. Onda mühafizə qrupunun hazırlıq əmsalı:

$$K_{MQ} = \frac{t_{MXMQ}}{(t_{MXMQ} + t_{PPXƏ})} \approx 0,968$$

olar.

Beləliklə, hər bir zonada perimetrin avtomatlaşdırılmış mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin effektivlik göstəricisi (3) ifadəsi ilə qiymətləndirilmişdir:

$$P_{ef.i} = P_{per.tex} \cdot P_{tex.ər} \cdot P_{müh.q} \cdot K_{MMQ} \cdot K_{İYER} \cdot K_{MQ} \quad (3)$$

Burada, $P_{müh.q}$ - mühafizə qrupu tərəfindən pozuntunun qarşısının alınması ehtimalıdır.

(3)-də alınmış ifadənin təhlili göstərir ki, perimetrin mühafizə-xəbərdarlıq sistemi, ideal şəraitdə texniki vasitələrlə pozucunun dürüst aşkarlanması, eləcə də mühafizə qrupunun məlumatlandırılması və mühafizənin mühəndis-texniki vasitələrinin işçi vəziyyətdə olması şəraitində effektivdir. Bu zaman mühəndis mühafizə texniki qurğularının pozucunun aşkarlanmasına sərf etdiyi t_g zaman müddəti mühafizə qrupu tərəfindən pozucunun qarşısının alınması üçün sərf etdiyi t_q müddətindən [7] az olur.

İdeal şəraitdən fərqli olaraq, fiziki-coğrafi və texnogen şəraitin təsiri altında hər hansı bir aşkaretmə vasitəsinin i -ci növünün xəbərdarlıq etmə etibarlılığının aşağı düşməsi, fəaliyyətin keyfiyyət əmsalı ilə xarakterizə olunur [11].

$$K_t^k = 0 \dots 10.$$

$K_t^k = 0$, aşkaretmə vasitəsinin i -ci növünün iş qabiliyyətinin qeyri-mümkün olduğu şəraiti xarakterizə edir. K_t^k kəmiyyətinin qiyməti ekspert qiymətləndirilməsi üsulu ilə müəyyən edilə bilər.

Verilmiş növ aşkaretmə vasitəsinin fəaliyyətinin keyfiyyəti, perimetr xətti boyunca dəyişən şəraitdən - K_t^k funksiyasından asılıdır və rəqəmsal ərazi xəritəsi vasitəsilə müəyyən edilə bilər. Məsələn, əgər meşə-çöl sahəsinin bütün perimetri eyni seysmik aşkaretmə vasitəsilə mühafizə edilirsə, onda meşə sahələrində və bataqlıqlarda aşkaretmə vasitələrinin fəaliyyətinin keyfiyyəti açıq sahələrə nisbətən daha aşağıdır. Hesab etmək olar ki, pozucunun yaxınlaşması zamanı mühafizə edilən sahənin bir zonası daxilində (500 m-dən çox olmayan ərazidə) aşkaretmənin keyfiyyət əmsalı dəyişmir, yəni seçilmiş i üçün $K_t^k = const$ olur [12].

Bütün $i = 1, 2 \dots N$ aşkaretmə vasitəsi, sahənin perimetr xətti boyunca bir-birini örtmədən quraşdırılır. Bu halda, aşkaretmə vasitəsinin ideal şəraitdə fəaliyyəti ilə i -ci zonada (uzunluğu L_i) olan pozucunun aşkar edilməsi ehtimalı - P_i (4) ifadəsi ilə təyin edilir:

$$P_i = P_{0i} \cdot \int_{s_i}^{s_i+L_i} f(s)ds = P_{0i} \cdot \int_0^{L_i} f(s)ds \quad (4)$$

Burada, s_i - sahənin başlanğıc koordinatı, $f(s)$ - pozucunun perimetr xətti boyunca hərəkət trayektoriyasının funksiyası, P_{0i} və P_{0j} uyğun olaraq, i və j sahəsinin başlanğıc koordinatında pozucunun aşkar edilməsi ehtimallarıdır.

Əgər $s_i \dots s_i + L_i$, sahəsində mühafizənin müstəqil sərhədlərini təşkil edən j və k iki aşkaretmə vasitəsi ardıcıl quraşdırılsa, onda pozucunun aşkar edilməsi ehtimalı (4) ifadəsi ilə müqayisədə böyük olar.

$$P_i = (P_{0j} + (1 - P_{0j}) \cdot P_{0k}) \cdot \int_0^{L_i} f(s) ds \quad (5)$$

İdeal şəraitdə mühafizə-xəbərdarlıq sistemi vasitəsilə pozucunun aşkar edilməsinin ümumi ehtimalı (6) ifadəsi ilə təyin edilir:

$$P_0^{max} = \sum_{i=1}^N P_i = \sum_{i=1}^N P_{0i} \cdot \int_0^{L_i} f(s) ds \quad (6)$$

Aşkar etmə vasitələrinin fəaliyyətinin keyfiyyət əmsalı, ilk növbədə onun aşkarlama qabiliyyətinə təsir edir. Odur ki, "qeyri-ideal" şəraitdə pozucuların aşkarlanmasının ümumi ehtimalı (7) ifadəsi ilə qiymətləndirilə bilər [12]:

$$P_0 = \sum_{i=1}^N P_i \cdot \frac{K_i^k}{10} = \sum_{i=1}^N P_{0i} \cdot \frac{K_i^k}{10} \cdot \int_0^{L_i} f(s) ds \quad (7)$$

P_0 kəmiyyəti ilə mühafizə-xəbərdarlıq sistemi vasitəsilə pozucunun aşkar edilməsinin effektivliyi - $F_a = P_0$ kimi xarakterizə edilir.

Effektivlik göstəriciləri, strateji əhəmiyyətli obyektlərin zəifliyinin təhlil edilməsi prosesində qəbul edilmiş təhdidlərdən, zəif yerlərdən və pozucu modellərindən asılıdır. Metodiki tövsiyələrə uyğun olaraq, hesablanmış effektivliyin qiymətinin nəticələri, effektivliyin diferensial və inteqral göstəriciləri ilə ifadə edilə bilər. Effektivliyin diferensial göstəricisi bir hədəfə qarşı pozucunun hərəkətinin aradan qaldırılmasının ehtimalını hesaba alır. Strateji əhəmiyyətli obyektlərin zəif yeri üçün fiziki mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin effektivliyinin diferensial göstəricisinin seçilmiş hədəfə qarşı pozucunun hərəkətlərinin bəzi ssenarilərini nəzərdən keçirərkən, bütün baxılmış ssenarilər üzrə minimal qiymət qəbul edilir. Seçilmiş hədəfə qarşı hərəkətlərin qarşısının alınması ehtimalının minimal qiymətinə uyğun pozucunun hərəkətlərinin ssenarisi kritik qəbul edilir. İnteqral göstəricisi, strateji əhəmiyyətli obyektlərdə fiziki mühafizə sisteminin bütövlükdə əlavə əmsalları nəzərə alınaraq orta hesabla effektivlik göstəricisini təşkil edir.

Metodiki tövsiyələrdə fiziki mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin effektivliyini qiymətləndirmək üçün əsas meyar kimi pozucunun qanunsuz daxilolmasının qarşısını almaq üçün fiziki mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin iş qabiliyyəti qəbul edilir. Ona görə ki, pozucunun qanunsuz hərəkətlərinin qarşısının alınması faktı təsadüfi hadisədir və effektivlik göstəricisi kimi pozucuların hərəkətlərinin qarşısının alınması ehtimalını ($P_{qar.al}$) təhlil edir. Belə yanaşma ilə, fiziki mühafizə elementlərinə qarşı qeyri-qanuni hərəkətlərin qarşısının alınması ehtimalı aşağıdakı ifadə ilə təsvir edilə bilər [13, 14]:

$$P_{qar.al} = P_a \cdot P_{lən} \cdot P_{zər}$$

Burada, P_a - pozucunun qeyri-qanuni hərəkətlərinin vaxtında aşkar edilməsi ehtimalı, $P_{lən}$ - pozucunun hərəkətlərini ləngitmə ehtimalı, $P_{zər}$ - mühafizə qrupu tərəfindən pozucunun zərərsizləşdirilməsi ehtimalıdır.

Pozucunun qeyri-qanuni hərəkətlərinin vaxtında aşkar edilməsi ehtimalı (P_a) ümumi mənada aşkaretmənin texniki vasitələrinin xarakteristikaları ilə təyin edilir. Bu ehtimal, aşkaretmə texniki vasitələrinin texniki sənədlərindən və ya mövcud statistika əsasında əldə edilə bilər.

Pozucunun hərəkətlərini ləngitmə ehtimalı ($P_{lən}$), mühafizə qrupu tərəfindən pozucunun hadisə yerində tutulması vaxtının təsadüfi kəmiyyətindən böyük olmamalıdır (kvantilini təşkil edir), yəni pozucunun t tutulma vaxtı, nəzərdə tutulmuş $t_{nəz.tut}$ vaxtından az deyildir [13, 15].

$$P_{lən} = P_{müh.q} (t \geq t_{nəz.tut})$$

$P_{lən}$ ehtimalının hesablanması ümumiyyətlə, modelləşdirmə vasitəsilə və müxtəlif növ pozucuların fiziki maneələri aşmasının qarşısının alınması üçün tətbiq edilən fərqli hərəkət taktikası, xüsusi təlim, texniki vasitələr və s. ilə yerinə yetirilir.

Mühafizə qrupu tərəfindən pozucunun zərərsizləşdirilməsi ehtimalının (P_{poz}) qiymətinin təyin edilməsi üçün adətən xüsusi proqramlar əsasında tərtib edilmiş modelləşdirmədən istifadə olunur. Xüsusi hesablama və riyazi vasitələrdən istifadə etmədən fiziki mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin effektivliyini qiymətləndirmək üçün alqoritmlərin tətbiqi yalnız sadə obyektlər üçün mümkündür. Mürəkkəb konfigurasiyalı mühafizə olunan zonaya malik obyektlər üçün müxtəlif məqsədli qiymətləndirilmələr zamanı yalnız ixtisaslaşdırılmış proqramlardan istifadə edilə bilər. Strateji əhəmiyyətli obyektlərin fiziki mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin effektivliyini qiymətləndirmək üçün yuxarıda qeyd olunanlara əsasən, yeni üsullar hazırlanmalı və təkmilləşdirilməlidir. Bu zaman obyektlərin özünəməxsus xüsusiyyətləri, habelə pozucuların müdaxilələrinin qarşısının alınmasını xarakterizə edən taktika və parametrlər nəzərə alınmaqla, pozucuların hərəkətləri təhlil edilməlidir.

Beləliklə, (3) ifadəsini, təkmilləşdirilmiş avtomatik distansion idarə edilən inteqrasiya olunmuş «İQM 4.00.000 TT və İT» mühafizə-xəbərdarlıq sistemi üçün nəzərə alaraq, F_{ef} effektivliyin qiymətləndirilməsinin zəruri hesabı aparılmışdır. Hesablamalar zamanı, mühafizə qrupu tərəfindən pozuntunun qarşısının alınması ehtimalı - $P_{müh.q} \approx 0,950$ [10]; hər bir alt sistem vasitəsilə qorunan texniki zonanı pozucuların aşma bilməmələri ehtimalı - $P_{per.tex} \approx 0,999$ [16]; ərazidə baş verə bilən qeyri-qanuni müdaxilələrin ideal şəraitdə aşkar edilməsi ehtimalı - $P_{tex.ər} \approx 0,999$ [16]; mühafizə qrupunun hazırlıq əmsalı - $K_{MQ} \approx 0,968$; informasiyanı MOİB-a toplayan və OİB-dan həmin informasiyanı emal edərək idarəetmə mərkəzinə ötürən radiomodemin hazırlıq əmsalı (ötürücüsü və qəbul edicisi ilə birlikdə ST58T8G-N markalı radiomodemin imtinasız işləmə müddəti - 1000000 saat [14], sıradan çıxan qurğuların dəyişdirilməsinə sərf edilən müddət - (8 saat ötürücünün və 8 saat qəbuledicinin) 16 saat olarsa) - $K_{İYER} \approx 0,999$; mühəndis mühafizə qurğularının hazırlıq əmsalı (sistemin imtinasız işləmə müddəti - 1562 saat [14], sıradan çıxan qurğuların dəyişdirilməsinə sərf edilən müddət - 8 saat olarsa) - $K_{MMQ} \approx 0,995$ qəbul edilmişdir. Bunlara əsasən, «İQM 4.00.000 TT və İT» mühafizə-xəbərdarlıq sistemi üçün P_{ef} - effektivlik göstəricisinin qiymətinin:

$$P_{ef} = 0,999 \cdot 0,999 \cdot 0,950 \cdot 0,995 \cdot 0,999 \cdot 0,968 \approx 0,912$$

olduğu müəyyən edilmişdir.

Göründüyü kimi, effektivliyin aprior hesablarla alınmış göstəricisi $P_{ef} \approx 0,912$ -yə bərabərdir və bu göstərici üzrə təkmilləşdirilmiş «İQM 4.00.000 TT və İT» mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin mülki aviasiyada tətbiq olunması məqsədəuyğun hesab edilir.

Nəticə. Strateji əhəmiyyətli obyektlərin fiziki mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin effektivliyini artırmaq üçün daima yeni üsullar hazırlanmalı və mövcud olanlar təkmilləşdirilməlidir. Bu zaman obyektlərin və landşaftın özünəməxsus xüsusiyyətləri, habelə

pozucuların müdaxilələrinin qarşısının alınmasını xarakterizə edən taktika və parametrlər toplusu nəzərə alınmaqla, onların mümkün ola biləcək bütün hərəkətləri təhlil edilməlidir.

Hesablamalara və məntiqi təhlillərə əsasən, təkmilləşdirilmiş avtomatik distansion idarə edilən inteqrasiya olunmuş «İQM 4.00.000 TT və İT» mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin effektivliyinin kifayət qədər yüksək olması ($P_{ef} \approx 0,912$) müəyyənləşdirilmişdir. Bu da, layihələndirilən «İQM 4.00.000 TT və İT» mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin mülki aviasiyada effektivlik göstəriciləri üzrə aviasiya təhlükəsizliyi sistemində tətbiq olunmasının məqsədəuyğunluğunu müəyyənləşdirir.

REFERENCES

1. Aviasiya təhlükəsizliyi üzrə Dövlət Proqramı və Aviasiya təhlükəsizliyinin təmin edilməsi Qaydaları, 2012, №613.
2. **Pashayev A.M., Nəbiyev R.N., Nəgıyev N.T., Veliyeva G.D., Rüstəmov R.R.** Osobennosti proyektirovaniya avtomatizirovannogo distantsionnogo okhrannogo kompleksa // Voprosy bezopasnosti. - 2018. - № 1. - s. 32-51.
Пашаев А.М., Набиев Р.Н., Нагиев Н.Т., Велиева Г.Д., Рустамов Р.Р. Особенности проектирования автоматизированного дистанционного охранного комплекса // Вопросы безопасности. - 2018. - № 1. - с. 32-51.
3. **Домарев В.В.** Энциклопедия безопасности информационных технологий. Методология создания системы защиты информации / Домарев В.В. - Киев: ООО «ТИД ДС», 2001. - 668 с.
Domarev V.V. Entsiklopediya bezopasnosti informatsionnykh tekhnologiy. Metodologiya sozdaniya sistemy zashchity informatsii / Domarev V.V. - Kiyev: ООО «TID DS», 2001. - 668 s.
4. **Torokin, A. A.** Inzhenerno-tekhnicheskaya zashchita informatsii: ucheb. posobiye / A.A. Torokin. - M.: Gelios ARV, 2005. - 960 s..
Торокин, А. А. Инженерно-техническая защита информации: учеб. пособие / А.А. Торокин. - М.: Гелиос АРВ, 2005. - 960 с.;
5. **Chlenov A.N., Klimov A.V.** Metodika otsenki effektivnosti sistemy bezopasnosti ob'yektov distantsionnogo bankovskogo obsluzhivaniya // Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Vyp. 2 (60). 2015.
Членов А.Н., Климов А.В. Методика оценки эффективности системы безопасности объектов дистанционного банковского обслуживания // Технологии техносферной безопасности. Вып. 2 (60). 2015;
6. **Volkhonskiy V. V** Sistemy fizicheskoy zashchity. Osnovy teorii: Uchebnoye posobiye. - SPb: Universitet ITMO, 2017. 102 s.
Волхонский В. В. Системы физической защиты. Основы теории: Учебное пособие. - СПб: Университет ИТМО, 2017. 102 с.
7. **Shcherbakova I. V.** Analiz effektivnosti sistem okhrany perimetra ob'yektov // «Simvol Nauki» №11-3 / 2016, s. 185, 186.
Щербакова И. В. Анализ эффективности систем охраны периметра объектов // «Символ Науки» №11-3 / 2016, с. 185, 186;
8. Heydər Əliyev Beynəlxalq Aeroportunun meteoroloji radiolokator obyektinin məsafədən avtomatlaşdırılmış idarə olunan inteqrasiya olunmuş təhlükəsizlik sistemi. Texniki təsvir və istismar təlimatı İQM 4.00.000 TT və İT. 2014, 67 s.;
9. **Məmmədova Ş.İ.** Bakı şəhərinin iqlim şəraiti və çirkləndiricilərin paylanması onun rolu // Bakı Universitetinin Xəbərləri, 2011, -№2. s. 159-167;
10. **Magomedov Sh. G.** Matematicheskoye modelirovaniye okhrannykh deystviy na ob'yekte zashchity // ISSN 2072-9502. Vestnik AGTU. Ser.: Upravleniye, vychislitel'naya tekhnika i informatika. 2016. № 1. s. 70-80.
Магомедов Ш. Г. Математическое моделирование охранных действий на объекте защиты // ISSN 2072-9502. Вестник АГТУ. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2016. № 1. с. 70-80
11. **Zvezhinskiy S.S., Ivanov V.A.** Klassifikatsii i informatsionno izmeritel'nyye modeli sredstv obnaruzheniya // Spetsial'naya tekhnika, 2007. - № 6. - s. 26-33
Звездинский С.С., Иванов В.А. Классификации и информационно измерительные модели средств обнаружения // Специальная техника, 2007. - № 6. - с. 26-33
12. **Zvezhinskiy S. S., Ivanov V. A., Parfentsev I. V.** Modelirovaniye funktsional'noy effektivnosti sistemy okhrany perimetra territorial'no raspredelennoy ob'yekta // Spetstekhnika i svyaz'. - 2010. - № 1. - s. 15-19.
Звездинский С. С., Иванов В. А., Парфенцев И. В. Моделирование функциональной эффективности системы охраны периметра территориально распределенного объекта // Спецтехника и связь. - 2010. - № 1. - с. 15-19
13. **Bukovetskiy A.V., Nikiyenko A.V.** Perspektivy sovershenstvovaniya metodiki provedeniya otsenki effektivnosti sistemy fizicheskoy zashchity yadernykh ob'yektov // Fundamental'nyye issledovaniya. - 2015. - № 9 (chast' 3). - s. 418-422.
Буковецкий А.В., Никиенко А.В. Перспективы совершенствования методики проведения оценки эффективности системы физической защиты ядерных объектов // Фундаментальные исследования. - 2015. - № 9 (часть 3). - с. 418-422.

14. **Paşayev A.M., Nəbiyev R.N., Ramazanov K.Ş., Rüstəmov R.R.** Avtomatlaşdırılmış mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin etibarlılığının qiymətləndirilməsi // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri. 2018, -№2. s. 11-27;
 15. **Leus A.V.** Matematicheskaya model' otsenki effektivnosti sistem fizicheskoy zashity // T. Comm Telekommunikatsii i transport, 2010, №6, - s. 46-49
Лейс А.В. Математическая модель оценки эффективности систем физической защиты // Т. Comm Телекоммуникации и транспорт, 2010, №6, - с. 46-49.
 16. **Nəbiyev R.N., Ramazanov K.Ş., Rüstəmov R.R.** Təkmilləşdirilmiş mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin riyazi modelinin qurulması // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri. 2019, 21 №2. s. 138-146.
-

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОХРАННО-ИЗВЕЩАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Р.Н. НАБИЕВ, К.Ш. РАМАЗАНОВ, Р.Р. РУСТАМОВ

В статье рассмотрены задачи оценки эффективности функционирования автоматизированной охранно-извещательной системы.

Проведены расчеты для оценки эффективности автоматизированной охранно-извещательной системы «İQM 4.00.000 TT və İT» периметра объекта метеорологической радиолокации, защищенной техническими средствами в условиях достоверного обнаружения нарушителя, оповещения группы защиты и нахождения в работоспособном состоянии инженерного технического средства защиты.

В результате расчетов определено, что значения высокоэффективных показателей системы находятся в пределах диапазона, установленного для оборудования гражданской авиации.

Ключевые слова: гражданская авиация, авиационная безопасность, охрана, объект, периметр, нарушитель, интегрированная, охранно-извещательная система, эффективность.

EFFICIENCY OF THE AUTOMATED SECURITY-NOTIFICATION SYSTEM

R.N. NABIYEV, K.Sh. RAMAZANOV, R.R. RUSTAMOV

The article examines the steps in assessing the effectiveness of the automated guarding-warning system.

The calculations were carried out to evaluate the effectiveness of «İQM 4.00.000 TT və İT» automated guarding-warning system of the perimeter of meteorological radar facility protected by technical means under conditions of reliable detection of the intruder, protection of the technical group and defence group, as well as protection of engineering equipment. As a result of the calculations, it was determined that the values of highly efficient indicators of the system are within the range established for the civil aviation equipment.

Keywords: civil aviation, aviation security, guarding, object, perimeter, intruder, integrated, guarding-warning system, efficiency.

