



**Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının
XƏBƏRLƏRİ**

**HERALD
of the Azerbaijan Engineering Academy**

**ВЕСТНИК
Азербайджанской Инженерной Академии**

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

Cild 11. № 3
Vol. 11. № 3
Том 11. № 3

BAKİ – 2019

Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının
XƏBƏRLƏRİ
Beynəlxalq elmi-texniki jurnal

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

REDAKSİYA 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**

REDAKSİYA 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. **Baur Reinhard** (Almaniya),
prof. **F. Franek** (Avstriya), akademik **B.T. Jumaqulov** (Qazaxıstan), prof. **Junq – Young Son** (Koreya),
akademik **A.V. Kərimov** (Özbəkistan), prof. **D. Mavrakis** (Yunanıstan), akademik **N.K. Mışkin** (Belarusiya),
prof. **Nejdet Sağlam** (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), **Baur Reinhard**, professor
(Germany), **F. Franek**, professor (Austria), **B.T. Zhumagulov**, academician (Kazakhstan), **Junq – Young Son**,
professor (Korea), **A.V. Karimov**, academician (Uzbekistan), **D. Mavrakis**, professor (Greece),
N.K. Mishkin, academician (Belarus), **Nejdet Saglam**, 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” (RESİ) layihəsinə daxil edilib.

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

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

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

Jurnalə 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 şəhəri, K.Səfəraliyeva 22.

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

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

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

For juristic and for natural persons – 1156

Address of editorial offices:

Azerbaijan Republic, AZ 1010,

Baku, K.Safaraliyeva 22.

Tel/Fax: (+99412) 598 24 52

E-mail: amaxeber@yahoo.com

<http://ama.com.az>

CONCERNING ADVERTISING
PLACING TO ADDRESS
IN EDITION

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Общественное объединение **«Азербайджанская Инженерная Академия»**.

Журнал издается с ноября 2009 года.

Выходит 4 раза в год.

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

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

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

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

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

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

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, г. Баку, ул. К.Сафаралиева, 22.

Тел./Факс: : (+99412) 598 24 52

E-mail: amaxeber@yahoo.com

<http://ama.com.az>

ПО ВОПРОСАМ РАЗМЕЩЕНИЯ
РЕКЛАМЫ ОБРАЩАТЬСЯ
В РЕДАКЦИЮ

M Ü N D Ə R İ C A T

Aviasiya

Nəbiyev R.N., Məmmədov A.Z.

Aerokosmik sahədə tətbiq edilən dairəvi lazer və optik-lifli giroskopların analizi 7

Mexanika və maşınqayırma

Canəhmədov Ə.X., Volçenko D.A., Cavadov M.Y., Skrypnyk V.S., Bekiş İ.O., Vitvitskiy V.S.

Nəqliyyat vasitəsinin "çox axınlı ejektor" tipli hava ilə soyudulma sistemli disk-kündəli əyləcin enerji yüklənməsi 23

Qafarov A.M., Salayev B.H.

İstismar göstəriciləri diskret təsadüfi kəmiyyətlər olan idman və qəza-xilasətmə cihaz, maşın və avadanlıqlarının etibarlılığının qiymətləndirilməsi metodlarının tədqiqi 34

Əliyev Ə.M., Əkbərli N.A.

Qazıma rotorunda yaranan nasazlıqlar və onların aradan qaldırılması yolları 40

Tətbiqi fizika

Əhmədov F.İ., Abdullayev F.N., Əhmədov Q.S., Əkbərov R.Ə.,

Nuriyev S.M., Sadıqov A.Z., Süleymanov S.S., Muxtarov R.M.

Silisiyum əsaslı fotoelektron gücləndiricilərin aşağı temperaturalarda tədqiqi 46

Neft və qaz

Şahverdiyev Ə.X.

Quyuların qarşılıqlı təsiri – neft yataqlarının hazırlanmasında sistemliyin əsas amili 52

Məmmədova Y.V.

"Lay-quyu" sisteminin vəziyyətinə operativ nəzarət 62

Hacıyeva L.S.

Suyun gilli laylarda süzülməsinin tədqiqi 66

Neft-kimya texnologiyası

Salayev M.R., Hüseynova E.Ə., Yusubova S.E., Al-Battbotti M.R., Əcəmov K.Y., Həsənov Q.S.

Sulfat-aniontərkibli titan oksidin IQ-spektroskopik tədqiqi 71

Comərdov A.Y., Qurbanov Ə.N., Hüseynova M.Ə.

Hidrat əmələ gəlməsinin qarşısını almaq üçün istifadə edilən metanolun dəqiqləşdirilmiş sərf normasının işlənməsi haqqında 80

Mirələmov H.F., Məmmədov Ç.İ.

Neftçıxarma sahəsində nanotexnologiyaların istifadəsi 86

Cihazqayırma

Sultanov E.F., Məmmədov E.M.

Gəmi yükqaldırıcı mexanizmlərinin elektrik intiqallarının tiristor gərginlik tənzimləyiciləri ilə idarə olunması 90

Metallurgiya

Babanlı M.B., Şahmarova R.S., Cabbarov T.Q., Hüseynov B.H.

Austenit-beynit çevrilməsinin temperatur rejimləri 94

Geologiya

Rzayev A.B., Rasulov S.R., Qaniyeva R.Y.

Zəlzələyə səbəb olan seysmik sürətlərin nisbətlərinin dəyişilməsi məsələləri 98

Vəliyev A.Ə., Qədimov Ş.M., Bayramov A.Ə., Məmmədov S.M., İbrahimov C.R.

Yeni kəşf olunmuş Uğur qızıl yatağının geologiyası, filiz kütləsinin morfolojiyası və mineralojiyası 103

Ekologiya

Qurbanova M.A., Əhmədov Ş.Ə.

Yanğınsöndürmə sahəsində tətbiq edilən müxtəlif köpükəmələgətirici maddələrin söndürmə xüsusiyyətlərinin təhlili 112

Əliyev B.H., Əliyev Z.H., Zeynalova A.F.

Bağlı suvarma şəbəkələrinin suötürmə qabiliyyətinin müəyyənəşdirilməsinin yeni üsulları və dəyirmi borularda sürətin yayılmasının müntəzəmliyi 118

C O N T E N T S

Aviation

- Nabiyev R.N., Mammadov A.Z.**
Analysis of ring-laser and fiber-optic gyroscopes applied on aerospace field7

Mechanics and Mechanical Engineering

- Janahmadov A.Kh., Volchenko N.A., Javadov M.Y.,
Skrypnyk V.S., Bekish I.O., Vitvitsky V.S.**
Energy-loading of disk-shoe-brake with air cooling system of "multi-jet ejector" type vehicle23
- Gafarov A.M., Salayev B.H.**
The reliability evaluation methods of sport and emergency rescue instruments, machines
and equipment, operational indicators of which are discrete random quantities34
- Aliyev A.M., Akbarli N.A.**
Rotary drilling problems and their elimination methods40

Applied Physics

- Ahmadov F.I., Abdullayev F.N., Ahmadov G.S., Akberov R.A.,
Nuriyev S.M., Sadigov A.Z., Suleymanov S.S., Mukhtarov R.M.**
Study of silicon photo-electron multipliers at low temperatures46

Oil and Gas

- Shakhverdiyev A.Kh.**
Interaction of wells – the major factor of systemacity when developing oil fields52
- Mammadova E.V.**
Operational control over the system condition "well - rezervoir"62
- Hajieva L.S.**
Research of filtration water is in clay layers66

Chemical Technology

- Salaev M.R., Guseynova E.A., Yusubova S.E., Al-Battbotti M.R.,
Ajamov K.Y., Gasanov K.S.**
IR-spectroscopic research of sulfate-anion-containing titanium oxide71
- Jomardov A.Y., Qurbanov A.N., Huseynova M.A.**
About using of specified consumption rate of methanol to prevent the formation of hydrates80
- Miralamov H.F., Mammadov Ch.I.**
The use of nanotechnologies in the oil-extracting industry86

Instrumentation

- Sultanov E.F., Mammadov E.M.**
Control of electrical drives on the ship's lifting devices with thyristor voltage regulator90

Metallurgy

- Babanli M.B., Shahmarova R.S., Cabbarov T.Q., Huseynov B.H.**
Temperature mode of austenitic-beynite transformation94

Geology

- Rzayev A.G., Rasulov S.R., Qaniyeva R.Y.**
Questions of changing the relations of seismic speeds, earthquake98
- Veliyev A.A., Gadimov Sh.M., Bayramov A.A., Mammadov S.M., Ibrahimov C.R.**
Geology, morphological and mineralogical characteristic of the Ugur gold deposit103

Ecology

- Gurbanova M.A., Akhmedov Sh.A.**
Analysis of fire extinguishing properties of foaming agents used for putting down fire112
- Aliyev B.G., Aliev Z.G., Zeynalova A.F.**
New method of calculation of passaging abilities of closed irrigation networks and
regularity of speed distribution in round pipes118

СОДЕРЖАНИЕ

Авиация

Набиев Р.Н., Мамедов А.З.

Анализ лазерно-кольцевых и волоконно-оптических гироскопов, применяемых в аэрокосмической области 7

Механика и машиностроение

Джанахмедов А.Х., Вольченко Н.А., Джавадов М.Я.,

Скрыпник В.С., Бекиш И.О., Витвицкий В.С.

Энергонагруженность дисково-колодочного тормоза с воздушной системой охлаждения типа «многоструйный эжектор» транспортного средства 23

Гафаров А.М., Салаев Б.Г.

Исследование методов оценки надежности спортивных и аварийно-спасательных приборов, машин и оборудования, эксплуатационные показатели которых являются дискретными случайными величинами 34

Алиев А.М., Акбарли Н.А.

Неисправности, возникающие в буровых роторах, и пути их устранения 40

Прикладная физика

Ахмедов Ф.И., Абдуллаев Ф.Н., Ахмедов Г.С., Акберов Р.А.,

Нуриев С.М., Садыгов А.З., Сулейманов С.С., Мухтаров Р.М.

Исследование кремниевых фотоэлектронных умножителей при низких температурах 46

Нефть и газ

Шахвердиев А.Х.

Взаимодействие скважин – основной фактор системности при разработке нефтяных месторождений 52

Мамедова Е.В.

Оперативный контроль состояния системы «скважина-пласт» 62

Гаджиева Л.С.

Исследование фильтрации воды в глинистых пластах 66

Нефтехимические технологии

Салаев М.Р., Гусейнова Э.А., Юсубова С.Э., Аль-Баттботти М.Р., Аджамов К.Ю., Гасанов К.С.

ИК-спектроскопическое исследование сульфат-анионсодержащего оксида титана 71

Джомардов А.Ю., Гурбанов А.Н., Гусейнова М.А.

Разработка уточненной нормы расхода для предотвращения гидратообразования используемого метанола 80

Мираламов Г.Ф., Мамедов Ч.И.

Использование нанотехнологий в нефтедобывающей отрасли 86

Приборостроение

Султанов Э.Ф., Мамедов Э.М.

Управление электроприводами судовых грузоподъемных механизмов с помощью тиристорных регуляторов напряжения 90

Металлургия

Бабанлы М.Б., Шахмарова Р.Ш., Джаббаров Т.Г., Гусейнов Б.Г.

Температурный режим аустенитно-бейнитного превращения 94

Геология

Рзаев А.Г., Расулов С.Р., Ганиева Р.Я.

Вопросы изменения отношений сейсмических скоростей, приводящих к землетрясению 98

Велиев А.А., Гадимов Ш.М., Байрамов А.А., Маммадов С.М., Ибрахимов Д.Р.

Геолого-морфолого-минералогическая характеристика Угурского месторождения золота 103

Экология

Гурбанова М.А., Ахмедов Ш.А.

Анализ огнетушащих свойств пенообразователей, применяемых в целях пожаротушения 112

Алиев Б.Г., Алиев З.Г., Зейналова А.Ф.

Новая методика расчета пропускных способностей закрытых оросительных сетей и закономерность распределения скоростей в круглых трубах 118

UOT: 629.7

AEROKOSMİK SAHƏDƏ TƏTBİQ EDİLƏN DAİRƏVİ LAZER VƏ OPTİK-LİFLİ GİROSKOPLARIN ANALİZİ

R.N. NƏBİYEV*, A.Z. MƏMMƏDOV*

Məqalədə dairəvi lazer və optik-lifli giroskopların mövcud texniki imkanları nəzərə alınmaqla qurulma prinsiplərinin analizi aparılmış, oxşar və fərqli cəhətləri göstərilmişdir. Giroskopların dəqiqlik göstəricilərinə və kütlə qabarit ölçülərinə təsir edən amillər müəyyənləşdirilmiş və onların aradan qaldırılması yolları göstərilmişdir. Bu məqsədlə hazırda aerokosmik sahədə duyğacaların hazırlanması ilə məşğul olan əsas firmaların istehsal etdiyi yüksək dəqiqlikli dairəvi lazer və optik-lifli giroskoplar və onların əsasında olan inersial ölçmə modullarının texniki xarakteristikaları təyin edilmiş və tətbiq sahələri müəyyənləşdirilmişdir. Dəqiqliyi, etibarlılığı, kütlə qabarit ölçüləri, uzunömürlülüüyü və enerji sərfiyyatı baxımından optik-lifli giroskopların yüksək texniki xüsusiyyətləri tələb olunan sahələr üçün optimal seçim olması aşkar edilmişdir.

Açar sözlər: *dairəvi lazer giroskopu, optik-lifli giroskop, mikroelektromexaniki sistem, inersial naviqasiya, pilot-suz uçuş aparatı, kosmik aparat, stabilizasiya, duyğac, optik lif, fotodetektor, sıfırın dreyfi.*

Giriş. İstiqamətlənmə, naviqasiya və idarəetmə sahəsində elmi tədqiqatlar artıq 100 ildən artıqdır ki, inkişaf etdirilməkdədir. Bu müddət ərzində xüsusilə də naviqasiya duyğacaları sahəsində bir sıra yeniliklər baş vermişdir [1-3]. Bu gün naviqasiya duyğacalarını tam başa düşmək üçün maşınqayırma, elektronika, elektrooptika və atom fizikası kimi elmlər haqqında geniş bilik sahəsinə malik olmaq lazımdır. Faktiki olaraq bir çox naviqasiya tapşırıqları yalnız GPS-in köməyiylə yerinə yetirilə bilər. İnersial duyğacalar isə yalnız stabilizasiya və idarəetmə üçün istifadə olunurlar. Lakin GPS-in maneələrə olan zəifliyi naviqasiya duyğacalarının tətbiqinin vacibliyini göstərir. Xüsusilə naviqasiya duyğacalarının ölçülərinin kiçik olması əvvəllər ölçətməz olan (məsələn, artileriyanın və top mərmilərinin idarə olunması) yönləndirmə (istiqamətlənmə), naviqasiya və idarəetmə kimi sahələrdə də istifadəsini mümkün edir.

Problemin aktuallığı. Giroskopik cihazların dəqiqlik və istismar xarakteristikalarına olan tələblərin müntəzəm olaraq artması müxtəlif ölkələrin alim və mühəndislərini mövcud klassik giroskopları təkmilləşdirməyə, həmçinin fəzadakı obyektlərin bucaq hərəkətlərinin indikasiya edilməsi və ölçülməsi üçün daha həssas duyğacaların yaradılması problemlərini həll edən prinsipə yeni ideyaların axtarışlarına sövq etmişdir.

* Milli Aviasiya Akademiyası

Bu məqalədə dairəvi lazer giroskoplarının (DLG) və optik-lifli giroskopların (OLG) mövcud imkanları nəzərə alınmaqla müqayisəli analizi aparılmış, tətbiq sahələri müəyyənləşdirilmişdir. Həm OLG, həm də DLG-nin göstəricilərinə mənfi təsir edən amillər müəyyənləşdirilmiş və onların aradan qaldırılması yolları göstərilmişdir.

Məsələnin qoyuluşu və həlli. Giroskoplar kommersiya məqsədli, sənaye və hərbi tətbiqlər üçün nəzərdə tutulmuş bir çox pilotlu və pilotsuz uçuş aparatlarının (PUA), kosmik aparatların naviqasiyası, idarəedilməsi, stabilizasiyası və müşahidələrin aparılması üçün vacibdir. Oyun kontrollerlərindən smartfonlara qədər və məsafədən stabilizasiya olunan silahlardan sürücüsüz nəqliyyat vasitələrinə qədər giroskoplar və inersial ölçmə modulları (İÖM) naviqasiyanın, idarəetmənin və istiqamətləndirmənin bir sıra vacib funksiyalarını yerinə yetirir.

İstifadəçi sinfinə daxil olan giroskoplar, yəni video oyunların, smartfonların, planşetlərin və avtomobillərdəki hava yastıqlarının kontrollerlərində istifadə olunan giroskoplar aşağı texniki xarakteristikalara malikdirlər və onların dəyəri də ucuzdur. Daha vacib sahələrdə, yəni hərbi sistemlərdə, kosmik sahədə, PUA-da, sürücüsüz avtomobillərdə və GPS/GNSS-dən imtina halında naviqasiya məsələlərinin həllində daha yüksək parametrlər tələb edilir. Dəqiqlik və digər parametrlərə qoyulan tələblər konkret sistemə hansı texnologiyanın tətbiq olunmasını müəyyən edir [4].

Giroskopu və İÖM-ü sürüşmənin dayanıqsızlığı xüsusiyyətinə görə aşağı dəqiqlikli istehlakçı məhsullarında və strateji vacib tətbiq sahələrində istifadəsi üçün şərti olaraq iki sinifə bölmək olar. Sürüşmə dayanıqsızlığı ölçmənin müəyyən zaman dövrü ərzində giroskopun çıxış signalının sürüşməsinin nə qədər dayanıqlı olduğunu göstərir. Ümumiyyətlə sürüşmənin dayanıqsızlığı nə qədər aşağı olarsa, vaxt keçdikcə giroskopun çıxış signalında yaranan xətlər də bir o qədər az olacaqdır. Daha az sürüşmənin dayanıqsızlığına malik giroskop inersial ölçmə modulu üçün mövqenin müəyyənləşdirilməsində xətlərin azalmasına gətirib çıxaracaqdır [4]. Gözləniləndi kimi giroskopun və ya İÖM-un məhsuldarlıq səviyyəsi onun müqayisəli dəyərini müəyyən edir. Cədvəl 1-də sürüşmənin dayanıqsızlığına əsasən giroskopların tətbiq sahələri verilmişdir.

Giroskopun keyfiyyət sinifləndirilməsində mühüm məqamlardan biri də onların hansı sahələrdə və hansı məqsədlərlə istifadəsinin müəyyənləşdirilməsidir. Silisium və kvars MEMS giroskopları kimi aşağı xarakteristikalı giroskoplar smartfonlar, ağıllı döyüş sursatları kimi istehlak, sənaye və hərbi taktiki məqsədli əməliyyatlarda istifadə olunurlar. Torpedalar, hava/yer/dəniz naviqasiyası, kosmik aparatlar, geolokasiyalı xəritələşdirmə və geodeziya, eləcə də avtonom yerüstü və ya yeraltı naviqasiya kimi daha dəqiq tətbiq sahələri yüksək texniki xarakteristikaya malik OLG, DLG-lər tələb edirlər [5].

Son illərdə inersial naviqasiya sahəsində üç əsas texnologiya hərbi və kommersiya istiqamətlərində uğurlar əldə etmişdir. Bunlar dairəvi lazer giroskopları (DLG), optik-lifli giroskoplar (OLG) və mikroelektromexaniki sistemlərdir (MEMS).

Fəzada yerin müəyyən edilməsi funksiyası inersial hesablama sistemində kosmik gəminin bucaq sürətini təyin edən və eləcə də onun mütləq vəziyyətini müəyyən edən bir neçə duyğac ilə yerinə yetirilə bilər. İlk qiymətləndirmə ulduzların izləmə sistemləri, günəş

Cədvəl 1.
Sürüşmənin dayanıqsızlığına
əsasən giroskopların tətbiq sahələri

Tətəbiq sahəsi	Sürüşmənin dayanıqsızlığı (bias instability), ⁰ /saat
İstehlakçı	30-1000
Sənaye	1-30
Taktiki	0.1-30
Yüksək taktiki	0.1-1
Naviqasiya	0.01-0.1
Strateji	0.0001-0.01

duyğaları, yer duyğaları, maqnitometrlər və s. kimi qurğularla yerinə yetirilir. İkinci qiymətləndirmə isə giroskoplarla aparılır [6].

Giroskoplar çox sayda müxtəlif tətbiq sahələrinə malikdir və bu da onlar qarşısında fərqli tələblər qoyur. Tətbiq tələblərini müəyyənləşdirmək üçün istifadə olunan əsas parametrlər: ayırdetmə qabiliyyəti, yəni minimal müəyyən olunan bucaq sürəti; sürüşmə tendensiyası [Sürüşmə (sıfırın dreyfi) dedikdə duyğac fırlanmadığı halda çıxışda sıfırdan fərqli qiymətin alınması başa düşülür]: təsadüfi bucaq gedişi - angle random walk (ARW) fırlanmanın bucaq sürətinin ölçülməsi zamanı küy qatqısının və zaman keçdikcə artan xətti uyğunsuzluğuna görə duyğacın çıxışını inteqrasiya edilməsi hesabına yaranır [7].

Baxmayaraq ki, hazırkı dövrdə ulduzların izlənilməsi sistemində olan texnologiyalar İridium Next və Globstar 2 [8] kimi giroskopsuz peyk qruplarının yaradılmasına icazə verir, lakin hələ də çox yüksək dəqiqlikli giroskoplar ($<0,1^{\circ}$ /saat) Yer izlənilməsi və elmi tapşırıqlar zamanı lazım olur. Planetlərin kəşfi üçün $1-10^{\circ}$ /saat qiymətinə malik bucaq sürəti duyğaları bütün peyk və kosmik nəqliyyat vasitələri üçün faydalıdır.

Foton giroskopları. Foton giroskoplarının iş prinsipi Sanyak effektinə əsaslanır [9]. Kosmik tətbiq üçün istifadə olunan ilk foton giroskopu hələ də buraxılış qurğularının bortlarında geniş istifadə olunan dairəvi lazer giroskoplarıdır (DLG). Bir çox kosmik uçuşlar zamanı xüsusilə də Avropada NASA [10]-da hazırlanmış Marsın tədqiqi üçün planetar roverlərin bortlarında quraşdırılmış və 0.1° /saatdan 0.0003° /saat diapazonda sıfırın dreyfinə malik optik lifli giroskoplar seçilmişdir. Bütün bunlar onu göstərir ki, hazırkı dövrdə bazarda mövcud olan və geniş istifadə olunan iki giroskop DLG və OLG-dir.

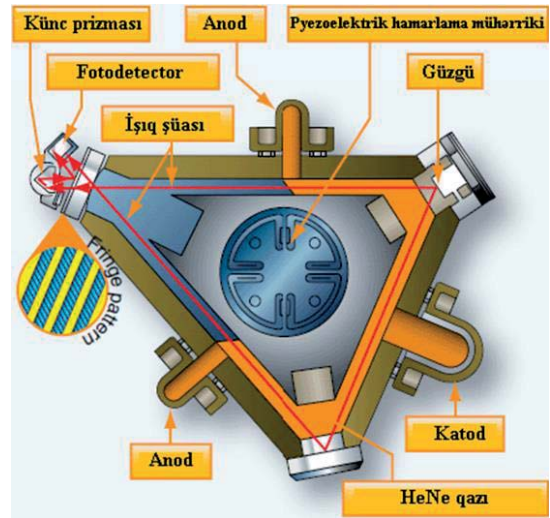
Son dövrlərdə kosmosda tətbiq olunan foton giroskoplarının ölçülərinin kiçildilməsinin və qiymətinin aşağı salınması yolunda böyük işlər görülmüşdür. Lakin ən yaxşı xarakteristikaya malik olan giroskop belə hələ də kosmik tətbiq üçün tələbləri tam ödəyə bilmir. Kosmosda istifadə oluna bilən çox da bəha olmayan giroskoplara olan tələbat günü-gündən artır. ESA [11]-nin müqavilələri əsasında yaradılan MEMS giroskopları isə hələ də bazarda olan tələbatı tamamilə qarşılaya bilmir. Bu onu göstərir ki, foton giroskoplarının ölçülərinin kiçildilməsi yolunda aparılan tədqiqatlar çox faydalıdır.

Dairəvi lazer giroskopları. İlk DLG 1963-cü ildə [12] nümayiş olunmuş və daha uzun ömürlüliyi və etibarlılığı sayəsində 1980-ci illərdə mexaniki giroskopların yerini almağa başlamışdır. Dairəvi lazer giroskopları həm də kvant giroskopları adlandırılır.

Hazırkı dövrdə lazer giroskopları çox dəqiq ölçü texnikasında, eləcə də naviqasiya və stabilizasiya sistemlərində tətbiq olunurlar. Lazer giroskopların üstünlükləri bir çox hallarda kardansız naviqasiya və stabilizasiya sistemlərində həssas element kimi istifadə olunan zaman aşkar olunur. Lazer giroskopunun əsas praktiki tətbiqi platformaya olan həyəcanlandırıcı təsirlərin kompensasiyası üçün istifadə olunan stabilizasiya sistemləridir. Belə qurğuların bazasında platformasız inersial naviqasiya sistemləri (PİNS) yaradılmışdır. Bunlar da öz növbəsində kosmik naviqasiya sistemləri (qlobal naviqasiya sistemləri – QLONASS) ilə birlikdə yüksək dəqiqliklə hərəkət edən obyektləri izləməyə və özlərinin cari vəziyyətlərini müəyyən etməyə imkan verir [7].

DLG miqyas əmsalının yüksək stabilliyinə və xətiliyinə, təcilə qarşı nisbətən zəif həssaslığa, rəqəmsal çıxışa, cəld işə salınma vaxtına, sakit rejimdə yüksək stabilliyə və hərəkətli hissələrinin olmaması kimi xüsusiyyətlərə malikdir. DLG-ni performansına temperaturun dəyişməsi təsir göstərdiyindən temperatur kompensasiyası alqoritmi ilə temperatur həssaslığı səbəbindən yaranan xətalara aradan qaldırmaq mümkündür [13].

DLG-nin iş prinsipi Sanyak effektinə əsaslanır. Aşağı təzyiqə malik qaz lazeri (adətən helium – neon) optik boşluğun daxilində anodun və katodun həyəcanlanması zamanı saat əqrəbi istiqamətində və saat əqrəbinin əksi istiqamətində işıq dalğaları buraxır (şək. 1). Beləliklə DLG lazerin özü olur və xarici işıq mənbəyinə ehtiyac duymur. Əgər sistem müvazinətdədirsə şüalar eyni məsafə qət edir və buna görə də faza sürüşməsi olmur. Əgər optik sistem fəzada Ω bucaq sürəti ilə fırlanarsa, onda dalğalar arasında faza fərqi yaranacaq. Bu zaman generasiya edilən dalğaların tezliklər fərqi yaranacaqdır. Yaranan tezliklər fərqi lazerin dönmə sürətinə mütənasib olur.



Şək. 1. Dairəvi lazer giroskopu

Ölçülərin və qiymətinin aşağı salınması yolda aparılan tədqiqatlar kiçik uzunluqlu yola malik DLG-nin yaranmasına gətirib çıxarmışdır. Kiçik uzunluqlu yola malik Honeywell 1308 [14] və Kearfott T-10 giroskopları hal-hazırda geniş istifadə olunur. Üçoxlu T-10 RLG təxmini olaraq qolf topunun ölçüsü boydadır. Sonrakı miniaturləşdirmə nəticəsində isə 3 mm diametrə malik yarımkeçirici dairəvi lazerlər hazırlanmışdır [15].

Hazırkı dövrdə DLG aerokosmik və müdafiə sənayesi üçün əsas duyğaclardan biri sayılır və platformasız inersial naviqasiya və raketlərin idarə edilməsi sistemləri kimi yüksək məhsuldarlıq (performans) tələb edən bir çox sahələrdə geniş istifadə olunur [16].

Lazer giroskoplarının müsbət xüsusiyyətlərinə hər şeydən əvvəl fırlanan rotorun, sürtünmə qüvvələrinin təsirinə məruz qalan diyircəklərin olmamasını aid etmək olar. He–Ne DLG-nin uğuru mexaniki giroskoplarla müqayisədə bir çox üstünlüklərə malik olması ilə izah olunur. Bu üstünlüklərə vibrasiyaya və temperatur dəyişmələrinə qarşı qeyri – həssaslıq, rəqəmli çıxışının olması, hərəkətli hissələrin olmaması, konstruksiyasının sadəliyi (20 komponentdən daha az), geniş dinamiki diapozon, sürətli yenilənmə və yüksək etibarlılıq aiddir. Bu kimi xarakteristikalar giroskopun $0,1^0$ /saatdan aşağı ayırtd etmə və $0,01^0$ /saatdan daha yaxşı sıfırın dreyfinə malik yüksək məhsuldarlığını təmin edir [17].

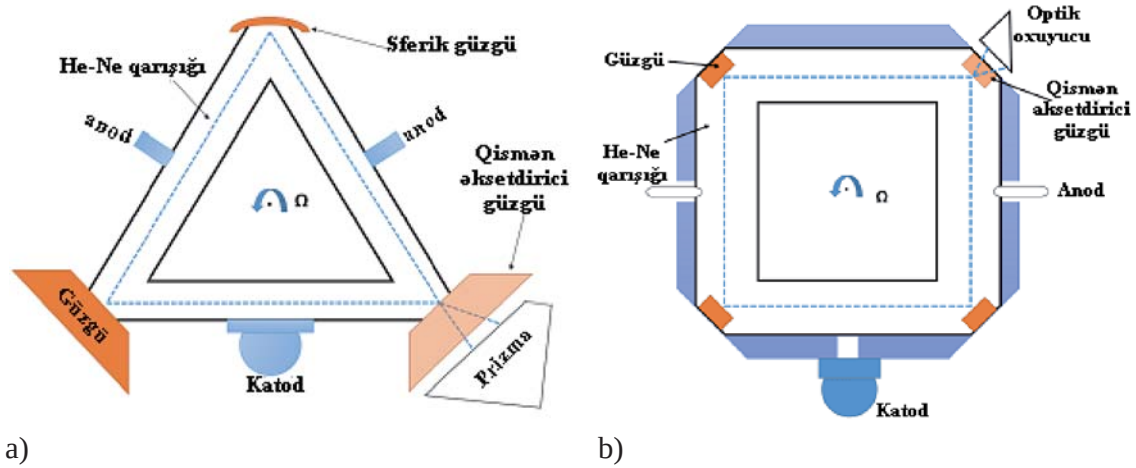
Kosmik sahənin gələcək mümkün tendesiyyalarını nəzərə alsaq, bu qurğunun əsas çatışmayan cəhəti onun ölçüsü, kütləsi, enerji sərfiyyatı, dəyərinin yüksək olması və lazer rezonans yolunda optik güclənməni təmin edən He–Ne qarışığının keyfiyyətini itirmə mümkünlüyüdür. Sonuncu kritik halı aradan qaldırmaq üçün He–Ne gücləndirici mühitini bərk Nd: YAG [18] mühiti ilə əvəz etmək təklif olunmuşdur.

DLG – də optik boşluqda (harada ki, gücləndirici mühit keçən işığın optik güclənməsini formalaşdırır) iki qarşılıqlı rezonans modları həyəcanlanırlar. Sanyak effektinə görə rezonatorun daxilində yayılan iki optik yolun tezlikləri arasındakı fərq duyğacın Ω bucaq sürətinə mütənasibdir. DLG-nin baza quruluşu şək. 2-də göstərilmişdir. Burada boşluğun forması üçbucaq və ya kvadrat ola bilər.

DLG çox yüksək keyfiyyətli güzgülərə malik dairəvi boşluqdakı qaz lazeri əsasında qurulur. Boşluq, məhtudiyyətsiz təkrar dolana bilən (dəqiq say konkret dizayndan asılıdır) iki qarşılıqlı dalğa üçün, aktiv rezonator rolunu oynayır. Bu da Sanyak effektini artırır və qarşılıqlı yayılan dalğa çıxışlarını yenidən birləşdirərək fırlanma sürətinə mütənasib olan tezliklər fərqlərini ölçür [20].

Şək. 2a-da göstərilən giroskopun tərkibinə iki künc güzgüsü və bir sferik güzgü daxil olduğu halda şək. 2b-də göstərilən giroskopda isə dörd künc güzgüsündən istifadə olunmuşdur. Əks lazer şüaları əksətdirici güzgüdə qismən interferensiya olunaraq intrefeferensiya mənzərəsini əmələ gətirirlər [19].

He-Ne qazının ionlaşması üçün elektrodlara (anod və katodlar) tətbiq olunan yüksək gərginlikdən istifadə olunur. İonlaşma Ne atomlarını həyəcanlandırır, bunlar da şüa hasil edərək, daha kiçik elektrik səviyyələrə ayrılırlar. Burada istilik effektlərindən yayınmaq və mexaniki stabilliyi təmin etmək üçün He-Ne DLG-ni adətən çox kiçik istilik genişlənməsi əmsalına malik sərt blokdan (məsələn, karbon keramik şüşə) hazırlayırlar [20].



Şək. 2. (a) Üçbucaq optik rezonator əsasında olan He-Ne DLG
(b) Kvadrat optik rezonator əsasında olan He-Ne DLG

Lazer giroskopların ölçmə dəqiqliyinə və qabarit ölçülərinə təsir edən xətalərin və məhdudiyyətlərin mənbələri.

Lazer giroskoplarında dönmənin bucaq sürətinin ölçmə dəqiqliyini məhdudlaşdıran əsas xəta mənbələri aşağıdakılardır: çoxmodlu şüalanma xarakteri; fazanın fluktuasiyası və işıq şüalanmasının tezliyi; tezliklərin tutulması; giroskopun «sıfır dreyfi» .

Çox modlu şüalanma xarakteri. Dairəvi lazerdə müxtəlif tezlikli bir neçə rəqslər (mod) həyəcanlana bilər. Ω bucaq sürətinə malik giroskop fırlanan zaman çoxmodullu generasiya rejimi hər bir modun iki tezliyə ayrılması ilə nəticələnir. Bu halda qonşu modların döyünmə tezliyinin fərqi bir-birindən fərqlənəcəkdir. Bu da öz növbəsində fırlanmanın bucaq sürətinin qiymətləndirilməsini və fərq tezliyinə malik siqnalın aydın aşkar olunmasına mane olur. Buna görə də lazer giroskopların real konstruksiyalarında birmodlu rejimə yaxın generasiya rejimi təmin etməyə çalışırlar.

Fazanın fluktuasiyası və şüalanma tezliyi. Fazanın stabilliyi və lazer generatorunun tezliyi aktiv maddənin fotonlarının emissiyası ilə məhdudlaşır. Əsas şüalanmanın fazası fotonların təsadüfi şüalanmasının ümumi sayına mütənasib olan qiymət ilə dəyişə bilər. Lakin fotonların şüalanma fazaları bir qayda olaraq bir- birinə uyğun olmadıqları üçün qiymətin fluktuasiyası və şüalanma fazası çox da böyük olmur. Lakin bu faza yerdəyişməsi təsadüfi xarakter daşıyır. Bu halda qaz lazerləri üçün əsas şüalanmanın tezlik intervalı 0.001-dən 1 Hs-ə qədər olur. Praktiki olaraq bucaq sürətinin ölçülməsinin dəqiqliyi fotodetektorla ölçülən fazanın minimal qiyməti ilə məhdudlaşır. Ancaq

nəzərə almaq lazımdır ki, lazer giroskoplarının hazırlanma texnologiyalarının və onların elementlərinin inkişaf etdirilməsi ilə bucaq vəziyyətlərinin ölçülmə dəqiqliyi faza fluktuasiyaları və generatorun tezliyi ilə müəyyən edilən sərhəd qiymətinə çatacaqdır.

Tezliklərin tutulması. Giroskopun fırlanma sürətinin yüksək olduğu halda optik generatorun tezliklər fərqi fırlanma sürətinə mütənasib olacaqdır. Ancaq bu sürətin azaldılması halında tezliklər fərqi giroskopun fırlanma sürətindən daha tez sifıra yaxınlaşır. Nəticədə kiçik fırlanma sürəti olan zaman bucaq sürətinin ölçülmə xətası icazə verilməyəcək dərəcədə artır. Ən kiçik sürətlərdə isə giroskop ilkin dönməyə demək olar ki, reaksiya vermir. Beləliklə, iki generatorun qarşılıqlı təsiri ilə bir generatorun rəqs tezliyi digəri ilə tutulur.

Əks istiqamətdə yayılan şüaların tutulması onların əks səpələnməsi ilə əlaqəlidir. Buna görə də tutulma zonasının azaldılması ilkin olaraq bu səpələnmənin azalmasına səbəb olur. Bunun aradan qaldırılması üçün görülməli tədbirlər aşağıdakılardır: giroskopun güzgülərində səpələnməni minimuma çatdırmaq lazımdır; şüanın yayıldığı traktı mümkün qədər vakuumlaşdırmaq; optik konturnun aktiv maddəsinin plazmasının təsirini minimuma çatdırmaq.

Sıfırın dreyfi. Lazer giroskoplarının xəta mənbələrindən biri də sıfırın dreyfidir (və ya sürüşməsi). Sıfırın dreyfi giroskopun boşluqlarında qaz axınlarının yaranması ilə izah olunur. Bu axınların giroskopda mövcudluğu qaz molekulalarının giroskopun daxilindəki divarlara dəyməsi nəticəsində elektrik enerjisinin divar boyunca yayılması və qaz hissəciklərinin hərəkəti üzrə elektrik sahəsi ilə müəyyən olunur.

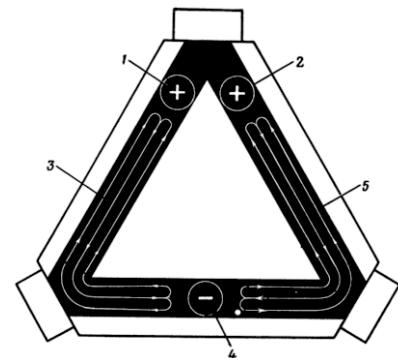
Lazer giroskopunda qaz sellərinin müəyyən olunma xarakteri şək. 3-də göstərilmişdir. Burada 1, 2 – anodlar, 3 – qaz selinin istiqaməti, 4 – katod, 5 – borudur.

Lazer şüası giroskopun mərkəzi hissəsində cəmləşir və katoda doğru hərəkət edən qazdan keçir. Qazın əks cərəyanı borunun divarları boyunca baş verir. Qazların qarışması lazer şüasında və qaz selində olan enerji yerdəyişməsinin nisbi istimaqəmətindən asılı olan sınıma göstəricisinin dəyişməsinə səbəb olur. Buna görə də lazerin boşluğu bir istiqamətdə digərinə nisbətən daha uzun görsənəcəkdir. Bu hadisə sıfırın sürüşməsi hadisəsinin baş verməsinə səbəb olur.

Sıfırın dreyfini giroskopu bir katodlu və iki anoda malik simmetrik formada hazırlamaqla və bu yerdəyişməsinin minimal qiymətini alana qədər anod nöqtələrinin balanslaşdırılmasını həyata keçirməklə azaltmaq olar. Yalnız bir anoda malik giroskopda sıfırın dreyfi adətən saatda bir neçə yüz dərəcə qiymətində çıxış fırlanma sürətinə ekvivalent olur.

Optik-lifli giroskoplar. Optik sistemlərin tətbiq sahəsi üçün əsas keyfiyyət göstəricilərindən biri kənar elektromaqnit sahəsinə həssas olmamasıdır. Müxtəlif təbiətli elektromaqnit maneə ilə mübarizə, eləcə də çoxlu sayda əlaqə vasitələrinin öz aralarındakı maneəsi müasir şəraitdə ən əsas problemlərdən biridir. Optik-lifli əlaqə isə göstərilən xarici təsirlərdən azaddır. Növbəti üstünlüklərdən biri də optik kabelin kiçik ölçüsü və kütləsidir. Kütlə qabarit ölçü üstünlüyü nəqliyyat vasitələrində, xüsusən təyyarə, helikopter və kosmik peyklərdə daha vacib rol oynayır.

Optik-lifli giroskoplar naviqasiya, idarəetmə və stabilizasiya üçün vacib beş parametrdə yüksək nəticələri təmin edirlər. Bunlara təsadüfi bucaq gəzişməsi azlığı, sıfırın kiçik dreyfi, sürüşmənin qeyri-stabilliyinin azlığı, temperatura görə zəif həssaslıq, vibrasiya və zərbəyə qarşı həssaslığın



Şək. 3. Lazer giroskopunda qaz sellərinin paylanması

azlığı aiddirlər. OLG-ləri həddindən artıq etibarlı edən isə sərt gövdəli olmalarıdır [4]. Nəzəri olaraq baxım tələb etmir və çox aşağı maliyyətlə istehsal edilə bilirlər. Adətən OLG-lərdə mənbə kimi lazer və ya parlaq işıqlı LED istifadə edilir.

Yüksək ARW və temperatur dəyişmələrinə olan dayanıqlığına görə OLG-lər kritik əhəmiyyətli obyektlərin platformasının stabilizasiyası daxil olmaqla yerüstü, dəniz və hava sistemlərində sürət platformasının stabilizasiyasını hazırlayan mühəndislərin bir nömrəli seçimi olaraq qalır. OLG-lər hərəkətin aşkar olunması, istiqamətlənmə, plitosuz və pilotlu UA üçün stabilizasiya və naviqasiya, GNSS/INS inteqrasiya sistemləri, uzaq məsafəli optik və sensor sistemləri və yüksək dəqiqlikli inersial naviqasiya sistemləri üçün istifadə olunur [4].

Sıfırın kiçik dreyfinə və minimal sürüşmə tendensiyasına malik olan OLG əsaslı İMU-lar: antena, optiki qurğular və lazer sistemlərin stabilizasiyası; GNSS-ə əlavə, PUA-nın stabilizasiya və naviqasiya sistemləri; yerdə, dənizdə aerofotoşəkillər, kartoqrafiya; uçuşun idarə edilməsi və vəziyyət və istiqamət baza sistemi (AHRS) kimi mühüm sistemlər üçün vacib bir seçimdir.

Sürücüsüz nəqliyyat texnologiyasının gələcəyi yaxşı sürüşmə qeyri-stabilitətinə və miqyas əmsalına malik yüksək effektivli OLG-lər və OLG əsaslı İMU-lar tələb edir. Bu tətbiqetmələr özündə öz-özünə parketmə, toqquşmadan yayınma və avtomatik əyləcləmə üçün sürücünü dəstəkləmə sistemlərini özündə cəmləyir.

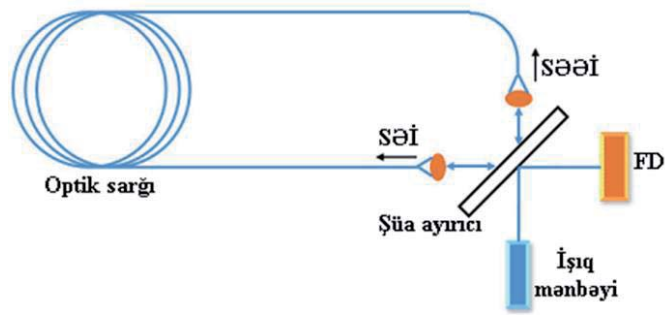
OLG-lər ilk növbədə DLG giroskoplarının daha ucuz variantı kimi istehsal olunaraq telekommunikasiya sahəsində istifadə olunması nəzərdə tutulurdu. Artıq OLG qiymətinə və məhsuldarlığına görə DLG-ni üstələyir və bir çox hərbi və kommersiya tətbiqlərində rəqabətə davamlıdır. Ölçülərin və qiymətin aşağı salınması istiqamətində aparılan tədqiqatlar kiçik uzunluqlu yola malik DLG-nin və kiçik lif uzunluqlu OLG-nin inkişaf etdirilməsinə səbəb olmuşdur. Bu da sursatların idarə olunması kimi bir sıra yeni hərbi imkanların yaranmasına təkan vermişdir [13].

OLG-lərin ən çox yayılmış variantı çoxdolaqlı optik-lif sarğacıdır. Laboratoriya nümunələrində optik-lifli giroskopların əldə olunan dəqiqliyi DLG-nin dəqiqliyinə yaxındır. OLG-lərin iş prinsipi bir-birinə əks istiqamətdə buraxılan işıq şüalarının yollar fərqi ölçmək üçün istifadə olunan Sanyak effektinə əsaslanır. Işıq Sanyak effektini artırmaq üçün çoxdolaqlı optik sarğda bir neçə min dəfə (yenə, sarğaların sayı konkret dizayndan asılıdır) təkrarən dönə bilər. Lakin belə bir passiv interferometrdə signal qarşılıqlı dalğalar arasındakı tezliklər fərqi deyil, fazalar fərqi ilə ibarət olur. OLG-lər sərt gövdəli, lifli və ya hibrid-lif konstruksiyasına malikdir. Sərfəli qiymətə malik bu giroskoplar adətən sənaye və yüksək taktiki sinifli sahələr üçün istifadə olunurlar [4, 20].

İnterferometrik optik-lifli giroskop (İOLG). 1970 – ci illərin əvvəlində lazer diodlarının və kiçik itkilərə malik birrejimli optik lifin yaradılması praktiki cihaz kimi OLG-nin hazırlanmasına imkan vermişdir [4, 21]. Optik liflər əsasında olan optik bucaq sürəti vericilər üzrə aparılan əsas tədqiqatlar xərclərin azaldılması, prosessorun hazırlanmasının sadələşdirilməsi və He–Ne DLG-yə nisbətən dəqiqliyin artırılması istiqamətinə yönəldilmişdir.

DLG-dən fərqli olaraq İOLG-də işıq yolu üçün güzgülərin və optik boşluğun yerinə optik liflərlə ibarət sarğıdan istifadə olunur. İOLG uzunluğu 100 m-dən 3 km-ə qədər olan lifli sarğının içərisinə işıq buraxan xarici geniş zolaqlı işıq mənbəyinə (məsələn, yüksək lüminesientli diod) malikdir. İOLG DLG-yə görə bəzi üstünlüklərə malikdir: işıq mənbəyi yüksək gərginlik tələb etmir; geniş zolaqlı işıq mənbəyi geri yayılmanın qabağını alır və buna görə də kiçik giriş sürətlərində bloklaşma baş vermir; daha aşağı qiymət və daha kiçik çəki. İOLG-nin xüsusi üstünlüyü texniki xarakteristikanın yuxarı və aşağıya doğru miqyaslanmasıdır. Məsələn, optik-lif sarğacının uzunluğunun iki dəfə artırılması təsadüfi bucaq gəzişməsini iki dəfə azaldır.

İOLG-nin əsas konfigurasiyası şəkl. 4-də göstərilmişdir. Işıq mənbəyindən gələn şüanı iki qarşılıqlı hissəyə ayırmaq üçün bir işıq ayırıcı istifadə olunur. Şüalar iki linza sisteminin köməyi ilə çoxsarğılı lifli sarğacın iki ucuna birləşdirilmişdir. Lifli sarğacın içərisində yayıldıqdan sonra qarşılıqlı yayılan dalğalar şüa ayırıcı ilə yenidən birləşdirilir və maneə nəticəsində yaranan optik signal fotoqəbulediciyə göndərilir.