<i>Redaksiyaya daxil olub:</i>	<i>17.06.2019</i>
<i>Tamamlama işlərindən sonra:</i>	<i>09.03.2020</i>
<i>Nəşrə qəbul edilib:</i>	<i>13.03.2020</i>

УДК 528.4, 528.856

YAĞIŞIN GPS MÖVQETƏYİNİTİMƏ SİSTEMLƏRİNİN KEYFİYYƏTİNƏ ETDİYİ TƏSİRİNİN KOMPLEKS QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

R.Ə. EMİNOV¹, S. İ. İBRAHİMOVA¹

Məlumdur ki, yağışlar kimi bəzi amillər GPS siqnallarının gecikməsinə və onların çoxyolluluğuna gətirib çıxarır. Buna görə də yağışların GS mövqetəyinetmə nəticələrinin keyfiyyətinə etdiyi təsirin kompleks qiymətləndirilməsinə ehtiyac yaranır. Qeyd edilənləri nəzərə alaraq GPS sisteminin siqnal / səs nisbəti, siqnal gecikməsi və fazalı gecikmə kimi göstəricilərinə yağışın etdiyi cəm təsirin qiymətləndirilməsi üçün kompleks yanaşma təklif olunub. Bütövlükdə yağışa, doluya, qara və bir çox digər hidrometeoroloji hadisələrə müəyyən həcmdə paylanmış diskret hissəciklər kimi baxılıb. GPS sisteminin işinə neqativ təsir edən yağışla bağlı amillər təhlil olunmuşdur. Yağışın GPS sisteminin işinə etdiyi neqativ təsirin öyrənilməsinə yönəlmiş kompleks yanaşmanın göstəricisi təklif olunmuşdur. Qeyd olunmuşdur ki, su buxarlarının ümumi miqdarının ikitərkibli təbiətdə olmasına baxmayaraq, yağışdan əvvəl cəm su buxarının iki tərkibə dəqiq ayırmaq mümkün olmur. Yağışdan 20 dəqiqə əvvəl GPS siqnallarının kəskin artmağa başlayan rütubət gecikmələri GPS sisteminin fəaliyyətinə mənfi təsir etməyə başlayır. Üçüncü vacib amil kimi yağışdan sonra GPS qəbuledici antenasının ətrafındakı nəm torpaqların təsirdən GPS siqnalların baş verən qaytarılması nəticəsində əmələ gələn çoxyolluluq qeyd olunur. GPS sisteminin işinə neqativ təsir edən yağışla bağlı əsas amillər təhlil olunmuşdur. Yağışın GPS sisteminin işinə etdiyi neqativ təsirin öyrənilməsinə yönəlmiş kompleks yanaşmanın göstəricisi təklif olunmuşdur.

Açar sözlər: GPS siqnal, yağış, təsir göstəricisi, keyfiyyət, qiymətləndirmə, rütubət gecikməsi.

Giriş. Məlumdur ki, həm global mövqetəyinetmə sistemi, həm də GPS sistemi yer üzərindəki müxtəlif obyektlərdən həmin sistemlərin peyklərinə qədər olan məsafələri ölçməyə imkan verir. GPS sistemi trilaterasiya prinsipi əsasında işləyərək üç baza nöqtələrin əsasında qurulmuş üçbucağın tərəflərini ölçür. Nöqtələrin biri təyin olunan obyektədir, digər ikisi isə GPS sisteminin peykləridir. GPS mövqetəyinetmə əməliyyatı aşağıdakı hava amillərini nəzərə almaqla aparılmalıdır [1]:

1. Sistem elektromaqnit qasırğa şəraitində normal iş rejimini təmin edə bilməyən halını.
2. Müxtəlif adi və anomal hava dəyişikliklərinin dəqiq qeydə alınmasının təmin edilməsi halını.
3. Güclü qar, yağış, dolu və qasırğa şəraitində yüksəkdəqiqli GPS ölçmələrinin aparılması mümkün olmayan halını.

¹ Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
E-mail: eminovramiz@mail.ru

4. Günəş maqnit qasırğaları yüksəkdeqiqli GPS ölçmələrini aparmağa imkan verməyən halını.

Yuxarıda adlarını çəkdiyimiz bütün bu və digər amillər GPS mövqetəyinetmə nəticələrində böyük xətlərin yaranmasına səbəb ola bilər [2].

GPS qəbuledici mövqeyinin təyini nəticəsinin ortakvadratik kənarlaşmasını bu düsturla təyin edirlər [3];

$$\sigma_{rc} = \sqrt{PDOP^2 \cdot \sigma_R^2 + \sigma_{num}^2}, \quad (1)$$

burada $PDOP$ - mövqeyin həndəsi amillə bağlı olan təyini dəqiqliyinin kiçildilməsi əmsalındır; σ_{num} - təqribi hesablamə metodlarının tətbiqi ilə bağlı xətanın ortakvadratik kənarlaşmasıdır; σ_R - C/A (Corse/Acquistion) kodunun təyin edilməsi xətasının ortakvadratik kənarlaşmasıdır, onu bu düsturla təyin edirlər:

$$\sigma_R = \sqrt{\sum_{i=1}^6 \sigma_i^2}, \quad (2)$$

burada σ_1 -ionosfer effektinə görə xətanın ortakvadratik kənarlaşmasıdır; σ_2 -efemeridlərə görə xətanın ortakvadratik kənarlaşmasıdır; σ_3 -peyk saatlarına görə xətanın ortakvadratik kənarlaşmasıdır; σ_4 -çox-yoluluğa görə təhrifin ortakvadratik kənarlaşmasıdır; σ_5 -troposfer effektlərinə görə xətanın ortakvadratik kənarlaşmasıdır. σ_i ($i=1,5$) qiymətləri cədv. 1-də verilmişdir [3].

Cədvəl 1.

σ_i ($i=1,5$) qiymətləri				
σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_5
± 5 M	$\pm 2,5$ M	± 2 M	± 1 M	$\pm 0,5$ M

(2) qiymətləndirmə düsturunun ümumilikdə qəbul olunmasına baxmayaraq, yağışlar kimi bəzi amillər siqnallar keçməsinin çoxyolluluğuna gətirib çıxara bilər. Buna görə də yağışların GPS mövqetəyinetmə nəticələrinin keyfiyyətinə etdiyi təsirin kompleks qiymətləndirilməsinə ehtiyac yaranır.

Məsələnin həlli. Yuxarıda qeyd edilənləri nəzərə alaraq, yağışların GPS mövqetəyinetmə sistemlərinə etdiyi təsirlərinin öyrənilməsi məsələsini nəzərdən keçirək. GPS mövqetəyinetmə sisteminin siqnal/səs nisbəti, siqnal gecikməsi və fazalı gecikmə kimi göstəricilərinə yağışın etdiyi cəm təsirin qiymətləndirilməsi üçün kompleks yanaşma tələb olunur.

Bütövlükdə yağışa, eləcə də qar, dolu və bir çox digər hidrometeoroloji hadisələrə müəyyən həcmdə paylanmış diskret hissəciklər kimi baxıla bilər. İş [4]-də qeyd olunduğu kimi təsadüfi paylanmış diskret hissəciklərdən radiasiyanın irəliyə doğru səpələnməsi fazalı gecikmə törədir. Əgər yağışın səpələnməmiş hissəcikləri ətrafda bərabər miqdarda paylanarsa, onda yağışa görə törənmiş əlavə fazalı sürüşmə bu cür təyin olunacaq

$$\psi_{h,v} = 10^{-3} \cdot 2 \cdot \frac{\pi}{k} \int Re[f_{h,v}(D)N(D)dD], \quad (3)$$

burada $\psi_{h,v}$ - yayılma fazasıdır, rad· km⁻¹; $K = \frac{2\pi}{\lambda}$; burada λ -GPS siqnalların dalğa uzunluğudur, mm-lə; $N(D)$ - yağışın konsentrasiyasıdır (hissəciklərin m³-lə miqdarıdır); D - hissəciklərin mm-lə diametridir; $Re[f_{h,v}(D)N(D)]$ - üfüqi yaxud şaquli polyarizasiya üçün irəliyə səpələnmə amplitudasının real hissəsidir, mm-lə [4].

Səpələnmə amplitudası hissəciklərin tezliyinə və həcminə mütənasibdir [5], yəni

$$f_{h,v} \sim kV \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 2},$$

burada, V - hissəciyin həcmidir; ε_r - nisbi keçiricilikdir.

Yağışın hissəciklər ölçülərinin paylanması eksponensial formaya malikdir.

$$N(D) = N_0 e^{-\Lambda D}$$

Λ qiymətini hesablamaq üçün aşağıdakı düsturdan istifadə edilir:

$$\Lambda = \frac{4,1}{R^{0,01}},$$

burada R - yağışın sürətidir, $\text{mm} \cdot \text{saat}^{-1}$.

(3)-cü düstura görə hesablanan fazalı gecikmənin qiymətləri Şək.1-də 3 yağış sürətləri üçün verilmişdir; $R < 20 \text{ mm} \cdot \text{saat}^{-1}$; $20 < R < 60 \text{ mm} \cdot \text{saat}^{-1}$; $R > 60 \text{ mm} \cdot \text{saat}^{-1}$.

Yağışların GPS mövqetəyinetmə sisteminin iş keyfiyyətinə etdiyi cəm təsirinin kompleks qiymətləndirmə məsələsi yağışa səbəb olan əvvəlki yaxud da onun yağması nəticəsində baş verən sonrakı təbiət amillərinin də öyrənilməsini tələb edir.

İlk növbədə yağışdan əvvəlki hadisələri nəzərdən keçirək. Bu hadisə kimi yağışdan əvvəl hava rütubətinin dəyişməsinə və GPS siqnalın rütubət gecikməsinin münasib artmasını hesab edək. Bütövlükdə GPS mövqetəyinetmə sistemləri aşağıdakı düsturla təyin olunan cəm gecikmə ilə xarakterizə edilir [5]

$$ZTD = ZWD + ZHD, \quad (4)$$

burada ZTD -cəm zenit gecikməsidir; ZWD -cəm rütubət gecikməsidir; ZHD -zenit hidrostatik gecikməsidir.

Yaxşı öyrənilib, öz iş qabiliyyətini göstərmiş bir çox ZHD modelləri məlumdur.

GPS mövqetəyinetmə sistemlərinin dəqiqliyinə ən çox təsir edən ZWD zenit rütubət gecikməsi aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$ZWD = \frac{PWV}{\Pi(T_m)}, \quad (5)$$

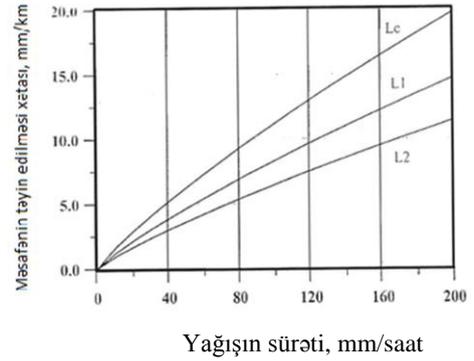
burada PWV - çökmüş su buxarının cəm qiymətidir; $\Pi(T_m)$ - ölçüsüz kəmiyyətdir (atmosfer hərərinin orta çəki qiymətinə görə təyin olunur).

[6]-cı işdə qeyd olunur ki, su buxarının ümumi miqdarının zamanla dəyişməsi ilə yağışın başlanması anı arasında dəqiq müəyyən olunmuş əlaqə mövcuddur. Çökmüş su buxarının ümumi miqdarının dəyişməsi iki zaman miqyasında baş verir:

- 1) yağışdan əvvəl saat miqyasında aşağısürətli dəyişməsi;
- 2) yağışdan 20-40 dəqiqə əvvəl su buxarının ümumi miqdarının yuxarı sürətli artması.

Bu zaman su buxarlarının ümumi miqdarının sürətlə artmasından gözlənilən yağışın proqnozunda istifadə edilə bilər.

Şək.2-də böyük sahə üçün yağışın olmasının (əyri 1) və su buxarının ümumi miqdarının dəyişməsinin (əyri 2) zaman ardıcılığı göstərilmişdir. Qrafiklərdən görünür ki, yağışla su buxarının maksimum miqdarlara çatmaları arasında vaxt intervalı 20-40 dəqiqə təşkil edir.



Şək. 1. 3-cü düstura görə hesablanmış fazalı gecikmənin qiymətləri.

Su buxarlarının ümumi miqdarının ikitər-
kibli təbiətdə olmasına baxmayaraq, yağışdan
əvvəl cəm su buxarını iki tərkibə dəqiq ayırmaq
mümkün olmur. Yuxarıda qeyd etdiklərimizi
nəzərə alaraq demək olar ki, yağışdan 20-40 də-
qiqə əvvəl GPS siqnallarının kəskin artmağa
başlayan rütubət gecikmələri GPS sisteminin
fəaliyyətinə mənfi təsir etməyə başlayır.

Üçüncü vacib amil kimi yağışdan sonra
GPS qəbuledici antenasının ətrafındakı nəm
torpaqların təsirindən GPS siqnalların baş verən
qaytarılması nəticəsində əmələ gələn çoxyol-
luluğu qeyd etmək olar.

[7]-ci işdə göstərilirdi kimi, çoxyolluluq effekti praktiki olaraq bütün GPS şəbəkələrində
mövcuddur. Bu effekt fəsillər boyu ya asta dəyişə bilər, ya da ki, qar yağdığı halda kəskin dəyişə
bilir. Yaxşı məlumdur ki, GPS siqnalları yer və su səthləri, binalar, avtomobillər, dağlar, ağaclar
və yaxında olan digər obyektlərdən qaytarılıb qəbulediciyə daxil olan halda çoxyolluluq effekti
yarana bilər. Multiyolluluq effekti C/A- kodunu, P-kodunu və eləcə də daşıyan tezliyin müşahidə
olunan fazasını pozur. Bununla yanaşı birbaşa düz xətt boyu qəbul olunan siqnallarla müqayisədə
çoxyollu siqnallarda həmişə gecikmə baş verir, çünki qaytarma nəticəsində onların gəlmə yolu
uzanır.

[8,9]-cu işdə göstərilirdi kimi, GPS-qəbuledicisinin ətrafında nəm torpaq olan halda gələn
siqnallar ondan qaytarılaraq qəbulediciyə daxil olunur və son nəticədə çoxyolluluğa gətirib çıxarır.
Bunun nəticəsində çoxyolluluq effekti qəbul olunan siqnalın səs salmasına, yəni siqnal/səs
nisbətinin azalmasına gətirib çıxarır.

Beləliklə GPS mövqetəyinetmə sisteminin ölçmə dəqiqliyinə mənfi təsir edən yağışla bağlı
amillərin kompleks öyrənilməsi yağış təsirinə qiymətləndirilməsi üçün aşağıdakı kompleks
göstəricisinin təklif edilməsinə imkan vermişdir

Burada, X - hava rütubətinin yağışdan əvvəl kəskin artması ilə bağlı GPS siqnallarının
rütubət gecikməsidir; Y - yağış hissəciklərindən qaytarılma nəticəsində GPS siqnalların fazalı ge-
cikməsidir; Z - GPS qəbuledici antenasının ətrafındakı yerüstü nəm sahələrdən qaytarılma effektinə
görə azalan GPS sistemin siqnal/səs nisbətidir.

Yağışın GPS sisteminin dəqiqliyinə etdiyi təsirin təklif olunan Kg kompleks göstəricisi
üçölçülü dekart koordinatlar sistemində düzbucaqlının həcmi xarakterizə edir.

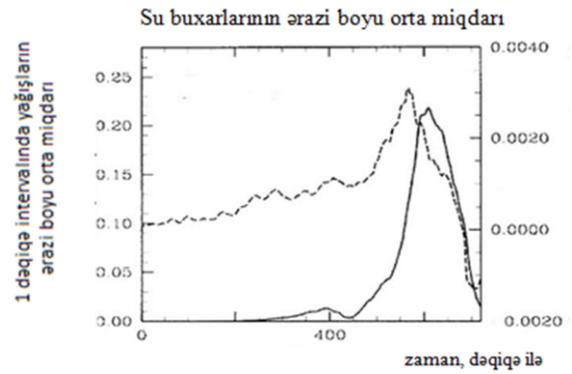
Beləliklə, GPS mövqetəyinetmə sisteminin dəqiqliyinə yağışın etdiyi təsirin
qiymətləndirilməsinə olan kompleks yanaşma həm yağışdan əvvəl, həm də ondan sonra baş verən
və neqativ effektləri xarakterizə edən vahid kompleks göstəricisini tapmağa imkan vermişdir.

Nəticə. Yekunda aparılmış tədqiqatların əsas nəticə və hallarını qeyd edək:

Yağışın GPS ölçmələrinin dəqiqliyinə etdiyi neqativ təsirin öyrənilməsi üçün kompleks
yanaşma konsepsiyası təklif olunmuşdur.

GPS sisteminin dəqiqliyinə neqativ təsir edən yağışla bağlı əsas amillər təhlil olunmuşdur.

GPS sisteminin işinə yağışın etdiyi neqativ təsirin öyrənilməsinə yönəlmiş kompleks
yanaşmanın göstəricisi təklif olunmuşdur.



Şək. 2. Böyük sahə üçün yağışın olmasının və ondan əvvəl atmosferdəki su buxarları miqdarının dəyişməsinin zaman ardıcılığı

REFERENCES

1. **Eminov R.A., Ismailov K.H., Javadov N.G., Gafarov N.G.** Voprosy ocenki vliyaniya dozhdya na troposfernyuyu zaderzhku signalov GPS navigacionnyh sistem / Barnaul, X Mezhdunarodnaya Nauchno-prakticheskaya konferenciya "Agrarnaya Nauka – sel'skomu hozjajstvu", sbornik statej, kniga 2, 2015, s. 381-382.
Эминов Р.А., Исмаилов К.Х., Джавадов Н.Г., Гафаров Н.Г. Вопросы оценки влияния дождя на тропосферную задержку сигналов GPS навигационных систем / Барнаул, X Международная Научно-практическая конференция "Аграрная Наука – сельскому хозяйству", сборник статей, книга 2, 2015, с. 381-382.
2. **Bai Z., Feng Y.** GPS Water vapor estimation using interpolated surface meteorological data from Australian automatic weather stations // Journal of Global Positioning Systems, 2003, Vol. 2, No. 2, pp.83-89.
3. **Done J.M., Huang X.-Y., Kuo B.** Investigation the relationship between water vapor convergence and severe convection using the WRF model at 1 km resolution.
<http://www.mmm.ucar.edu/people/huang/xuh.Reveived.Publications>
4. Error analysis for the Global Positioning System.
http://en.wikipedia.org/wiki/Error_analysis_for_the_Global_Positioning_System
5. **Ge L., Han Sh., Rizos Ch.** GPS multipath change detection in Permanent GPS //Survey Review, 36 (203), pp. 306-322.
6. **Larson K.M., Small E.E., Gutmann E., Bilich A., Axeirad P., Braun J.** Using GPS multipath to measure soil moisture fluctuations: initial results / GPS Solut (2008) No. 12, pp. 173-177. DOI 10.1017/s10291-007-0076-6.
7. **Solheim F.S., Vivekanandan J.** Propagation delays induced in GPS signals by dry air, water vapor, hydrometeors, and other particulates // Journal of Geophysical Research. Vol. 104, No. D8, Pages 9663-9670, April 27, 1999.
8. Training manual for GPS operations. January 2007.
www.dot.nd.gov/manuals/design/surveymanual
9. **Eminov R.Ə.** Atmosfer cəbhələrin gps signallarının gecikməsinə etdiyi təsirin qiymətləndirilməsi // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, Cild 11, №4, s. 108-113.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДОЖДЯ НА КАЧЕСТВО GPS СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Р.А. ЭМИНОВ, С.И. ИБРАГИМОВА

Известно, что отдельные тропосферные явления, в частности дожди, могут вызвать многокупность прохождения сигналов, и тогда потребуется комплексная оценка влияния дождей на качество результатов GPS позиционирования. Предлагается комплексный подход к оценке суммарного влияния дождя на такие характеристики GPS системы, как отношение «сигнал шум, задержка сигнала и фазовые задержки». В целом дождь, как и все гидrometeorологические события, такие как снег, град и т.д., рассмотрен в качестве множества дискретных частиц, распределенных в некотором объеме. Несмотря на двухсоставную природу общего количества водяных поров, имеющихся перед дождевыми осадками, четкое разделение суммарного водяного пара на две составляющие оказывается невозможным. Установлено, что за 20-40 минут до дождевых осадков происходит резкое увеличение влажной задержки GPS сигналов, приводящее к отрицательному воздействию дождя на качество функционирования GPS. Третьем важнейшем фактором, возникающим после дождя, является возможная многокупность GPS сигналов, возникающая из-за отражения от влажных земляных участков, расположенных в окрестности приемной GPS антенны. Проанализированы основные факторы, связанные с дождями, которые негативно влияют на функционирование GPS систем. Предложен показатель, характеризующий комплексный подход к изучению негативного влияния дождей на функционирование GPS систем.

COMPLEX EVALUATION OF RAIN IMPACT ON THE QUALITY OF GPS POSITIONING SYSTEMS

R.A. EMINOV, S.I. IBRAHIMOVA

It is known that some factors, such as rains, lead to delay in GPS signals and their high frequency. Therefore, a comprehensive assessment of the impact of rainfall on the quality of GPS positioning results is needed. Given the above, a comprehensive approach has been proposed to evaluate the cumulative effects of rainfall on GPS indicators such as signal, sound ratio, and phase delay. In general, rain, hail, snow, and many other hydrometeorological events have been treated as discrete particles in certain volume. The rainfall factors that have a negative impact on the performance of the GPS system have been analyzed. An indicator of a comprehensive approach to the study of the negative impact of rain on the GPS system has been proposed. It is noted that although the total amount of water vapor is of a double nature, it is not possible to accurately separate the two water vapor before the rain. Humidity delays, which begin to increase GPS signals 20 minutes before rain, begin to adversely affect the performance of the GPS system. A third important factor is the multiplicity of GPS signals that can occur due to the effects of moist soil around the GPS receiver antenna after the rain. Analysis of the main factors related to the rain that negatively affect the performance of the GPS system were made. An indicator of a comprehensive approach to the study of the negative impact of rain on the GPS system has been proposed.

Key words: rain, GPS signals, impact indicator, quality, rating, humidity delay.

Redaksiyaya daxil olub: 10.07.2019
Tamamlama işlərindən sonra: 12.03.2020
Nəşrə qəbul edilib: 15.03.2020

UOT 62.83.52

YÜK NASOSUNUN ELEKTRİK İNTİQALININ YUMŞAQ İŞƏBURAXICILAR VASİTƏSİLƏ İŞƏ BURAXILMASININ TƏDQIQI

E.F. SULTANOV¹, S.S. İSMAYILOV¹, A.S. ŞIXIYEV¹

Məqalədə istismarda olan gəmilərin mövcud yük nasoslarının elektrik intiqallarının işə buraxılmasından bəhs edilir. Burada elektrik intiqalının işəburaxılması mühərrikin stator dolaqlarını ulduz sxemindən üçbucaq sxeminə keçirməklə yerinə yetirilir. Bu işəburaxma üsulu kifayət qədər etibarlı sayılır. Araşdırma zamanı həmçinin məlum olmuşdur ki, həmin elektrik intiqallarında keçid prosesi zamanı, mühərrikin dolaqlarının işəburaxma cərəyanı nominaldan 5-7 dəfə çox və onun valındakı fırlanma momenti nominal qiymətin 150-200 %-ni təşkil edir. Bu hadisələr isə mühərrikin mexaniki hissələrinin vaxtından əvvəl sıradan çıxmasına, qidalandırıcı şəbəkənin gərginlik aşırımına səbəb olur.