Şəkl. 4. İOLG-nin baza konfigurasiyası
Səİ - saat əqrəbi istiqaməti; Səİİ - saat əqrəbinin əksi istiqaməti; FD - fotodetektor

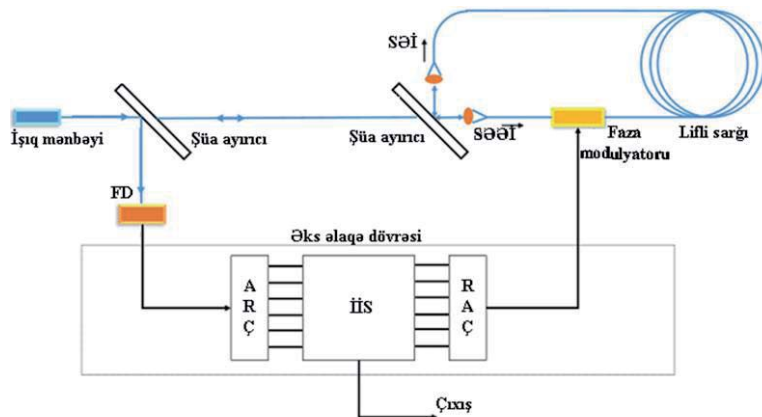
Sakit halda FD üzərindəki iki şüa fazada olmadığına görə şəkl. 4-də göstərilən İOLG-nin baza konfigurasiyası göndərilən və əks olunan şüalar arasında $\pi/2$ faza sürüşməsinə səbəb olur. Bu kritik aspektin aradan qaldırılması üçün şəkl. 5-də göstərilən qarşılıqlı konfigurasiyadan istifadə olunur. Qarşılıqlı konfigurasiya halında Səİ və Səİİ signalı şüa ayırıcılarından iki dəfə keçərək əks olunur və göndərilir. Beləliklə, FD girişindəki şüalar girokompas sakit halda olduğunda eyni fazada olacaqdır [22].

Şüa ayırıcısından sonra bir faza modulyatorunu yerləşdirməklə, girokompasın dönmə həssaslığını maksimal olduğu nöqtədə saxlamaq mümkündür [23]. FD və faza modulyatoru əks əlaqə dövrəsi ilə əlaqələndirilir. Bu da öz növbəsində duyğacın bucaq sürətinə mütənasib olan Səİİ şüasında nəzarət olunan faza sürüşməsi daxil edərək Sanyak effektinə əsasən faza sürüşməsinin sıfırlanmasına səbəb olur.

Əks əlaqə dövrəsinə analoq – rəqəm çevricisi (ARÇ), xüsusi integral sxem (İİS) və rəqəm – analoq çevricisi (RAÇ). ARÇ FD-nin analoq çıxış signalını qəbul edir və elektrik signalına çevirir. ASIC modullaşdırılan siqalın rəqəmli formasını və vericinin çıxışını hasil etmək üçün elektrik siqnalı emal edir. Sonda RAÇ modullaşdırılan siqalın rəqəmli formasını analoqa signala çevirir.

İOLG tam olaraq DLG-ni sıxışdırma bilməyib. Buna səbəb sənaye infrastrukturunun əhəmiyyətli hissəsinin DLG – üzərində olmasıdır. Ancaq xərclər azaldıqca İOLG daha çox bazara daxil olacaqdır. Hal-hazırda İOLG bəzi sahələrdə öz tətbiqini tapmışdır. Bu sahələrə əsasən pilotsuz sualtı aparatlar (PSA) və pilotsuz uçuş aparatları (PUA), kameraların və antenaların stabilizasiyası, yerüstü naviqasiya, AHRS, kursovertikal, girokompaslar və neft yataqlarının qazılması kimi taktiki və sənaye sahələrini misal göstərmək olar [24].

Artıq son bir neçə ildə aydın olmuşdur ki, DLG ilə müqayisədə İOLG-lər münasib qiymətlə kifayət qədər yüksək texniki xarakteristikasına (<0.0003 °/saat sürüşmənin qeyri-stabilliyi, <0.00008 dər/ $\sqrt{\text{saat}}$ ARW və <0.5 ppm miqyas əmsalı xətası) malik olmuşdur [25]. Bu İOLG-lərin teleskopların, görüntülmə sistemlərinin və antenaların həssas bir şəkildə istiqala-



Şəkl. 5. Qapalı konturlu İOLG-nin minimal konfigurasiyası

mətlənməsi, və ya sualtı qayıqların naviqasiyası üçün uyğun olmasını təmin edir [26].

Rezonans optik-lifli giroskoplar (ROLG). ROLG [27] İOLG-nun sarğısından 100 dəfə kiçik uzunluqlu sarğı ilə praktiki cəhətdən ondan daha yaxşı parametrlərə malik ola bilər. Lakin o, hələ də kommersiya mərhələsindən çox uzaqdır. Bunun səbəbi ROLG -nin qiymət, ölçü, kütlə, enerji sərfiyyatı və ya etibarlılıq göstəricilərinin lazımi qiymətlərə malik olmamasıdır.

ROLG-nin həssas elementi lif-dairəvi rezonatordan ibarətdir. Düzgün həyəcanlandırma zamanı rezonator, duyğac dönmədiyi zaman eyni rezonans tezliyinə malik olan iki qarşılıqlı rezonans modunu dəstəkləyir. $\Omega \neq 0$ olduğu halda rezonans tezlikləri fərqlənir və Sanyak effektinə əsasən Δv onların fərqi Ω -yə mütənasib olur.

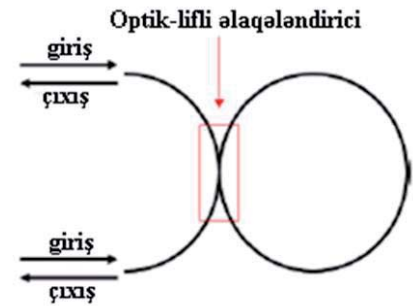
Ən geniş yayılmış konfigurasiyalardan biri olan və özündə bir liflə əlaqələnməmiş dairəni əks etdirən rezonatorun konfigurasiyası şəkl. 6-da göstərilmişdir. RFOG əməliyyatı boşluq içərisində iki rezonans modunun eyni anda həyəcanlanması tələb etdiyi üçün həyəcanverici şüalar rezonatorla əlaqəli olan lifin iki uclarında işə salınır. Şəkl. 6-da göstərilməyən iki izolyator lifin hər bir ucunda giriş və çıxışın ayrılması üçün istifadə olunur.

Bizə məlum olan ən yüksək effektivli ROLG-lər [28] $1^\circ/\text{saat}$ ayırdetmə qabiliyyətinə malikdir. Bu göstərici də xüsusilə kosmik sahə üçün hədəflənən İOLG-nin ən yaxşılarının göstərdiyi qiymətlərdən iki dəfə daha pisdır.

İnteqrasiya olunmuş optik giroskoplar. Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi ölçülərin kiçildilməsi və maya dəyərinin aşağı salınması hazırkı dövrdə xüsusilə, kosmik sahə üçün giroskopik texnologiyaların əsas problemlərdən biri sayılır. Yeni giroskopların yaradılması üçün inteqrasiya olunmuş optikanın istifadəsi bu problemlərin həlli üçün ən perspektivli üsullardan biri sayılır [29]. Faktiki olaraq, inteqrasiya olunmuş optikanın istifadəsi foton inteqrasiya olunmuş sxemlər (photonic integrated circuits (PICs)) adlandırılan bir sıra inteqral optik mikrosxem/mikrosistemlərin vahid gövdədə hazırlanmasına imkan verir. İnteqrasiyalı optik texnologiyaların kosmosda tətbiq olunması üçün yeni giroskopların hazırlanması ideyası çox cəlbəedici. Çünki bu kütlə və ölçüləri azaldır, maya dəyəri aşağı salır, enerji sərfiyyatını azaldır, etibarlılığı artırır və sərt şəraitlər üçün çox yüksək dayanıqlığı təmin edir.

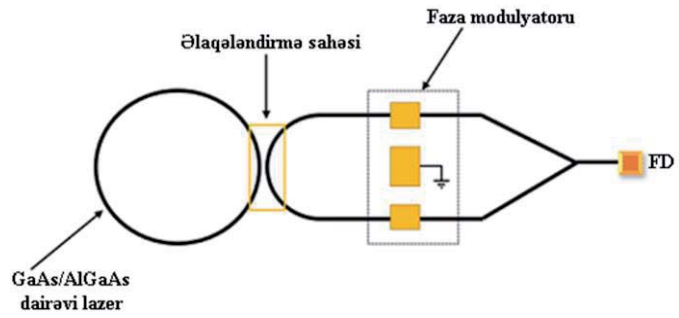
Hal-hazırda inteqrasiya olunmuş optik giroskoplar (İOG) 0.1 dər/saatdan 1 dər/saat ölçü qiymətinə malik olub DLG və İOLG –yə qarşı istifadə üçün nəzərdə tutulmuşdur [13]. İOG Sanyak effektinə əsaslanan iki qarşılıqlı əks işıq şüanın dairəvi rezonator boyu hərəkət etdiyi optik dalğa ötürücülərdən ibarət giroskopdur. İOG-lər optik emal və MEMS emalının inteqrasiyası xüsusiyyətlərindən istifadə edilərək lövhələr üzərində hazırlanırlar.

Yarımkeçirici dairəvi lazer (semiconductor ring lasers (SRL)) əsaslı giroskopun patentləşdirilmiş konfigurasiyası şəkl. 7-də göstərilmişdir [30]. Giroskopun əsas komponentləri fırlanmaya həssas olan dairəvi istiqamətlənmiş əlaqələndirici, elektro-optik faza modulyatoru, Y - şəkilli keçid və fotoqəbuledicidən ibarət iki kvant çuxurlu GaAs/AlGaAs-dən ibarətdir. Sensor alt təbəqəyə ortoqonal olan ox ətrafında fırlanan zaman dairəvi lazer tərəfindən hasil olunan iki şüa fərqli tezliklərə malik olurlar. Sanyak effektinə əsasən tezliklər arasında Δv fərq bucaq sürəti - Ω –yə mütənasib olur.



Şəkl. 6. Bir optik lifli əlaqələndiricili lif-dairəvi rezonatorun tipik konfigurasiyası

İnteqrasiya olunmuş optik giroskoplarda aparılan tədqiqatların böyük əksəriyyəti yarımkeçirici dairəvi lazerlər (YDL) və rezonans mikro optik giroskoplara (RMOG) əsaslanan sensorlara yönəlmişdir. Cihazda həssas element interferometrik metodlar vasitəsilə ölçülə bilən fırlanma tezliyinin dəyişməsinə hiss edən iki qarşılıqlı generasiya rejimi hasil edən dairəvi lazerdir [31]. YDL bazalı girokopun iş prinsipi He–Ne RLG-nin, RMOG-nin iş prinsipi isə ROLG-nin iş prinsipi ilə eynidir.



Şək. 7. YDL əsaslı girokopun konfigurasiyası [30]

İnteqrasiya olunmuş optik texnologiya həm taktiki, həm də strateji tətbiq sahəsinə malik olan optik-lifli giroskoplar üçün mikrosxemlərinin yaxşılaşdırılmasını yerinə yetirir. Hazırkı OLG-lər üçün xərclərin əhəmiyyətli hissəsini müxtəlif lifli komponentlərin alınması və qoşulması əhatə edir. Düz optik dövrə (planar lightwave circuit (PLC)) 21 komponenti əvəzləyə bilər. Bu da öz növbəsində qiymətin əhəmiyyətli dərəcədə aşağı düşməsinə səbəb olar.

OLG-lərin qabarit ölçülərinə və aşağı qiymətinə malik olmasına mane olan amillər və onların aradan qaldırılması yolları.

OLG-lər üçün kiçik ölçüyə və aşağı qiymətə malik olmasına maneə yaradan 5 əsas amil aşağıdakılardır [4]:

1. *Küy və ya təsadüfi bucaq gedişi* (Noise or Angle Random Walk) - yüksək tezlikli ağ küyün nəticəsində yaranan xətdir. Girokopun çıxışında geniş zolaqlı təsadüfi (ağ) küy elementi mövcuddur. Bu küy elementinin təsiri nəticəsində yaranan təsadüfi bucaq gedişi orta meyletmə və ya xətanı göstərir. Təsadüfi küyün əsas səbəbi giroskopların aktiv elementləridir. Belə ki, OLG-lərdə bu lazer diodu və fotodiod, MEMS giroskoplarında isə silisium və ya kvarts şüası və aşkaretmə elektronikasındır. OLG və MEMS giroskoplarının müxtəlif təchizatçıları arasında küy xarakteristikalarında böyük fərqlər vardır. Buna görə də istehsalçılar bu parametreyə xüsusi diqqət yetirirlər. Girokopda həddindən artıq küyün olması həssaslığın, sürətin və ya vəziyyətin ölçmə dəqiqliyinin aşağı düşməsinə səbəb olur.

2. *Sıfırın dreyfi* (Bias Offset Error) – sabit bir şəkildə dayanmış girokop zaman keçdikcə bəzi dönmələrin olduğunu qeyd edə bilər. Bu sıfırın dreyfi adlandırılır. Bu sıfırdan sürüşmə adətən ideal mühit üçün 25° C temperaturda, yəni temperatur dəyişməsinin, vibrasiyanın, zərbənin və maqnit sahəsinin olmadığı halda verilir. Bu giriş sıfır olduqda çıxışın sıfırdan fərqli qiymətə malik olmasıdır. Sıfırın dreyfi və giriş/çıxış miqyas əmsalının variasiyası kimi xətalara kalibrovka və kompensasiya etmək üçün riyazi modeldən istifadə etməklə aradan qaldırmaq olar.

3. *Sürüşmənin dayanıqsızlığı* (Bias Instability) – istənilən sabit temperaturda və ideal mühitdə sıfırın dreyfinin dayanıqsızlığıdır. Sürüşmənin dayanıqsızlığı Allan Variance (IEEE-STD-952) [32, 33] ölçmə metodundan istifadə etməklə ölçülür və bütün əsas tip giroskoplar (OLG, MEMS və DLG) üçün performans xarakteristikalarının müəyyən olunmasının əsas üsuludur. Allan Variance küy proseslərinə görə sabilliyin qiymətləndirilməsi üçün nəzərdə tutulmuşdur. Lakin bu metod temperatur, zərbə və ya vibrasiyalı effektlər kimi sistem xətalara üçün istifadə olunmur. Girokopda sıfırın sabit dreyfi kalibrovka oluna bilər, lakin, sürüşmənin dayanıqsızlığı halında bu artıq mümkün olmur. Sürüşmənin dayanıqsızlığının təsirindən girokop nə qədər çox işləyərsə sürət və vəziyyətin hesablanması da xəta bir o qədər artacaqdır. Aşağı sürüşmə dayanıqsızlığı uzun müddət

ərzində yüksək dəqiqlik tələb edən avtonom naviqasiya sistemləri kimi tətbiqlərdə həlledici təsirlə malik ola bilər. Buna görə də sürüşmənin dayanıqsızlığı giroskopun seçilməsində çox vacib bir parametrdir.

4. *Temperatur həssaslığı* – temperaturun dəyişməsi ilə giroskopda sıfırın dreyfi və mütləq miqyas əmsalının (absolute scale factor (SF)) bir qədər dəyişməsidir. Bu kalibrasiya vasitəsilə yaxşılaşdırıla bilər. Ümumiyyətlə, temperatur dəyişmələri giroskopun xarakteristikasını pisləşdirir. Temperatura həssas olan parametrlərə küy, sıfırın dreyfi və miqyas əmsalı (həssaslıq) aiddir. Sistem bütün bu parametrləri temperatura görə səciyələndirilir.

5. *Zərbə və vibrasiyaya həssaslıq* – giroskopun parametrlərinə mənfi təsir göstərən amillərdən biridir. Zərbə və vibrasiya təsirlərindən yaranan xəta asanlıqla kalibrasiya olunmur. Vibrasiya xarakteristikası bir çox sənaye və hərbi tətbiqetmələrdə vacibdir. Giroskoplar təsadüfi zərbə və ya vibrasiya olan yerlərdə öz funksiyasını dəqiq və imtinasız yerinə yetirməlidir. Vibrasiya ilə əlaqədar problemləri minimallaşdırmaq üçün istehsalçılar mexaniki rəqslərə qarşı filtrasiyadan istifadə edirlər. Vibrasiyaya daha davamlı giroskoplar, daha etibarlı xarakteristikaya malik olur və dizaynerlərə giroskopların sistemdə yerləşdirilməsi üçün daha çox sərbəstlik verir. OLG-də işıq mənbəyindən istifadə olunduğuna görə vibrasiyaya qarşı həssas deyildir. MEMS giroskoplarında isə mexaniki strukturdan istifadə olunduğuna görə vibrasiyaya qarşı həssaslığa daha meyillidir.

DLG, OLG və MEMS giroskoplarının müqayisəli xarakteristikaları.

Cədvəl 2-də OLG və MEMS giroskoplarının müqayisəli parametrləri göstərilmişdir.

Cədvəl 2.

OLG və MEMS giroskoplarının müqayisəli parametrləri

Texnologiya	OLG	MEMS
Ölçmə diapazonu, °/san	± 490	± 400
250C –də Təsadüfi Bucaq gedışı (ARW), °/√saat	≤ 0.667	≤ 9
Sıfırın dreyfi (250C), °/saat	± 2	± 250
Sabit temperaturda sürüşmənin dayanıqsızlığı (bias instability), °/ saat, 1σ	≤ 0.05	≤ 1
Bütün temp. diapazonunda sürüşmə (≤ 10C/dəq), °/ saat, 1σ	≤ 1	≤ 10
Vibrasiya sürüşməsinə düzəliş (bias vibration rectification), °/saat/grms	≤ 0.3	≤ 1
Q/xəttilik (maks ölçü 250C), ppm, 1 σ	≤ 50	≤ 50
Buraxma zolağı (bandwidth) (-3dB), Hz	440	262
Giriş gərginliyi, VDC	+5 & ±8 to ±15.75, ±5%	+5 ±10%
Güc sərfi, Vatt	4	1.5
Məlumat ötürmə sürəti, Hz	1000	2000
Ölçülər (maks), mm	45.7x22.9	45.7x38.1x20.32
Çəki (maks), kq	0.11– 1 oxlu; 0.17– 2 oxlu	0.05

Cədvəl 2-dən görünür ki, OLG-lərin texniki xarakteristikaları ($ARW \leq 0.6$ °/saat/√Hz, Sıfırın dreyfi ± 2 °/saat, sürüşmənin qeyri-stabiliyi ≤ 0.05 °/saat, bütün temperatur diapazonunda sürüşmə ≤ 1 °/saat) yüksək səviyyəli taktiki dərəcəli giroskop keyfiyyətinə uyğundur.

OLG-də uzunömürlülüyü və etibarlılığı sübuta yetirilmiş optik komponent texnologiyalarından (optik lif, yarımkəçirici işıq mənbəyi, integrasiya edilmiş optik kontur və s.) istifadə edilir.

OLG istehsalı əslində telekommunikasiya texnologiyalarının standart komponentlərinin birləşməsidir və kiçik istehsal miqdarları ilə belə rəqabət edə bilər [4]. Digər tərəfdən DLG çox spesifik komponentləri olan (hermetik boşluq və güzgülər) həssas istehsal proseslərinə əsaslanır. DLG-nin keyfiyyətli istehsalı üçün çox ciddi tələbləri olan böyük və mürəkkəb istehsal müəssisələri tələb olunur.

Aşağı fırlanma sürətlərində (adətən 100 °/saat-dan az) DLG-nin iki qarşılıqlı yayılan dalğası sıfır ətrafında birbaşa ölçməni əngəlləyən kilidlənmə effekti adlanan bir təsirə məruz qalır. Bu ölü zonanı aradan qaldırmaq üçün DLG-də nəzəri ölçmə sürətinin küyünü azaldan mexaniki hamarlayıcıdan (mechanical dither) istifadə edilir. Bu həmçinin sualtı gəmilərdə akustik siqnalların güclənməsini məhdudlaşdırmaq üçün bahalı söndürmə mexanizmlər tələb edən vibrasiya yaradır. OLG-də qarşılıqlı yayılan dalğalar arasında passiv interferometr olduğu və aktiv bir rezonator olmadığı üçün kilidlənmə effekti olmur. OLG çox yüksək dinamik diapazonda son dərəcə kiçik ölçmə küyünə malik tamamilə sərt konstruksiyalı bir duyğacdır. Rəqibindən fərqli olaraq OLG heç bir akustik vibrasiya yaratmır və hər hansı bir mobil komponenti olmadığı üçün uzun müddət boyunca çox etibarlıdır. DLG helium və neon qazlarının qarışığı ilə doldurulmuş hermetik bir boşluqdan ibarətdir. Boşluq daha yaxşı hermetik olaraq bağlanılmadığından DLG-nin ömrünü məhdudlaşdıran bir miqdar qalıq qaz sızıntısı vardır. Həmçinin burada qazı həyəcanlandıran yüksək gərginlikli elektrodların aşınma problemi də vardır. Nəticə olaraq DLG-lər hər beş və ya yeddi ildən bir bahalı modifikasiya tələb edirlər. OLG isə hər hansı bir sızıntı problemi və ya aşınma mexanizması olmayan sərt gövdəli cihazdır. Optik liflərin istifadə müddətinin telekommunikasiya sənayesi tərəfindən bir neçə on il olduğu sübut olunmuşdur və hətta işıq lazer diodu kimi aktiv elementlər də iyirmi illik bir ömrə sahibdirlər.

OLG-də Sanyak effekti çox növlü optik-lif sarğısının ekvivalent sahəsinə mütənasibdir. OLG texnologiyasında daha sonra eyni optik komponentləri saxlayaraq sarğının uzunluğunu və diametrlərini dəyişdirərək asanlıqla miqyaslanı bilər. 90-cı illərdə orta texniki xüsusiyyətlərə malik olan məhsullar bir neçə santimetrlik diametrlə yüzlərcə metr sarğı uzunluğuna malik idi. Lakin bu gün ən yüksək texniki xüsusiyyət üçün uzunluq bir neçə kilometr və diametr bir neçə on santimetrə qədər artırılmışdır. DLG-də rezonator boşluğunu artırmaq və güzgünün keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq lazımdır. Bunların hər ikisinin də istehsalı hələlik böyük texnoloji çətinliklər yaradır. Bu xüsusi tətbiqlərdə göstərilən çətinliyin aradan qaldırılmasının yeganə yolu DLG-ni köhnə mexaniki giroskop formasına və onunla bağlı təmir probleminə malik olan bir mexaniki quruluşa yerləşdirməkdir.

OLG-də hər hansı bir vibrasiya mexanizmi olmadığı üçün tamamilə səssiz işləyir. Bu xüsusiyyət bir çox tətbiqlər üçün vacib olmasa da gizlilik tələb olunan sualtı gəmilərin naviqasiyasında həlledici əhəmiyyətə malik ola bilər. OLG sərt gövdəli cihaz olduğundan (hərəkətli hissə və hermetik boşluğa malik deyil) olduqca etibarlıdır, uzunömüslüdür və hər hansı bir vaxtaşırı texniki xidmətə ehtiyac yoxdur. Vibrasiyanın (hamarlaşmanın) ölçmə küyünün azaldığı DLG-lərin əksinə OLG-lər nəzəri texniki xarakteristikaya çox yaxındır və praktikada DLG-lər 10^{-3} 0/saat təsadüfi ağ küy ilə məhdudlaşarkən 10^{-4} 0/saat kimi kiçik təsadüfi ağ küyə malik olmasını sübut etmişdir. Kiçik ağ (təsadüfi) küyə malik olması və miqyaslanı bilməsi sayəsində OLG texnologiyası ən yüksək texniki xarakteristika tələb edən tətbiqlərdə istifadə edilə biləcək texnologiyalardan biridir [33].