Bütün bunları nəzərə alaraq, məqalədə qısaqapanmış rotorlu asinxron mühərrikin idarə olunması üçün stator dövrəsinə yumşaq işəburaxıcının (soft-starter) qoşulması nəzərdən keçirilmişdir. Yük nasoslarının elektrik intiqallarının mövcud idarəetmə sistemləri müasir dövrün tələblərinə cavab vermədiyinə görə, idarəetmə sistemlərinin etibarlığını yüksəltmək və elektrik enerjisinin sərfinin azaldılması məqsədilə, istismarda olan və yeni hazırlanan AUT2 avtomatlaşdırma dərəcəsi olan maye-yük daşıyan gəmilərdə böyük güclü elektrik intiqallarının işə buraxılması zamanı yumşaq işəburaxıcılardan istifadə olunması təklif olunur.

Açar sözlər: gəmi, asinxron mühərrik, yük nasosu, elektrik intiqalı, yumşaq işəburaxıcı, ulduz-üçbucaq.

Giriş. Nasosları xidmət etdikləri sistemlərə uyğun olaraq aşağıdakı qruplara bölürlər: gəmi mühərriklərinə və buxar güc qurğularına xidmət göstərən köməkçi nasoslar; ümumgəmi təyinatlı nasoslar; xüsusi təyinatlı nasoslar.

Birinci qrupa daxili yanma mühərriklərini soyudan nasoslar, yarımgüc qurğularının içməli su, dövrəedic və kondensat nasosları, yanacaq və yağ nasosları aiddir. İkinci qrupa gəminin təhlükəsiz üzməsinə, gəmi heyətinin və sənişinlərin sanitar-məişət şəraitini təmin edən nasoslar aid olunur. Bura yanğın nasosu, qurutma, ballast, sanitar və içməli su nasosları daxildir [1]. Üçüncü qrupa müəyyən bir gəmi üçün nəzərdə tutulmuş xüsusi təyinatlı nasoslar aid olunur. Məsələn, tankerlərdə istifadə edilən yük və təmizləmə nasosları, buzqıran gəmilərdə istifadə olunan kren nasosları, xilasedici gəmilərdə güclü suvuran nasoslar və s.

Elektrik intiqalı vasitəsilə hərəkətə gətirilən qurğulara misal olaraq yük nasoslarının, sükan qurğularının və yükqaldırıcı mexanizmlərin elektrik intiqallarını göstərmək olar. Hal-hazırda

¹ Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
E-mail: elshen_sultanov@mail.ru

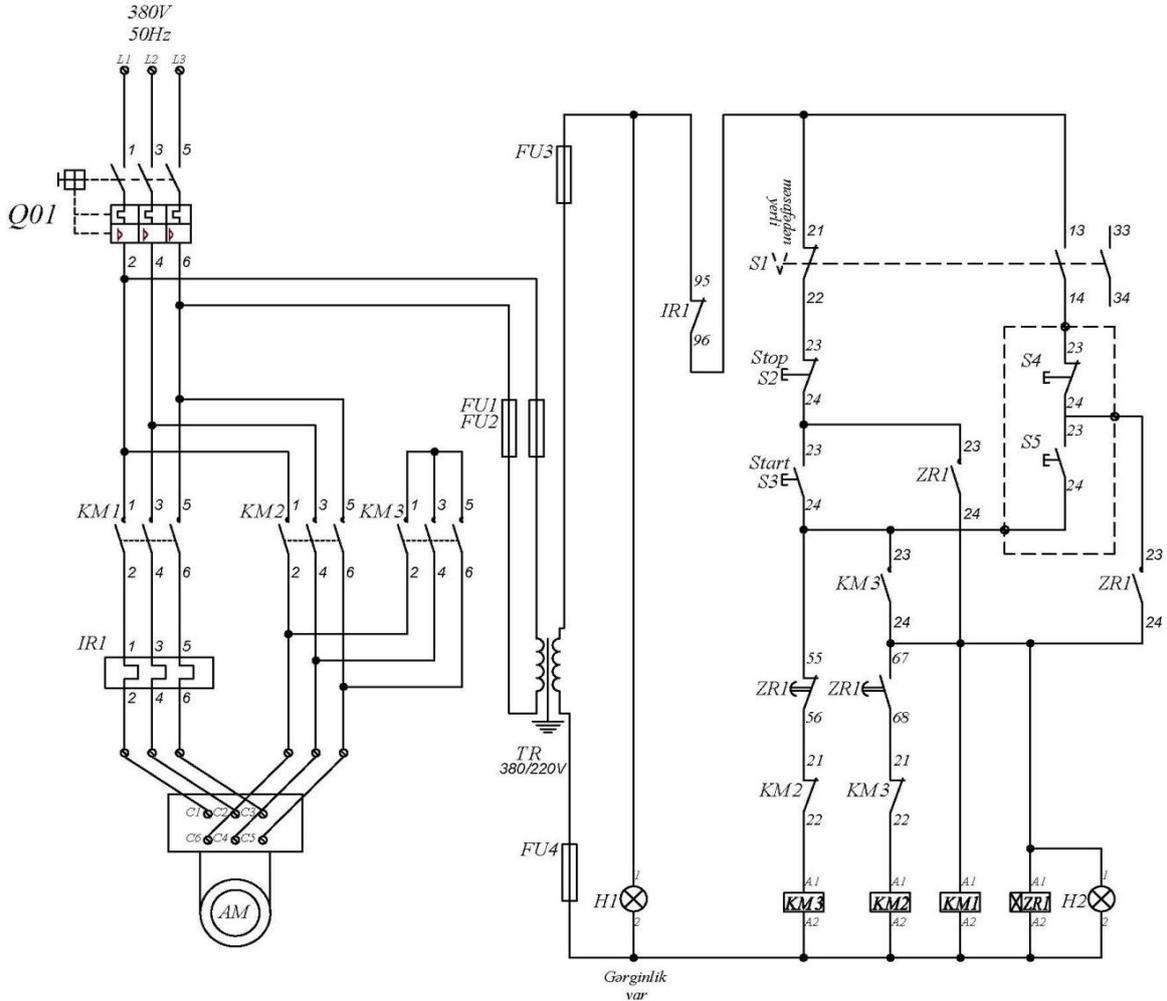
istismarda olan gəmilərin bir hissəsində yük nasoslarının elektrik intiqallarının işə buraxılması mühərrikin stator dolaqlarının ulduzdan üçbucağa keçirməklə yerinə yetirilir. Bu işəburaxma üsulu kifayət qədər etibarlı deyildir [2, 3].

Asinxron mühərriklərin ulduzdan üçbucağa keçməklə işə buraxma üsulunun mənfi cəhətləri aşağıdakılardır:

1. Mühərrik ulduz sxemindən üçbucaq sxeminə keçid edəndə cərəyan sıçrayışla böyük qiymət alması;
2. Mühərrikin işə buraxma momentinin kiçik olması;
3. Ulduz-üçbucaq keçidi zamanı mexaniki zərbələr yaranması.

Etibarlıq nəzəriyyəsinə təmirolunma dövr arası müddətinin, istismar itkilərinin analizi və minimallaşdırılmasına istinad olunan, təyin metodları mövcuddur. Lakin imtinalar, qəza hallarının artması və istismar edici personalın zədələnməsi ilə nəticələndiyi halda, bu baxımdan yanaşma qəbuləilməzdir [4-6].

Bunları nəzərə alaraq yanğın nasosunun elektrik intiqalının idarə olunması sxemini nəzərdən keçirək (şəkil 1).



Şək. 1. Yük nasosunun elektrik intiqalının idarə sxemi

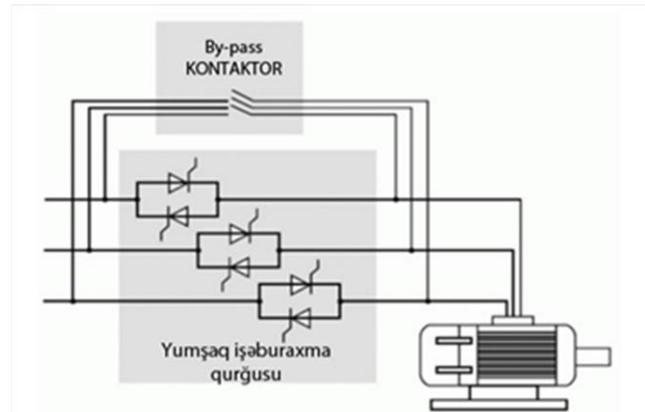
Əsas hissə. Yük nasosu 380V gərginliklə işləyən asinxron mühərriklə işə salınır. Mühərrik böyük güclü olduğu üçün ulduz-üçbucaq işəburaxma üsulunun köməyi ilə işə buraxılır. Burada sxem iki hissədən ibarətdir: Mühərriki işə salan güc dövrəsi və idarə dövrəsi. Mühərriki işə salmaq üçün ilk növbədə güc dövrəsində olan Q01 yük avtomat açarı qapanmalıdır. Q01 avtomat açarı güc dövrəsinin qısa qapanmadan və artıq yüklənmədən mühafizəsini təmin edir. Sxemdə qoyulan FU(1-4) qoruyucuları idarəetmə dövrəsinin artıq yüklənmə və qısa qapanmadan mühafizəsi üçün nəzərdə tutulub. Mühərrikin artıq yüklənmədən mühafizəsini istilik relesi həyata keçirir. Gərginlik transformatoru vasitəsilə 220V idarə gərginliyi alınır. Bu sxemdə iki cür idarəetmə mümkündür: Yerli və məsafədən. Yerli idarə panelin üzərindən idarəetmə düymələri vasitəsilə, məsafədən idarə isə kənardan idarəetmə pultu vasitəsilə mümkündür. Yerli idarəetmə üçün S1 çevirgəci “yerli” vəziyyətinə gətirilir. Mühərriki işə buraxmaq üçün S3 start düyməsini sıxmaq lazımdır. Bu zaman KM3 kontaktorunun və ZR1 zaman relesinin dolağına gərginlik verilməlidir. Ulduz birləşmə yaradan KM3 kontaktoru öz güc kontaktlarını qapayır. KM3 kontaktorunun KM2 kontaktorunun dolağına gərginlik ötürən kontaktı açılır. Zaman relesi özünü bloklayan və KM1 kontaktorunun dolağını qidalandıran kontaktlarını qapayır. Bu zaman əsas kontaktor olan KM1 kontaktorunun güc kontaktları qapanır, KM1 və KM3 kontaktorlarının köməyi ilə mühərrik ulduz birləşmə ilə işə buraxılır. Zaman relesi bir neçə saniyə gözlədikdən sonra KM3 kontaktorunun dolağını qidalandıran kontaktını açır və KM2 kontaktorunun dolağına gərginlik ötürən kontaktını qapayır [5].

KM2 kontaktorunun güc kontaktları qapanır və mühərrik üçbucaq birləşmə ilə hərəkətini davam etdirir. S2 stop düyməsini sıxaraq mühərriki dayandırılır.

Elektrik mühərrikinin keçid prosesində baş verən hadisələrlə əlaqədar, işə düşmə zamanı dolaqların cərəyanı nominal cərəyandan 6-8 dəfə çox olur və onun valının fırlanma momenti nominal qiymətin 150-200%-ə çatır. Bu hadisələr mühərrikin mexaniki hissələrinin sıradan çıxmasına, qidalandırıcı şəbəkənin gərginlik itkisinə səbəb olur [4].

Bu məsələni həll etmək üçün təcrübədə mühərrikin yumşaq işəburaxma avadanlığından istifadə olunur və yük cərəyanının, tədricən, artımı təşkil olunur. Bunun üçün yumşaq işəburaxma avadanlıqları aşağıdakı variantlarda təklif edilir:

- Mühərrikin dolaqlarının qızmasının azaldılması;
- İşə düşmə zamanı gərginlik itkisinin azaldılması;
- Dayanmanın təmin edilməsi və sonrakı işə düşmə vaxtının təyin edilməsi;
- Nasos qurğularında, borularda təzyiqin və hidro zərbələrin azaldılması;
- Elektomaqnit küylərin azaldılması;
- Mühərrikin kompleks mühafizəsini təşkil etmək (gərginlik itkisi və artımı, mexaniki tutulmalar və s.);
- Sistemin daimi və etibarlı işinin təşkil edilməsi.



Şəkl. 2. Yumşaq işəburaxma qurğusunun sxemi

Qısaqapanmış rotorlu asinxron mühərrikin idarə olunması üçün güc elementi kimi stator dövrəsinə yumşaq işə buraxıcının (soft-starter) qoşulmasını nəzərdən keçirmək məqsədi ilə işəburaxma qurğusunun sxemi şəkil 2 -də göstərilmişdir.

Tiristorun açılma bucağının dəyişməsi nəticəsində yumşaq işəburaxma qurğusunun çıxış gərginliyinin tənzimlənməsi həyata keçirilir. Tiristorun açılma bucağı nə qədər böyük olarsa, o zaman mühərriki qidalandıran çıxış gərginliyinin qiyməti də o qədər böyük olar [4].

Yumşaq işəburaxma zamanı işə düşmə cərəyanının azalması prosesi şəkil 3-də açıq aydın görünür.

Yumşaq işəburaxma qurğularının əsas parametrləri aşağıdakılardır:

1. Yumşaq işəburaxma qurğusunun işləmə rejiminin təyini;
2. İşə düşmə müddəti;
3. İşə düşmə cərəyanının maksimal yuxarı həddi.

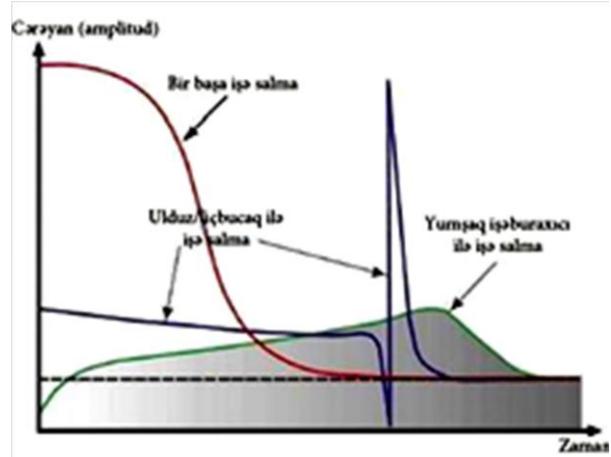
Bu deyilənləri nəzərə alaraq, yumşaq işəburaxma qurğusunun aşağıdakı rejimləri ortaya çıxır:

Normal iş rejimi: işə düşmə müddəti 10-20 saniyə, işə düşmə cərəyanı $3,5I_{nom}$ keçmir.

Ağır iş rejimi: işə düşmə müddəti 30 saniyə, işə düşmə cərəyanı $4,5I_{nom}$ aşmamalıdır.

Daha ağır iş rejimi: işə düşmə müddətinə məhdudiyət yoxdur, işə düşmə cərəyanı $5,5...8I_{nom}$ ola bilər.

Nəticə. Gəmi yük nasosunun elektrik intiqallarının yumşaq işəburaxıcılar vasitəsilə işə buraxılmasının üstünlükləri kimi aşağıdakıları qeyd etmək olar: Yük nasosunun elektrik mühərrikinin dolaqlarının qızmasının azaldılması; Mühərrikin işə düşməsi zamanı gərginlik itkisinin azaldılması; Yük nasosunun etibarlı və istismarının asan olması; Mexaniki zərbələrin qarşısının alınması və s. diqqət mərkəzində olmalıdır.



Şəkil 3. İşəburaxma cərəyanının azalma diaqramı

REFERENCES

1. Babaev A.M., Jagodkin V.A. Avtomatizirovannye sudovye elektroprivody, M.: Transport, 1986. 448 s. Бабаев А.М., Ягодкин В.А. Автоматизированные судовые электроприводы, М.: Транспорт, 1986. 448 с.
2. Mehdiyev H.A., Həsənov Z.Ə, Şabanov T.H. Avtomatlaşdırılmış gəmi elektrik intiqalları. Bakı: Nurlan, 2005. 358 s.
3. Sultanov E.F., Abdullayev A.N. Müasir gəmi elektrik intiqalları: Dərslik. Bakı, ADDA mətbəəsi, 2018l.- 438 s.
4. Frolov Ju.A., Hohlovskij V.N. Rukovodstvo po reshenijam v avtomatizacii. M.: "Shenider Electric", 2011. 323 s. Фролов Ю.А., Хохловский В.Н. Руководство по решениям в автоматизации. М.: "Shenider Electric", 2011. 323 с.
5. Naftalan tipli (Layihəli 1677M) gəminin texniki sənədləri, Volqoqrad, 1983l.
6. Dyshin O.A., Gabibov I.A., Abbasova S.M. Operativnaya ocenka mezhremontnogo perioda pogruzhnyh elektronasosov s uchetom vozmozhnogo poyavleniya opasnyh otkazov // Vestnik Azerbajjanskoj inzhenernoj akademii. 2017. T.9, №2. S. 53-60. Дышин О.А., Габибов И.А., Абасова С.М. Оперативная оценка межремонтного периода погружных электронасосов с учетом возможного появления опасных отказов // Вестник Азербайджанской инженерной академии. 2017. Т.9, №2. С. 53-60.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПУСКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГРУЗОВОГО НАСОСА С ПОМОЩЬЮ
УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА**

Э.Ф. СУЛТАНОВ, С.С. ИСМАЙЛОВ, А. С. ШЫХИЕВ

В статье рассмотрены вопросы пуска в работу электроприводов грузовых насосов, применяющихся на эксплуатируемых судах. Пуск электродвигателя осуществляется путем переключения статорной обмотки электродвигателя со схемы «звезда» на схему «треугольник». При исследованиях было выявлено, что пусковой ток обмоток двигателя в 5-7 раз больше номинального и вращающий момент на валу доходит до 150-200 % номинального. Это приводит к преждевременному выходу из строя механических частей двигателя, провалу напряжения в питающей сети.

Учитывая вышеуказанное, в статье рассмотрено управление асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором, подключением к его статорной обмотке устройства плавного пуска (soft starter). Ввиду несоответствия современным требованиям существующих систем управления электроприводов грузовых насосов с целью повышения надежности системы управления и понижения расхода на электроэнергию, предлагается устройство плавного пуска, с целью использования в запуске электроприводов большой мощности, на недавно построенных наливных судах, находящихся в эксплуатации со степенью автоматизации AUT2.

Ключевые слова: судно, асинхронный двигатель, грузовой насос, электропривод, софт-стартер, звезда – треугольник.

**INVESTIGATION OF THE ELECTRIC DRIVE OF THE FREIGHT PUMP
USING A SOFT STARTER**

E.F. SULTANOV, S.S. İSMAYILOV, A.S. ŞIXIYEV

In the article is told about the starting of the electric drives of cargo pumps existing on the exploited vessels. Here the starting of the electric drive is fulfilled by the switching from a star to the stator windings triangle of an engine. During research it was found, that the transients are connected with the starting current of the motor windings is 5-7 times rotation moment reaches 150-200% of the nominal. These events lead to failure of the mechanical parts of the engine, loss of voltage in the supplying network.

Taking all this into account, the article provides the connecting of soft starter to the stator windings to control an asynchronous motor with a short-circuited rotor, as the main element. Existing control systems for electric drivers of cargo pumps due to non-corresponding with the requirements of the modern period in order to improve the reliability of the control systems and reduce energy consumption, proposed the using of a soft starter to start electric drives with higher power on ships transporting the liquid cargo, which is in operation and recently built with a degree automation.

Keywords: ship, asynchronous motor, freight pump, electric drive, soft-starter, star-delta.

<i>Redaksiyaya daxil olub:</i>	<i>10.06.2019</i>
<i>Tamamlama işlərindən sonra:</i>	<i>07.03.2020</i>
<i>Nəşrə qəbul edilib:</i>	<i>10.03.2020</i>

УДК 553 441 (571.53)

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХАР-ХАРСКОГО МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (Малый Кавказ)

М.И. АЛИЕВ¹, А.З. АХМЕДОВ¹, А.А. ШИБАЕВА¹, Ш.М. КИТАЧАЕВ¹

На примере технологической пробы руды, отобранной из геологической разведочной штольни, расположенной в зоне вторичного сульфидного обогащения рассматриваемого месторождения, детально рассмотрен вещественный состав (химический и минералогический), а также металлургические (флотационные) особенности этого минерального сырья. Основным промышленно ценным компонентом руды является медь (0,6%). Для попутного извлечения значимый интерес представляет золото (0,48г/т) и частично серебро (6,8г/т). Минералогическими исследованиями установлено, что рудная минерализация представлена в основном пиритом, гетитом, халькопиритом и халькозином; редко ковеллином. Рудовмещающие породы характеризуются в основном кварц-полевошпатовыми метасоматитами, главными минералами которых являются кварц и полевой шпат (альбит). С учётом вещественного состава руды экспериментально разработаны технологическая схема и реагентный режим флотационного обогащения, обеспечившие получение кондиционного медного концентрата марки КМ-7 (Cu – 15,1%), при извлечении в него 85,6% названного металла. Наряду с медью в данный концентрат с промышленно значимыми (оплачиваемыми) содержаниями соизвлекаются 75,15% золота и 62,6% серебра, содержащихся в руде, что обеспечивает значительное повышение ценности полученного товарного флотоконцентрата. Ключевые слова: Малый Кавказ, Хар-Хар, медно-порфировая руда, вещественный состав, технология переработки, флотация.

Ключевые слова: Хар-Хар, медно-порфировая руда, вещественный состав, технология переработки, флотация.

Введение. Медно-порфировые руды являются существенным сырьевым источником в мировой практике производства меди. В последние годы усилиями геологов Азербайджана на М. Кавказе, в частности в Лок-Агдамской структурно-формационной зоне, выявлены ряд перспективных медно-порфировых месторождений и рудопроявлений (Карадаг, Хар-Хар, Гошгарчай, Хошял и др.). Среди перечисленных определённой перспективностью характеризуется Хар-Харское месторождение, расположенное в Кедабекском административном районе.