Qeyd etdiyimiz kimi həm DLG-nin, həm də OLG-nin yüksək texniki parametrləri onları müxtəlif kosmik uçuşlar üçün yararlı edir. Cədvəl 3-də bir sıra DLG və OLG-lərin və onların əsasında olan İÖM-lərin müqayisəli texniki xarakteristikaları verilmişdir.

Cədvəl 3.

Aerokosmik sahədə istifadə olunan bir sıra DLG və OLG və İÖM-ların texniki xarakteristikaları

Marka	İstehsalçı	Texnologiya	Sıfırın dreyfi, (°/saat)	ARW, (°/√saat)	Güc, (Vt)	Ölçüsü, (mm)	Çəki (kq)
ASTRIX 200	Airbus Def.& Space	OLG	0.0005	0.00012	24	295x150x145	13
ASTRIX 1120	Airbus Def.& Space	OLG	<0.003	0.002	12	Ø266mmX186mm	4.2
ASTRIX 120	Airbus Def.& Space	OLG	0.01	0.0016	24	270x150x145	6.7
RGA-14	L3 Comm.	DLG	0.05–0.2	0.005–0.03	<16	3,800	2.2
RGA-20	L3 Comm.	DLG	0.005–0.01	0.0025–0.004	<25	7,800	5.27
CIRUS	L3 Comm.	OLG	0.0003	0.00019	<25	Ø396.2x 203.2	13.5
LN-200	Northrop Grumman	OLG	1	0.07		168x19x146	4.5
LN-200C	Northrop Grumman	OLG	1	0.025	12	Ø8.89 cm X 8.51 cm	0.75
LN-200S	Northrop Grumman	OLG	<0.1	<0.07	12	Ø8.89cmX 8.51 cm	0.75
İMU-600	Northrop Grumman	OLG	0.009	0.0044		137X190X69	1.47
MIMU	Honeywell	DLG	<0.005	<0.005	<32	Ø233X169	4.7
GG1320AN	Honeywell	DLG	0.0035	0.0035	1.6	Ø8.8X4.5	0.45
HG1700 İMU	Honeywell	RLG	1	0.125	<5	443 sm ³	0.9
Super-TAC I-MU L-3	L-3 Space & - Navigation	OLG	<0.05	<0.01	10	Ø89.4X85.1	0.75
CIRUS-A I-MU	L-3 Space & - Navigation	OLG	0.0001	0.0005	10	302.3x282x150	8.1
CIRUS-Compact IRU	L-3 Space & - Navigation	OLG	0.0003	0.00022	<25	780	13.5
DSP-3000	KVH	OLG	<1	<0.067	3	171.3	0.27
DSP-4000	KVH	OLG	<1	<0.067	9	1936	2.36
DSP-176	KVH	OLG	<0.1	<0.013	4	10.5	25
DSP1750	KVH	OLG	0.05	0.013		Ø44X21	0.14
EMP-1.2K	EMCORE	OLG	0.01	0.002	-	133	-
EMP-1	EMCORE	OLG	0.5	0.015	-	133	-
SRS-1000	Optolink	OLG	0.0005	0.0009		Ø150 X 80	0.8
SRS-501	Optolink	OLG	0.0011	0.0023	-	Ø100 X 30	0.35
TRS-501	Optolink	OLG	0.0025	0.0065	-	110X 110X90	1.2
SRS-5000	Optolink	OLG	0.0005	0.00007	7	Ø250×45	1.7
SRS-2000	Optolink	OLG	0.0001	0.00018	-	-	-
İMU-90	iXBlue	OLG	0.001	0.0025	-	280X136X150	4.8
İMU-120	iXBlue	OLG	0.0005	0.001	-	160X160X160	4.0

Platformasız inersial naviqasiya sistemləri (SINS) müxtəlif nəqliyyat vasitələrində müasir integrasiya olunmuş naviqasiya sistemlərinin əsas hissəsidir. Hal-hazırda, qapalı əks əlaqə dövrəli OLG-lər inersial naviqasiya sistemlərində geniş istifadə olunur [34, 35].

Dünyada bir neçə OLG-lər istehsal edən şirkətlər vardır. Bu şirkətlər həmçinin SINS-lər də istehsal edirlər. Dünyada OLG və OLG əsaslı SINS istehsal edən aparıcı şirkətlər əsasən iXSea (iXBlue) (Fransa) [36], Northrop Grumman (ABŞ) [37], Honeywell (ABŞ) [38] və KVH (ABŞ)-dir [39]. Northrop Grumman 25000-dən çox taktiki sinifə aid olan LN-200 OLG istehsal etmişdir. Rusiyada ilk açıq dövrəli OLG istehsal edən şirkət Fizoptika olmuşdur [39]. Hal-hazırda Rusiyada taktiki və naviqasiya sinfinə aid olan OLG [40] və OLG əsaslı SINS [41] istehsal esən aparıcı şirkət Optolink firmasıdır. İndiyə qədər Optolink müxtəlif uzunluqlu və diametrlı optik-lifli sarğıya malik çoxlu OLG TRS-500 və IMU-500 və IMU-501 inersial ölçmə modullarından başqa biroxlu SRS-2000, SRS-1000, SRS-501 və SRS-200 OLG-lər istehsal etmişdir [40].

Bu günə qədər ən yüksək texniki parametrlərə malik olan OLG-lər kosmik sahəli OLG-lərdir. Bunlara Honeywell HPFOG, AlliedSignal FOG, Litton FOG, L-3com Cirrus, Airbus Astrix-200, həmçinin iXblue Marinsvə iXBlue FOG prototipləri göstərmək olar.

RGa – 14 [42], RGA – 20 DLG-lər [43] və ASTRIX ailəsinə məxsus OLG-lər [44, 45] müxtəlif kosmik aparatlarda istifadə olunurlar. DLG texnologiyasına əsaslanan kiçik ölçülü inersial ölçü bloku (MIMU) [46], hava gəmilərinin bortlarında geniş istifadə olunur və bir çox kosmik tapşırıqlar zamanı istifadə olunmuşdur (cədvəl 3).

LN-200 OLG əsaslı inersial ölçü bloku [47] bir sıra kosmik aparatlarda istifadə olunur və NASA-nın planetar kosmik nəqliyyat vasitələri üçün avtonom naviqasiyanı təmin edir. Northrop Grumman şirkətinin bir törəmə şirkəti və iXSea şirkətinin rəqibi olan Litton raket tətbiqləri üçün 20.000-dən çox LN200 OLG əsaslı idarəetmə sistemini (guidance systems) satmışdır.

Son bir neçə ildə Amerika hökuməti SSBN-də (Sub-Surface Ballistic Nuclear) istifadə edilmək üçün yüksək texniki xarakteristikaya malik OLG-lərin inkişaf etdirilməsi üçün 100 milyon dollarlıq bir tədqiqat layihəsinə sponsor olmuşdur [48]. OLG texnologiyası gələcəkdə SSBN üçün istifadə olunan mexaniki giroskopların yerini ala bilən yeganə texnologiya kimi seçilmişdir [49].

Nəticə. Fikrimizcə daha əhəmiyyətli beş texniki parametr göstəricilərini (Küy və ya təsadüfi bucaq gedişi; sıfırın dreyfi; sürüşmənin dayanıqsızlığı; temperatur həssaslığı; zərbə və vibrasiyaya həssaslıq) nəzərə alaraq mütəxəssislər uyğun olan giroskopu və texnologiyanı seçə bilərlər. OLG, DLG və ya MEMS giroskoplarının və onların əsasında olan İÖM-lərin güclü və zəif texniki xüsusiyyətləri nəzərə alınaraq uyğun olanını seçməyə imkan verir.

OLG və İÖM-lər robot, məsafəli silah sistemləri, GNSS-in olmadığı hallarda inersial naviqasiya, insansız hava və yer nəqliyyat vasitələri və sürücüsüz maşın texnologiyaları kimi bir çox sahələrdə tətbiq oluna bilər. Dünyanın ən kiçik ölçülü və ən yüksək texniki parametrlərə malik olan optik lifli giroskopu DSP-1750 FOG ən çətin naviqasiya və stabilizasiya problemlərini həll edə bilər. Bütün bu araşdırmalar onu göstərir ki, müasir dövrdə yüksək texniki xüsusiyyətlərinə, etibarlılığına, uzunömürlüliyinə görə OLG giroskopları ən perspektivli hesab olunur. OLG hazırkı dövrdə sübut olunmuş texnologiya və yüksək dəqiqlik tələb edilən tətbiqlər üçün ən yaxşı seçimdir.

REFERENCES

1. Nəbiyev R.N., Məmmədov A.Z. Mikroelektromexaniki akselerometr və giroskopların parametrlərinin müqayisəli təhlili // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, Bakı-2018, №3, Cild10. S. 7-20.
2. Barbour N., Inertial Components – Past, Present and Future, Invited Paper, AIAA Guidance, Navigation and Control Conference, Montreal, Canada, August 2001.
3. Mackenzie D., Inventing Accuracy – A Historical Sociology of Nuclear Missile Guidance, MIT Press, 1990.

4. Guide to Comparing Gyro and IMU Technologies—Micro-Electro-Mechanical Systems and Fiber Optic Gyros. http://web-news.kvh.com/LP-WP-Guide-to-Comparing-Gyro--IMU-Technologies_Banner.html
5. **Bədəlov A.Z., Nəbiyev R.N., Məmmədov A.Z.** Aviasiya cihazları və informasiya-ölçmə sistemləri. Dərslik. Bakı, MAA, 2017, 382 s.
6. **M. A. Aguirre** (2012). Introduction to Space Systems: Design and Synthesis. Springer, New York.
7. Photonics in space: advanced photonic devices and systems/Caterina Ciminelli (Politecnico di Bari, Italy), Mario Nicola Armenise (Politecnico di Bari, Italy) & Francesco Dell'Olio (Politecnico di Bari, Italy). [Hackensack] New Jersey: World Scientific, 2016.
8. **B.N. Agrawal and W.J. Palermo** (2002). Angular Rate Estimation for Gyroless Satellite Attitude Control, AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, Monterey, California, USA, August, 5–8.
9. **M.N. Armenise, C.Ciminelli, F.Dell'Olio and V.M.N. Passaro** (2011). Advances in gyroscope technologies. Springer, New York.
10. **K.S. Ali, C.A. Vanelli, J.J. Biesiadecki, M.W. Maimone, Y.Cheng, A.M. San Martin and J.W. Alexander** (2005). Attitude and Position Estimation on the Mars Exploration Rovers, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, The Big Island, HI, USA, October 10–12.
11. **S. Kowaltschek** (2012). Lessons learnt from the SiREUS MEMS detector evaluation, 6th ESA Workshop on Avionics Data, Control and Software Systems, ESA/ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, October 23–25.
12. **W.M. Macek and D.T.M. Davis** (1963). Rotation rate sensing with travelling-wave ring lasers, Applied Physics Letters, vol. 2, pp. 67–68.
13. **Neil M. Barbour** \Inertial Navigation Sensors\, Advances in Navigation Sensors and Integration Technology. Published February 2004. [https://www.sto.nato.int/.../RTO.../EN-SET-064-\\$\\$TOC.pdf](https://www.sto.nato.int/.../RTO.../EN-SET-064-$$TOC.pdf)
14. <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a266418.pdf>
15. **Armenise, M. and Laybourn, P.**, Design and Simulation of a Ring Laser for Miniaturized Gyroscopes, SPIE Conference on Acousto-Optic and Magneto-Optic Devices for Telecommunications, Signal Processing and Remote Sensing, San Diego, CA, July 1998.
16. **D.H. Titterton and J.L. Weston** (2004). Strapdown Inertial Navigation Technology, The Institution of Electrical Engineers.
17. **M. Faucheux, D. Fayoux and J.J. Roland** (1988). The ring laser gyro, Journal of Optics, vol. 19, pp. 101–115.
18. **S. Schwartz, G. Feugnet, P. Bouyer, E. Lariontsev, A. Aspect and J.-P. Pocholle** (2006). Mode coupling control in resonant devices: Application to solid-state ring lasers, Physics Review Letters, vol. 97, pp. 093902.
19. **F. Aronowitz** (1999). Fundamentals of the ring laser gyro, in Optical Gyros and their Applications, D. Loukianov, R. Rodloff, H. Sorg and B. Stielor (Eds.), NATO Research and Technology Organization.
20. <https://www.ixblue.com/m/publication/fog-key-advantages.pdf>
21. **R.L. Brown** (1968). NRL Memorandum Report N1871, Naval Research Laboratory, Washington.
22. **R. Ulrich** (1980). Fiber-optic rotation sensing with low drift, Optics Letters, vol. 5, pp. 173–175.
23. **C. Ciminelli, F. Dell'Olio, C.E. Campanella and M.N. Armenise** (2010). Photonic technologies for angular velocity sensing, Advances in Optics and Photonics, vol. 2, pp. 370–404.
24. **Gaiffe, T.**, From R&D Brassboards to Navigation Grade FOG-Based INS: The Experience of Photonics/Ixsea, Invited Paper, 2002 15th Optical Fiber Sensors Conference Technical Digest, Vol. 1, 2002, pp. 1-4, Vol. 1, 2 Vol., May 2002.
25. **Sanders, S., Strandjord, L. and Mead, D.**, Fiber-Optic Gyro Technology Trends – A Honeywell Perspective, Invited Paper, 2002 15th Optical Fiber Sensors Conference Technical Digest, Vol. 1, 2002, pp. 5-8, Vol. 1, 2 Vol., May 2002.
26. **Hans, K.** et al, A Submarine Navigator for the 21st Century, IEEE PLANS, Palm Springs, CA, April 2002.
27. **R.E. Meyer, S. Ezekiel, D.W. Stowe and V.J. Tekippe** (1983). Passive fiberoptic ring resonator for rotation sensing, Optics Letters, vol. 8, pp. 644–646.
28. **T. Imai, Y. Miki, S. Maeda and K. Nishide** (1996). Development of resonator fiber optic gyros, Optical Fiber Sensors, Sapporo, Japan, May 21–24.
29. **C. Ciminelli, F. Dell'Olio, M. N. Armenise** (2013). Resonant optical gyro: Monolithic vs. hybrid integration, International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON 2013), Cartagena, Spain, June 23–27.
30. **M.N. Armenise, M. Armenise, V.M.N. Passaro and F.De Leonardis** (2000). Integrated optical angular velocity sensor, European Patent 1219926.
31. **M. Armenise and P.J.R. Laybourn** (1998). Design, simulation of a ring laser for miniaturized gyroscopes, Proceedings of SPIE, vol. 3464, pp. 81–90.
32. <https://ieeexplore.ieee.org/document/660628/>
33. High Performance FOG: one design, no limit yet!?, J. Honthaas et al., Optical Fiber Sensors18 - Cancun, October 2006.
34. Strapdown Inertial Navigation Systems Based on Fiber Optic Gyroscopes. Gyroscopy and Navigation, 2014, Vol. 5, No. 4, pp. 195–204. © Pleiades Publishing, Ltd., 2014. Published in Russian in Giroskopiya i Navigatsiya, 2014, No. 1, pp. 14–25.
35. http://www.ixblue.com/business/area/inertial_products
36. <http://www.northropgrumman.com/Capabilities/NavigationSystems/Pages/default.aspx>, J.M.Strus, M.Kirkpatrick, J.Sinko. GPS/IMU development of a high accuracy pointing system for maneuvering platforms // Inside GNSS, 2008. N3, p.30–37.
37. https://aerocontent.honeywell.com/aero/common/documents/Fiber_Optic_Gyro_Based_Inertial_Reference_System.pdf
38. http://www.kvh.com/Military_and_Government/Gyros_and_Inertial_Systems_and_Compasses.aspx
39. **Logozinskii V., Safutin I., and Solomatin, V.**, A fiberoptic rotation sensor with corrected digital output, Giroskopiya i Navigatsiya, 2002, no. 3, pp. 93–102.

40. Korkishko, Y.N., Fedorov, V.A., Prilutskii, V.E., Ponomarev, V.G., Morev, I.V., Obuhovich, D.V., Fedorov I.V., and Krobka, N.I. Investigation and identification of noise sources of high precision fiber optic gyroscopes, 20th St. Petersburg Int. Conf. on Integrated Navigation Systems, St. Petersburg: Elektropribor, 2013, pp. 59–62.
41. Chernodarov, A.V., Patrikeev, A.P., Korkishko, Yu.N., Fedorov, V.A., and Perelyaev, S.E., Software Seminatural Development for FOG Inertial Satellite Navigation System SINS-500, Gyroscopy and Navigation, 2010, vol. 1, no. 4, pp. 330–340
42. Datasheet of the RGA-14 RLG, L-3 Communications, <http://www.l-3com.com/>.
43. Datasheet of the RGA-20 RLG, L-3 Communications, <http://www.l-3com.com/>.
44. Airbus Defence & Space, GNC Sensors & Actuators, <http://www.spaceairbusds.com/en/equipment/about-sensors.html>.
45. Remi Duriemi Characterization and Modeling of Temperature Induced Non Reciprocal Effects in Astrix Fiber Optic Gyroscopes. Degree Project in Engineering Physics, second cycle, Sweden 2018.
46. Datasheet of the Miniature inertial measurement unit (MIMU), Honeywell, <http://honeywell.com/>.
47. LN-200 FOG Family Advanced Airborne IMU/AHR <http://www.es.northropgrumman.com/solutions/ln200/index.html/>.
48. Navy and industry investigate new super-accurate optical gyros for possible use on ballistic missile submarines, Military & Aerospace Electronics, 2001.
49. ASTRIX200 – A Very High Performance FOG Inertial Measurement Unit for Accuracy demanding Satellites, EADS-ASTRIUM & IXSEA, 2002.

Redaksiyaya daxil olub:	15.09.2018
Tamamlama işlərindən sonra:	11.05.2019
Nəşrə qəbul edilib:	20.05.2019

АНАЛИЗ ЛАЗЕРНО-КОЛЬЦЕВЫХ И ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ

Р.Н. НАБИЕВ, А.З. МАМЕДОВ

В статье анализируются принципы построения лазерно-кольцевых и волоконно-оптических гироскопов с учетом их существующих технических возможностей, сходные и отличительные особенности. Выявлены факторы, влияющие на точность и объемные размеры гироскопов, и показаны способы их устранения. С этой целью были определены технические характеристики высокоточных кольцевых лазерных и волоконно-оптических гироскопов и их инерциальных измерительных модулей, созданных компаниями, занимающимися разработкой датчиков в аэрокосмической области, и определены области применения. Выявлено, что волоконно-оптические гироскопы являются оптимальным выбором для областей, где требуются высокие технические характеристики с точки зрения точности, надежности, массового размера, долговечности и энергоэффективности.

Ключевые слова: кольцевой лазерный гироскоп, волоконно-оптический гироскоп, микроэлектромеханическая система, инерциальная навигация, беспилотный летательный аппарат, космический аппарат, стабилизация, датчик, оптическое волокно, фотоприемник, дрейф нуля.

ANALYSIS OF RING-LASER AND FIBER-OPTIC GYROSCOPES APPLIED ON AEROSPACE FIELD

R.N. NABIYEV, A.Z. MAMMADOV

The article analyzes the principles of constructing ring laser and fiber-optic gyroscopes, taking into account their existing technical capabilities, similar and distinctive features. Factors influencing the accuracy of gyros and bulk dimensions are revealed, and ways of their elimination are shown. For this purpose, technical specifications of high-precision ring laser and fiber-optic gyroscopes and their inertial measuring modules, created by key companies engaged in the preparation of the aerospace field, have been determined and areas of application have been determined. It has been found that fiber optic gyroscopes are the best choice for areas where high technical specifications are required in terms of accuracy, reliability, mass size, durability and energy efficiency.

Keywords: ring-laser gyroscope, fiber-optic gyroscope, microelectromechanical system, inertial navigation, unmanned aerial vehicle, space vehicle, stabilization, sensor, optical fiber, photodetector, zero drift.

УДК 621.894

ЭНЕРГОНАГРУЖЕННОСТЬ ДИСКОВО-КОЛОДОЧНОГО ТОРМОЗА С ВОЗДУШНОЙ СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ ТИПА «МНОГОСТРУЙНЫЙ ЭЖЕКТОР» ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

А.Х. ДЖАНАХМЕДОВ¹, Н.А. ВОЛЬЧЕНКО², М.Я. ДЖАВАДОВ¹,
В.С. СКРЫПНЫК³, И.О. БЕКИШ³, В.С. ВИТВИЦКИЙ³

Статья посвящена интенсификации воздушного охлаждения дисково-колодочного тормоза транспортного средства с помощью эффекта многоструйного эжектора. Предложена система воздушного охлаждения, вмонтированная в тормозной диск. Оценена энергонагруженность тормозного диска с системой охлаждения, а также его напряженное состояние.

Ключевые слова: транспортное средство, дисково-колодочный тормоз, пара трения, тормозной диск, воздушное охлаждение, многоструйный эжектор, термограммы, тепловые токи, температурные напряжения.

Введение. Повышение эффективности и надежности фрикционных узлов тормозных устройств неразрывно связано с поддержанием уровня их теплонагруженности, не превышающего допустимой температуры для материалов фрикционных накладок. Для решения данной проблемы необходимо обеспечить интенсивное принудительное или вынужденное охлаждение пар трения тормозов. Отечественной школой тормозостроителей разработан ряд конструкций и систем, работающих на нетрадиционных видах охлаждения. Одним из них является охлаждение многоструйными эжекторами, в которых в качестве рабочего тела можно использовать сжатый воздух [1] или встречный поток воздуха, омывающего тормозной механизм..

Состояние проблемы. Известны системы охлаждения в составе ленточно-колодочного тормоза, которые интенсифицируют вынужденное воздушное охлаждение его рабочих поверхностей с помощью труб переменного поперечного сечения, установленных на торцах обода шкива. Один конец трубы выполнен открытым, он имеет больший диаметр, второй (меньшего диаметра) – герметичным [2]. Недостатком данной конструкции системы

¹ Национальная академия авиации Азербайджана

² Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар, Россия)

³ Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа (Украина)

охлаждения является то, что поверхности трубы не принимают участие в теплообменных процессах, что существенно снижает эффект охлаждения.

Также известен охлаждаемый барабанно-колодочный тормоз, в котором установлены многоструйные эжекторы с радиальными перегородками, расположенными в полости основания тормозной колодки [3]. Недостатком данной конструкции системы охлаждения является то, что она работает на сжатом воздухе, т.е. в ней не используются встречные воздушные потоки, эффективность охлаждения которыми существенно возрастает с увеличением угловой скорости тормозного барабана.

Постановка задачи. В данной публикации рассмотрены следующие вопросы применительно к решаемой проблеме:

- требования и условия, обеспечивающие работоспособное состояние многоструйной эжекторной системы охлаждения;
- принцип работы многоструйной эжекторной системы для вынужденного воздушного охлаждения пар трения дисково-колодочного тормоза;
- конструкция и работа многоструйной эжекторной системы охлаждения тормоза.
- энергонагруженность элементов тормозного диска с системой охлаждения типа «многоструйный эжектор».

Цель работы – разработка конструкции многоструйной эжекторной системы охлаждения для дисков тормозов транспортных средств и оценка их энергонагруженности.

Требования и условия, обеспечивающие работоспособное состояние многоструйной эжекторной системы охлаждения. Прежде чем приступить к разработке воздушной многоструйной эжекторной системы охлаждения пар трения дисково-колодочного тормоза транспортного средства сформулируем требования, предъявляемые непосредственно к системе:

- конструкция системы должна вписываться в строительный объем серийного тормозного диска;
- тормозной диск должен быть разделен на две части – левый диск и правый диск со ступицей; при этом в теле каждого из них выполнена независимая система воздушного охлаждения;
- между левым и правым дисками необходимо установить теплоизоляционную прокладку;
- системы воздушного охлаждения, расположенные в верхней и в нижней частях дисков и разделенные теплоизоляционной прокладкой, должны быть соединены между собой сопловыми отверстиями диффузорного типа;
- выполненные в теле тормозных дисков цилиндрические и сопловые отверстия, щели прямоугольной формы, а также кольцевые каналы не должны снижать прочность и жесткость тормозного диска;
- многоструйные эжекторные системы воздушного типа должны быть эффективными, чтобы температуры, развивающиеся на беговой дорожке трения составного диска, не превышали допустимую для материала фрикционных накладок;
- данная система воздушного типа тормозных дисков должна обеспечить минимальный температурный градиент на их поясах трения и, как следствие, минимальные температурные напряжения.

Работоспособность многоструйной эжекторной системы оценивается эффективностью охлаждения беговых дорожек трения составного тормозного диска и ее коэффициентом полезного действия [1]. При этом необходимо учитывать следующее:

- при переходе от предыдущего к последующему элементу многоструйной эжекторной системы охлаждения значения коэффициента инжекции и расход смешанного потока воздуха в зависимости от режима движения транспортного средства (торможение или свободное вращение составного диска) может уменьшаться либо увеличиваться;
- при определении расхода воздуха в многоэжекторной системе охлаждения, от величины которого зависит ее эффективность, необходимо установить взаимосвязь между расходами смешанного (инжектированного) потока воздуха в элементах системы и рабочего потока воздуха на входе в нее с учетом количества и конструктивных размеров диффузорно-конфузорных элементов: диаметра минимального сечения и величины отношения диаметров входного к выходному сечению;
- при установлении оптимальной зависимости максимального коэффициента полезного действия от основных конструктивных параметров элементов системы необходимо учитывать термодинамические параметры инжектированных потоков воздуха.

При разработке методики расчета многоэжекторной системы охлаждения необходимо принять следующие допущения:

- влияние интерференции элементов системы несущественно;
- общие гидравлические потери определяются суммой потерь в каждом элементе;
- линейные гидравлические потери в цилиндрических и сопловых отверстиях, в прямоугольных щелях, а также кольцевых каналах переменного сечения, являющиеся своего рода диффузорами и конфузорами, незначительны и ими пренебрегаем;
- коэффициент линейного трения равен нулю.

Принципы разработки многоструйной эжекторной системы для вынужденного воздушного охлаждения пар трения дисково-колодочного тормоза. Многоструйная система охлаждения представляет собой эжекторы, выполненные в виде конфузоров-диффузоров, которые установлены между собой на некотором расстоянии.

Охлаждение пар трения тормоза происходит следующим образом. Встречные потоки воздуха попадают во входной эжектор, имеющий наименьший диаметр, и согласно закону Бернулли воздух, находящийся в зазоре между парами трения, через щелевые отверстия засасывается через зазор между эжекторами в последующий эжектор. Ускоренная воздушная струя проходит сквозь второй эжектор, третий и так далее, повторяя процессы отсасывания воздуха из зазора между парами трения, способствуя тем самым их охлаждению. При этом из зоны трения удаляются продукты износа. Кроме того, применение охлаждающей системы интенсифицирует продольную циркуляцию воздуха в зазорах между парами трения барабанно- и ленточно-колодочного тормоза. В дисково-колодочном тормозе многоструйная система охлаждения может быть установлена непосредственно в тормозном диске.

Многоэжекторная система охлаждения состоит из сопел Лаваля, которые являются расширяющимися. При этом давление сжатого воздуха на входе (P_1) и выходе (P_2) из сопла будет различным. Поэтому необходимо так организовать истечение сжатого воздуха через каждый эжектор, чтобы указанный перепад давлений был максимально использован для увеличения кинетической энергии истекающей струи, а потери на образование вихрей от-

существовали даже в тех случаях, когда $P_2 / P_1 < \beta$, где β – коэффициент, величина которого определяется экспериментальным путем.

Размер наиболее узкого сечения сопла выбирается таким, чтобы для него при заданном начальном давлении требуемый расход (G , м³/с) являлся максимальным. За наиболее узким сечением сопло выполняют в виде расширяющегося конуса. Это обеспечивает постепенное расширение протекающего через него потока сжатого воздуха до тех пор, пока его давление не станет равным давлению сжатого воздуха, подпитанного дополнительным потоком из зазора между парами трения тормоза.

В основу расчета эжектора заложен принцип неразрывности потока сжатого воздуха, протекающего по каждому соплу. Соблюдение такого условия позволяет констатировать, что количество сжатого воздуха, протекающего через самое узкое сечение I–I (рис. 1), равно количеству воздуха, протекающего через самое широкое сечение II–II. Данное условие выражается следующим уравнением:

$$G = f_{\min} \omega_{\min} / \nu_{\min} = f \omega / \nu, \text{ м}^3/\text{с},$$

где $f_{\min}, f$ – площади сечения эжектора в наиболее узком и широком месте; $\omega_{\min}, \omega$ – скорости потока сжатого воздуха на входе и выходе из сопла; $\nu_{\min}, \nu$ – удельный объем сжатого воздуха в минимальном сечении и на выходе из сопла.

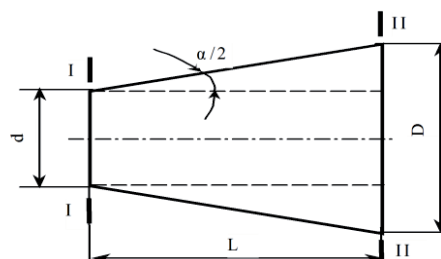


Рис. 1 – Расчетная схема сопла

После определения $f_{\min}$ и f можно рассчитать соответствующие им диаметры:

$$d = \sqrt{4 f_{\min} / \pi}, \text{ м}; \quad D = \sqrt{4 f / \pi}, \text{ м}.$$

Длина сопла L (см. рис. 1) определяется из условия $L = D - d / (2 \tan \alpha / 2)$, м.

При этом угол α (угол при вершине конуса) выбирают так, чтобы он во избежание отрыва струи от стенок сопла не превышал 12°.

Зазоры между многоструйными эжекторами системы должны быть такими, чтобы исключить непроизводительные количественные потери сжатого воздуха и одновременно обеспечить эффективный подсос воздуха из зазора между парами трения тормоза через щелевые отверстия в его фрикционных узлах.

Конструкция и работа многоструйной эжекторной системы охлаждения пар трения дисково-колодочного тормоза. Многоструйная эжекторная система охлаждения дисково-колодочного тормоза имеет свои особенности в конструктивном плане, а также в реализуемом способе охлаждения внутренних полостей тормозных дисков. Охлаждение многоструйными эжекторами узлов трения дисково-колодочного тормоза осуществляется эжектированием циркулирующего воздуха в левых и правых окружных каналах переменного сечения, выполненных в теле дисков с взаимно противоположными конструктивными параметрами. Каналы через теплоизоляционную прокладку соединены с помощью сопел диффузорного типа, а наружные поверхности окружных каналов соединены с поперечными щелями беговых дорожек трения. Скоростные потоки циркулирующего воздуха имеют переменные термодинамические параметры. На пути их следования от заборных до вы-

пусковых отверстий левого и правого тормозных дисков потоки воздуха через заборные отверстия попадают в окружные каналы переменного сечения левого и правого тормозных дисков, соединенных между собой соплами диффузорного типа. При этом имеют место мгновенные процессы «расширение – сжатие» и «сжатие – расширение», а также подсос потоков воздуха через поперечные щели беговых дорожек трения дисков. Это способствует резкому изменению (увеличению – уменьшению) скорости движения потоков воздуха за счет перепада давления по длине окружных каналов и интенсификации вынужденного охлаждения тела левого и правого дисков. После чего омывающий теплый воздух выходит через отводные отверстия в окружающую среду.

Рассмотрим особенности конструкции и проанализируем эффективность охлаждения многоструйной эжекторной системы, вмонтированной в тормозной диск.

На рис. 2 *а* показан общий вид дисково-колодочного тормоза; на рис. 2 *б* – вид сбоку пары трения тормоза (*а*) и ее поперечный разрез по А–А (*б*); на рис. 3 представлен тормозной диск со ступицей (без болтового крепления его составляющих и поперечных щелей на его беговых дорожках трения); на рис. 4 приведен продольный разрез по А–А составного тормозного диска; на рис. 5 *а, б* разрез по Б–Б и В–В **продольного вида** левой (*а*) и правой (*б*) части составного тормозного диска с окружными каналами переменного сечения и с соплами на их боковых внутренних поверхностях.

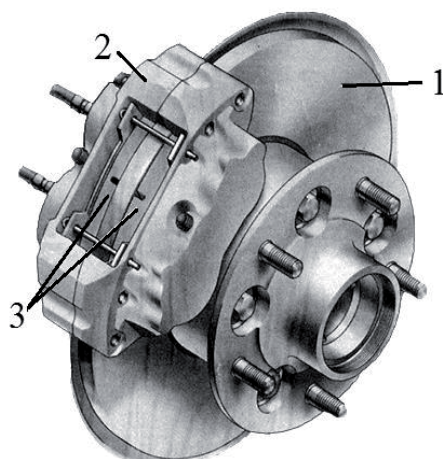


Рис. 2 *а* – Дисково-колодочный тормоз транспортного средства: 1 – составной тормозной диск; 2 – суппорт тормоза; 3 – фрикционные накладки тормозных колодок

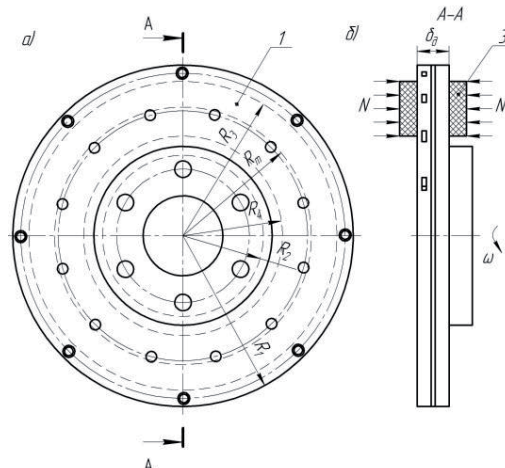


Рис. 2 *б* – Вид сбоку пары трения тормоза (*а*) и ее поперечный разрез по А–А (*б*) с обозначением конструктивных параметров составного тормозного диска

На рис. 2 *б* использованы следующие обозначения: N – нормальное прижимное усилие; ω – угловая скорость диска; R_1 , R_2 – внешний и внутренний радиусы тормозного диска; R_3 , R_4 , R_m – радиусы беговой дорожки трения диска: максимальный, минимальный и средний; δ_d – толщина диска.

Дисково-колодочный тормоз содержит составной тормозной диск 1, в суппорте 2 которого находятся фрикционные накладки 3 на тормозных колодках (на рис. 2 *а* не показаны). В свою очередь, тормозной диск 1 состоит из левого полудиска 4 и правого полудиска со ступицей 5 (см. рис. 2 *б*). Между полудисками 4 и 5 расположена теплоизоляционная прокладка 6. Полудиски 4 и 5 через прокладку 6 связаны между собой болтовым соединением 7. В левом 4 и в правом 5 полудисках на внутренней цилиндрической поверхности ради-

ально по окружности выполнено пять заборных отверстий 8, а на внешней цилиндрической поверхности – четыре отводных отверстия 9. На беговых дорожках трения полудисков 4 и 5 выполнены по периметру поперечные отверстия 10 (перфорация). Они с двух сторон соединены с наружными поверхностями окружных каналов 11 и 12 переменного сечения (см. рис. 5 а, б), которые расположены в теле полудисков 4 и 5. Каналы 11 и 12 в осевом сечении имеют форму прямоугольника переменной площади, которая увеличивается на угле от 0 до 370° . На полуокружности $0 \dots \pi$ каналы 11 и 12 соединены между собой соплами 13 диффузорного типа, а на полуокружности $0 \dots -\pi$ – соплами 14 диффузорного типа, которые также проходят через теплоизоляционную прокладку 6. При этом поперечные щели 10 полудисков 4 и 5 расположены посередине между соплами 13 и 14 диффузорного типа.

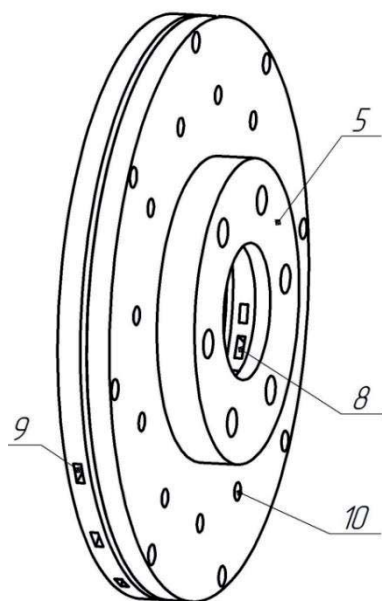


Рис. 3 – Составной тормозной диск со ступицей: 5 – ступица диска; 8, 9 – заборные и отводные отверстия для воздуха

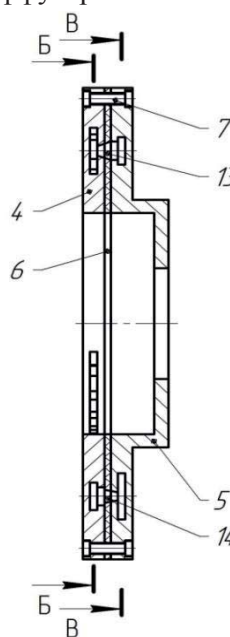


Рис. 4 – Продольный разрез по А-А составного тормозного диска: 4, 5 – части диска: левая; правая со ступицей; 6 – теплоизоляционная прокладка; 7 – болтовое соединение; 10 – поперечные щели; 13, 14 – сопла диффузорного типа

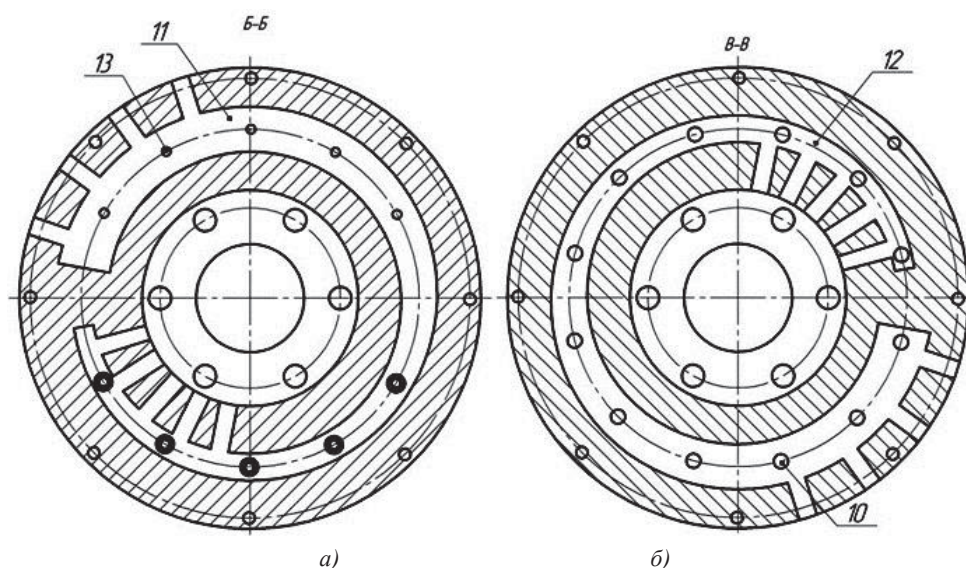


Рис. 5 а, б – Поперечные разрезы по Б-Б и В-В составного тормозного диска: 11, 12 – окружные каналы переменного сечения; 13 – сопла диффузорного типа

Разделение составного диска 1 на два связано с тем, что быстрее происходит прогрев их тела при одностороннем подводе теплоты при торможении тормозом подъемно-транспортной машины. Это способствует уменьшению поверхностных и глубинных температурных градиентов левого 4 и правого 5 полудисков и, как следствие, снижению термонапряжений в их теле.

Дисково-колодочный тормоз с системой охлаждения типа «многоструйный эжектор» работает следующим образом. При фрикционном взаимодействии вращающегося составного тормозного диска 1 с неподвижными рабочими поверхностями накладок 3 тормозных колодок на беговой дорожке трения полудисков 4 и 5 генерируются электрические и аккумулируются тепловые токи на рабочих поверхностях пар трения тормоза в зависимости от режимов торможения и скорости вращения составного тормозного диска 1. Охлаждение пар трения тормоза, в частности, беговой дорожки трения левого 4 и правого 5 тормозных полудисков с помощью эффекта «многоструйного эжектора» позволяет получать холодные слои воздушных потоков с различными термодинамическими параметрами. Охлаждение беговых дорожек трения левого 4 и правого 5 тормозных полудисков ограничивает повышение температуры на рабочей поверхности накладки 3, не превышающей допустимую температуру для ее материала, что улучшает износ-фрикционные свойства пар трения.

В конструкцию левого тормозного полудиска 4 входят: заборные отверстия 8, окружной канал 11 переменного сечения (меньшего по площади радиального сечения в верхней части диска и большего в его нижней части) и отводные отверстия 9. В конструкцию правого тормозного полудиска 5 входят: заборные отверстия 8, окружной канал 12 переменного сечения (большего по площади радиального сечения в верхней части диска и меньшего в его нижней части) и отводные отверстия 9. Внутренние полости левого 4 и правого 5 полудисков идентичны, только повернуты на 180° относительно друг друга. При этом в верхней части полудисков 4 и 5 канал 11 соединен с каналом 12 на полуокружности $0 \dots \pi$ с помощью сопел 13 диффузорного типа, а в нижней их части канал 12 соединен с каналом 11 на полуокружности $0 \dots -\pi$ с помощью сопел 14 диффузорного типа, которые также идентичны, только выполнены зеркально относительно плоскости симметрии теплоизоляционной прокладки, 6 перпендикулярной к оси вращения диска 1. Кроме того, каналы 11 и 12 соединены с окружающим воздухом с помощью поперечных отверстий (перфорации) 10, расположенных на беговой дорожке трения полудисков 4 и 5. При этом поперечные отверстия (перфорация) 10 полудисков 4 и 5 находятся посередине между соплами 13 и 14 диффузорного типа. В процессе торможения поперечные отверстия (перфорация) 10 беговых дорожек трения дисков 4 и 5 последовательно перекрываются рабочими поверхностями накладок 3 колодок, уменьшая тем самым приток воздуха окружающей среды в каналы 11 и 12.

Проследим за направлением скоростных токов циркулирующего воздуха в системе охлаждения на пути следования от заборных 8 к отводным 9 отверстиям левого 4 и правого 5 полудисков, а также за процессами, которые происходят с потоками встречного воздуха при движении автотранспортного средства.

Способ охлаждения дисково-колодочного тормоза, осуществляемый с помощью многоструйных эжекторов реализуется двумя режимами.

Первый режим. Для интенсивного рассеивания аккумулируемой теплоты в поверхностных и приповерхностных слоях. При их фрикционном взаимодействии беговых дорожек трения тормозных полудисков 4 и 5 с рабочими поверхностями накладок 3 колодок воздух,

захватываемый заборными отверстиями 8 попадает в окружные каналы 11 и 12 переменного сечения, где он расширяется и сжимается. Выполнение окружных каналов 11 и 12 переменного сечения с взаимопротивоположными конструктивными параметрами способствует увеличению скорости движения воздуха в них за счет перепада давления по их длине. При этом каналы 11 и 12 соединены между собой по их периметру соплами 13 и 14 диффузорного типа, которые вызывают мгновенные процессы «расширение – сжатие и «сжатие – расширение». Последовательное перекрытие рабочей поверхностью накладок 3 отверстий (перфорации) 10 беговых дорожек трения полудисков 4 и 5 способствует пульсации скорости воздуха, движущего на данном участке каналов 11 и 12. В это время происходит подсос воздуха окружающей среды через не перекрытые отверстия 10 беговых дорожек трения левого 4 и правого 5 полудисков в каналы 11 и 12.

Второй режим охлаждения реализуется при разомкнутых парах трения тормоза, когда все отверстия (перфорация) 10 беговых дорожек трения левого 4 и правого 5 полудисков открыты. При этом большее количество объема воздуха попадает в каналы 11 и 12, интенсифицируя вынужденное охлаждение тел полудисков.

На первом и втором режимах охлаждения, соответственно, интенсифицируется вынужденное снижение объемной температуры левого 4 и правого 5 полудисков за счет циркуляции воздуха в каналах 11 и 12 и его подсоса через отверстия (перфорации) 10 в их полостях.

Усовершенствованная конструкция предложенной системы охлаждения по сравнению с существующими аналогами имеет следующие отличительные признаки:

- интенсифицируются теплообменные процессы между поверхностями окружных каналов переменного сечения, расположенных в теле дисков со смещением на угол π и соединенных между собой соплами диффузорного типа. Наружные поверхности окружных каналов соединены с помощью отверстий (перфорации) с беговыми дорожками трения дисков, что позволило создать многоструйный эжекторный эффект для циркулирующего воздуха, охлаждающего диски и, как следствие, пары трения тормоза;

- интенсивное охлаждение поверхностей тормозных дисков, а также односторонний подвод теплоты к их телу при торможениях парами трения, способствует уменьшению поверхностных и глубинных температурных градиентов дисков и, следовательно, термонапряжений;

- повышение эффективности торможений за счет недостижения поверхностными слоями полимерной накладки допустимой температуры в связи с интенсивным вынужденным их охлаждением;

- прогнозируемая повышенная долговечность металлополимерных пар трения тормоза.

Таким образом, интенсивное вынужденное воздушное охлаждение с помощью эффекта «многоструйного эжектора» позволяет снизить энергонагруженность дисково-колодочного тормоза и тем самым улучшить износо-фрикционные свойства и повысить долговечность его пар трения.

Энергонагруженность элементов тормозного диска с многоструйной системой охлаждения. Принцип проектирования тормозных дисков с многоструйной системой воздушного охлаждения для дисково-колодочного тормоза транспортного средства оптимальной конструкции отождествляется с равенством, подразумевается равенство максимальных и

эквивалентных напряжений или коэффициентов запасов по напряжениям, т.е. равновероятность разрушения во всех расчетных сечениях. Наиболее опасное сечение при фрикционном взаимодействии пар трения «диск – накладка» расположено в зоне пояса трения охлаждаемого диска из-за его неравномерного нагревания, вызванного незначительным коэффициентом взаимного перекрытия пар трения тормоза (см. рис. 5).

Моделирование энергонагруженности охлаждаемого диска тормоза грузового автомобиля марки MAN модели TGA 26.430 производилось при циклических торможениях ($n = 4$) со скоростями ($V_1 = 60$ км/ч; $V_2 = 30$ км/ч) при движении между ними 45 с при следующих исходных данных: диаметр тормозного диска $d = 450$ мм, радиусы поясов трения $r_1 = 400$ мм; $r_2 = 230$ мм; температура на поверхности пояса трения достигала $t_n = 390$ °С; удельные нагрузки в паре трения были $p = 7,5$ МПа; коэффициент теплоотдачи от рабочих поверхностей диска (α_1) колебался от 50 до 75 Вт/(м²·°С).