Рассматриваемое месторождение представляет собой продолжение южного участка значительно более крупного Карадагского медно-порфирового месторождения и образует

¹ Лаборатория Национальной геологоразведочной службы МЭПР Азербайджана
E-mail: alikahmedov@mail.ru

совместно Хар-Хар – Карадагскую рудную площадь, в которой оруденение характеризуется прожилково-вкрапленными и вкрапленными текстурно-структурными видами руд штокверкового типа [1].

На Хар-Харском месторождении, согласно ранее выполненным геологоразведочным работам, выделяются зоны окисления, выщелачивания и вторичного сульфидного обогащения, ниже которых находятся первичные руды. Границы между первичными и вторичными рудами неровные. Рудная минерализация характеризуется в основном пирит-халькозин-халькопирит и пирит-халькопиритовым составом. Содержания ценных компонентов в зоне окисления наиболее низкие. В зоне вторичного сульфидного обогащения сосредоточены наиболее богатые руды, основным промышленно значимым компонентом которых является медь, отмечаются также присутствие незначительных содержаний золота (0,1-0,4г/т) и серебра (5-10г/т). Содержание молибдена в руде в основном низкое (0,001-0,003%); он представлен молибденитом в виде налётов, примазок, тонких прожилков и вкраплений [2].

Необходимо отметить, что технологические, в том числе металлургические особенности руд Хар-Харского месторождения никем ранее не изучалось и, по существу, оценка данного минерального сырья в указанном направлении впервые рассматривается в настоящей статье.

Исследования выполнены на материале технологической пробы руды (~70кг), отобранной из ранее пройденной разведочной штольни №3, расположенной в зоне вторичного сульфидного обогащения.

Вещественный состав материала объекта исследований.

Химический состав материала технологической пробы, установленный по результатам количественного химического, пробирного (на Au, Ag) и приближенно-количественного рентгенофлуоресцентного (XRF) анализов (табл.1), свидетельствует, что основным промышленно значимым элементом в пробе является только медь с содержанием 0,61%. Для попутного извлечения определённый интерес представляют золото (0,48г/т) и серебро (6,8г/т). Содержания других ценных компонентов, в том числе молибдена (0,0027%) не представляют промышленного интереса. Положительным фактором химического состава рассматриваемого материала руды является весьма незначительное присутствие в ней вредных для металлургии меди элементов - примесей (As и Sb).

Рассматривая состояние основных рудообразующих элементов (Fe, S) и их химических соединений, отметим относительно более повышенное содержание серного ангидрида (SO_3 - 7,12%), в том числе серы общей (2,85%), по сравнению с оксидом железа (6,07%). Данный фактор позволяет предполагать, что наряду с сульфидами железа (пиритом и пирротинном) в этой пробе руды представлены также сульфиды, а возможно и сульфаты других цветных металлов, в частности меди. Более подробно минеральные формы названных элементов будут рассмотрены ниже.

Породообразующие химические соединения в руде (табл.1) представлены в основном оксидом кремния (72,1%). Кроме того, в данной пробе руды выявлены относительно повышенные содержания оксида алюминия (9,1%), а также оксидов калия и натрия (суммарно 1,75%), свидетельствующие о наличии в ней определенного количества минералов глин. Последние, часто, оказывают отрицательное влияние на обычно используемый флотационный процесс переработки подобных медных руд. Необходимо отметить также незначительное содержание в руде карбонатобразующих соединений кальция и магния

Формы нахождения минералов меди и железа в руде были установлены по результатам гидрохимического диагностического (фазового) анализа, выполненного по методике, описанной в книге Н.А. Филипповой [3]. Согласно результатам этих исследований (табл.2) значительная часть медных минералов в руде представлена её вторичными сульфидами (72,2 отн. %). Кроме того, 20,2% меди, содержащейся в руде, характеризуется её первичным сульфидом – халькопиритом. Количество оксидных форм этого металла незначительно (7,6 отн. %), а сульфатные – водорастворимые формы практически отсутствуют.

Минералы железа в руде представлены в основном (~75%) гипогенными – первичными формами (пиритом, халькопиритом). Количество оксидных, гидроксидных и частично пирротинной формы этого металла составляет ~23%. Кроме того, незначительное количество железа в руде (0,1%) характеризуются его водорастворимой формой, а 2,3% представлено труднодиагностируемыми соединениями.

Таблица 1

Химический состав технологической пробы руды

№ п/п	Элементы	Содержание: %, г/т	№ п/п	Соединения	Содержание, %
1	Cu	0,61	1	SiO ₂	72,07
2	Au, q/t*	0,48	2	Al ₂ O ₃	9,06
3	Ag, q/t*	6,8	3	Fe ₂ O ₃ ,	6,07
4	Zn	0,06		в т.ч. Fe вал.	4,25
5	Pb	0,009	4	SO ₃ ,	7,12
6	Mo	0,0027		в т.ч. S общ.	2,85
7	As**	0,002	5	K ₂ O	1,35
8	Sb**	0,0035	6	Na ₂ O	0,40
9	Cd**	0,0037	7	MgO	0,83
11	Sn**	0,0016	8	CaO	0,38
12	Co**	0,015	9	TiO ₂	0,36
11	Bi**	0,0007	10	MnO	0,05
13	Hg**	0,001	11	P ₂ O ₅	0,28
14	Ni**	0,015	12	ППП	1,10
15	Se**	0,0005	Итого		99,07
16	Ba**	0,18			
17	Cr**	0,016			
18	V**	0,072			
19	Cl**	0,095			
Итого		1,024			

Примечание: * - пробирный анализ; ** - XRF анализ.

Таблица 2

Результаты гидрохимического рационального (фазового) анализа минералов меди и железа в исследуемой руде

Металл	Формы минералов	Абсолютное содержание, %	Распределение минералов, %
Медь	Сульфаты (водорастворимые)	0	0
	Оксиды (азурит, малахит, куприт и др.)	0,044	7,6
	Вторичные сульфиды (халькозин, ковеллин, борнит)	0,419	72,2
	Первичный сульфид - халькопирит	0,117	20,2
	Руда по балансу	0,58	100
Железо	Сульфаты (водорастворимые)	0,01	0,2
	Оксиды, гидроокислы и пирротин	1,00	22,9
	Сульфиды (пирит, халькопирит, борнит и др.)	3,26	74,6
	Другие – трудно диагностируемые	0,10	2,3
	Руда по балансу	4,37	100

Результаты приведенного выше диагностического анализа, включая количественные соотношения различных форм минералов меди и железа, а также степень их окисленности, свидетельствуют, что рассматриваемый материал руды характерен для зоны вторичного сульфидного обогащения медно-порфировых месторождений.

Минералогический состав исследуемой пробы руды был оценен посредством изучения под микроскопом ряда прозрачных шлифов и аншлифов, изготовленных из наиболее представительных обломков каменного материала этой пробы (исследования выполнены А.М. Ахмедовым).

По результатам исследований *анишлифов* установлено, что *рудная минерализация* в них представлена в основном переменным количеством окисленных и сульфидных рудных минералов. Наиболее часто встречаемыми являются (количественно по убыванию): *пирит*, *гётит*, *халькопирит* и *халькозин*; редко встречаемый – *ковеллин*.

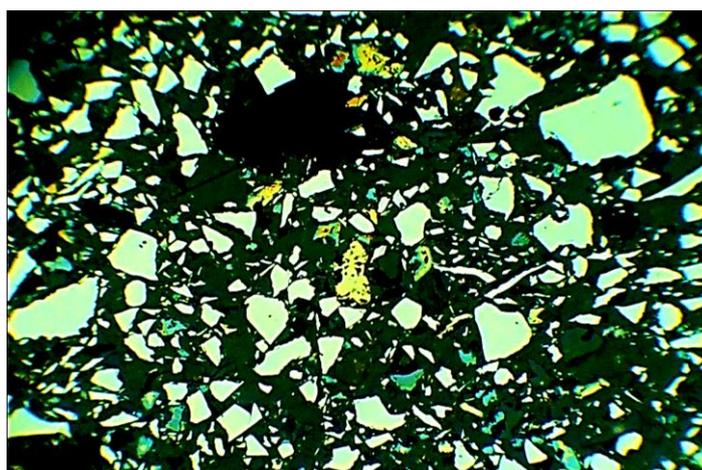


Рис. 1. Обломки пирита (светлое), фрагменты халькопирита (жёлтое), многочисленные зёрна халькозина (голубовато-синие). Искусственный брикет, увеличение 58^x.

Пирит характеризуется кристаллами сложной формы, крупностью до 0,15мм, часто в сростках с гётитом. Редко в пирите встречаются микровключения халькопирита овальной формы.

Гётит – второй по распространенности гипергенный минерал железа; представлен в основном прожилками, вкраплениями и пятнами в кварц-полевошпатовом агрегате. Часто наблюдаются выделения гётита в тонких линейных прожилках в ассоциации с мусковитом. Изредка в центральной части агрегата гётита наблюдаются корродированные реликты пирита (0,01-0,05мм).

Халькопирит часто содержит кайму и микро-прожилки замещающего его халькозина. Внутри агрегата последнего изредка фиксируются включения ковеллина, имеющего ярко-синий цвет и резкую анизотропию.

Для более детальной оценки сульфидных минералов изучению под микроскопом был подвергнут полированный брикет, изготовленный из флотационного сульфидного концентрата, выделенного из рассматриваемой тонко измельченной руды. Оценка брикета под микроскопом (рис.1) подтвердила в основном наличие отмеченных выше сульфидных минералов.

По результатам исследований прозрачных шлифов установлено, что рудовмещающие породы представлены в основном крепкими серыми средне- крупнозернистыми кварц-полевошпатовыми метасоматитами, вероятно заместившими интрузивную породу. Главными минералами метасоматитов являются *кварц и полевой шпат (альбит)*; в виде примеси отмечаются *хлорит, мусковит (серицит) и сфен*. Количество последнего не превышает 1-2% от площади шлифа.

Альбит – образует неправильные почти изометричные зёрна размером 0,5-2,5мм. Последние замутнены посторонними включениями, часто полисинтетически сдвойникован, замещается серицитом.

Кварц – находится в тесном срастании с альбитом. В контактах этих минералов часто наблюдаются корродированные частицы альбита. Минерал имеет серый цвет за счёт обильных газово-жидких включений и отрицательных микрокристаллов. Ориентировка включений линейная и хаотичная. Спорадически появляются зёрна второй генерации в виде гранулированного агрегата, характеризующегося мелкозернистостью и прозрачностью.

Хлорит с мусковитом – образуют гнёзда, прожилки, пятна размером 0,3-5,0мм, которые представлены веерными расходящимися сростками. Хлорит лишен характерной аномальной интерференционной окраски, имеет темно-серо-буроватый цвет. В некоторых существенно кварцевых штуфах при наличии мусковита хлорит отсутствует.

Сфен – отмечается в компактных скоплениях многочисленных мелких сростков, вероятно заместивших титаномагнетит (0,1-0,3мм), имеет желто-буроватый до слабо просвечивающего цвет. Все выделения минерала приурочены к альбиту.

В целом, рассмотренный выше минералогический состав исследуемой руды, также позволяет оценить её как рудный материал зоны вторичного сульфидного обогащения медно-порфирирового месторождения.

Технологическая характеристика руды.

Основным промышленным методом переработки сульфидных руд цветных металлов является флотационный способ обогащения, основанный на различиях физико-химических

поверхностных свойствах минералов по их способности прилипать к пузырькам воздуха в водной среде [4].

Не вдаваясь в детали этого физико-химического процесса, отметим, что для эффективного выделения соответствующих минералов ценных компонентов существенное значение имеет правильный выбор технологической схемы и режима флотации, в том числе реагентного, обуславливаемого вещественным составом и технологическими особенностями испытуемого минерального сырья.

В мировой практике обогатительных фабрик, перерабатывающих медно-порфиновые руды с промышленно значимым содержанием в них молибдена, используются в основном 2 варианта технологических схем флотации: селективная, основанная на выделении отдельно минералов меди и молибдена в одноименные кондиционные флотоконцентраты; коллективно-селективная, основанная на предварительной флотации всех сульфидов, при последующей селекции коллективного концентрата, обеспечивающей выделением из него кондиционных флотоконцентратов меди и молибдена [5].

Принимая во внимание промышленно незначимое содержание молибдена (0,0027%, табл.1) в исследуемом материале руды, для переработки данного минерального сырья была принята упрощённая коллективно-селективная схема флотации, основанная на предварительном коллективном извлечении всех рудных минералов, с последующим селективным выделением из полученного продукта кондиционного медного флотоконцентрата.

Для изыскания оптимального режима коллективного узла данной технологической схемы экспериментально были изучены влияния крупности измельчения испытуемой руды, а также номенклатура и расходы соответствующих флотореагентов, обеспечивающие максимально возможную степень извлечения медных минералов из руды.

Коллективный узел флотации включал основную и две контрольные операции, продолжительностью соответственно 5, 6 и 6 минут. Для поддержания наиболее эффективного для флотации медных минералов гидроксильного режима процесса (рН=7,5-8,5) использовался оксид кальция (CaO) с соответствующими его расходами. В качестве реагента-собирателя медных минералов был применен бутиловый ксантогенат калия (КХБ). Пенообразователем служил реагент оксаль (Т-80). Для повышения флотоактивности рудных минералов в контрольных операциях использовался водный раствор медного купороса (CuSO₄), при определённом его расходе. Для активации окисленных с поверхности рудных минералов был применен сульфидизатор их поверхности – сульфид натрия (Na₂S) с подачей его во 2-ю контрольную операцию.

Экспериментами по определению в узле коллективной флотации влияния крупности измельчения руды, а также расходов указанных выше реагентов, установлено, что в оптимальных условиях реагентного режима максимальная степень извлечения медных минера-

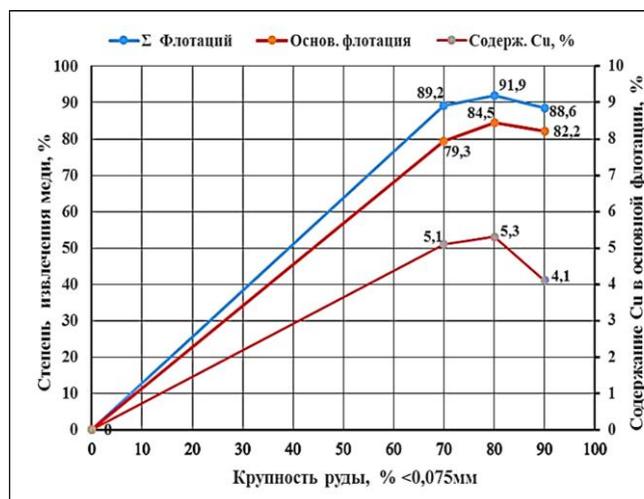


Рис. 2. Влияние крупности руды на показатели флотации медных минералов

лов наблюдается на материале крупностью 80% <0,075мм (рис.2). При этой крупности руды степень извлечения меди в операции основной флотации достигает 84,5%, при содержании названного металла в полученном черновом концентрате – 5,3%. Дополнительно в последующих 2-х контрольных операциях доизвлекается ещё 7,4% меди, обеспечивая суммарное извлечение меди из руды – 91,9%. Уменьшение крупности руды до 90% <0,075мм приводит к снижению степени извлечения меди как в основной, так и контрольных операциях, а также к снижению качества черного флотоконцентрата основной операции. Учитывая приведенные показатели, для исследуемой руды оптимальной крупностью измельчения в узле коллективной флотации принято 80% <0,075мм.

Исследования по изысканию оптимального режима селекции полученного черного продукта были направлены на выделение из него кондиционного медного концентрата с содержанием названного металла >12%. Операция селекции осуществлялась посредством изыскания, соответствующего реагентного режима депрессии сульфидов железа (пирита и пирротина), являющимися главными загрязняющими примесями данного черного флотоконцентрата.

С этой целью были использованы: оксид кальция, обеспечивающий высокую щёлочность (рН=10,5-11,0) водной среды флотации, способствующей депрессии сульфидов железа; активированный уголь для десорбции с поверхности сульфидных минералов излишков органических флотореагентов (собирателя и пенообразователя), нивелирующих процесс селекции. Кроме того, были испытаны различные сочетания и расходы названных реагентов, обеспечивающие наиболее полное выделение медных минералов в данном узле флотации.

В итоге, по разработанной и рекомендуемой коллективно-селективной технологической схеме (рис.3) и выявленному оптимальному реагентному режиму был выполнен опыт замкнутого цикла флотации, имитирующий непрерывное промышленное производство. Этот эксперимент был осуществлён на 5-ти навесках испытываемой руды, весом по 1 кг каждая. В технологическом режиме рекомендуемой схемы использованы перечисленные выше стандартные флотореагенты, применяемые в промышленной практике переработки подобных медно-порфировых руд. Конечные технологические показатели, полученные в опыте замкнутого цикла, представлены в таблице 3.

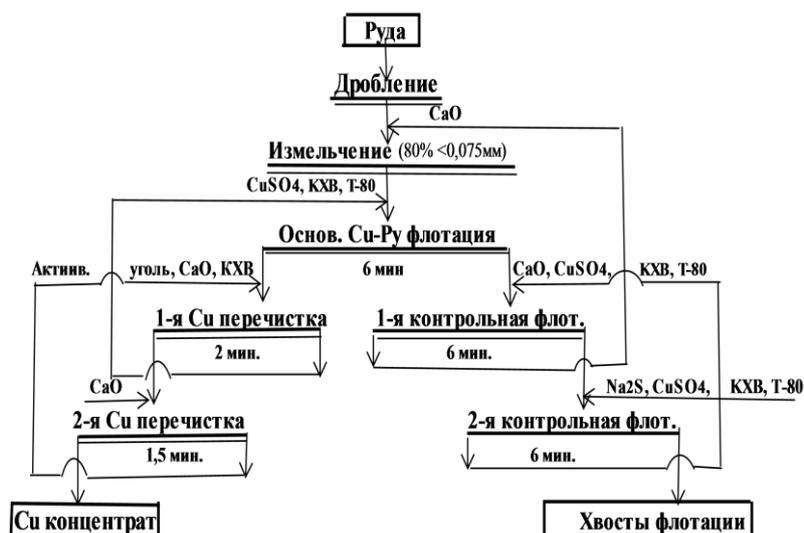


Рис. 3. Рекомендуемая принципиальная технологическая схема и режим флотации руды

Таблица 3

Технологические показатели рекомендуемой схемы флотации

Продукты флотации	Выход %	Содержание %				Извлечение %			
		Cu	Au, g/t	Ag, g/t	Mo	Cu	Au	Ag	Mo
Си концентрат	3,42	15,12	10,25	103,8	0,05	85,6	75,15	62,6	74,7
Хвосты флотации	96,58	0,09	0,12	2,2	0,006	14,4	24,85	37,4	25,3
Руда по балансу	100	0,604	0,466	5,68	0,0023	100	100	100	100

Данные, представленные в табл. 3, свидетельствуют, что разработанная технологическая схема, а также рекомендуемый режим флотации испытываемой медно-порфировой руды обеспечивает возможность выделения из нее кондиционного медного концентрата марки КМ-7 [5] с содержанием меди 15,12%, при извлечении этого металла из руды – 85,6%. Лимитируемое в данном концентрате содержание Мо [5, не более 0,12%] характеризуется значительно меньшим количеством (0,05%), по сравнению с указанным лимитом.

Кроме того, особо следует отметить, что в данный медный концентрат дополнительно с промышленно значимыми (оплачиваемыми) содержаниями благородных металлов (Au – 10,25 г/т, Ag – 103,8 г/т) соизвлекаются из руды 75,15% золота и 62,6% серебра. Данные показатели извлечения названных металлов обеспечивают значительное повышение ценности полученного медного флотоконцентрата. В целом, разработанная технологическая схема и рекомендуемый режим флотации обеспечивают возможность выделения из исследуемой медно-порфировой руды кондиционный медный концентрат с достаточно высокими показателями комплексного извлечения в него как основного (Cu), так попутных (Au, Ag) ценных составляющих этого минерального сырья.

Заключение. На основе детального изучения вещественного состава (химического и минералогического) и впервые технологических (металлургических) особенностей материала руды, характеризующей основные запасы минерального сырья одного из перспективных медно-порфиновых месторождений Азербайджана, экспериментально разработана флотационная технология переработки, обеспечивающая достаточно высокие показатели комплексного извлечения из него в товарный продукт как основного (Cu), так и попутных (Au, Ag) промышленно ценных компонентов.

REFERENCES

1. **Baba-zade V.G. and other.** Mineral resources of Azerbaijan. "Ozan." Baku, 2005, 808 p. (in Russian).
Баба-заде В.Г. и др. Минерально-сырьевые ресурсы Азербайджана. «Озан». Баку, 2005, 808 с.
2. **Nagiev V.N.** Ore deposits of the Republic of Azerbaijan. "Elm". Baku, 2007, 596 p. (in Russian).
Нагиев В.Н. Рудные месторождения Азербайджанской Республики. «Элм». Баку, 2007, 596 с.
3. **Filipova N.F.** Phase analysis of non-ferrous metal ores and products of their processing. Metallurgical Publishing House. Moscow, 1963, 212 p. (in Russian).
Филиппова Н.Ф. Фазовый анализ руд цветных металлов и продуктов их переработки. М.: Metallurgizdat. 1963, 212 с.
4. **Abrahamov A.A., Leonov S.B.** Enrichment of non-ferrous metal ores. Nedra. Moscow, 1993, 284 p. (in Russian).
Абрамов А.А., Леонов С.Б. Обогащение руд цветных металлов. Недра. Москва, 1993, 284 с.
5. Methodological recommendations for the classification of reserves of deposits and forecasted resources of solid minerals. Copper ore. FGU GKZ. Moscow, 2007, 40 p. (in Russian).
Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Медные руды. ФГУ ГКЗ. Москва, 2007, 40 с.