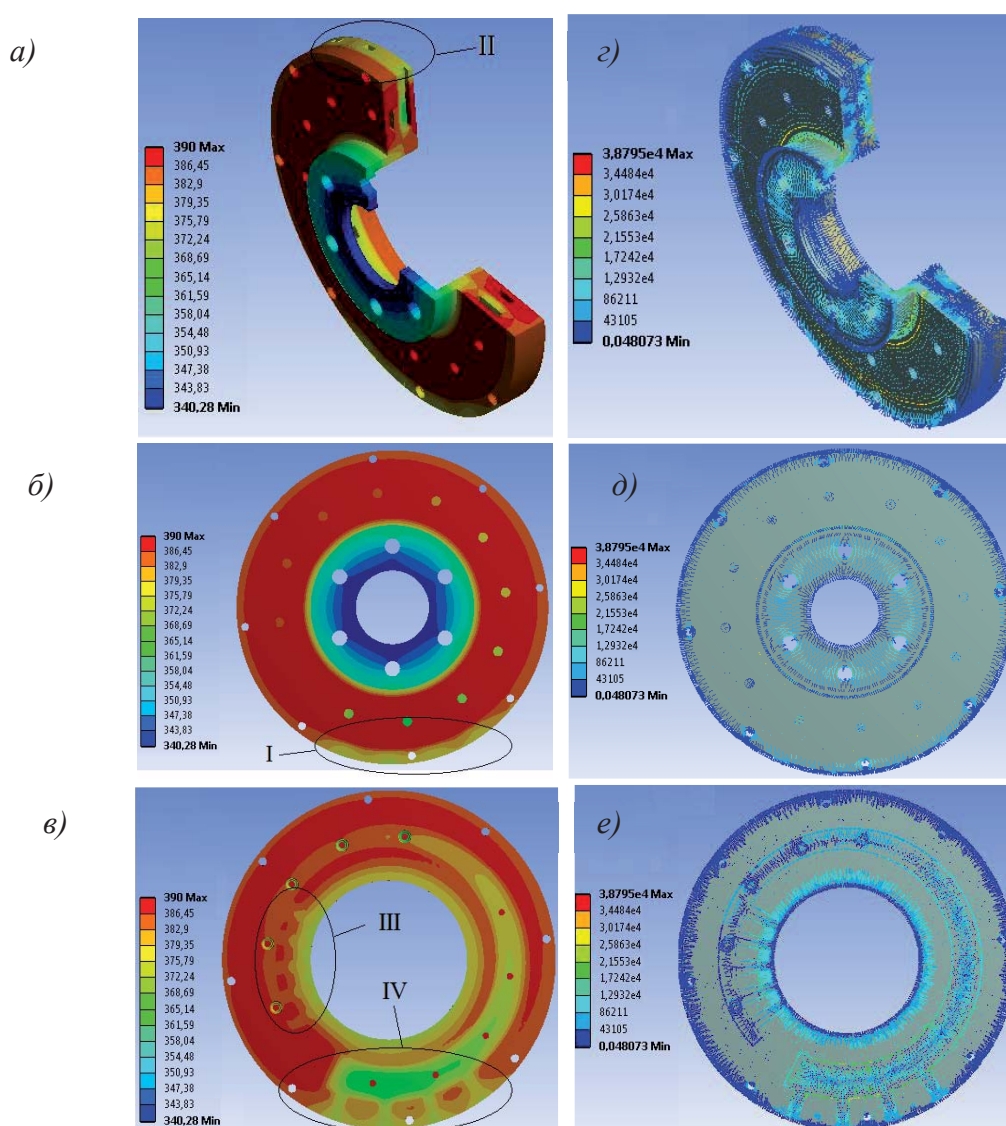


Рис. 6 а, б, в, г, д, е – Термограммы (а, б, в) и распределение тепловых токов (г, д, е) в тормозном диске с системой охлаждения типа «многоструйный эжектор»: а, г – изометрия с вырезом; б, д – фронтальный вид на диск; в, е – по продольному сечению диска

Анализ термограмм (рис. 6 а, б, в) и распределения тепловых токов рис. 6 г, д, е) в тормозном диске с многоструйной эжекторной системой воздушного охлаждения показал следующее:

- из термограмм следует, что в сопряжении «диск – колодка» имеется переходная кольцевая зона, способствующая скачку поверхностных температур, вызывающая рост температурных градиентов;
- выделенные зоны (I, II, III и IV) на термограммах указывают на места заметного снижения поверхностных температур участков диска из-за его конструктивных особенностей и эффективного вынужденного охлаждения;
- распределение тепловых потоков по элементам тормозного диска является неравномерным; на поясах трения тепловые потоки распределены равномерно из-за их эффективного охлаждения.

Анализ общего вида полей эквивалентных напряжений тела охлаждаемого тормозного диска (рис. 7 а, б, в) показал следующее:

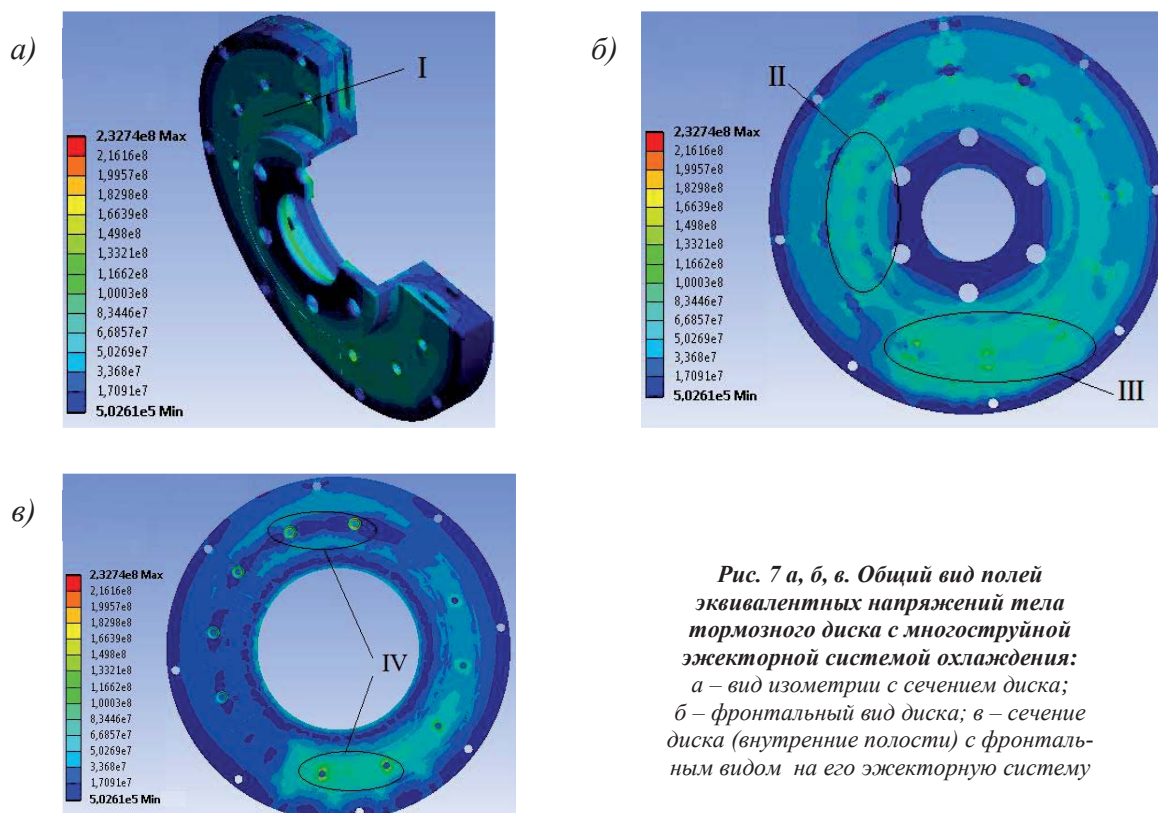


Рис. 7 а, б, в. Общий вид полей эквивалентных напряжений тела тормозного диска с многоструйной эжекторной системой охлаждения: а – вид изометрии с сечением диска; б – фронтальный вид диска; в – сечение диска (внутренние полости) с фронтальным видом на его эжекторную систему

- концентраторами механических напряжений являются отверстия диффузорного и конфузорного типа, поперечные щели, заборные и отводные отверстия, окружные каналы переменного сечения по их периметру;
- выделенные зоны (I, II, III и IV) на распределении полей эквивалентных напряжений указывают на места их заметного снижения, особенно температурных напряжений из-за уменьшения энергонагруженности диска за счет его эффективного охлаждения;
- распределение полей эквивалентных напряжений по элементам тормозного диска носит квазипостоянный характер, кроме места сопряжения поверхностей диска с фланцем.

Сравнение весовых характеристик тормозных дисков (сплошных и самовентилируемых с цилиндрическими шипами) показало, что тормозной диск с многоструйной эжекторной системой охлаждения по весу в 1,35 – 1,5 раза больше по сравнению с серийным сплошным диском и в 1,1 – 1,2 раза – по сравнению с самовентилируемым тормозным диском с цилиндрическими шипами. По эффективности вынужденного охлаждения предложенная конструкция диска превосходит в 1,9...2,1 раза сплошной диск и в 1,4...1,6 раза самовентилируемый диск с шипами.

Заключение. Предложена высокоэффективная многоструйная эжекторная система воздушного охлаждения диска тормоза транспортного средства и оценена энергонагруженность разработанного тормозного диска.

REFERENCES

1. Проектный и проверочный расчет фрикционных узлов барабанно- и дисково-колодочных тормозов транспортных средств / А. Х. Джанахмедов, А. И. Вольченко, А. В. Возный [и др.]. – Баку: Апострофф, 2016. – 366 с.
2. А.с. СССР № 1467278 А1, кл. F16D 65/813. Ленточный тормоз / А. И. Вольченко, Д. А. Вольченко, Л. Н. Князев и др.; заявитель Ивано-Франковский ин-т нефти и газа. – № 4255121/27; заявл. 23.04.1987; опубл. 23.03.1989. Бюл. №11. – 3 с.
3. А.с. СССР № 1705640 А1, кл. F16D 65/80. Охлаждаемый барабанно-колодочный тормоз / А. И. Вольченко, Д. А. Вольченко, Н.Т. Масляк и др.; заявитель Ивано-Франковский ин-т нефти и газа. – № 4777301/27; заявл. 03.01.1990; опубл. 15.01.1992. Бюл. № 2. – 3 с.

Поступило в редакцию:	20.10.2018
После доработки:	15.05.2019
Принято к публикации:	19.05.2019

NƏQLİYYAT VASİTƏSİNİN "ÇOX AXINLI EJEKTOR" TİPLİ HAVA SOYUDULMA SİSTEMLİ DİSK-KÜNDƏLİ ƏYLƏCİN ENERJİ YÜKLƏNMƏSİ

Ə.X. CANƏHMƏDOV, D.A. VOLÇENKO, M.Y. CAVADOV, V.S. SKRIPNİK,
İ.O. BEKİŞ, V.S. VİTVİSKİY

Məqalə çox axınlı ejektorun effektivliyinin köməyi ilə nəqliyyat vasitəsinin disk-kündəli əyləcin hava soyudulmasının intensivləşdirməsinə həsr edilmişdir. Əyləc diskinə quraşdırıb keçirilmiş hava soyudulma sistemi təklif edilmişdir. Soyudulma sistemi ilə əyləc diskinin enerji yüklənməsi, həmçinin onun gərgin vəziyyəti qiymətləndirilmişdir.

Açar sözlər: nəqliyyat vasitəsi, disk-kündəli əyləc, sürətinmə cütü, əyləc disk, hava soyudulması, çox axınlı ejektor, termogramlar, istilik cərəyanları, temperatur gərginlikləri.

ENERGY-LOADING OF DISK-SHOE-BRAKE WITH AIR COOLING SYSTEM OF "MULTI-JET EJECTOR" TYPE VEHICLE

A.KH. JANAHMADOV, N.A. VOLCHENKO, M.YA. JAVADOV, V.S. SKRYPNYK,
I.O. BEKISH, V.S. VITVITSKY

The article studies the intensification of air-cooling of disc-shoe brake of vehicle using the effect of multi-jet ejector. The proposed air-cooling system is mounted in the brake disc. The energy loading of the brake disc with the cooling system is rated, as well as its stress state.

Keywords: vehicle, disk-shoe brake, friction pair, brake disc, air-cooling, multi-jet ejector, thermograms, thermal currents, thermal stresses.

UOT 796-03; 614.8.06

İSTİSMAR GÖSTƏRİCİLƏRİ DİSKRET TƏSADÜFİ KƏMİYYƏTLƏR OLAN İDMAN VƏ QƏZA-XİLASETMƏ CİHAZ, MAŞIN VƏ AVADANLIQLARININ ETİBARLILIĞININ QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ METODLARININ TƏDQIQI

A.M. QAFAROV*, B.H. SALAYEV*

Məqalədə, istismar göstəriciləri diskret təsadüfi kəmiyyətlər olan idman və qəza-xilasetmə cihaz, maşın, və avadanlıqlarının etibarlılığının qiymətləndirilməsinin riyazi-statistik metoddırları araşdırılır. Alınan nəticələr analiz edilir.

Açar sözlər: idman, qəza, xilasetmə, maşın, avadanlıq, etibarlılıq, imtina, kəmiyyət, diskret, ehtimal, nəzəriyyə.

Giriş. İdman və qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarının etibarlılığını göstərən əsas amillər kimi, onların imtina etmələri qəbul edilir. İmtinalar isə öz növbəsində təbiətlərinə görə təsadüfi hadisələrdir və onları xarakterizə etmək üçün ehtimal nəzəriyyəsinin və riyazi-statistikanın əsas müdəcəllərindən istifadə edilə bilər.

İdman və qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarının imtinaları təsadüfi hadisələr, parametrləri təsadüfi kəmiyyətlər olduqlarından, onların etibarlılıq xarakteristikaları da (imtina işləmə yaxud imtinaya qədər işləmə, işləmə ehtiyatı, işləmə müddəti, elementlərin və sistemlərin xarakteristikaları və s.) təsadüfi kəmiyyətlər olurlar və təsadüfi kəmiyyətlərin paylanması uyğun funksiyaları ilə izah edilir.

İşin məqsədi qəza-xilasetmə cihaz, maşın və avadanlıqlarının etibarlılığının riyazi statistika metodlarından istifadə etməklə qiymətləndirilməkdir.

Təsadüfi kəmiyyətlər sınaqdan-sınağa qiymətləri dəyişən kəmiyyətlərdir. Əgər təsadüfi kəmiyyətlər yalnız sonlu yaxud külli miqdarda hesablanan qiymətlər ala bilərlərsə diskret, verilmiş qapalı və açıq intervalda istənilən qiymətləri ala bilərlərsə fasiləsiz kəmiyyətlər adlandırılırlar.

Paylanmanın əsas xarakteristikaları aşağıdakılardır [1-3]:

Paylanmanın integral funksiyası $F(x)$.

$$F(x) = P(x_i < x), \quad (1)$$

burada x – qeyd olunmuş qiymət, x_i təsadüfi kəmiyyətin ala biləcəyi qiymətdir.

Paylanmanın integral funksiyasının (1) əsas xassələri aşağıdakı kimi yazılır:

* Azərbaycan Respublikası Fövqəladə Hallar Nazirliyinin Akademiyası

$$F(-\infty) = 0, F(+\infty) = 1, 0 \leq F(x) \leq 1, P(a < x_i < b) = F(b) - F(a). \quad (2)$$

Paylanmanın sıxlığı $f(x)$.

$$f(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{F(x + \Delta x) - F(x)}{\Delta x} = \frac{dF(x)}{dx} = F'(x) \quad (3)$$

Paylanmanın sıxlığı aşağıdakı xassələrə malikdir:

$$f(-\infty < x < +\infty) \geq 0, \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1, F(x) = \int_{-\infty}^x dF(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx, \quad (4)$$

$$P(a < x < b) = F(b) - F(a) = \int_a^b f(x)dx.$$

Paylanmanın şərti sıxlığı $\lambda(x)$ aşağıdakı ifadədən təyin edilir:

$$\lambda(x) = \frac{f(x)}{P\{x_i > x\}} = \frac{f(x)}{1 - F(x)}. \quad (5)$$

Əgər təsadüfi kəmiyyət kimi idman və qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarının imtinaya qədər işləmə dövrünü qəbul etsək, onda paylanmanın inteqral funksiyasına, onların imtina ehtimallarını, paylanmanın sıxlığına – işlədikləri dövrlərin paylanma sıxlıqlarını, paylanmanın şərti sıxlığına – imtinaların baş vermə intensivliyi uyğun gələcəkdir.

İdman və qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarının etibarlılığı ilə bağlı məsələlərin həllində əhəmiyyətli rol oynayan faktorların əksəriyyəti təsadüfi kəmiyyətlər kimi götürülür. Belə hallarda təsadüfi kəmiyyətləri xarakterizə etmək üçün paylanma funksiyalarından deyil, onların paylanması haqqında kifayət qədər məlumat verən ədədi göstəricilərdən istifadə etmək məqsədə uyğun hesab edilir.

Təsadüfi kəmiyyətlərin əsas xarakteristikaları kimi riyazi gözləmə, dispersiya, momentlər, moda, mediana və variasiya əmsalı götürülür.

Göstərilən parametrlər müxtəlif növ təsadüfi kəmiyyətlər üçün müxtəlifdir.

Məsələn, idman və qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarında baş verən sıçrayışlı və qəfləti imtinalarda, onların tərkib hissələrinin və elementlərinin parametrlərinin dəyişməsi ölçülən və qiymətləndirilə bilən faktiki qiymətlərə malik olduqda (diskret təsadüfi kəmiyyətlər olduqda) riyazi gözləmənin

$$M(x) = x_{or} = \sum_i x_i P_i(x_i) \quad (6)$$

ifadəsindən, tədqiq edilən parametrlərin, fasiləsiz dəyişməsi baş verdikdə, yəni parametrlər fasiləsiz təsadüfi kəmiyyətlər olduqda, (məsələn cihaz və avadanlıqların hidravlik və pnevmatik sistemlərində porşen və silindr cütələrinin detallarının işləmə prosesində tədricən yeyilməsi nəticəsində, ölçülərinin fasiləsiz dəyişməsini qiymətləndirməsində)

$$M(x) = x_{or} = \sum x_i P_i(x_i) \quad (7)$$

asılılığından, təsadüfi kəmiyyətlər fasiləsiz və qeyri mənfi olduqda (məsələn, detalların eksentrikliyinin qiymətləndirilməsində)

$$M(x) = \int_0^{\infty} [1 - F(x)]dx = \int_0^{\infty} p(x)dx \quad (8)$$

düsturundan istifadə etmək məqsədə uyğundur.

Riyazi gözləmə $M(x)$ eyni zamanda $F(x)$ paylamasının birinci tərtibli başlanğıc momenti kimi də qəbul edilə bilər. n tərtibli başlanğıc moment aşağıdakı ifadə ilə yazılır

$$M_n(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^n dF(x). \quad (9)$$

Təsadüfi kəmiyyətin dispersiyası D , ümumi halda riyazi gözləmədən $M(x)$ asılı olaraq $D(x) = M[x - M(x)]^2 = M(x^2) - M^2(x)$ (10) şəklində ifadə edilir.

Fasiləsiz kəmiyyətlər üçün dispersiya aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$D(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} [x - M(x)]^2 dF(x). \quad (11)$$

Dispersiya təsadüfi kəmiyyətlərin səpələnməsini xarakterizə edir və $F(x)$ paylamasının ikinci tərtibli mərkəzi momenti rolunu oynayır.

Dispersiyanın əsas nöqsanı, onun təsadüfi kəmiyyətin ölçüsünün kvadratı ilə təyin edilməsindədir. Buna görə də səpələnmə, adətən orta kvadratik sapma σ ilə təyin edilir. Orta kvadratik sapmanın ölçü vahidi təsadüfi kəmiyyətin malik olduğu ölçü vahidi ilə eynidir. Orta kvadratik sapma σ_x ,

$$\sigma_x = \sqrt{D(x)} \quad (12)$$

ifadəsi ilə təyin edilir.

Variasiya əmsali v_x , orta kvadratik sapma σ və riyazi gözləmədən $M(x)$ asılı olaraq aşağıdakı düsturla hesablanır

$$v_x = \frac{\sigma_x}{M(x)}. \quad (13)$$

Mediana (orta qiymət), paylanmanın inteqral funksiyası 0,5-ə bərabər olduqda fasiləsiz təsadüfi kəmiyyətin qiymətidir. Mediana kvantilin xüsusi halıdır. $P(x \leq u_p) = F(u_p) = P$ olduqda, P səviyyəsinin kvantili u_p kəmiyyəti ilə göstərilir. Kvantil, $F(u_p) = P$ tənliyinin köküdür. Mediana - $P = 0,5$ səviyyəsinin kvantilidir [2, 3].

Moda, qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarının parametrlərinin dəyişməsinin paylanma sıxlığı maksimum qiymət aldığıda təsadüfi kəmiyyətin qiymətidir.

Mərkəzləşdirilmiş təsadüfi kəmiyyətin x' qiyməti

$$x' = x - M(x) \quad (14)$$

ifadəsindən təyin edilir. Uyğun olaraq normalaşdırılmış təsadüfi kəmiyyət $\bar{x}$,

$$\bar{x} = \frac{x}{\sigma_x} \quad (15)$$

düsturu ilə hesablanır.

Aparılan tədqiqatların nəticələri göstərir ki, cihazların, maşınların, mexanizmlərin və avadanlıqların etibarlılığının qiymətləndirilməsində riyazi statistika qanunlarının tətbiqinin müstəsna əhəmiyyəti vardır [12-15].

Etibarlılıq nəzəriyyəsində diskret dəyişən təsadüfi kəmiyyətlərin qiymətləndirilməsi üçün daha çox binomal və Puasson paylanmalarından istifadə edilir [1, 3, 7, 10, 11].

Binomal paylanma Bernulli tənliyi ilə

$$P(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} p^x (1-p)^{n-x} = C_n^x p^x (1-p)^{n-x}, x = 0, 1, \dots, n \quad (16)$$

yaxud paylanma funksiyası

$$F(x) = \sum_{i=0}^x P(i) = \sum_{i=0}^x \frac{i!}{i!(n-i)!} p^i (1-p)^{n-i} = \sum_{i=0}^x C_n^i p^i (1-p)^{n-i} \quad (17)$$

ilə yazılır.

Burada p – bir uğurlu sınağın ehtimalı, $P(x)$ – ümumi sınaqların sayı n olduqda, x uğurlu sınaqların sayı, C_n^x – binomal əmsallardır.

Binomal paylanmanın əsas xassələri aşağıdakılardır:

$$M(x) = np, D(x) = np(1-p), v = \sqrt{\frac{1-p}{np}}. \quad (18)$$

[10]-a görə $n \rightarrow \infty$ və $p \rightarrow 0$ olduqda, $np = \text{const}$ vəziyyətində binomal paylanma, Puasson paylanmasına $\lambda = np$ parametri ilə yaxınlaşır.

Puasson paylanması

$$P(x) = \frac{\lambda^x}{x!} \exp(-\lambda), x = 0, 1, 2, \dots \quad (19)$$

düsturu ilə, paylanmanın inteqral funksiyası isə

$$F(x) = \sum_{i=1}^x \frac{\lambda^i}{i!} \exp(-\lambda) \quad (20)$$

ifadəsi ilə verilir. Burada $\lambda = np$.

Puasson paylanmasının əsas xarakteristikaları aşağıdakılardır:

$$M(x) = D(x) = \lambda \text{ və } v = \frac{1}{\lambda}. \quad (21)$$

Əgər bu və ya digər idman və qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqları imtinalarının daimi intensivliyi ilə xarakterizə olunurlarsa, onda Puasson paylanması, onların verilmiş vaxt müddətində imtinalarının sayını göstərə bilər.

$\lambda > 9$ olduqda Puasson paylanması, normal paylanma ilə eyni riyazi gizləmə və λ dispersiyası daxilində approksimasiya oluna bilər. İdman və qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarının etibarlılığını Bernulli sərbəst sınaqları sxemi ilə yoxladıqda Paskal paylanmasından (mənfi binomal paylanmadan) da istifadə oluna bilər. Paskal paylanması, “uğurlu” sınaqların sayının müəyyənləşdirmək üçün geniş istifadə olunur.