XAR-XAR MİS-PORFİR YATAĞININ MADDİ TƏRKİBİ VƏ TEXNOLOJİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ
(Kıçık Qafqaz)

M.İ. ƏLİYEV, Ə.Z. ƏHMƏDOV, A.A. ŞİBAYEVA, Ş.M. KİTAÇAYEV

Məqalədə, yatağın üst horizontunda yerləşən və törəmə sulfid zənginləşdirilməsizonasını təmsil edən filizlərdən götürülmüş texnoloji filiz sınağının dəqiq maddi tərkibi (kimyəvi və mineraloji), həmçinin filizin metallurji (flotasiya) əlamətləri təqdim edilir. Tədqiq edilən filizdə əsas sənaye dəyərli komponent misdir (0,6%). Yanışı ayırmaq üçün qızıl (0,48 q/t) və qismən gümüş (6,8 q/t) maraq doğurur. Mineraloji tədqiqatlara əsasən filiz mineralaşmasıpiritlə, getitlə, xalkopiritlə və xalkozinlə, nadir hallarda covellinlə təmsil olunur. Ətraf süxurların, əsasən kvars və feldşpat (albit) mineralları olan kvars-feldşpat metasomatitləri ilə təmsil olunur. Hidrokimyəvi diaqnostik analizinə əsasən filizdə təmsil olunan əsas mis və dəmirmineralları, habelə onların oksidləşmə dərəcəsi, mis-porfir yataqlarının törəmə sulfidzənginləşdirilmə zonasının filizlərinə xasdır. Filizin tədqiq olunan əlamətlərini nəzərə alaraq, onun emalı üçün flotasiya texnoloji sxeminin müvafiq optimal şəraiti işlənilib hazırlanmışdır. Təvsiyə olunan sxem və rejimlə aparılmış təcrübələrlə filizin tərkibində əsas dəyərli komponent olan - misin 85,6 %-ni əmtəə - KM-7 markalı (Cu - 15,1%) mis flotasiya konsentratına ayırılmasını təmin edir. Bundan başqa, qeyd olunan əmtəə məhsuluna filizin tərkibində yanışı faydalı komponentlər sayılan - qızıl və gümüş, sənaye əhəmiyyətli miqdarlarla və nisbətən yüksək ayrılma dərəcələrlə (Au - 75,15%, Ag - 62,6%) ayrılır və nəticədə alınmış əmtəə məhsulunun dəyərliyini xeyli yüksəldir. Açar sözlər: Kıçık Qafqaz, Xar-Xar, mis-porfir, filiz, maddi tərkib, emal, texnologiya, zənginləşdirmə, flotasiya.

Açar sözlər: Kıçık Qafqaz, Xar-Xar, mis-porfir, filiz, maddi tərkib, emal texnologiyası, zənginləşdirmə, flotasiya.

MATERIAL COMPOSITION AND TECHNOLOGICAL FEATURES
OF KHAR-KHAR COPPER-PORPHYRIC DEPOSIT
(Lesser Caucasus)

M.I. ALIEV, A.Z. AHMADOV, A.A. SHIBAYEVA, Sh.M. KITACHAYEV

On the example of a technological sample of ore taken from a geological exploration adit located in the secondary sulfide concentration zone of the considered deposit, the material composition (chemical and mineralogical), as well as metallurgical (flotation) features of this mineral raw material are examined in detail. The main industrially valuable component of ore is copper (0.6%). For the associated extraction of significant interest is gold (0.48g/t) and partially silver (6.8g/t). Mineralogical studies have established that ore mineralization is represented mainly by pyrite, goethite, chalcopyrite and chalcocite; rarely covellins. Ore-bearing rocks are mainly characterized by quartz-feldspar metasomatites, the main minerals of which are quartz and feldspar (albite). Given the material composition of the ore experimentally developed flowsheet and reagent regime flotation, to provide the conditioned copper concentrate grade CC-7 (Cu - 15,1%), when extracting it in 85.6% of said metal. Along with copper, 75.15% of gold and 62.6% of silver contained in ore are extracted from this concentrate with industrially significant (paid) contents, which provides a significant increase in the value of the obtained commodity flotation concentrate.

Keywords: *Khar-Khar, copper-porphyrice ore, material composition, refining technology, flotation.*

Поступило в редакцию: 17.06.2019

После доработки: 11.03.2020

Принято к публикации: 14.03.2020

UOT 551.72:552:553.3/4

GƏDƏBƏY İNTRUZİVİNİN PETROLOGİYASI VƏ POTENSİAL FİLİZLİLİYİ

M.N. MƏMMƏDOV¹, A.Ə. BAYRAMOV²

Məqalədə Kimmeric yaşlı Gədəbəy intruzivinin petroloji xüsusiyyətləri əsasında onun nəcib filizləşmə potensialı araşdırılmışdır. Gədəbəy intruzivi Şəmkir horst antiklinorisinin geoloji inkişafının Neokom mərhələsində yetkin ensialik adalar qövsü şəraitində formalaşmışdır. Eyni zamanda intruzivin ilkin ərintisi tərkibcə alüminiumla zəngin olan əhəngli-qələvi bazalt maqması subduksiya şəraitinin nəzarəti altında intruziv kamerada olivinli-hiperstenli qabbrodan qranodioritə qədər öz tərkibini təkamül edə bilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, kameradaxili təkamül kristallaşma differensiasiyası ilə müşayiət olunmuşdur. Diskretlik və ya biomodallıq isə qabbroid fazasının diorit differensiatından sonra baş vermişdir. Bununla əlaqədar intruzivin ən geniş yayılmış differensiatı kvarsli diorit hesab olunur. Hər bir fazanın uçucu komponentlərin və hidrotermal məhlulların köməyi ilə intruzivin apikal hissəsini örtən Alt və Üst Bayos yaşlı süxurlar intensiv metasomatik prosesə uğraması nəticəsində kaolinləşmə, serisitləşmə, kvarsitləşmə, skarnlaşma, epidotlaşma, limonitləşmə kimi proseslər baş vermişdir. Bu proseslər mərhələli olduğuna görə filizləşmənin tərkibi dəyişkən olmaqla intruzivin apikal hissəsində dəyişən konsentrasiya ilə paylanmışdır. Tədqiqat işində əsas filizmələgətirən ərinti kvarsli diorit və onun derivatları hesab olunur. Metasomatitlər isə onların hidrotermal məhlul və uçucuların iştirakları ilə əlaqəsi olduğu göstərilir.

Açar sözlər: Gədəbəy intruzivi, petrologiya, qranitoidlər, metasomatitlər, filiz minerallaşması.

Giriş. Kiçik Qafqazın metallogenik əyaləti mezozoy və kaynozoy maqmatizminin və onunla əlaqəli olan endogen minerallaşmasının inkişafı ilə səciyyələnir. Kiçik Qafqaz, onun quruluşunun qırısqvari xarakterini əhəmiyyətli dərəcədə müəyyən etmiş qədim substrat üzərində yığılan erkən alp və alp qırısqvariliyinin mürəkkəb quruluşlu sahəsindən ibarətdir. Vulkanogen törəmələrin, qranitoid intruzivlərinin, endogen minerallaşmasının güclü kompleksinin geniş inkişafı, normal çökmə süxurlarının nisbətən əhəmiyyətsiz inkişafı sayəsində və bir sıra tektonik xüsusiyyətlərə görə, Kiçik Qafqaz meqaantiklinoriumunun əsas hissəsi evgeosinklinal sahəyə aiddir. Kiçik Qafqaz formalaşma tarixində erkən alp və alp geosinklinal tsikllərinin aydın seçildiyi politsiklik qırısqvari qurşaqdır. Erkən alp tsiklinin filizləşməsi əsasən Lök-Qarabağ zonasında cəmləşmişdir ki, burada maqmatizmin təzahür xarakteri, qranitoid intruziyalarının mənimsənilmə ardıcılığı və effuziv vulkanizmin püskürmə məhsullarının tərkibi tektono-maqmatik inkişafın Mezozoy tarixi ilə sıx

¹ Bakı Dövlət Universiteti

² Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
E-mail: geoloq_aydin@mail.ru

əlaqəlidir. Bu zona vulkanizm və plutonizmin intensiv təzahürlərinin əlaqədə olduğu Kembriyəqədərki özülün yüksək vəziyyəti, qırılma dislokasiyalarının geniş inkişafı ilə fərqlənir. O, Kiçik Qafqazın iri tektonik vahidlərindən birini, onun Şimal-Qərb yüksəlməsini təmsil edir və Şimal-Qərbdən əhatə edən Kür dağarası əyilməsinin Cənub-Qərb birtu ilə sıx əlaqədədir. Mezozoy maqmatizminin və onunla əlaqəli olan endogen mineralaşmasının inkişafı nöqtəyi-nəzərindən bu zona kimi müstəsna dərəcədə maraqlı zona kimi seçilir. Yataqların və təzahürlərin sayına, faydalı qazıntıların müxtəlifliyinə və həmçinin, burada cəmlənmiş iri sənaye obyektlərinin əhəmiyyətliyinə görə Lök-Qarabağ zonası Azərbaycanın ən vacib filiz sahələrindən biridir. O, geniş zolaq kimi şimali-qərb istiqamətində 400 km-dən çox uzanır. Bu zonanın inkişafı tarixində geosinklinal (erkən), orogen (orta) və postorogen (gec) mərhələləri seçilir [1-5].

Qeyd edilən struktur-formasiya zonasında Üst Yura mərhələsi ərzində zaman və məkanda vulkanik proseslər müxtəlif intensivlik dərəcəsində baş vermişdir. Aşağı maqmada vulkanik fəaliyyət son dərəcədə zəif olmuşdur, eyni zamanda normal-çökmə və tufogen-çökmə süxurlarının toplanması baş vermişdir. Kimericdə vulkanik fəaliyyətin şiddətli, partlayış xarakterli olması nəticəsində andezit-dasit və bazalt tərkibli vulkanik süxurların əlvan rəngli seriyaları toplaşmışdır. Bu dövrün vulkanizminin xarakter xüsusiyyətlərindən biri piroklastik materialın miqdarının 80%-ə çatdığı müsbət strukturlarda (quruluşlarda) püskürmələrin başlıca olaraq eksploziv xarakterdə olmasıdır. Gec Kimericdə, qırışıqvari hərəkətlərlə əlaqədar olaraq, Yura yaşının əmələ gəlməsində çoxsaylı qranitoid intruzivləri mənimsənilmişdir. Lök-Qarabağ zonasının qranitoidlərinin intruzivləri, əsasən, antiklinoriumlara uyğunlaşmışdır; onlara sinklinal əyilmələrdə az-az rast gəlinir. Şəmkir antiklinoriumunda qranitoid massivlərinin ən böyük miqdarına Orta Yura vulkanogen qalınlıqlardan təşkil olunmuş quruluşun günbəz hissəsində rast gəlinir. Qranitoidlərin Şəmkir qrupu, Aşağı Çaykənd-Yuxarı Çaykənd, Cəyir, Qabaqtəpə, Daşbulaq qranodiorit və kvars-diorit tərkibli çoxsaylı xırda intruzivlərdən təmsil olunmuşdur (Şəkil 1). Daşkəsən sinklinoriyasına qabbro-qranodiorit tərkibli, geoloji vəziyyətinə, petroloji və metallogen xüsusiyyətlərinə görə öz aralarında tamamilə oxşar olan Daşkəsən-Zurnabad və Gədəbəy çoxfazlı intruzivləri uyğunlaşmışdır (şəkil 1) [4, 5].

Gec Üst Yura yaşının intruziv kompleksinə qranitoidlərin Şəmkir, Daşkəsən-Gədəbəy, Üçtəpə-Qızılcaya və Mehmana qrupları aiddir; onların mütləq yaşı uyğun olaraq 134, 144, 141 və 136 mln. ildir. Kiçik Qafqazın Şimal-Şərq hissəsinin tektono-maqmatik inkişaf üzrə yeni məlumatlar nöqtəyi-nəzərindən və daha gənc kompleksin qranitoidlərinin mütləq yaş məlumatlarına görə, maqmatik prosesin inkişafının erkən alp tsiklinin Orta Üst Yura zamanına uyğun olan orogen mərhələsinin sonunda başa çatmışdır. Gec Üst Yura qranitoidləri kompleksi ilə sıx genetik əlaqədə skarn-dəmir-filiz hidrotermal, polimetallik və mis-sink yataqları formalaşmışdır [4, 5].

Məsələnin məqsədi. Gədəbəy filiz rayonu hüdudlarında bir sıra köklü yataq və təzahürlərin bilavasitə intruziyalarla sıx bağlılığı sonuncuların petrologiyasının və filizə perspektivliyinin öyrənilməsinin vacibliyini göstərir. Çoxfazlı Gədəbəy intruzivi ilə yaxın təmasda olan Gədəbəy yatağının geoloji-struktur şəraitinin və filizə perspektivliyinin öyrənilməsi ölkənin mötəbərli nəcib metalların xammal bazasının yaradılmasında da mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

İşin əsas məqsədi Gədəbəy filiz sahəsində aparılmış geoloji-kəşfiyyat işlərinin fond materiallarını hərtərəfli analiz etməklə çoxfazlı Gədəbəy intruziv kompleksinin petrologiyasını və potensial filizliliyini, Üst Yura-Alt Təbaşir yaşlı Gədəbəy intruzivinin formalaşmasının geoloji-struktur təhlilindən əldə olunan nəticələri, vulkano-plutonik assosiasiyaların formalaşmasının petroloji xüsusiyyətlərini, Gədəbəy intruzivinin əmələ gəlməsində və filizləşməsində metaso-

matitlərin rolunu, intruziv komplekslərin maqmatizmi nəticəsində formalaşan filizə perspektivli sahələri potensilliliyi məsələlərini öyrənməkdən ibarətdir. Burada mövcud materiallarla yanaşı, həm də müəlliflərin şəxsi müşahidələrinin də nəzərə alınması mühüm vəzifə kimi qarşıya qoyulmuşdur.

Aparılmış kompleks geoloji, petroloji, mineraloji və geoloji-kəşfiyyat işləri nəticəsində çoxfazlı Gədəbəy intruzivinin filizə perspektivliyi işlənmiş, yeni sənaye əhəmiyyətli filiz zonalarının aşkar edilməsi məqsədilə gələcək geoloji-kəşfiyyat işlərinin sahəsi və konturları müəyyənləşdirilmişdir.

Məsələnin qoyuluşu. Gədəbəy filiz rayonu və ümumiyyətlə, Şəmkir qalxımı tektonik quruluşuna görə çox mürəkkəb olduğu kimi, maqmatizmi də çox mürəkkəbdir. Bu rayonda bir neçə mərhələdə maqmatik proseslər çox intensiv getmişdir. Filiz rayonunda əsasən maqmatizmin 3 mərhələsi ayrılır: Bayos, Bat və Üst Yura mərhələləri.

Maqmatizmin Üst Yura mərhələsində maqmatik ocaqda uçucuların yüksək təzyiqinin olması ilə əlaqədar olaraq öncə mərkəz tipli vulkanların eksploziv fəaliyyəti başlanmış və bunun nəticəsində xeyli miqdarda piroklastik fasiyasının süxurları əmələ gəlmişdir. Maqmatik ocaqda təzyiq azalan zaman isə eksploziv fəaliyyət lava axınları ilə əvəz olunmuşdur. Təzyiq tamam azalanda isə maqma vulkan boğazlarında soyuyaraq orada tıxaclar əmələ gətirmiş və müəyyən müddətə vulkanizmin sakitlik dövrü başlanmışdır. Bu fasilə zamanı piroklastik material və ya lava axınları üzərində tufogen-çökmə süxurların yaranması üçün zəmin yaranmışdır. Çıxışları bağlanmış maqmatik ocaqda yenidən uçucuların təzyiqi artmağa başlamış və vulkanların fəaliyyəti yuxarıda qeyd etdiyimiz ardıcılıqla dəfələrlə təkrar olunmuşdur.

Petroqrafik tərkibinə görə Üst Yura vulkanizminin vulkanitləri bazaltdan, andezitlərdən, andezit-dasitlərdən və onların tuflarından ibarətdir.

Maqmatik ocaqların enerjisi tam azalan zaman, maqma artıq yer üzərinə çıxma bilməmiş və yer səthinə yaxın sahələrdə və ya bir qədər dərinlikdə soyuyaraq müxtəlif morfolojiyalı subvulkan tipli intruzivlər əmələ gətirmişdir. Bu kiçik intruzivlər müxtəlif formalı ştoklar, daykalar və sillər əmələ gətirmişlər. Petroqrafik tərkiblərinə görə bu intruzivlər bazaltdan, andezitlərdən, dioritlərdən, iri plagioklaz kristallarına malik diorit porfiridlərdən və s. ibarətdir.

Gədəbəy intruzivinin petrologiyası

Gədəbəy intruziv massivi Gədəbəy yatağı ilə bilavasitə təmasda olduğundan uzun müddət tədqiqatçıların maraq dairəsində olmuşdur. Gədəbəy intruziv süxur kompleksi çoxfazlı intruziv massivdir və tədqiqatçılar tərəfindən Üst Yura-Alt Təbaşir yaşlı olması müəyyən olunmuşdur. Son zamanlar aparılan tədqiqatların nəticələri də Gədəbəy intruzivinin yaşının Üst Yura-Alt Təbaşir olmasını təsdiq edir. Intruzivin yaşı R.N. Abdullayev tərəfindən 150 milyon il (Üst Yura) hesablanmışdır [3, 5].

Gədəbəy intruziv massivi qeyri-müntəzəm girintili-çixıntılı sərhədə malikdir və şimal-qərb istiqamətdə uzanaraq Arıxdam antiklinalı ilə məhdudlanır. O, Gədəbəyçay və Şəmkirçay çaylarının birləşmələrindən şərqi 1,5km məsafədə başlayır, 12km məsafədə Qaradağ kəndinə uzanır. Qalınlığı 1,5km-dən 6km-ə qədər dəyişir. Ümumi sahəsi təxminən 42km²-dir.

Intruziv massivin fəaliyyəti iki fazasından ibarətdir: qabbroid və qranitoid, ancaq üçüncü fazaya uyğun damar süxurları da mövcuddur.

Birinci fazanın süxurları qabbro-noritlərdən, qabbro-piroksenitlərdən, plagioklazlı piroksenitlərdən və onların bir-birinə keçidlərindən və dəyişmələrindən təşkil olunmuşdur. Qabbro-

idlərin axırını iki tipi ultrabazitlərlə əlaqədardır və birincilərlə müqayisədə nisbətən kiçik əraziləri əhatə edir.

İkinci fazanın süxurları qabbroidlərin kənarlarının bütün tərəflərini əhatə edir və həmçinin bir-birinə tədrici keçidləri ilə səciyyələnir. Onlar dioritlərdən, kvarsli dioritlərdən, tonalitlərdən, banatitlərdən, qranodioritlərdən təşkil olunmuşdur. Kvarsli dioritlər və qranodioritlər tonalitlər və banatitlərə nisbətən üstünlük təşkil edirlər.

Birinci və ikinci fazanın süxur əmələgəlmə şəraiti aşağıdakı kimidir: dioritlər və kvars-dioritlər (ikinci faza) birinci fazanın süxurlarını (qabbroidlər) kəsir və aktiv təmasa malik olan qabbroidlərin ksenolitlərini özündə saxlayır. Birinci fazanın süxurları qranitoid maqması ilə ekzotemasda dəyişmişdir, dağılmışdır, amfibolitləşmişdir.

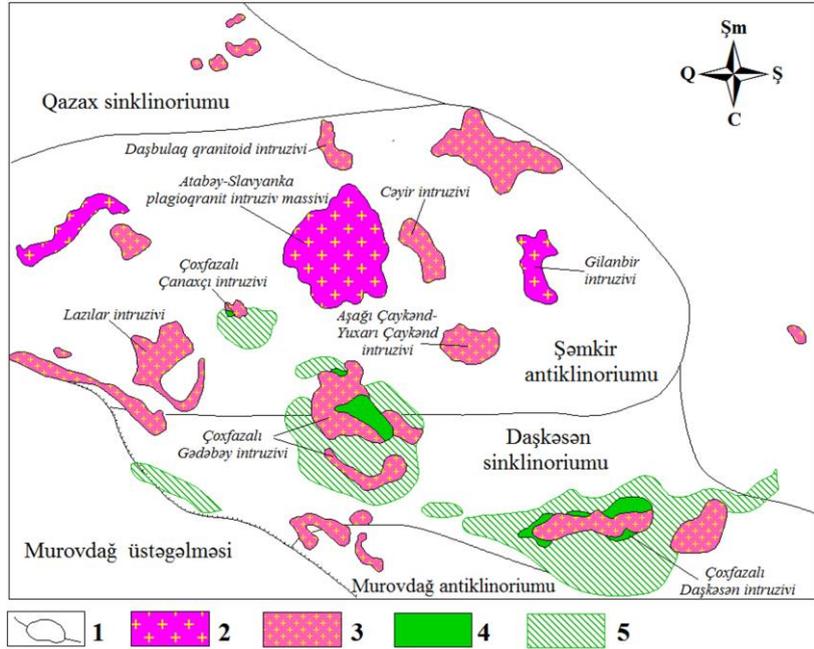
Üçüncü fazanın süxurları aplitlərdən, qranoplitlərdən, qranodiorit-aplitlərdən və kvars-diorit-aplitlərdən təşkil olunmuşdur. Daykaya oxşar formalı cisimlər şimal-qərb istiqamətində (280-330⁰) uzanırlar və əsasən intruziv massivinin cənub-şərq və cənub hissəsində yerləşmişdir.

Aplitlər ağımtıl, açıq göy rəngli süxurlar və çəhrayı rəngli narın dənəli kvars-çölşpatları kütlələrindən ibarətdir. Onların strukturu apolit və qranofirdir. Mineraloji tərkibi əsasən kvars, ortoklaz, plagioklaz və daha az rast gəlinən biotit, maqnetit, sfen və apatit minerallarından ibarətdir. Süxur kütləsinin 35%-ə yaxın hissəsini narın, ksenomorf dənəli kvars təşkil edir. Qeyri-müntəzəm formalı kiçik dənəli ortoklaza rast gəlinir. Plagioklaz narın və yastı dənəli olub ikinci dərəcəli mineraldır.

Gədəbəy intruzivinin petrokimyası

Yuxarıda təsvir etdiyiniz intruziv süxurları uyğun olaraq kimyəvi tərkibləri ilə də bir-birindən fərqlənirlər (şəkil 1).

Belə ki, intruzivin birinci fazasının süxurları qabbrodan, qabbro-noritdən və qabbrodioritdən ibarətdir. Bu süxurların kimyəvi tərkiblərinə nəzər salsaq onda asanlıqla müşahidə edirik ki, onlar öncə titan ($TiO_2=0,41-0,52\%$) və kalium ($K_2O=0,46-0,72\%$) ilə kasıbdırlar. Amma alüminium oksidi ilə doymuşdurlar ($Al_2O_3=16,99-21,12\%$). Bu süxurların xarakterik xüsusiyyətlərindən biri isə onların tərkiblərində üç valentli dəmir oksidinin kifayət konsentrasiyada iştirakıdır ($Fe_2O_3=3,04-5,71\%$) (cədvəl).



Şəkil 1. Lök-Qarabağ adalar qövşümünün mərkəzi hissəsində əsas intruziv cisimlərinə və strukturların paylanması [7].

1. Əsas geostrukturların sərhədləri; 2. Plagiogranitlər; 3. Qranodioritlər və dioritlər; 4. Qabbroidlər; 5. Geofiziki metodla 0,5km dərinlikdə qeydə alınmış qabbroidlərin anomaliyası.

Gədəbəy intruzivi süxurlarının kimyəvi tərkibi

Süxurlar Kimyəvi tərkib	Qabbro	Qabbro- diorit	Diorit	Kvarslı diorit	Süxurlar Kimyəvi tərkib	Qabbro	Qabbro- diorit	Diorit	Kvarslı diorit
SiO ₂ , %	49,20	51,40	57,70	63,30	La	6,79	7,35	10,30	19,70
Al ₂ O ₃	22,00	21,10	19,30	16,80	Ce	16,10	14,20	22,10	41,10
Fe ₂ O ₃	9,24	7,18	5,71	5,23	Pr	2,36	1,84	2,63	4,86
MnO	0,16	0,11	0,09	0,08	Nd	10,70	7,85	11,50	19,00
MgO	5,38	4,73	3,49	2,29	Sm	2,48	1,80	2,59	3,83
CaO	10,20	9,22	6,19	4,62	Eu	0,91	0,91	0,77	0,86
Na ₂ O	3,09	4,04	4,12	3,83	Gd	2,72	1,59	2,49	3,46
K ₂ O	0,23	0,44	1,16	2,39	Tb	0,42	0,26	0,42	0,60
TiO ₂	0,66	0,58	0,61	0,67	Dy	2,49	1,54	2,21	3,28
P ₂ O ₅	0,17	0,18	0,14	0,18	Ho	0,51	0,31	0,48	0,64
LOI	1,00	1,08	1,41	0,67	Er	1,48	0,87	1,23	2,04
Cəm:	100,00	100,00	99,90	100,00	Tm	0,21	0,12	0,20	0,29
V, q/t	155,00	154,00	130,00	105,00	Yb	1,34	0,82	1,31	1,94
Cr	28,80	26,70	22,20	34,70	Lu	0,21	0,13	0,19	0,31
Co	28,70	26,40	17,20	20,30	Hf	0,79	0,47	1,50	5,29
Ni	32,60	49,20	41,60	21,30	Ta	0,12	0,10	0,31	0,80
Cu	56,30	124,00	243,00	66,70	Pb	2,46	4,12	8,18	15,30
Zn	85,90	70,30	64,80	65,50	Bi	0,10	0,10	0,10	0,10
Rb	39,50	44,40	57,90	98,20	Th	0,38	0,31	2,25	4,75
Sr	587,00	811,00	499,00	331,00	U	0,12	0,10	0,53	0,90
Y	14,20	8,15	12,60	18,80	Na ₂ O + K ₂ O	3,32	4,48	5,28	6,22
Zr	19,10	12,60	53,80	207,00	Na ₂ O/K ₂ O	13,43	9,18	3,55	1,60
Nb	2,38	1,65	4,05	10,50	Cəm: NTE	48,72	39,59	58,42	101,91
Mo	0,94	0,69	0,89	2,31	YNTE	39,34	33,95	49,89	89,35
Ag	0,08	0,09	0,17	0,07	ANTE	9,17	5,51	8,34	12,25
Sn	1,16	1,18	1,21	1,71	(La/Yb) _n	3,63	6,43	5,64	7,28
Sb	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,14	(Gd/Yb) _n	1,64	1,57	1,54	1,44
Ba	54,10	125,00	172,00	268,00	(La/Sm) _n	1,77	2,64	2,57	3,32
					Eu/Eu*	1,07	1,64	0,93	0,72

Qeyd: $Eu/Eu^* = Eu_N/(Sm_N \cdot Gd_N)^{1/2}$; n -xondritə görə normallaşdırılmış tərkib miqdarları; YNTE= Yüngül Nadir Torpaq Elementləri; ANTE= Ağır Nadir Torpaq Elementləri [6]

Bütün bu fərqli davranışlar öz əksini normativ miqdarı mineraloji təhlildə tapırlar. Belə ki, təqdim olunmuş cədvəldən görüldüyü kimi süxurlar kvars normalıdır (Q=5,6-10,2 %), yəni silisium oksidi ilə doymuşdurlar. Buna görə də süxurlarda normativ olivin iştirak etmir. Digər xüsusiyyətləri sırasına normativ maqnetitin ($FeO \cdot Fe_2O_3=3,5-7,4$ %) kifayət qədər iştirak etməsidir.

Bunlarla yanaşı birinci fazanın süxurlarında natrium oksidinin kalium oksidindən çox olması ($Na_2O:K_2O=4,59-4,97$) onların tərkiblərində normativ albitin üstün olmasına zəmin yaradır ($Ab=19,4-27,8$ %).

Sadalanan əlamətlərlə yanaşı fazanın süxurlarında kristallaşma differensiasiyasının göstəricisi kimi normativ anortitin miqdarı davranışı da əsas faktorlardandır ($An=31,7-45,9$ %). Bütün bu göstəricilərin təhlili fazanın süxurlarının intruziv kamerada kristallaşmalarına nəzarət edən proseslərin təhlili ilə müəyyən olunmuşdur. Belə ki, süxurların öncə alüminium oksidi ilə zəngin olması və ona uyğun natrium və kalsium oksidlərinin kifayət qədər konsentrasiyada iştirakı,

differentiatlarda normativ və modal plagioklazın üstünlüyünə zəmin yaratmışdır. Digər tərəfdən isə kristallaşma anı uçucuların itirilməsi modal plagioklazın erkən kristallaşmasını təmin etmişdir. Prosesin mərhələli olması isə plagioklazların generasiyalarının kristallaşma fərqləri ilə başa çatmışdır.

Gədəbəy intruzivinin ikinci fazasının tərkibində bir qayda olaraq kvarslı dioritlər tam üstünlük təşkil edirlər (cədvəl).

Onlar qeyd olunduğu kimi kvarslı dioritdən, tonalitdən, banatitdən, qranodioritdən, adamellitdən, kvarslı monsonitdən və s. ibarətdirlər. Öncə birinci fazanın qabbrodioritləri ilə ikinci fazanın kvarslı dioritləri arasında termiki təmasla yanaşı kimyəvi və mineraloji tərkiblərə görə də diskretlik, bimodallıq müşahidə olunur. Bu əlaməti əsas götürməklə intruzivin fazalılıq xüsusiyyətini təsdiq etmək olar.

Fazanın süxurlarında plagioklazların vertikal kəsilişdə anortitdən albitə doğru təkamülü, maqnetitin prosesdə miqdarı dəyişməsi intruziv kamerada həqiqətən kristallaşma differensiasiyasının həlledici rolunu təsdiq edir.

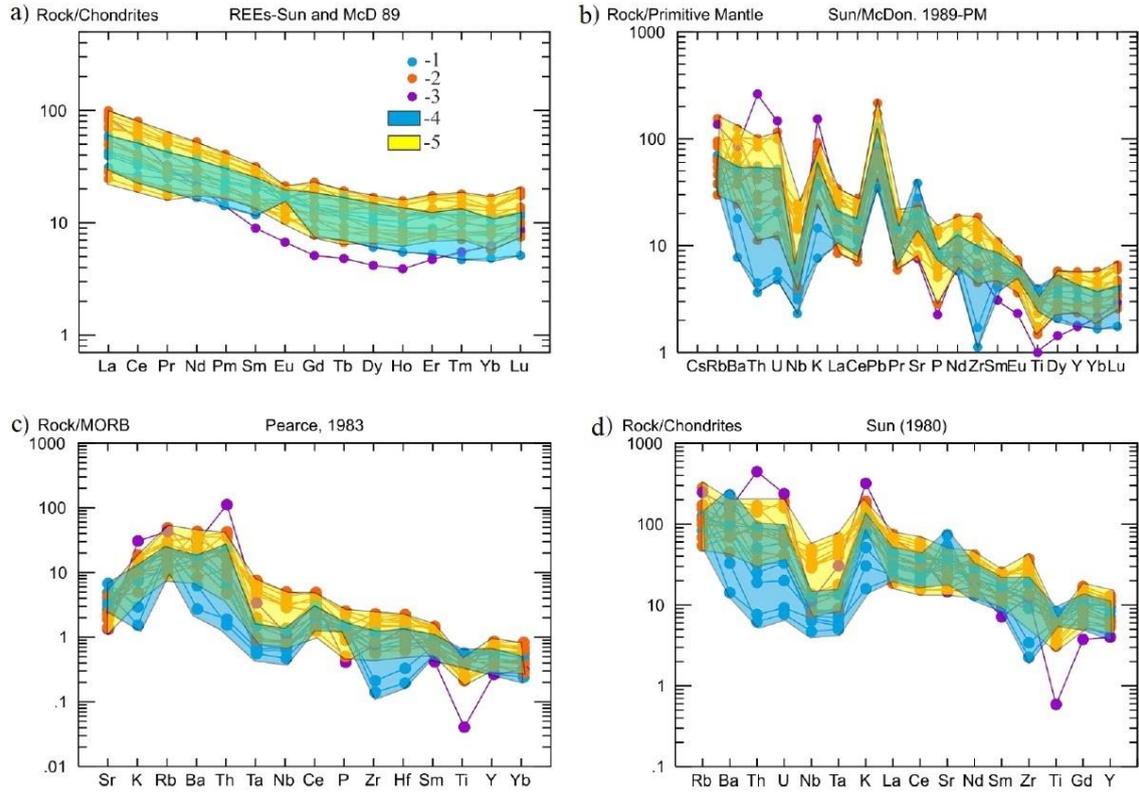
Fazalılığı təmin edən faktor isə ümumi ilkin olivinli bazalt maqmasının fraksiyalanmış payının intruziv kamerada intensiv kristallaşma differensiasiyasının nəzarəti ilə bölünməsi baş vermişdir. Buna görə də qalıq ərinti qismində nisbətən turş, litofil elementlərlə (Rb, Ba, Sr, K₂O) bir qədər zənginləşmiş kvarslı diorit maqması ayrılmışdır. Bu fazanın kvarslı diorit ərintisi isə nisbətən aşağı termobarik şəraiti olan kamerada uçucuların artması şəraitində formalaşmışdır. Fazanın erkən petroqrafik tip süxuru olan kvarslı dioritdə silisium dörd oksidin konsentrasiyası 60-63.3 %-ə kimi artır (cədvəl).

Beləliklə, normativ albitin tədricən artması buna paralel olaraq normativ kvarsın çoxalması yuxarıda göstərilən faktın doğruluğunu isbat edir. İri radiuslu litofil elementlərin qalıq ərintidə toplanması onların uzlaşmadıqlarını təsdiq edən amil isə normativ ortoklazın kvarslı dioritdən qranodioritlərə doğru 15,7%-dən 20,5%-ə qədər çoxalmasını göstərir.

Petroqrafik və petrokimyəvi nəticələrin təhlili Üst Yura, yaxud Kimmeric yaşlı Gədəbəy intruzivinin öz vulkanik fasiyası ilə birlikdə yetkin ensialik adalar qövsü şəraitində formalaşdığını müəyyən edir.

Nadir torpaq və səpələnmiş elementlərin spektrlərində, normallaşdırılmış primitiv mantiya, N-tip MORB, xondrit və həmçinin ada qövləri üçün mənfi Ta-Nb və Ti-anomaliyaları və müsbət Pb-anomaliya xüsusiyyətləri ilə ifadə olunur (şəkil 2, b-c). Ümumiyyətlə, birinci fazanın nadir torpaq elementlərinin paylanması qabbro və qabbrodioritin spektrlərinə uyğun gəlir (Şəkil 2a). NTE-lərin paylanması dioritlər və kvarslı dioritlər üçün daha çox fərqlənmişdir $(La/Yb)_n = 4.75$, qranodioritlər üçün isə 6,15. İkinci fazanın süxurlarında NTE-nin ümumi tərkibi də bir qədər yüksəkdir: dioritlər və kvars dioritlər üçün 77,7q/t və qranodioritlər üçün 86,9q/t [6–9].

Qabbroidlərdə nadir torpaq elementlərinin zəifdən orta səviyyəyə qədər fərqləndirilir $(La/Yb)_n = 2.8-4.65$ (Şəkil 2a). Bu vəziyyətdə, NTE-nin fərqləndirilməsi əsasən yüngül NTE $(La/Sm)_n = 2.15$ və $(Gd/Yb)_n = 1.47$ fərqli paylanması ilə bağlıdır. Bütövlükdə NTE-nin ümumi tərkibi böyük deyil (ortalama 55.6q/t). Müsbət Europium anomaliyasının müşahidə edildiyi bir nümunə istisna olmaqla, heç bir Europium anomaliyası $(Eu/Eu^* = 0.98)$ yoxdur $(Eu/Eu^* = 1.64)$. Primitiv mantiya və N-tip MORB kompozisiyalarına normal olan elementlərin paylanması (şəkil 2, b-c) fərqli mənfi Ta-Nb və Ti anomaliyalarını göstərir. Həm də primitiv mantiya tərkibinə normallaşdırılmış elementlərin paylanmasında Sr və Pb maksimumu qeyd olunur (şəkil 2, b-d).



Şəkil 2. Qabbro-tonalit kompleksinin maqmatik süxurlarında nadir torpaq səpələnmiş elementlərin paylanması: a - xondrit [10]; b - ibtidai mantiya [10]; c - N-MORB [8]; g - xondrit [9] 1 – birinci faza süxurları: qabbrodioritlər; 2 - ikinci faza süxurları: kvars dioritlər və qranodioritlər; 3 - aplit daykası; 4 - birinci faza süxurlarının sahəsi; 5 - ikinci faza süxurlarının sahəsi

Gədəbəy intruzivinin damar süxurları (üçüncü faza)

Damar süxurları əsasən dayka morfolojiyalı, yaxud formalı olub Gədəbəy intruzivinin areallarında geniş yayılmışdırlar. Daykalarda ilkin fazalar (qabbro, kvarsli diorit) iki hissəyə bölünür. Birincilər qabbroidlərlə əlaqədar olub, tərkibcə doleritlərdən, mikrodoleritlərdən, spessartitdən, malaxitdən və kersantitdən ibarətdirlər. Adları çəkilən süxurlar xarakterik lamprofir strukturlu olub, tünd boz, boz rəngli süxurlardır. Onlar orta və xırda dənəlidirlər. Əsas süxur əmələ gətirən minerallar xloritləşmiş, uralitləşmiş piroksenlərdən, hornblenddən, sösürütləşmiş əsasi və orta plagioklazdan, maqnetitdən ibarətdir [1-5, 10].

İkinci qrup dayka süxurları kvarsli diorit fazasını təmsil edir. Onlar aplitlərdən, peqmatitdən, kvarsli mikrodioritdən ibarətdirlər. Bu süxurların əksəriyyətinin tərkibində turş plagioklazla yanaşı ortoklaz, biotit, hornblend və kvars iştirak edir [1-5]. Peqmatitlər istisna olmaqla onların əksəriyyəti orta, hətta xırda dənəlidirlər.

Peqmatitlər isə çəhrayı boz rəngli olub, əsasən kvarsdan, turş plagioklazdan və ortoklazdan ibarətdirlər, iri dənəlidirlər, “yazı daşı” strukturludurlar. Onların aralarında nazik uzunsov turmalin, biotit, hornblend iştirak edir.

Beləliklə, müəyyən olunmuş damar süxurları öz ilkin fazalarını xarakterizə etməklə geniş yayılmışdırlar.

Gədəbəy intruzivinin potensial filizliliyi

Gədəbəy intruzivinin petrologiyasının, eləcə də digər xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi onunla genetik əlaqəsi olan ayrı-ayrı filizləşmə mərhələlərinin təhlili göstərir ki, intruzivin hər bir

fazasının konkret rolu vardır. Belə ki, erkən faza yüksək temperaturu alüminium oksidi ilə zəngin olan titanla kasıb toleit bazalt ərintisinin kristallaşması nəticəsində əmələ gəlmişdir. Burada kristallaşma ardıcılığına görə birinci fazanın süxurları hipabisal şəraitdə uçucuların qismən itirildiyi anda kristallaşma differensiasiyasının nəzarəti altında formalaşmışdır. Bilavasitə buna görə də əsasi plagioklaz olivin istisna olmaqla erkən kristallaşmışdır. Bu şəraitdə mülayim titanlı maqnetitin kristallaşması bir qədər ləngimişdir. Maqmatik mərhələdə piritin aksesör mineral qismində kristallaşması mümkün olmuşdur. Bu proses filiz əmələ gətirən dəmir fəsiləsi (Fe, Ti, Ni, Co, Cr) və metallogen (Cu, Zn, Pb) elementlərin qalıq ərintidə toplanmasına zəmin yaratmışdır. İkinci fazanın ərintisinin tərkibcə kvarsli diorit tərkibli olması və onun da intruziv kamerada metallogen elementlərdən misin və dəmirin qalıq ərintidən hidrotermal məhlula keçərək xalkopirit əmələ gətirməsi mümkün olmuşdur [2].

Prosesin növbəti mərhələsində iri kationların (K, Rb, Ba, Sr) kvarsli monsonitlərin, monsdioritlərin kristallaşmalarına şərait yaratmışdır. Bu məqamda isə mis-polimetal (Cu, Zn, Pb) yataq və təzahürləri əmələ gəlmişdir. Burada paylanma əmsalı ($K_d < 1$) vahiddən olduqca kiçikdir. Oxşar halı qurğuşuna da aid etmək olar. İstər mis-kolçedan, dəmir-kolçedan və polimetal filizləşməsi nəcib elementlərin toplanmasına şərait yaranmışdır. Bu halda bərpa olunmuş şəraitdə kristallaşan pirit kifayət qədər qızıl və gümüşlə zənginləşmişdir. Sonralar qranitoid fazasının hidrotermal məhlulları piriti oksidləşdirərək maqhemmit, hematit və hetit əmələ gətirmişdir. Sonuncu oksid mineralları oksigenə həris olmayan qızılı və gümüşü öz tərkiblərində saxlamışdılar. Kvarsli diorit, qranodioritin qeyd etdiyimiz kimi hidrotermal məhlulları kvarsli, plagioklazlı riolitləri, riodasitləri, andezit-dasitləri kaolinitlərə, serisitlərə, törəmə kvarsitlərə, skarlara çevirmişdir. Onlar isə intruzivin peqmatitlərindən, adamellitlərindən və daykalarının köməyi ilə əmələ gələn qızıl və gümüş filizləşməsini özlərində yerləşdirmişlər [2].

Belə qızıl filizləşməsi Gədəbəy intruzivinin apikal hissəsində bilavasitə intruzivin ayrı-ayrı fazalarından ayrılmış məhlulların təsiri ilə şəraitdən asılı olaraq yuxarıda adları çəkilən ilkin süxurlar bir halda kaolinitə, digər halda isə törəmə kvarsitə və s. çevrilmişdir. Buna görə də intruzivin şimali-qərb və şimal hissəsində olan təmas süxurları daha intensiv dəyişmə prosesinə məruz qalmışlar. Ona görə də həmin hissə intruzivin digər hissələrindən daha məhsuldardır.

Intruzivin qranitoid fazasının sonunda uçucuların artması qalıq ərintinin kifayət qədər iri ölçülü (kalium) qələvi çöl şpatının, kvarsın kristallaşmasına zəmin yaratmışdır. Uçucu ilə zənginləşən qalıq ərinti qranit-peqmatit, adamellit süxurlarını əmələ gətirmişdir. Eyni zamanda yatağın şimal-qərbində öncə Bayos yaşlı andezitlərin tufları asanlıqla kaolinə, serisitə, törəmə kvarsitə, skarnlaşmaya və digər metasomatitlərə çevrilmişdir. Qeyd etdiyimiz kimi qranodiorit, adamellit süxurlarından başlayaraq şimal-qərb istiqamətində filizləşmə tədricən azalır. Bu onunla izah olunur ki, qalıq ərintidən ayrılan filizli hidrotermal məhlulların inkişafı müəyyən həddə qədər yayıla bilmişdir [2].

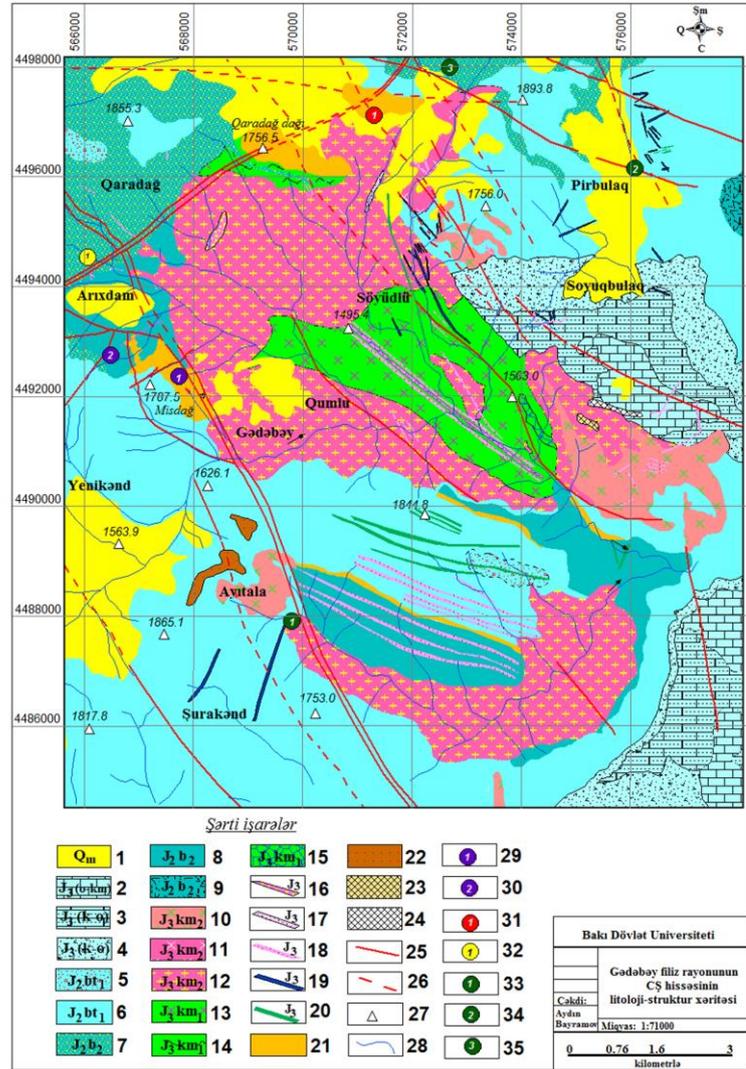
Məhlulların mühitinin göstəricisi olan pH intruzivin bütün fazalarında dəyişmişdir. Belə ki, mühidə ($pH=2-6$) andezitlərin, dasitlərin tuflarının və lavaların kaolinə keçməsi mümkün olmuşdur. Burada xalkopirit, piritlə yanaşı qızıl və gümüşün akkumulyasiyası isə kaolində toplanması baş vermişdir. İkinci halda hidrotermal məhlulun dəyişməsi, yəni qələviyə doğru olması ($pH=8-9$) qızıl və gümüşün artıq törəmə kvarsitlərdə qismən skarlarda toplanması baş vermişdir.