Paskal paylanması (mənfi binomal paylanma)

$$P(x) = C_{R+x-1}^x p^R (1-p)^x, x = 0, 1, \dots, R \quad (22)$$

düsturu ilə, paylanmanın funksiyası

$$F(x) = \sum_{i=0}^x C_{R+i-1}^x p^R (1-p)^i \quad (23)$$

ifadəsi ilə yazılır.

$R = 1$ olduqda, Paskal paylanması (mənfi binomal paylanma) həndəsi paylanma kimi qəbul edilir.

Bundan başqa idman və qəza-xilasetmə cihaz və avadanlıqlarının etibarlılığını diskret təsadüfi kəmiyyətlər ilə xarakterizə etdikdə qiper həndəsi paylanmadan da istifadə etmək olar.

Qiper həndəsi paylanmada yararlı cihaz və avadanlıqların olması ehtimalı

$$P(x) = \frac{C_M^x C_{N-M}^{n-x}}{C_N^n}, 1 \leq x \leq \min(n, M) \quad (24)$$

düsturu ilə, paylanmanın funksiyası isə

$$F(x) = \sum_{i=0}^x \frac{C_M^i C_{N-M}^{n-i}}{C_N^n} \quad (25)$$

ifadəsi ilə verilir.

Qiper həndəsi paylanmanın əsas xarakteristikaları aşağıdakılardır:

$$M(x) = \frac{nM}{N}, D(x) = \frac{nM(N-M)(N-n)}{N^2(N-1)}, v = \sqrt{\frac{(N-M)(N-n)}{nM(N-1)}}. \quad (26)$$

Burda, N – avadanlıqların ümumi sayı, n – seçilmiş avadanlıqların sayı, M sınaqdan sonrakı yararlı avadanlıqların sayıdır.

Qiper həndəsi paylanma, $n < 0,1N$ və $M < 0,1$ olduqda $\lambda = \frac{nM}{M}$ parametrlı Puasson paylanması ilə, $N \rightarrow \infty$, $n < 0,1N$ və $\frac{M}{nN} \rightarrow P$ olduqda n və $P = \frac{M}{N}$ parametrlı binomal paylanma ilə, $\frac{nM}{N} \rightarrow \infty$ olduqda (26)-da verilmiş riyazi gözləməli və dispersiyalı normal paylanma ilə aproksimasiya olunurlar.

Nəticə. Aparılan tədqiqatların analizi göstərir ki, riyazi statistika metodlarından istifadə etməklə digər maşın və mexanizmlərlə bərabər, qəza-xilasetmə cihaz, maşın və avadanlıqlarının etibarlılığını qiymətləndirmək mümkündür.

REFERENCES

1. **Gihman I.I., Skorohod A.V., Yadrenko M.I.** Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika. Kiev: Vyssh.shkola. 1988. - 439 s.
Гихман И.И., Скороход А.В., Ядренко М.И. Теория вероятностей и математическая статистика. Киев: Высш.школа. 1988. - 439 с.
2. **Ivanova V.M. i dr.** Matematicheskaya statistika. M.: Vyssh.shkola. 1975. - 398 s.
Иванова В.М. и др. Математическая статистика. М.: Высш.школа. 1975. - 398 с.
3. **Ivashev-Misatov O.S.** Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika. M.: Radio i svyaz. 1985. - 608 s.
Ивашев-Мисатов О.С. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Радио и связь. 1985. - 608 с.
4. **Sulejmanov P.G.** Povyshenie nadezhnosti mashin i oborudovaniy, ekspluatiruemyh v ekstremal'nyh usloviyah. Baku: Nauka, 2018. – 308 s.
Сулейманов П.Г. Повышение надежности машин и оборудования, эксплуатируемых в экстремальных условиях. Баку: Наука, 2018. – 308 с.
5. **Gafarov A.M., Sulejmanov P.G., Gafarov V.A.** Povyshenie nadezhnosti detaley mashin i oborudovaniy, rabotayushhih v ekstremal'nyh usloviyah metodom raskatyvaniya // Vestnik Azerbajjanskoy inzhenernoy akademii. Baku. 2014. T.6. № 4. S.67-69.
Гафаров А.М., Сулейманов П.Г., Гафаров В.А. Повышение надежности деталей машин и оборудования, работающих в экстремальных условиях методом раскатывания // Вестник Азербайджанской инженерной академии. Баку. 2014. Т.6. № 4. С.67-69.
6. **Gafarov A.M., Sulejmanov P.G., Gafarov V.A.** Analiz i metodika ocenki nadezhnosti mashin i oborudovaniy, ekspluatiruemyh v ekstremal'nyh usloviyah // Tehnologiya mashinostroeniya. 2014. № 7. S.42-48.

- Гафаров А.М., Сулейманов П.Г., Гафаров В.А.** Анализ и методика оценки надежности машин и оборудования, эксплуатируемых в экстремальных условиях // Технология машиностроения. 2014. № 7. С.42-48.
7. **Gafarov A.M., Sulejmanov P.G., Gafarov V.A.** Prognozirovanie i statisticheskaya ocenka nadezhnosti mashin i oborudovaniy, ekspluatiruemyh v ekstremal'nykh usloviyakh // Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. 2014. № 11. S.15-17.
- Гафаров А.М., Сулейманов П.Г., Гафаров В.А.** Прогнозирование и статистическая оценка надежности машин и оборудования, эксплуатируемых в экстремальных условиях // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2014. № 11. С.15-17.
8. **Sulejmanov P.G.** Razrabotka metodiki ocenki nadezhnosti mashin i oborudovaniy, ekspluatiruemyh v chrezvychajnykh situatsiyah i ekstremal'nykh usloviyakh // Teoreticheskaya i prikladnaya mehanika. 2016. № 3-4. S.140-147.
- Сулейманов П.Г.** Разработка методики оценки надежности машин и оборудования, эксплуатируемых в чрезвычайных ситуациях и экстремальных условиях // Теоретическая и прикладная механика. 2016. № 3-4. С.140-147.
9. **Sulejmanov P.G.** Tribotexnicheskie harakteristiki detalej mashin, ekspluatiruemyh v ekstremal'nykh usloviyakh. Baku: Nauka. 2013. - 186 s.
- Сулейманов П.Г.** Триботехнические характеристики деталей машин, эксплуатируемых в экстремальных условиях. Баку: Наука. 2013. - 186 с.
10. **Nevzorov V.N., Sugak E.V.** Nadezhnost mashin i oborudovaniy. Ch.1. Krasnoyarsk: SGTU. 1998. - 240 s.
- Невзоров В.Н., Сугак Е.В.** Надежность машин и оборудования. Ч.1. Красноярск: СГТУ. 1998. - 240 с.
11. **Babaev S.G., Kershenbaum V.Y., Gabibov I.A.** Evoljucija kachestva tribosopryazheniy neftegazovoy tehniki. M.: NING, 2018. - 516s.
- Бабаев С.Г., Кершенбаум В.Я., Габиров И.А.** Эволюция качества трибосопряжений нефтегазовой техники. М.: НИИГ, 2018. - 516с.
12. **Babaev S.G., Gabibov I.A., Melikov R.H.** Osnovy teorii nadezhnosti neftepromyslovogo oborudovaniya. Baku. 2015. - 400 s.
- Бабаев С.Г., Габиров И.А., Меликов Р.Х.** Основы теории надежности нефтепромыслового оборудования. Баку. 2015. - 400 с.
13. **Janahmadov A.H.** Neftyana tribologiya. Baku: Elm. 2013. - 326 s.
- Джанахмедов А.Х.** Нефтяная трибология. Баку: Элм. 2013. - 326 с.
14. **Janahmadov A.H., Javadov M.Y.** Fraktal'nye podhody v tribologii elastomerov. Baku: Apostroff. 2016. - 496 s.
- Джанахмедов А.Х., Джавадов М.Я.** Фрактальные подходы в трибологии эластомеров. Баку: Апострофф. 2016. - 496 с.
15. **Janahmadov A.H., Javadov M.Y., Panahova N.D.** Prikladnaya mehanika. Baku: Apostroff. 2012. - 316 s.
- Джанахмедов А.Х., Джавадов М.Я., Панахова Н.Д.** Прикладная механика. Баку: Апострофф. 2012. - 316 с.

Redaksiyaya daxil olub:	1.11.2018
Tamamlama işlərindən sonra:	13.05.2019
Nəşrə qəbul edilib:	20.05.2019

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ СПОРТИВНЫХ И АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ, МАШИН И ОБОРУДОВАНИЙ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОТОРЫХ ЯВЛЯЮТСЯ ДИСКРЕТНЫМИ СЛУЧАЙНЫМИ ВЕЛИЧИНАМИ

А.М. ГАФАРОВ, Б.Г. САЛАЕВ

В статье обсуждаются математико-статистические методы оценки надежности спортивных и аварийно-спасательных приборов, машин и оборудования, эксплуатационные показатели которых являются дискретными случайными величинами. Анализируются полученные результаты.

Ключевые слова: спорт, авария, спасение машин, оборудование, отказ, надежность, величина, дискрет, статистика, вероятность, теория.

THE RELIABILITY EVALUATION METHODS OF SPORT AND EMERGENCY RESCUE INSTRUMENTS, MACHINES AND EQUIPMENT, OPERATIONAL INDICATORS OF WHICH ARE DISCRETE RANDOM QUANTITIES

A.M. GAFAROV, B.H. SALAYEV

The article examines the mathematical-statistical methods reliability evaluation of sport and rescue equipment, machines and devices, exploitative indicators of which are discrete random variables. The obtained results are analyzed.

Keywords: sport, accident, rescue, machines, equipment, failure, reliability, quantities, discrete, statistics, probability, theory.

UOT:622.24

QAZIMA ROTORUNDA YARANAN NASAZLIQLAR VƏ ONLARIN ARADAN QALDIRILMASI YOLLARI

Ə.M. ƏLİYEV*, N.A. ƏKBƏRLİ*

Məqalə qazıma rotorunun istismarı zamanı onun elementlərində yaranan nasazlıqların baş vermə səbəblərinin aşkar olunmasına və onların aradan qaldırılmasına həsr olunmuşdur.

Açar sözlər: qazıma rotoru, dişli çarx ötürməsi, zəncir ötürməsi, dayaq yastığı, yeyilmə, dağılma.

Giriş. Milli Neft Strategiyasının uğurla reallaşması nəticəsində karbohidrogen ehtiyatlarının hasilatının artırılması yeni neft və qaz quyularının qazılıb istismara verilməsini tələb edir. Neftin mexaniki üsulla qazılmış quyulardan hasil edilməsi dövründən başlayaraq hazırkı mərhələyə qədər yeni qazıma avadanlıqlarının yaradılması və mövcud qurğuların təkmilləşdirilməsi həmişə diqqət mərkəzində olmuş və bu gün də öz aktuallığını saxlamaqdadır [1].

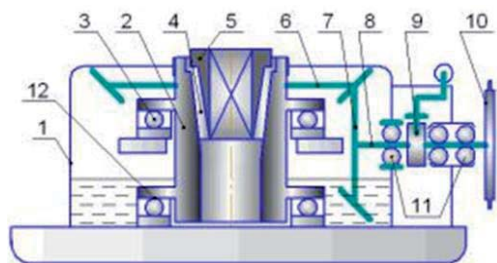
Məsələnin qoyuluşu. Qazıma avadanlıqlarının həddən artıq yüklənməsinin təsirindən törənən nasazlıqların yaranma səbəbləri, onların aşkarlanma üsulları və aradan qaldırılma yolları araşdırılır.

İşin məqsədi - avadanlıqların saz işləməsinə təmin etmək üçün onlara göstərilən servis xidmətinin yüksəldilməsini və qazıma avadanlıqlarının səmərəliliyinin günün vacib tələblərinə uyğunlaşdırılmasını dəyərləndirməkdən ibarətdir.

Qazıma rotoru quyuların rotor üsulu ilə qazılması prosesində fırlanmanın qazıma kəmərinə ötürülməsi, endirib-qaldırma əməliyyatları prosesində qazıma və qoruyucu boru kəmərinə asılı halda saxlamaq və onların açılıb və bağlanması, həmçinin quyularda qəzaların aradan qaldırılması üçün nəzərdə tutulmuşdur [2].

Rotor bucaq reduktoru olaraq, fırlanmanı intiqalın üfüqi valından şaquli asılmış qazıma boru kəmərinə verən işçi orqandır (şəkil 1).

Rotorun aparan valına hərəkət qazma bucurqadından zəncir ötürməsi və ya ötürülmələri dəyişən qutudan kardan ötürməsi vasitəsilə, bəzi



Şəkil 1. Qazıma rotorunun prinsipial sxemi
1 – çatı; 2 – stol (masa); 3, 12 – dayaq yastıqları;
4, 5 – içlik; 6 – dişli tac (aparılan konus çarx);
7 – aparan konus çarx; 8 – aparan val; 9 – xrap
çarxı; 10 – ulduzcuq; 11 – radial-dayaq yastıqları

* Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

hallarda fərdi intiqaldan verilir.

Müasir qazıma qurğularında fırlanmanın qazıma kəmərinə ötürülməsi rotorun funksiyasından çıxarılarq yuxarı mühərrikə verilmiş, beləliklə də rotorun iş rejimi xeyli yüngülləşdirilmiş və xidmət müddəti artırılmışdır. Lakin quyuların əsaslı təmirində istifadə olunan rotorlar əvvəlki təyinatını saxlamaqdadır.

Toplanmış statistik məlumatların analizinə görə müəyyən olunmuşdur ki, rotorun istismarı zamanı real təmir dövrü təqribən bir il (3840 məş/saat) ətrafında, təmirarası dövrün müddəti isə təxminən yarım il (480 məş/saat) təşkil edir.

Avadanlığın istismarı prosesində rotor həddən artıq yüklənmələrə məruz qalır ki, bu da qurğunun müxtəlif detallarının daim yeyilməsinə gətirib çıxarır.

İş prosesində dəyişən işarəli dinamik yüklənmələrin yaranması oturtma səthlərinin yeyilməsinə səbəb olur. Yeyilmə dişli ötürmənin qovuşmasının pisləşməsinə, uğultunun, titrəmənin, zərbələrin meydana çıxmasına gətirib çıxarır ki, nəticədə aparıcı dişli çarxın dişləri qalıq deformasiyalara və intensiv yeyilməyə məruz qalır.

İş zamanı mexanizmdə çox böyük fırladıcı momentlər yaranır. Onlar konus şəkilli dişli ötürmənin tədricən yeyilməsinə səbəb olur. Kəskin təkanların və taqquiltıların meydana çıxması həddən artıq yeyilmənin və ya çarxın dişlərində yaranan nasazlığın əlamətləridir. Aqreqatın yoxlmasına aparıcı dişli çarxın müayinəsindən başlamaq lazımdır (şəkil 2, 3). Dişli çarxın dişinin yeyilməsi dişölçənlə təyin edilir və əgər qalınlıq 10-12% azalıbsa, onda dişli çarx yenisi ilə əvəz olunmalıdır. Əgər dişli çarxın dişləri sımbısa, o rotor stolunda yerləşən aparıcı çarxa görə seçilir və yenisi əvəz olunur.

Aparıcı valın yastıqlarının və dayaq yastıqlarının sıradan çıxması halları daha çox qəza işlərinin aradan qaldırılması zamanı ağır yüklənmələrdə rast gəlinir ki, bu da qəza riskinin artmasına və miqyasının böyüməsinə səbəb olur. Yastıqlarda əsasən qırılma, dağılma halları müşahidə olunur. Bundan əlavə qazıma rotorunun dayaq yastığının digər yastıqla müqayisədə yeyilməsi baş verir.

Əsas dayaq yastığının hissələrinin yeyilməsi səbəbindən rotor stolunun üzərində olan dişli çarx rotorun aparıcı valının dişli çarxının üzərinə oturur və nəticədə rotorun fırlanma hərəkəti məhdudlaşır. Bu zaman əsas dayaq yastığının şarların üzərində oturduğu hissə çıxarılır və onun altına yeyilməyə uyğun olaraq metal həlqə kəsilib yerləşdirilir, dişli çarxlar arasında ara boşluğu bərpa edilir.

Rotorun əsaslı təmiri zamanı yastıqların texniki vəziyyətinə xüsusi, yüksəldilmiş diqqət yetirilməlidir (şəkil 4).

İş prosesində dayaqların yeyilməsi oxboyu ara məsafəsini artırır ki, nəticədə titrəmələr yaranır. Ona görə də dayaqların təmiri zamanı onları diqqətlə müayinə edir və ölçürlər. Qaçış yollarındakı səth qüsurları yonma və sonradan cilalanmanın köməyi ilə aradan qaldırılır. Əgər həlqələrdə çatlar yaranıbsa, onda onları hökmən yenisi əvəz etmək lazımdır. Dayaqın bütün kürələri diqqətlə müayinə edilib-ölçülməlidir. Əgər əhəmiyyətli dərəcədə yeyilmə aşkar edilərsə, onda kürələr yenisi ilə əvəz olunmalıdır. Dəstdəki kürələrin ölçüsünün yol verilən kənara çıxması



Şəkil 2. Rotorun aparıcı dişli çarxının vəziyyəti



Şəkil 3. Rotorun aparıcı dişli çarxının (tacın) vəziyyəti



Şəkil 4. Əsas dayaq yastığının seperatoru və kürəciyinin işçi səthinin vəziyyəti

0,02 mm təşkil edir, rotorun quraşdırılmasından sonra mümkün oxboyu ara məsafə ən çox 0,3 mm buraxılır. Ara məsafəsinin daha kiçik qiymətində rotor daha çox qızacaq, böyük qiymətləridə isə titrəmələr yaranacaq ki, bu da böyük dinamiki yüklənmələr törədə bilər və hətta dayaqların dağıdılmasına gətirib çıxarar.

Aparan valın yastıqlarının yeyilməsi böyük radial ara məsafəsinin yaranmasına səbəb olur ki, bu da nəticə etibarı ilə dişli işləmənin və zəncir ötürməsinin işinə dağıdıcı təsir göstərir. Əsaslı təmir prosesində valın həndəsi oxuna nəzərən əyintisi müəyyən olunmalı, oturtma yerlərinin diametrləri təyin olunduqdan sonra yeyilmiş yastıqlar məcburi qaydada yenisi ilə əvəz olunmalıdır.

Rotor üçün aparar valın burulma deformasiyasının qiymətinin məhdudlaşdırılması vacibdir. Ona görə də qorxulu eninə və burulma rəqslərini aradan qaldıran şəraitin yaradılması və valların titrəyişə davamlılığının hesabi üsullarla yoxlanması əksər hallarda vacib sayılmalıdır. Yorgunluq dağılması hər şeydən əvvəl ən böyük gərginlik konsentrasiyası olan yerlərdə başlayır.

Ona görə də valların həcmi möhkəmliyə hesablanması onların layihələndirilməsinin vacib mərhələsi hesab olunur.

Bütövlükdə rotorun və onun müvafiq düyünlərinin normal istismarının vacib şərti valın lazım gələn əyilmə sərtliliyinin təmin olunmasıdır. Valın həddən artıq əyilməsi zamanı dayaq düyünlərinin iş şəraiti pisləşir (dayaqda sapmanın dönməsi ara məsafəsinin qiymətini dəyişir, nəticədə yağ qatının qalınlığı azalır) və valda quraşdırılmış qovuşan detalların düzgün qarşılıqlı təsiri pozulur. Dəzgahlarda şpindelın kifayət qədər sərtliliyinin olmaması emal olunan detalların səthinin dəqiqliyində və təmizliyində özünü göstərir.

Valın qüsurlarından biri işgil yuvalarının yeyilməsidir. Bu qüsurlar işgilin və ya işgil yuvasının deformasiyasına görə bucaq ara məsafəsinin yaranmasına səbəb olur. Nəticədə rotorun intiqal zəncirinin, ulduzcuğun mexaniki zərbələrinin yaranmasına gətirib çıxarır ki, bu da zəncirin qırılmasına səbəb ola bilər.

Düzgün layihə olunmuş və hazırlanmış ötürmə normal istismar zamanı qızmamalı və iş müddətində güclü səs-küy yaratmamalıdır.

Yağlama ötürmənin işinə mühüm təsir göstərir. Dişli işləmənin yağlanması sürtünmə itkilərinin azaldılması, işləmədə yaranan istiliyin ötürülməsi, sürtünmədən yeyilmənin və dişlərin korroziyasının qarşısını almaq üçün təyinatlanır. Qapalı ötürmələrdə yağlama fasiləsiz, açıq ötürmələrdə isə dövrü olaraq həyata keçirilir.

Ötürmənin həddən artıq qızması və küy əmələ gətirməsi onun konstruksiyasında, hazırlanmasında və sürtgü yağının düzgün seçilməməsində çatışmazlıq olduğunu göstərir.

Dişli ötürmənin temperaturun yüksəlməsi istiliyin kifayət qədər ötürülməməsindən yaxud həddən yüksək daxili itkilərin olmasından baş verir.

Temperaturun yüksəlməsi sürtgü yağının keyfiyyətinin pis (sürtünmə artır), yaxud onun özlülüyünün böyük (yağı çalxalamağa sərf olunan gücün artması), yaxud yağın normadan çox olması (yağı çalxalamağa sərf olunan artıq itkilər) səbəbindən də ola bilər. Ancaq təbii soyuma zamanı düzgün layihə olunmuş və yağın növü düzgün seçilmiş dişli çarx ötürməsi qızmanın buraxıla bilən sərhədi daxilində işləməlidir.

Səs-küyün əsas səbəbi dövrü səhvlər, dişlərin qeyri-müntəzəm yüklənməsi, həmçinin fırlanan detalların statiki və dinamiki tarazlaşdırılmamasıdır.

Dişlərə düşən qeyri-bərabər yük və ilişmə prosesində dişlərin deformasiyasının dəyişməsi dişli çarxların rəqsini törədir. Çarxların həтта çox da böyük olmayan rəqsi val və yastıqlarla gövdəyə ötürülür, onun titrəməsinə səbəb olur, bu isə güclü səs-küylə müşayiət olunur.

Konstruksiyada çatışmazlıqlar olduqda, qeyri-dəqiq hesablamada yaxud ötürmənin normal istismar rejimi pozulduqda çarxların dişlərinin zədələnməsi mümkündür. Rotorun dişli ötürməsində zədələnmələrin növləri aşağıdakılardır: sınma, ovulma, sürtünüb yeyilmə, işçi səthlərin ilişməsi.

Dişlərin *sınması* əsasən yorğunluq xarakteri daşıyır. Dişin hər növbəti ilişməyə daxil olmasında dəyişən yükün periodik olaraq təsiri zamanı onun kökündə dəyişən əyilmə gərginliyi yaranır. Maksimal gərginlik konsentrasiyası zonasında müəyyən yüklənmə tsikllərindən sonra çatların yaranması mümkün olur. Əgər diş bir tərəfli işləyirsə, onda çat adətən dartılma zonasında əmələ gəlir.

Həddən artıq yüklənmə dişlərin qəflətən sınmasına gətirib çıxara bilər. Az miqdarda həddən artıq yüklənmə axıcılıq həddindən yuxarı gərginliklərə gətirib çıxara bilər ki, bu da qalığ deformasiya törədir [3].

Dişlərin kök hissəsinin möhkəmliyini artırmaqla və bu hissədə keçid əyrisinin radiusunu artırmaq hesabına gərginlik konsentrasiyasını azaltmaqla, ötürmənin sərtliyini, hazırlanma dəqiqliyini, çarxların materiallarının mexaniki xassələrini artırmaqla onların əyilməyə qarşı müqavimətini yüksəltmək olar.