Nəhayət, hidrotermal məhlulda oksigenin parsial təzyiqinin artması isə əvvəlcədən əmələ gəlmiş piritin və xalkopiritin oksidləşməsi ilə tamamlanmışdır.

Gədəbəy intruzivinin qrani-
toid fazasının süxurlarında iri
radiuslu elementlərin toplanması
kvarslı monsonit, monsdiorit
süxurlarını əmələ gətirmişdir. Bu
elementlərin tamamilə süxurda
həll ola bilməməsi isə onların qalıq
ərintidən hidrotermal məhlula
keçməsi baş vermişdir. Nəticədə
isə barit-mis polimetall filizləşməsi
(Qədir yatağı) əmələ gəlmişdir
(şəkil 3). Sonuncu prosədə də
qızılın və gümüşün sənaye əhə-
miyyətli konsentrasiyaları müəy-
yən olunmuşdur [2].

Beləliklə, Gədəbəy intru-
zivinin qrani-
toid fazasının ilkin
ərintisi uçucularla maqmatik ərin-
tinin qarşılıqlı təsiri nəticəsində
kamerada mürəkkəb təkamül yolu
keçmişdir. Nəticədə bir tərəfdən
kristallaşma differensiasiyası, di-
gər tərəfdən isə kontrastlıq-bimo-
dallıq üçün də şərait yaranmışdır.
Sonuncu nöqteyi-nəzər isə intru-
zivin lamprofir tərkibli süxurun və
peqmatit-adamellit formalaşması
ilə izah olunur.

Tədqiqat üsulları. Məqalə-
nin əsasına müəlliflərin 2012-
2019-cu illər ərzində Gədəbəy-
Bittibulaq dərinlik qırılması boyu
və o cümlədən, Gədəbəy intruzivi
sahəsi hüdudlarında apardığı çöl-
tədqiqat işləri nəticəsində topladığı
materiallar və onların laboratoriya
tədqiqatlarının nəticələri qoyul-
muşdur. İş prosesində filiz sahə-
sinin regional xəritəsi nəzərdən
keçirilmiş və Gədəbəy filiz rayo-
nunun geoloji-struktur mövqeyi
təhlil edilmiş və dəqiqləşdi-
rilmişdir. Petroqrafik-mineraloji
tədqiqatlar məqsədilə 1000-ə qədər



Şəkil 3. Gədəbəy filiz rayonunun CŞ hissəsinin litoloji-struktur xəritəsi
Şərti işarələr: 1. Üçüncü dövr çöküntüləri: ellüvial-dellüvial; 2. Əhəngdaşı təbəqəsi (luzitan): əhəngdaşları və tuf-qumdaşları ilə əhəngdaşlarının növbələşməsi; 3. Üst tuf-konqlomerat qatı: tuf-qumdaşları, tuflarla əhəngdaşlarının növbələşməsi, qumlu əhəngdaşları və qumdaşları; 4. Alt tuf-konqlomerat qatı: tuf-konqlomeratlar, tuf-brekçiyalar, tuf qumdaşları; 5. Metamorfik dəyişmiş tuflar; 6. Bat yaşlı alt vulkanogen qat: andezit tərkibli tuf-brekçiyalar, tuf-konqlomeratlar; 7. Yuxarı Bayos təbəqəsi: riolit-riodasit tərkibli süxurların lava fasiyası; 8. Aşağı Bayos yaşlı vulkanogen qat: andezit tərkibli süxurların lava fasiyası; 9. Aşağı Bayos təbəqəsi: tuf-brekçiya və andezit porfiritlərin piroklastik fasiyası; 10. Qaraqaya-Qaramurad hipabisal subintruzivi: diorit, keratospilit; 11. Gədəbəy intruzivinin ikinci fazası: dioritlər; 12. Gədəbəy intruzivinin ikinci fazası: qranodioritlər, kvars-dioritlər, diorit-siyenitlər, dioritlər; 13. Gədəbəy intruzivinin birinci fazası: qabbro-dioritlər, qabbrolar; 14. Gədəbəy intruzivinin birinci fazası: qabbro-noritlər, qabbrolar; 15. Gədəbəy intruzivinin birinci fazası: qabbro-piroksenitlər; 16. Siyenit-diorit daykalari; 17. Aplit daykalari, 18. Kvars-diorit daykalari; 19. Andezit daykalari; 20. Diabaz daykalari; 21. Metasomatitlər; 22. Qreyzenləşmə (turmalinli metasomatik kvarsitlər); 23. Skarnlar (qranat-vollastanit-kalsit fasiyası); 24. Skarnlar (karbonat-epidot fasiyası); 25. Qırılmalar; 26. Güman edilən qırılmalar; 27. Hündürlük mantəqaları, 28. Çaylar; 29. Gədəbəy yatağı; 30. Qədir filizləşmə sahəsi; 31. Böyük Qalaça mis-porfir təzahürü; 32. Çolpan kükürd-kolçedan təzahürü; 33. Ayıtala mis-kolçedan təzahürü; 34. Pirbulaq mis-kolçedan təzahürü; 35. Parakənd-su mis-kolçedan təzahürü.

kimyəvi, 40-a yaxın miqdarı spektral, 100-dən çox şəffaf və cilalanmış şlif və anşliflərin təsvirindən istifadə edilmişdir.

Analitik tədqiqatlar ALS Chemex Şirkətinin tədqiqat laboratoriyalarında (LA-ICP-MS metodu), AİMKL şirkətinin laboratoriyalarında, eləcə də, AMEA-nın Geologiya və Geofizika İnstitutu mərkəzi laboratoriyasında (“SEM” və ya “Scanning Electron Microscope” və XRD və ya “X-Ray Diffractometer” metodları) aparılmışdır. Toplanmış materiallara əsasən Gədəbəy intruzivinin petroloji-geokimyəvi və petroqrafik-mineraloji xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi məsələləri yerinə yetirilmişdir. Qrafik materialların tərtibində müəlliflər tərəfindən MapInfo proqram təminatından istifadə edilmişdir.

Nəticə. Aparılmış tədqiqat işlərinin nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, Lök-Qarabağ struktur-formasiya zonasının subduksiya şəraitində formalaşan əhəngli-qələvili bazalt maqmasının differensiatları bayosda bimodal, batda ardıcıl təkamülə uğramış komplekslər əmələ gəlmişdir. Yetkin adalar qövsü şəraitində isə qismən təkamülə uğramış Kimmeric yaşlı vulkano-plutonik komplekslər formalaşmışdır. Gədəbəy intruzivi həmin komplekslərin tərkibinə daxil olmaqla intruziv kamerada mürəkkəb təkamül yolu keçmişdir.

İlkin olivinli, alüminium oksidi ilə zəngin olan əhəngli-qələvili bazalt maqması intruziv kamerada fraksiyalanaraq, qabbro və qranit fraksiyalarına bölünmüşdür. Eyni zamanda onlardan ayrılmış lamprofirlər hər iki fazanın ətraflarında yerləşmişlər.

Qabbroid fazasının ərintisi intruziv kamerada kristallaşma differensiasiyasına uyğun olaraq öz tərkibini qabbrodan-dioritə qədər təkamül etmişdir.

Qranodiorit fazasının ərintisi isə uçucuların müşayiəti ilə kvarslı dioritin tam üstünlüyü ilə adamellit, peqmatit, kvarslı monsonit və monsodioritə qədər təkamülə uğramışdır.

Gədəbəy, Qədir, Ümid, Mübariz, AC, Çolpan, Uğur, Koroğlu, Söyüdlü, İnam, Ayıtala, Şəkərbəy, Pirbulaq, Parakənd-su və s. bu kimi yataq və təzahürlərin əmələgəlməsində çoxfazlı Gədəbəy intruziv süxur komplekslərinin, Gədəbəy-Bittibulaq və Böyük Qalaça-Çənlibel dərinlik qırılmalarının rolu əhəmiyyətli dərəcədə böyükdür.

REFERENCES

1. Babazadə V.M. və b. Petroqrafiya, dərslik, 2007, 519 s.
2. Bayramov A.Ə. II kurs magistrantı, Gədəbəy yatağında intruziv komplekslərin hidrotermal metasomatik dəyişilmiş zonaların əmələ gəlməsində rolu / Azərbaycan Xalqının Ümummilli Lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 91-ci ildönümünə həsr olunmuş “Geologiyanın aktual problemləri” mövzusunda Respublika Elmi Konfransı, BDU, Bakı, 2014, s.122.
3. Bayramov A.Ə. Çoxfazlı Gədəbəy intruzivinin formalaşmasının petroloji xüsusiyyətləri / Azərbaycanın Ümummilli Lideri Heydər Əliyevin 90 illiyinə həsr olunmuş “Fundamental və tətbiqi geologiya elmi: nailiyyətlər, perspektivlər, problemlər və onların həlli yolları mövzusunda” Gənc alim və tələbələrin 5-ci beynəlxalq konfransının materialları. Bakı, 2013, s. 39.
4. Geologiya Azerbajdzhana, tom III, magmatizm, Bakı, 2001, 433 s.
Геология Азербайджана, том III, магматизм, Баку, 2001, 433 с.
5. Kerimov G.I. Petrologiya i rudonosnost' Kedabekskogo rudnogo ugla. – Bakı: Izd-vo An. Azerb. SSR, 1963, 288 s.
Керимов Г.И. Петрология и рудоносность Кедабекского рудного угла. – Баку: Изд-во Ан. Азерб. ССР, 1963, 288 с.
6. Sadyhov E.A., Veliev A.A., Bajramov A.A., Mamedov S.M., Ibragimov D.R. Izotopno-geohimicheskie karakteristiki (Sm-Nd, Rb-Sr, S) i (U-Pb SHRIMP II) vozrast Gedabekskogo intruziva (Azerbajdzhan) // Regional'naja geologiya i metallogenija 2018. № 76. – S. 49–60.
Садыхов Э.А., Велиев А.А., Байрамов А.А., Мамедов С.М., Ибрагимов Д.Р. Изотопно-геохимические характеристики (Sm-Nd, Rb-Sr, S) и (U-Pb SHRIMP II) возраст Гедабекского интрузива (Азербайджан) // Региональная геология и металлогения 2018. № 76. – С. 49–60.
7. Eppelbaum L., Khesin B. Tectonical-Geophysical Setting of the Caucasus. Geophysical Studies in the Caucasus. 2012, 5-37.

8. **Pearce J.A.** Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins / C.J.Hawkesworth and M.J. Norry (eds.) // Continental basalts and mantle xenoliths.–Cambridge, Massachusetts: Shiva Publications, 1983.– P.230–249.
 9. **Sun, S.S.** Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs. Philosophic Transactions of the Royal Society. A297. 1980, 409–425.
 10. **Sun, S., McDonough, W.F.** Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Geol. Soc. London, Spec. Publ. 42. 1989, p. 313–345.
-

ПЕТРОЛОГИЯ И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ РУДОНОСНОСТЬ ГЕДАБЕКСКОГО ИНТРУЗИВА

М.Н. МАММАДОВ, А.А. БАЙРАМОВ

В статье рассмотрен потенциал благородного рудообразования на основе петрологических особенностей Гедабекского интрузива киммериджского возраста. Гедабекский интрузив формировался в совершенных энсиалических островодужных условиях на неокомской стадии геологического развития Шамкирского антиклинория. В то же время первичный расплав под контролем богатой алюминием щелочно-известковой базальтовой магмы в условиях субдукции в интрузивной камере эволюционировал из оливин-гиперстенового габбро до гранодиорита. Установлено, что внутрикамерная эволюция сопровождалась кристаллизационной дифференциацией. Дискретность, или же биомодальность, произошла после диоритовой дифференциации габброидной фазы. В связи с этим самым распространенным дифференциатом интрузива считается кварцевый диорит. С помощью летучих компонентов и гидротермальных растворов каждой фазы в апикальной части интрузива надальпийского и верхне-байосского возраста породы в результате интенсивного метасоматического процесса возникли процессы каолинизации, серицитизации, окварцевания, скарнирования, эпидотизации, лимонизации. Ввиду стадийности этих процессов и изменчивости состава рудообразования в апикальной части интрузива распределение составляющих элементов породы происходило в изменчивой концентрации. В статье рассматривается основной рудообразующий расплав – кварцевый диорит и его дериваты. Метасоматиты показывают связь с гидротермальными растворами и летучими компонентами.

Ключевые слова: Гедабекская интрузия, петрология, гранитоиды, метасоматиты, рудная минерализация.

PETROLOGY AND POTENTIALLY MINERALIZED OF THE GEDABEK INTRUSION

M.N. MAMMADOV, A.A. BAYRAMOV

The potential of noble mineralization based on petrological features of the Gedabek intrusion Kimmeridgian period is investigated in the article. Gedabek intrusion formed in the perfect ensialic island conditions on the geological development's Neocomian stage of Shamkir horst anticlinorium. Simultaneously, the primary melt under the control of alkaline calcareous basaltic magma which is rich with aluminium evolved from olivine-hypersthene gabbro to granodiorite in the conditions of subduction intrusive chamber. It has been identified that intra-chamber evolution has been accompanied by crystallization differentiation. Discreteness or biomodalism occurred after diorite differentiation of gabbro phase. In this regard, the most common differentiates of the intrusion are considered quartz diorite. As a result of intense metasomatic process, processes such as kaolinization, sericitization, quartzitization, scarnization, epidotization and limonization originated with volatiles and hydrothermal solutions of each phase in the apical part of the intrusion of Upper Bajocian age's rocks. In view of the staging of these processes and the variability of the mineralization's composition in the apical part of intrusion is distributed in viable concentration. The main ore-forming melt in the article is considered quartz diorite and its derivatives. The metasomatic rocks show a relationship with hydrothermal solutions and volatile components.

Keywords: Gedabek intrusion, petrology, granitoids, metasomatites, ore mineralization.

<i>Redaksiyaya daxil olub:</i>	10.06.2019
<i>Tamamlama işlərindən sonra:</i>	12.03.2020
<i>Nəşrə qəbul edilib:</i>	15.03.2020

UDC: 663.9:664.8/9

THE INFLUENCE OF EFFECTS OF OPTIMAL CONDITION OF SUPERCRITICAL FLUID EXTRACTION IN THE COCOA BUTTER INDUSTRY

M.E. SHAMILOVA¹, EWA OSTROWSKA – LIGEZA²

In this review, we make efforts to identify the fundamental concepts of supercritical fluid extraction and determine the aspects of optimal condition of supercritical carbon dioxide as a customary method of producing cocoa butter.

The extraction of cocoa butter from cocoa liquor or cocoa bean is based on hydraulic pressing, expeller pressing, and Soxhlet extraction with organic solvents. Recently, to provide health and safety production maintains itself a new demand to develop clean and efficient technologies to obtain cocoa butter.

As a potential alternative extraction method, supercritical fluid extraction offers rapid, nontoxic and contamination-free extraction in the oxygen-free condition. Advantages have been realized to apply SFE technology, mainly supercritical carbon dioxide and with addition modifiers used in the cocoa butter industry. Moreover, to study the optimal condition for the extraction of cocoa butter through SFE has been investigated and explored its future perspectives.

Keywords: *supercritical fluid extraction, supercritical CO₂, effects optimization of extraction of cocoa butter.*

Introduction: Extraction is solution process and explains the mass transfer conception by removing soluble material from an insoluble residue [1]. For many years, the common presented analytical separations of samples were used organic solvents such as hydrocarbon by Soxhlet extraction, that is required several hours, financial resources, degradation of product, atmospheric pollution etc [1-3]. The requisition to use innovations in the field of analytical techniques demands informative processing, quality control, environmental and food regulations and being implement fast and powerful, clean and cheap analytical procedures by Supercritical fluid extraction [1, 6]. From the end of the 20th century, Supercritical fluid extraction was a revolution in analyzes from the matrix of samples and directed to avoid many problems for organic liquid extracts [7-13]. Each substance in the supercritical fluid is used which their temperature and pressure above their critical point. Interestingly, diffusion is going on through different surface, either liquid or solid, dissolve materials by treatment with a liquid solvent like

¹ Baku State University, Faculty Ecology and Soil Science, Department of Ecological Chemistry

² Warsaw University of Life Sciences, Faculty of Food Sciences, Department of Chemistry, Warsaw, Poland
E-mail: meltemshamilova@gmail.com

a gas [14]. One of the popular SFE solvent to use to solve triglycerides and free fatty acids is carbon dioxide (CO₂). Moreover, the augmentation between the supercritical CO₂ with molecules of ethanol, other polar modifier solvents influence the solubility of polar lipids [9, 12]. As a “green - house” gas, it can be cycle through environment, provide positively to “Green Chemistry” [6, 11, 21, 24, 30]. The following preferences of CO₂ are being nonflammable and less toxic. On other hand, the supercritical CO₂ has a near ambient critical temperature (31 °C). As a non - polar solvent, its density and solvent properties are near to hexane at 200 bar pressure. Under a small reduction of temperature or a slight larger reduction of diminution of pressure, the supercritical conditions can be change positively the productivity of reaction with no solvent residues [4]. However, ethanol or other co-solvents can be modified of supercritical CO₂ and remains as a solvent residue in the extract. Thus, extraction condition for supercritical CO₂ is above the critical temperature of 31 °C and critical pressure of 74bar. To add co-solvent makes visible changing, as a rule, high pressure is the reason to extract the high value products from natural sources [28].

The extraction of cocoa butter from cocoa liquor or cocoa bean is based on hydraulic pressing, expeller pressing, and Soxhlet extraction with organic solvents [15, 17]. Recently, to provide health and safety production maintains itself a new demand to develop clean and efficient technologies to obtain cocoa butter [2, 4, 5, 8].

As a potential alternative extraction method, supercritical fluid extraction offers rapid, nontoxic and contamination-free extraction in the oxygen-free condition. Advantages have been realized to apply SFE technology, mainly supercritical carbon dioxide and with addition modifiers used in the cocoa butter industry. Moreover, to study the optimal condition for the extraction of cocoa butter through SFE has been investigated and explored its future perspectives.

The features of the optimization: Depends on the extraction purpose the optimum is determined by analytical extraction and is maintained by some general principles. *Maximizing diffusion* - is normalized by increasing the temperature, swelling the matrix (through increasing the pressure of the solvent or to add to the solvent), to reduce the particle size etc [10]. *Maximizing solubility* - is measured by high pressure, temperature and participation of included [31]. *Maximizing the flow rate of extraction* - is regulated to minimize waste of solvent and reaction temperature, and adjusted common denominator for solubility and diffusion factors [4].

Physicochemical properties of supercritical fluid such as density, diffusivity, dielectric constant and viscosity are adjusted by altering the temperature and pressure. Density of supercritical fluid is sensitive and provides the dissolving power of fluid system by minor changing pressure or temperature particularly, around critical points [23, 31]. It explains through higher diffusion coefficient, lower viscosity and surface tension to influence positively the mass transfer, although, the *solvent strength* of a supercritical fluid is observed and related to the fluid density. The small changing of temperature and pressure effects solubility of a solid, density features look like to liquid, viscosities and diffusivities are close to gases [14, 16, 19]. The adventures of supercritical fluid are to diffuse fast and extract the solute in a solid matrix. The differences on the features of *surface behavior* between the supercritical fluids and liquids are based on the diversity of retrograde region and solubility of reaction medium. For instance, if solubility of the solute decreases or increases in the typical liquid systems at certain ranges of pressure within temperature increasing, this anomalous is retrograde behavior of isobaric system [27]. Solubility is directly proportional with increase pressure, moreover, increasing temperature of supercritical fluid effects to solubility by depending on pressure and show itself being on increase, decrease or constant. However, to use CO₂ as a good solvent was not proved for high molecular weight and polar compounds [18, 20, 22]. Instead of it, to use polar or non-polar compounds may be added as a modifier [33]. By this way co-solvent influences and increases significantly to the solubility of solute. *Co- sol-*

vent or modifier an addition to extraction and expands its range and reduces the analyze matrix interactions by improving quantitative extraction. CO₂ flow ↔ co-solvent ↔ raw material is based on the intimate contact between sample matrix and modifiers and release them into the supercritical fluid phase by substituting the analyze molecules bound in active centers of the matrix [12, 32, 35]. The excellent alternative to use CO₂ as a solvent in the supercritical fluid extraction makes it being selective, without toxic residues and thermal degradation.

Additional, to use compound in the SC - CO₂ increases the solubility of analyze and raises the separation of co –extraction [9, 29]. By this way, efficiency of extraction is being higher than obtained pure CO₂. As solvents, acetone and isopropyl alcohol, methanol and isopropyl alcohol can be excellent supercritical compound, but high critical temperature prevents to attain into SFE [5, 36]. The practice modifier is deal with ethanol, because of low molecular weight (MW) and less toxicity feature to the human body, easily removed from food matrix, and promotes interaction between the intermolecular of the solutes and co-solvents of SC-CO₂ [29].

The effects of polar co-solvents - the co-solvent can do selective separation of solutes with different polarities, hydrogen bonding and association ability. The solvent power of SC-CO₂ increases to add some amount of co-solvents, and depend on their concentration in the supercritical phase, is followed by the phase behavior of mixture under operating conditions. The organic solvents can improve selectivity of SC-CO₂ extraction and result in higher extraction efficiency [27]. To improve the solvent capacity of non-polar carbon dioxide is to use another solvent with higher polarity. It is added to supercritical carbon dioxide to remove the highly polar organic compounds and it enhances the solubility of SC-CO₂, makes increment in the extraction efficiency. Because of high critical temperatures to use methanol and isopropyl alcohol are not successful as a modifier in the SC-CO₂. [5, 36] On the other hand, acetone and isopropyl alcohol are used for the commercial degreasing. Ethanol is less toxicity for human and can be easily removed from the food matrix compared with isopropyl alcohol and acetone in the SC-CO₂ [29].

According to Asep et. al., 2013, it was observed, the extraction yield of cocoa butter extraction in the SC-CO₂ at 35MPa, 60°C, within 2mL/min with 5%, 15% and 25% co-solvents such as ethanol, isopropyl alcohol and acetone, the flow rate had related with the concentration of ethanol ($p < 0,05$) and increasing was observed by raising of the concentration ethanol. If addition of 25 % ethanol had given 100% extraction efficiency within 16 hours of extraction time, then this was followed by 97.5% and 92.45% extraction efficiency in the 15% and 5% of concentration ethanol environment at the same time. Moreover, previous reported results are shown that 16hours extraction time with pure CO₂ extraction yield equaled to 83.25% and being 100% within 28hours. Comparing of numbers indicates the effect of concentration of co-solvent. It is obviously, to enhance of solute solubility is related with the hydrogen bond.

Thus, the extraction yield of cocoa butter was significantly ($p < 0.05$) influenced by the concentrations of ethanol, isopropyl alcohol and acetone and enhanced the solubility of cocoa butter. The sufficient amount of ethanol as a co-solvent was found the highest results. The extraction yields significantly ($p < 0.05$) increased with an increase in the concentration of isopropyl alcohol. According to the researchers' results, the highest extraction yield (96.7%) were obtained 25% isopropyl alcohol within 16 hours, 68.26% and 46.01% were obtain 15 % and 5% isopropyl alcohol, respectively. The last two result is low than participation of pure CO₂. It is explained that, the polarity of isopropyl alcohol is near to ethanol (1.66D and 1.69D respectively).

The highest extraction efficiency (84.07%) was 15 % acetone within 16 hours, followed 76.5% and 70.25% with using 25 % and 5 % acetone. The dipole moment of acetone is 2.91D and it is more

than ethanol. It explains the molecular interaction with solute through hydrogen bonding and the yield of cocoa butter extraction was much lower.

According to the results, cocoa butter is extracted under different processing conditions mostly contained three main TGs namely POS, POP and SOS. The percentage of POP decreased with an increase in concentration of co-solvent and extraction time, the percentage of POS and SOS increased in the concentration and extraction time were increased. It explains more solubility of POP than POS and SOS. Because of this reason POP extracted in the first stage, while POS and SOS were eluted in the second stage of SC-CO₂. The effect of increment ethanol also made positive effect to the selectivity of POP. It showed conversely to the selectivity of SOS and the highest selectivity was observed by using 5% ethanol. The same inconsistency was observed to use isopropyl alcohol, POP and SOS gave significant change ($p < 0.05$) in the 5% and 15% isopropyl alcohol and it did not repeat in the 25% isopropyl alcohol. The acetone as a co-solvent made selectivity of POP affected inconsistency to the concentration of acetone with 5% and was significantly change ($p < 0.05$). It explains the amount of short-chain TGs which is decreased by long chain TGs increasing. The low molecular weight triglycerides were provided higher solubility compare to the high molecular weight triglycerides. The results indicated that during extraction more soluble fatty acids C_{16:0} and C_{18:0} dissolves in the first stage of extraction using SC-CO₂ followed by less soluble fatty acids C_{18:1} and C_{18:2} in the second stage. The 25% concentration and increasing extraction time showed the largest increasing in the C_{16:0} which is followed by 15 and 5%, respectively. It explains the lower molecular weight compounds such as saturated FAs were separated first, followed by the higher – MW compounds such as unsaturated FAs. To use co-solvent is based on at higher polarity. Because of high critical temperature, methanol and isopropyl alcohol attain the supercritical state with difficulties, although they are excellent supercritical solvents. So, to use co-solvent in the supercritical carbon dioxide is to remove polar organic compounds, to increase extraction efficiency, to interact with the analyze-matrix to promote rapid desorption into the supercritical fluid. In case of toxicity to the human organism, ethanol is one of co-solvent or modifier which use commonly and easily removed from the food matrix.

Eventually, the extraction cocoa butter from cocoa liquor by using supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) at 35MPa, 60°C and 2 ml/min with 5%, 15% and 25% co-solvents were increased extraction yield of triglycerides (TGs) and fatty acids (FA) compositions increased. Ethanol was introduced to the advantageous modifier for cocoa butter extraction in the SC-CO₂ in the comparable with isopropyl alcohol and acetone. POP (20.3-22.7%), POS (42.2-45.9%) and SOS (27.6-31.4%) are major triglycerides, palmitic (28.3-30.0%), stearic (34.9-37.8%) and oleic (30.3-31.8%) were the main fatty acids in the cocoa butter samples. POS and stearic acid were the highest components. The selectivity of TG and FA were showed their highest in the lower molecular weight (MW) and fractionation was observed the first stage of SC-CO₂. Researchers investigated that due to the concentration of polar co-solvents, the extraction yield of triglycerides (TG) and fatty acids (FA) were changeable and the efficient of reactions were increased with co-solvent participation. Researchers considered following optimization industrial feasible for production of high quality cocoa butter.

The effects of polar moisture content - Cocoa beans keep 5-6% moisture content after drying. Moisture effects to the solubility and mass transfer kinetics of SFE. It examines the surface structure and activity of substances or materials. Thus, depends on compounds, the selectivity and diffusion rate of SFE, especially extraction of alkaloids from plants sources are under the influence of moisture content [23, 26].

The moisture content and alkali treatment on cocoa butter extraction using supercritical fluid were studied and moisture content of ground cocoa nibs and the pH of the cocoa liquor were realized in

the SC-CO₂ with 25 % ethanol in the condition at 35MPa, 60°C and 2 ml/min. The yield efficiency is straight inconsistently with increasing moisture content and pH level ($p < 0.05$) [26].

It is explained the interaction feature of water content in the SC-CO₂. Asep et al., 2008, have analyzed, within 20hours continuous extraction, the increasing of moisture content has effected positively to the amount of cocoa butter extraction from fermented ground nibs with 1.0-1.20 mm diameter particles at 35MPa, 60 °C and 2 ml/min reaction condition of SC-CO₂. However, samples matrix is important of the results of extraction and even with high moisture contents are not able exert obvious effect to the extraction of cocoa butter from ground cocoa nibs in the SFE. Fats were more effectively extracted from dried samples than wet samples. Although, the moisture content influences to the mechanical strength, elasticity and seed matrix compressibility, it is not useful for non-polar analyzes [26].

On other hand, the hydrophilic ability of nib explains its protein and carbohydrate structure and became to show plasticization effect by soft and flexible properties. It is explained, that the conformity between moisture content and plasticization properties of samples are inversely proportional. By modification of supercritical fluids with polar components, such as water, influences the selectivity of extraction systems [9].

Moreover, through the treatment process such as fermentation, drying, roasting, winnowing, milling or grinding and alkali treatments are included to the production of cocoa butter [8]. For instance, the color and flavor of the result of the cocoa production is controlled by alkali treatment and it explains by increasing of pH value within 6.8-7.5. To increase pH level result gradually increases of the yield and depend on alkali treatment of cocoa liquor, high pH levels result in the highest yield of cocoa butter extraction within 18 hours [26]. It can explain ionic and hydrogen bonding between – OH groups of sample matrix with – H and – OH of compounds increase interaction into system and promote the solubility of cocoa butter in SC-CO₂ [12]. But, no interaction between solvent with different pH in samples of alkalized cocoa liquor and no changes in color show that the effect of pH or alkali treatment on cocoa butter extraction are inert in the SC-CO₂.

Thus according to the researchers' investigations, it is observed that, more that 70 % cocoa butter was extracted from cocoa nibs in the different moisture and pH levels of alkali treatments by using SFE. Moreover, moisture has significant effect to TG composition of cocoa butter. Moisture content and pH level of alkali treatment effect to yields. And direct proportional with increasing moisture content and alkali treatment levels with exception of high moisture levels ($M \geq 9.79\%$). Both of parameters influenced to the TG and FA composition; POS, POP and SOS are three main TGs; palmitic, stearic, oleic, and linoleic acids are the main FAs of cocoa butter extract. The solubility of TGs is observed $POS < SOS < POP$ as compositional and $C_{18:1} < C_{18:0} < C_{16:0}$ as structural. According to the relation between saturated and short - chain FA/TG is more soluble than unsaturated and long – chain FA/TG. It shows, that the consistency of yield of SC-CO₂ according to TGs and FA constituents of extracted cocoa butter make this method conventional [26].

Particle size – studies have shown the geometric size of the matrix, influences the speed and completeness with SFE [22, 25, 31, 34]. Temperature, pressure and extraction time are related to the economic considerations, costs increasing as higher system pressure and longer extraction time [28]. In the increment of pressure, temperature and extraction time are significant for increasing the total fat extract and influence to the physicochemical properties - density, diffusivity and viscosity of a supercritical fluid by dissolving power of the fluid and the yield. According to Tan et al., 2008, investigations obtained the optimum condition for particle size - 74µm cocoa liquor, 0.85-1 mm ground cocoa nibs and 4-6 mm crushed cocoa nibs in the SC-CO₂ extraction of cocoa butter at 45MPa, 75 °C and 12 hours gave the highest value of total fat content was 41.28%, the lowest value of total fat content was 1.53 % at 10MPa, 35 °C and an hour. The effect of pressure to the extraction of cocoa butter was stronger than

temperature in the mentioned condition. The smaller particle size produced a higher yield of cocoa butter, because of this reason, the decreasing particle size of cocoa nibs effected to the efficiency of extraction by ($p < 0.05$) increasing of total fat content from cocoa liquor (40.38%), followed by ground cocoa nibs (29.33%) and crushed cocoa nibs (14.07%). Furthermore, the interaction between particle size and pressure, temperature and extraction time do not exist in influencing to the physicochemical properties of supercritical fluid. The major TAGs are 1, 3-dipalmitoyl-2-oleoyl-glycerol (POP), 1-palmitoyl-2-oleoyl-3-stearoyl-glycerol (POS) and 1, 3-distearoyl-2-oleoyl-glycerol (SOS), with more than 30 % POS in all treatments studied.

Conclusion: Supercritical fluid extraction is thermos labile compounds extraction, which has been used in the food industry and it provides fast, reliable, clean and cheap method as one of advance routine analyze. The main parameters of the supercritical extraction process are followed by particles size, pressure, temperature and extraction time, participation modifiers, moisture content, alcohol treatment, pH value etc.

The extraction yield is significantly ($p < 0.05$) influenced by using different concentrations of polar co-solvents. It shows itself to effect on the TGs and FAs compositions. In terms of the selectivity, the higher selectivity of TGs and FAs are implemented by their low molecular weight.

Pure CO₂ is not suitable solvent in the supercritical extraction to extract cocoa butter from cocoa beans and makes acceptable to use different solvents. Ethanol is a co-solvent, which increases efficiency of extraction of cocoa butter in the industry.

Depend on the type of modifier, to use suitable one enhances the solubility during the cocoa butter extraction by SC-CO₂ and it is on the base of high quality cocoa butter manufacture.

Moreover, the total extracted fat content from cocoa liquor increases by increment of pressure, temperature and extraction time. The effect of pressure is more visible than temperature. Particle size effects to the SC-CO₂ extraction and measures the efficient extraction.

The particle size is differed by fermentation levels, roasting time, and temperature of SFE. Depend on the size of particles, the extraction yield is changeable, increasing roasting time and temperature has resulted in the increase on the yield of the cocoa industry in the SFE. It is implemented with higher yield and better quality cocoa butter.

REFERENCES

1. **Abbas K.A., Mohamed A., Abdulmir A.S., Abas H.A.** A review on supercritical fluid extraction as new analytical method, *Am. J. Biochem. & Biotech*, Vol.4, No.4, p.345-353, 2008.
2. **Asep E.K., Jinap S., Russly A.R., Harcharan S., Nazimah S.A.H.** The effects of particle size, fermentation and roasting of cocoa nibs on supercritical fluid extraction of cocoa butter, *Journal of Food Engineering*, Vol.85, p.450-458, 2008.
3. **Antero Laitinen.** Supercritical fluid extraction of organic compounds from solids and aqueous solutions. Technical Research Centre of Finland, VTT Publications, 1999.
4. **Asep E.K., Jinap S., Russly A.R., Jahurul M.H.A., Kashif Ghafoor, Zaidul I.S.M.** The effect of flow rate at different pressures and temperatures on cocoa butter extracted from cocoa nib using supercritical carbon dioxide, *J. Food Sci. Technol*, Vol. 53, No.5, p.2287-2297 DOI 10.1007/s13197-016-2191-22016.
5. **Asep E.K., Jinap S., Jahurul M.H.A., Zaidul I.S.M., Singh H.** Effects of polar co-solvents on cocoa butter extraction using supercritical carbon dioxide, *Innovative Food Science and Emerging Technologie*, Vol.20, p.152-160, 2013 doi.org/10.1016/j.ifset.2013.06.010.
6. **Brunner G.** Supercritical fluids: Technology and application to food processing, *J. Food Eng.*, Vol.67, p. 21-33, 2005.
7. **Tony Clifford.** Fundamentals of Supercritical Fluids, Oxford Science Publications, Oxford, 1999.
8. **Dimick P.S., Hoskin J.M.** Chemico-physical aspects of chocolate processing – a review, *Canadian Institute of Food Research and Technology Journal*, Vol.4, p.269-281, 1981.
9. **Dobbs J.M., Wong J.M., Lahiere R.J., Johnston K.P.** Modification of supercritical fluid phase behavior using polar co-solvents, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol.26, p.56-62, 1987 DOI: 10.1021/ie00061a011.

10. **Ernesto Reverchon, Iolanda De Marco.** Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter, *J. of Supercritical Fluids*, Vol.38, p.146–166,2006.
11. **Francisco J.D.C., Dey E.S.** Supercritical fluids as alternative, safe, food processing media: an overview, *Acta Microbiologica Polonica*, Vol. 52, p.35–39, 2003.
12. **Gupta R.B., Panayiotou C.G., Sanchez I.C., Johnston K.P.** Theory of hydrogen bonding in supercritical fluids, *AIChE Journal*, Vol.38(8), p.1243–1254, 1992.
13. **James, F.E., Jolene, K.B.** A Review of Supercritical Fluid Extraction, National Bureau of Standards Technical Note 1070 Natl. Bur. Stand. (U.S.), Tech Note 1070, coden: nbtuae U.S. Government Printing Office Washington, 1983.
14. **King J.W.** Supercritical Fluid Extraction: Present Status and Prospects, *Grasas y Aceites* Vol. 53, p.8-21, 2002.
15. **King J.W., Taylor S.L., Snyder J.M., Holliday R.L.** Total Fatty Acid Analysis of Vegetable Oil Soap stocks by Supercritical Fluid Extraction/Reaction, *JAOCS*, Vol. 75, No.10, p.1291-1295, 1998.
16. **King J.W.** Analytical-process supercritical fluid extraction: a synergetic combination for solving analytical and laboratory scale problems, *Trends in analytical chemistry*, Vol.14, No.10, p.474–481, 1995.
17. **King J.W.** Analysis of fats and oils by SFE and SFC, *IN-FORM 4*, p.1089–1096. 1993a.
18. **Li S., Hartland S.** Influence of co-solvents on solubility and selectivity in extraction of Xanthines and cocoa butter from cocoa beans with supercritical CO₂, *Journal of Supercritical Fluids*, Vol.5, p.7–12, 1992.
19. **Li S., Hartland S.** A new industrial process for extracting cocoa butter and xanthines with supercritical carbon dioxide, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, Vol.73, p. 423–429, 1996.
20. **Marleny D.A.S, Rahoma S. M, Paulo Mazzafera.** Extraction of cocoa butter from Brazilian cocoa beans using supercritical CO₂ and ethane, *Fluid Phase Equilibria*, Vol.194, p.885-894, 2002.
21. McNally M.E.P. Advances in environmental SFE, *Analytical Chemistry*, Vol.67, p.308A–315A, 1995.
22. **Rossi M., Arnoldi C., Salvioni G., Schiraldi A.** Characterization of cocoa Extracts obtained with supercritical carbon dioxide, *Italian Journal of Food Science*, Vol.3, p.41–50, 1989
23. **Rai D.R., Kumar A.** Some moisture-dependent physical properties of kabuli chana (*Cicer arietinum* L), *Journal of Food Science and Technology*, Vol.32, p.150–152, 1995.
24. **Werner H. Hauthal.** Advances with supercritical fluids [review]. *Chemosphere*, Vol.43, p.123±135, 2001.
25. **Rizvi S.S.H.** Supercritical Fluid Extraction, Institute of Food Science, Cornell University, III Food Technology, p.2860-2862, 2000.
26. **Selamat Jinap, Asep E.K., Jahurul M.H.A, Russly Abdul Rahman, Sahena Ferdosh, Zaidul I.S.M.** Effects of Moisture and pH on Supercritical Fluid Extraction of Cocoa Butter, *Food Bioprocess Technol*, Vol.6, p.2455–2465, 2013 DOI 10.1007/s11947-012-0983-6.
27. **Soares B.M.C., Gamarra F.M.C., Paviani L.C., Gonçalves L.A.G., Cabral F.A.** Solubility of triacylglycerols in supercritical carbon dioxide, *Journal of Supercritical Fluids*, Vol.43, p.25–31, 2007.
28. **Sapkale G.N., Patil S.M., Surwase U.S., Bhatbhage P.K.** A review Supercritical fluid extraction, *Int. J. Chem. Sci.*, Vol.8, No2, p.729-743, 2010.
29. **Salajegheh D., Vaziri A., Bastani D.** Supercritical Extraction of Cocoa butter from Cocoa seed, using pure Carbon Dioxide, Carbon Dioxide with Ethanol as co-solvent and ethane, *Middle-East journal of Scientific Research*, Vol.13, No.8, p.1010-1015, 2013.
30. **Tracy Doane-Weideman, Phillip B. Liescheski.** Analytical Supercritical Fluid Extraction for Food Application, Chapter 5 Isco Incorporated, Lincoln, NE 68504, 2004.
31. **Tan T.J., Jinap S., Asep E.K., Nazimah S.H.A.** Extraction of cocoa butter by supercritical carbon dioxide: optimization of operating conditions and effect of particle size, *J Food Lipid*, Vol.15, p.263–276, 2008.
32. **Walsh J.M., Greenfield M.L., Ikonomou G.D., Donohue M.D.** Hydrogen bonding competition in entrainer cosolvent systems, *Chemical Engineering Communications*, Vol.86, p.125–144, 1989.
33. **Walsh J.M., Ikonomou M.D.** Donohue, Supercritical phase behavior: The entrainer effect, *Fluid Phase Equilibria*, Vol.33, p.295–314, 1987.
34. **Zaidul I.S.M., Norulaini N.N.A., Mohd Omar A.K., Smith Jr R.L.** Supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) extraction of palm kernel oil from palm kernel, *J Food Eng.* Vol.79, p.1007–1014, 2007b.
35. **Fanny A. G. A., Juan B.F., María Á.O.A., Laura M.L.G., Pedro G.A.** Supercritical Fluid Extraction of Fat and Caffeine with Theobromine Retention in the Cocoa Shell, *Processes* 7, 385, 2019 www.mdpi.com/journal/processes
36. **Jomardov A.Y., Qurbanov A.N., Huseynova M.A.** About using of specified consumption rate of methanol to prevent the formation of hydrates, *Herald of the Azerbaijan Engineering Academy*, Vol.11. №3, 2019.

KAKAO YAĞI İSTEHSALINDA SUPERKRİTİK MAYE EKSTRAKSİYASININ OPTİMAL ŞƏRAİTİNƏ TƏSİR EDƏN EFFEKTLƏR

M.E. ŞAMİLOVA, E. OSTROVSKA-LİGEZA

İcmal super kritik maye ekstraksiyasının əsas anlayışları müəyyənləşdirməyə və kakao yağı istehsalının bir üsulu kimi super kritik karbon qazının optimal vəziyyətinin aspektlərini aydınlaşdırmağa yönəlmişdir.

Kakao yağının kakao liköründən və ya kakao paxlasından ekstraksiyası hidravlik presləmə, ekspeller presləmə və üzvi həlledicilərlə soxhlet ekstraksiyasına əsaslanır. Son dövrlərdə, sağlam və təhlükəsiz istehsalatı təmin etmək üçün kakao yağının təmiz və səmərəli texnologiya ilə əldə olunmasına tələbat artırmışdır.

Potensial alternativ ekstraksiya metodu kimi superkritik maye ekstraksiyası oksigensiz şəraitdə sürətli, zəhərsiz və çirklənmə həddi minimum olan ekstraksiya metodudur. Kakao yağının istehsalında SME texnologiyası super kritik karbon qazı və əlavə modifikatorlar tətbiq etmələ həyata keçirildi. Bundan əlavə, SME vasitəsilə kakao yağının ekstraksiyasının optimal vəziyyəti öyrənilmiş və gələcək perspektivləri araşdırılmışdır.

Açar sözlər: super kritik maye ekstraksiyası, super kritik CO₂, kakao yağı ekstraksiyasının optimallaşdırılması.

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТОВ НА ОПТИМАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ВЫДЕРЖКИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ МАСЛО КАКАО

M.E. ШАМИЛОВА, E. ОСТРОВСКА-ЛИГЕЗА

В настоящем обзоре выявлены фундаментальные понятия сверхкритической флюидной экстракции и определены аспекты оптимального состояния сверхкритического диоксида углерода как обычного способа получения масла какао.

Экстракция какао-масла из какао шелок или какао-бобов основана на гидравлическом прессовании, прессовании экспеллером и экстракции Сокслета органическими растворителями. В последнее время для обеспечения здоровья и безопасности производства сохраняется новый спрос на разработку экологически чистых и эффективных технологий получения какао-масла.

Как потенциальный альтернативный метод извлечения, сверхкритическое жидкое извлечение предлагает быстрое, нетоксическое и без загрязнения извлечение в без кислорода состоянии. Преимущества были реализованы для применения технологии СФЭ, в основном сверхкритической двуокиси углерода и с добавлением модификаторов, используемых в промышленности какао-масла. Кроме того, для изучения оптимального условия экстракции какао-масла через СФЭ были исследованы и исследованы его будущие перспективы.

Ключевые слова: сверхкритическая флюидная экстракция, сверхкритический CO₂, оптимизация эффекта экстракции масла какао.

Received: 10.04.2019
Revised: 10.03.2020
Accepted: 18.03.2020

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), наименование 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. Подрисночные 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. № 1

Vol. 12. № 1

Том 12. № 1

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 24.03.2020,

formatı 60x84 1/8,

kağız təbaşirli, f.ç.v. 16.5

Tirajı 1255 əd.