Polad dişlərin səthlərinin ovulması yağ mühitində işləyən çarxların dişlərinin kök hissəsində, qütb xətti yaxınlığında yaranır. Dişin profili təhrif olunur, səthdə kələ-kötürlər yaranır, dinamiki yüklər artır. Bunun nəticəsində ovulma prosesi güclənir, qütb xəttindən aşağıda yerləşən dişin profilinin işçi hissəsi dağılır. Ötürmənin titrəməsi və səs-küy artır. Məhdud və şiddətlənən ovulma növləri fərqləndirilir. Məhdud ovulma çarxın eninin müəyyən məntəqəsində müvəqqəti olaraq həddən artıq yüklənmə səbəbindən yaranır. Əgər dişlərin səthinin bərkliyi $HB < 350$ olarsa, dişlərin uyuşmasından sonra belə ovulma dayanır. Dişlərin səthinə kifayət qədər böyük gərginliklər təsir edərsə, ovulma çuxurlarının əmələ gəlmə prosesi dişli çarxların bütün enini əhatə edir və şiddətli ovulma başlayır.

Müəyyən olunmuşdur ki, yağın özlülüyü böyük olduqda dişlərin təmas düzümlülük həddi də böyük olur. Daha özlü yağ dişlərə olan dinamiki yükləri söndürərək, dişli çarxların xidmət müddətini artırır. Yorğunluq dağılması prosesi baş verənə qədər ilkin çatlar əmələ gələn səth qatı sürtünmədən yeyilir.

Dişlərin *yeyilməsi* işçi səthlərin sürtünüb yeyilməsi prosesinin nəticəsidir. Qapalı ötürmələrdə yeyilmə açıq ötürməyə nisbətən çox azdır.

Dişlərin nisbi sürüşməsi və səthlərin təmas sıxılma gərginliyi böyük olduqca dişin səthlərinin sürtünüb yeyilməsi də böyük olur. Dişlərin təmasının başlanğıc və son nöqtələrində nisbi sürüşmə ən böyük olduğundan, ən böyük yeyilmə də dişlərin baş və kök hissələrində olacaqdır. İlişmə qütbündə sürüşmə olmadığından yeyilmə də minimum olacaqdır.

Yeyilmə nəticəsində evolvent profili təhrif olunur, dinamiki yüklər artır, dişin kökü zəifləyir, bu da dişin kökündə gərginliyin yüksəlməsinə səbəb olur.

Yağ pərdəsinin qalınlığı kifayət qədər olmadıqda, maye sürtünməsi təmin olunmur və yeyilmənin güclənməsinə gətirib çıxarır.

Dişlərin yeyilməsini nisbi sürüşmənin və sıxılma gərginliyinin azaldılması, dişlərin səthlərinin yeyilməyə davamlığının yüksəldilməsi və sürtgü yağının düzgün seçilməsi ilə azaltmaq olar.

Dişin səthində sıxılmış yağ pərdəsi zonasında yüksək təzyiqin təsiri altında dişlər bir-birilə o qədər ilişmədə olurlar ki, bu səthlərin növbəti nisbi hərəkətində daha yumşaq metalın hissəcikləri öz diş səthindən qoparaq, yerində şırımlar yaradır ki, bu da *ilişmə ilə dağılmaya* gətirib çıxarır. Belə dağılma sakit gedişli, ağır yüklənmiş ötürmələrdə müşahidə olunur. Cəld gedişli ötürmələrdə yağ pərdəsinin dağılması özlülüynün itirilməsinə səbəb olan yağın çox qızması, böyük yüklənmə və sürüşmə sürəti olan zonalarda temperaturun yüksəlməsi nəticəsində baş verir.

Yükün artırılması, sürüşmə sürətinin azaldılması və özlülüynün və metalın yumşaqlığının artırılması ilə metalın qopan hissəcikləri çoxalır.

Daha özülü yağların tətbiqi zamanı plastik deformasiyaların təhlükəsi azalır.

Zəncir ötürmələrinin işdən çıxmasının əsas səbəbləri zəncirin dartılmadan uzanması, oynaqların, lövhələrin dağılması və ulduzcuğun dişlərinin yeyilməsidir.

Zəncirin uzanması ötürmənin istismarı prosesində gərilmə və dinamiki qüvvələrin təsiri altında baş verən oynaqlardakı yeyilmə nəticəsində addımın böyüməsidir.

Zaman keçdikcə zəncirin addımı o qədər böyüyür ki, o ulduzcuğa düzgü oturmur, ilişmənin pozulması və zəncirin ulduzcuqdan çıxma təhlükəsi yaranır. Təcrübələr göstərir ki, zəncirin həddi uzanması 3%-dən çox olmamalı və $v > 6$ m/s olduqda daha az olmalıdır.

Ulduzcuğun dişlərinin yeyilməsi zərbə təsirli yüklərdə diyircəklərin yaxud oymaqların dişlər boyunca nisbi hərəkəti nəticəsində baş verir. Aparan ulduzcuğun dişlərinin yeyilməsi ilişməyə daxil olduqda aparılan hissənin zərbəsinin böyük qiymət alması nəticəsinə görə böyük olur. Ulduzcuğun yeyilməsinin qiymətinə dişin profilinin forması təsir edir (şəkil 5).



Şəkil 5. Ulduzcuqların işçi səthlərinin vəziyyəti

Zəncirin zədələnməsi hazırlanma zamanı qüsurların olmasına görə də baş verə bilər. Valcıqların və oymaqların lövhələrə keyfiyyətsiz preslənməsi zamanı bu detalların oturtma yerlərində dönməsi baş verir. Beləliklə bəzi bəndlərin addımı mühüm dərəcədə artır. Belə zədələnməli bir bəndi olan zəncirin işi məqbul sayılmır. Zədələnmənin digər növü lövhələrin yan səthlərinin ulduzcuğun yan səthi ilə sürtünməsinin nəticəsində baş verən yeyilmədir. Belə zədələnmənin səbəbi quraşdırmanın düzgün aparılmaması və zəncirin orta xəttinin əyrixətli olmasıdır.

Ötürmənin işləmə qabiliyyətinin əsas meyarı zəncirin oynaqlarının yeyilməyə davamlılığıdır. Ötürmənin hesablanması ilə zəncirin və ulduzcuğun elə optimal ölçüləri təyin olunur ki, ötürmə verilmiş rejimdə onun elementlərinin zədələnmə qorxusu olmadan işləmə qabiliyyətinə malik olsun.

Rotorlarda ikicərgəli zəncir ötürməsindən istifadə olunur. İstismar zamanı zəncirin qırılması və uzanması baş verir ki, bu da öz növbəsində zəncirin tez-tez çıxmasına səbəb olur. Belə olduqda zəncirdən bir hissə çıxarılır və bu uzanma müəyyən qədər kompensasiya edilir. Lakin sonrakı uzanmalarda zəncir addımında ciddi dəyişiklik yarandığından bu üsul işə yaramır, ona görə də zəncir yenisi ilə əvəz olunur.

Nəticə. Aparılmış praktiki müşahidələr nəticəsində rotorun tez sıradan çıxan hissələri aşkarlanmış və işdən imtinanın əsas səbəbi kimi əsas dayaq yastığının normadan artıq yeyilməsi

müəyyən olunmuşdur. Nəticədə konus dişli çarx ötürməsində həddən artıq yüklənmə baş verir ki, bu da rotorun aparən valının yastıqlarının və zəncir ulduzcuqlarının sıradan çıxmasına səbəb olur. Ona görə də bu məsələnin həllinə ayrı-ayrı elementlərin möhkəmliyinin təmin olunması kimi yox, sistemli şəkildə baxaraq baltaya verilən oxboyu yüklə onun fırlanma tezliyinin qiyməti də nəzərə alınmaqla baxmaq lazımdır.

REFERENCES

1. **Əliyev Ə.M.** Qaldırma kompleksi sahəsində texniki həllərin sistemli təhlili. Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbələri, cild 3, №3, 2011. – S.67-73
2. **Canəhmədov Ə.X., Vəliyev N.A., Əliyev Ə.M.** Neft avadanlıqlarının dinamikası və möhkəmliyi. Ali texniki məktəblər üçün dərslik. Bakı: Apostroff, 2016. - 424 s.
3. **Canəhmədov Ə.X., Səmədov Ə.S., Cavadov M.Y. və b.** Maşın detalları və konstruksiyaetmənin əsasları. Dərs vəsaiti. Bakı: Apostroff, 2013. - 480 s.

Redaksiyaya daxil olub:	13.08.2018
Tamamlama işlərindən sonra:	11.04.2019
Nəşrə qəbul edilib:	13.05.2019

НЕИСПРАВНОСТИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В БУРОВЫХ РОТОРАХ, И ПУТИ ИХ УСТРАНЕНИЯ

А.М. АЛИЕВ, Н.А. АКБАРЛИ

В статье изучаются причины неисправностей, возникающих в элементах бурового ротора при его эксплуатации, и предлагаются способы их устранения.

Ключевые слова: буровой ротор, зубчатое зацепление, цепное зацепление, упорный подшипник, изнашивание, разрушение.

ROTARY DRILLING PROBLEMS AND THEIR ELIMINATION METHODS

A.M. ALIYEV, N.A. AKBARLI

The article studies the uncertainties that are found in the elements of the rotational rotor.

Keywords: drilling rotor, gearing, chaining, thrust bearing, wear, destruction.

UOT: 535.2

SİLİSIUM ƏSASLI FOTOELEKTRON GÜCLƏNDİRİCİLƏRİN AŞAĞI TEMPERATURLARDA TƏDQIQI

F.İ. ƏHMƏDOV^{1,3}, F.N. ABDULLAYEV¹, Q.S. ƏHMƏDOV^{2,3}, R.Ə. ƏKBƏROV^{2,3},
S.M. NURİYEV², A.Z. SADIQOV^{2,3}, S.S. SÜLEYMANOV^{1,2}, R.M. MUXTAROV⁴

Təqdim edilən işdə MAPD kollaborasiya çərçivəsində hazırlanmış silisium əsaslı MSFD-3NK fotoelektron gücləndiricilərin fiziki xassələri aşağı temperaturda tədqiq edilmişdir. MSFD-3NK fotodiodları temperaturdan asılı olaraq 1°C dərəcəyə 61 mV fərq olduğu müəyyən edilmişdir. Fotodiodun qaranlıq sayı (ing. “dark count”) temperatur azaldıqca azaldığı və temperatur fərqi -81°C olduqda qaranlıq sayı 169 dəfə azalmışdır. Aşağı temperaturalarda qaranlıq sayın yaranmasında gecikən impulsların (Gİ) üstünlük təşkil etdiyi müəyyən edilmişdir. Həmçinin də birinci fotoelektrona uyğun gələn amplituda görə ayırd etmə temperaturdan asılı olaraq dəyişmiş və temperatur fərqi - 93°C olduqda 32% azalmışdır. Beləliklə bu fotodiodların aşağı temperatur detektorlarında tətbiqinin mümkünüyü təsdiq edilmişdir.

Açar sözlər: silisium, fotoelektron, fotodiod, temperatur, detektor.

Giriş. Müasir astrofizikanın və zərrəciklər fizikasının əsas problemlərindən bir qara maddəni təşkil edən yüngül zərrəciklərin qeyd edilməsidir. Qara maddənin zərrəcikləri kainatın mövcud çəkisinin 27%-ni təşkil etməsinə baxmayaraq onların qeydedilmə ehtimalı çox kiçikdir [1]. Bu zərrəciklərin mühitlə qarşılıqlı təsiri zəif qarşılıqlı təsir (ing. “weak interaction”) mexanizminə əsaslanır. Belə olduğu halda onların qeyd edilmə ehtimalı kəskin azalır. Bu zərrəcikləri qeyd etmək məqsədilə yüksək təzyiqdə sıxılmış təsirsiz ksenon və arqon qazlarından istifadə edilir. Bu təcrübələrdə istifadə edilən detektorlar aşağı temperaturalarda işləyirlər. Zəif qarşılıqlı təsirdə olan zərrəciklər atom sıra nömrəsi böyük olan ksenon və arqon nüvələri ilə elastik qarşılıqlı təsirdə olduqda öz enerjisinin çox kiçik hissəsini onlara verir. Bu zaman çox kiçik enerji almış nüvələr çox az sayda ssintilyasiya fotonları yaradırlar [2, 3-5]. Buraxılan bu ssintilyasiya fotonlarının dəqiq qeyd edilməsi detektor üzərinə düşən qara maddə zərrəciklərinin parametrlərinin düzgün təyin edilməsi üçün olduqca vacibdir. Hazırda ksenon və arqon detektorlarında yaranan ssintilyasiya fotonlarını qeyd etmək üçün fotoelektron gücləndirici kiçik borulardan istifadə edilir [1]. Lakin bu qeydedicilərin əsas çatışmazlığı onların foton qeydetmə effektivliyinin 20%-dən kiçik olması, yüksək gərginlikdə işləməsi, maqnit sahəsinə həssaslığı və radioaktiv çirklənmiş olmasıdır [6, 7]. Bu çatışmazlıqlar əksər təcrübələrdə qeyd edilən hadisə haqqında əldə edilən nəticələrin doğruluğunu şübhə altına salır. Məhz bu səbəbdən də bu tip detektorların hazırlanmasında yüksək foton qeydetmə effektivliyi olan,

¹ AMEA-Strateji Elmi Tədqiqatlar Mərkəzi

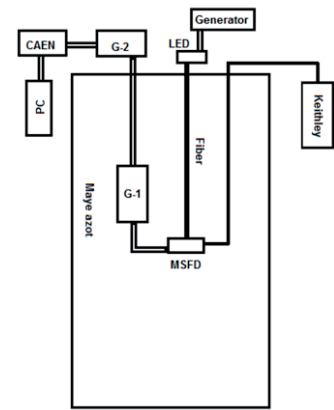
² AMEA-Radiasiya Problemləri İnstitutu

³ RYTN-Milli Nüvə Tədqiqatlar Mərkəzi

⁴ Milli Aviasiya Akademiyası

aşağı temperaturda işləyən və radioaktiv çirklənməmiş qeydedicilərdən istifadə edilməsi olduqca aktualdır. Belə foton qeydedicilərdən biri də silisium əsaslı fotoelektron gücləndiricilər hesab edilir. MAPD kollaborasiya tərəfindən 2014-cü ildə hazırlanmış MSFD-3NK tipli fotodiodların foton qeydetmə effektivliyinin 40% olması, radioaktiv çirklənməsinin və aşağı işləmə gərginliyinə malik olması bu tip qeydedicilərin məhz belə təcrübələrdə tətbiqinə imkan verə bilər [8, 9]. Lakin MSFD-3NK tipli fotodiodlarının aşağı temperaturlarda aparılan təcrübələrdə tətbiqi zamanı işlək parametrlərinin saxlanmasının tədqiq edilməməsi onların aşağı temperatur detektorlarında istifadəsini məhdudlaşdırır bilər. Məhz buna görə də MSFD-3NK tipli fotodiodların parametrlərinin aşağı temperaturda tədqiq edilməsi olduqca vacibdir. Təqdim edilən iş MSFD-3NK tipli fotodiodların parametrlərinin $-108^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$ temperatur intervalında dəyişməsinin tədqiq edilməsinə həsr edilmişdir.

Ekspperimental qurğu və təcrübi nəticələr. İşdə MAPD kollaborasiya çərçivəsində hazırlanmış MSFD-3NK tipli fotodiodlardan istifadə edilmişdir. Aparılan təcrübələr Rusiyanın Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutunda həyata keçirilmişdir. İstifadə edilən fotodiodun parametrləri aşağıdakı kimi olmuşdur: piksel sıxlığı $10000 \text{ piksel/mm}^2$, işçi gərginliyi 90V, tutumu - 180pF, foton qeydetmə effektivliyi - 40% və sahəsi $3.7 \times 3.7 \text{ mm}^2$. Aşağı temperaturun alınması üçün maye azotdan istifadə edilmiş və azota daxil olma dərinliyini dəyişməklə lazım olan temperatur təmin edilmişdir. Ölçmələr zamanı temperaturun dəyişməsi 1% olmuşdur. Hazırlanmış təcrübi dövrə şəkil 1-də verilmişdir. Təcrübi dövrə gücləndiricilərdən (G1 və G2), temperaturu təyin etməyə imkan verən rezistordan, işıqlandırıcı fotodioddan, Keithley-6487 mənbəyindən, CAEN-5720 analoq rəqəm çeviricisindən (ARÇ) və generatordan ibarət olmuşdur. Təcrübədə azot daxilində yerləşən gücləndiricinin (G1) gücləndirmə əmsalı 50 və kreostatdan xaricdə yerləşən gücləndiricinin (G2) gücləndirmə əmsalı 38 olmuşdur. MSFD-3NK tipli fotodiodunun xassələri tədqiq edilərkən fotodiodun üzərinə işığın ötürülməsi üçün 1 mm diametrli optik fiber kablədən istifadə edilmişdir. Bu yolla LED işıqlandırıcı diodunun xassələrinə temperaturun təsiri aradan qaldırılmışdır. Bununla yanaşı aşağı temperaturlarda diodun səthində maye qabarcıqlarının yaranmaması üçün silkogeldən istifadə edilmişdir. Daha sonra gücləndirilmiş siqnal CAEN-5720 analoq rəqəm çeviricisi vasitəsi ilə işlənərək personal kompüterdə saxlanması təşkil edilmişdir. Siqnalların işlənməsi zamanı C++ proqramlaşdırma dilində yazılmış alqoritmlərdən istifadə edilmişdir.

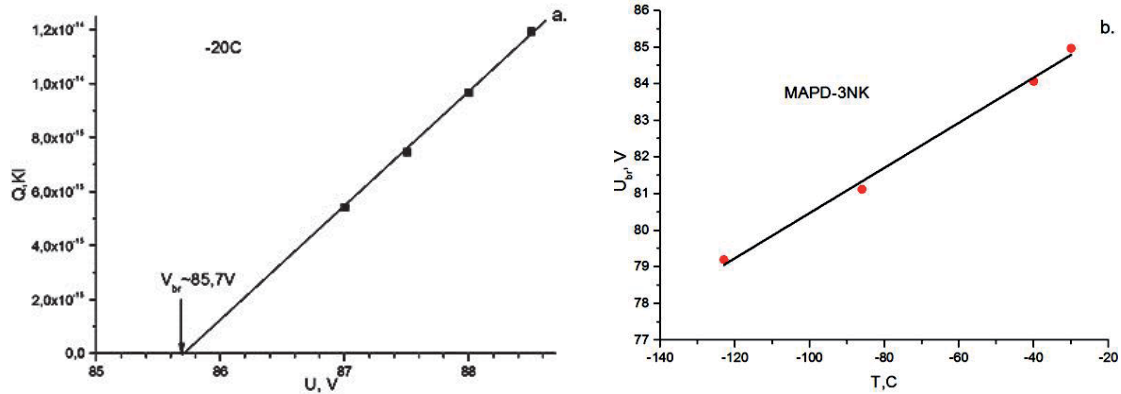


Şəkil 1. Ekspperimental dövrə

MSFD-3NK tipli fotodiodların aşağıdakı parametrləri temperaturdan asılı olaraq tədqiq edilmişdir: dəşilmə gərginliyi, qaranlıq say (QS), birinci fotoelektronun pikinə uyğun gələn amplitud ayırılması və pikselin tutumu. Dəşilmə gərginliyi və zəif foton selinin qeydedilməsi zamanı impuls generatorundan, CAEN-5720 ARÇ -dən və gücləndiricilərdən istifadə edilmişdir. Siqnalın ümumi gücləndirilməsi ($G1 \times G2$) 1900 olmuşdur. Spektrlər çəkilən zaman CAEN-ni generatorun sinxron çıxışına birləşdirilmiş və inteqrallanma sərhədi mümkün qədər minimum seçilmişdir. İlkin olaraq aşağı temperaturda istifadə edilən gücləndiricinin (G1) parametrlərinin temperaturdan asılılığı tədqiq edilmişdir. Məlum olmuşdur ki, istifadə edilən gücləndiricinin gücləndirmə əmsalı temperaturdan asılı olaraq bu qanunla dəyişir: $G=483.2+0.1212 \times T-0.0109 \times T^2$. Temperatur -100°C olduqda gücləndirmə əmsalının azalması 23%-dən çox olmuşdur. Məhz bu dəyişmələr ölçmələr zamanı nəzərə alınmışdır. Selvari fotodiodların gücləndirmə əmsalının temperaturdan asılılığını təyin edərkən 450nm dalğa uzunluqlu işıqlandırıcıya generatordan tezliyi 1kHz, davam etmə müddəti 30nsan və amplitudu 3,34V olan (–) qütblü impulsalar tətbiq edilmişdir. Bu zaman MSFD-3NK tipli

fotodiodunun fotoqeydetmə effektivliyi (FQE) etalon fotodiodla müqayisədə 5 dəfə yüksək olmuşdur.

Şəkil 2.a-da MSFD-3NK tipli fotodiodun -20°C temperaturda birinci fotoelektrona uyğun gələn yükün gərginlikdən asılılığı qurulmuşdur. Təqribən hər temperaturdadeşilmə gərginliyindən 2V yuxarı gərginliyə qədər gərginlik tətbiq edilmişdir. Deşilmə gərginliyi olaraq yükün gərginlikdən (Q-V) asılılığına uyğun gələn xəttin $Q=0$ olduqda gərginlik xəttini kəsdiyi nöqtə seçilir. Şəkil 2-dən görüldüyü kimi -20°C -də MSFD-3NK tipli fotodiodlarındeşilmə gərginliyi 85,7V olmuşdur. Tətbiq edilən gərginlik intervalında MSFD-3NK tipli fotodiodun gücləndirmə əmsalı $3,3-7,4 \times 10^4$ arasında dəyişmişdir.



Şəkil 2. MSFD-3NK fotodiodunun tək elektronlu pikinə uyğun gələn yükün gərginlikdən (a.) vədeşilmə gərginliyinin temperaturdan (b.) asılılığı

Şəkil 2.b-də MSFD-3NK tipli fotodiodun U_{br} deşilmə gərginliyinin temperaturdan asılılığı verilmişdir. Məlum olmuşdur ki, MSFD-3NK tipli fotodiodundeşilmə gərginliyi temperaturdan asılı olaraq xətti qanunla dəyişir: $U_{br} = 86,64 + 0,0616 \times T$. Burada T - xarici mühitin temperaturudur və selsi ilə ifadə edilir. Alınan nəticələrdən məlum olmuşdur ki, MSFD-3NK tipli fotodiodundeşilmə gərginliyi sabiti $61 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ olmuşdur. Bu isə mövcud olan analoqlarına nisbətən temperaturdan 7 % daha zəif asılı olduğunu göstərir. Başqa sözlə MSFD fotodiodlara eyni bir ifrat gərginlik tətbiq etdikdə onların gücləndirmə əmsalı temperatur artdıqca azalır və ya əksi olduqda isə gücləndirmə əmsalı artır. Belə yüksək sahədə temperatur azaldıqca MSFD fotodiodun gücləndirmə əmsalının artması yükdaşıyıcıların optik fanonları buraxdığı müddətə qədər getdiyi yolun orta uzunluğun artması hesabına baş verir. Bu zaman yükdaşıyıcıların iki toqquşma arasında daha çox enerji əldə edərək qısa müddətdə astana enerjisini (3,6 eV) əldə edir və zərbə ilə ionizasiya baş verir. Bu isədeşilmə gərginliyinin aşağı gərginliklər oblastına sürüşməsinə imkan verir. Lakin temperatur artdıqca qeyd edilmiş ifrat gərginlikdə güclənmə əmsalının azalması vədeşilmə gərginliyinin artması məhz yükdaşıyıcıların optik fanonlara enerji vermə ehtimalının (qaçış yolunun azalması) artması ilə bağlıdır. Gücləndirmə əmsalını artırmaq üçün selvari proses baş verən oblastda elektrik sahəsini artırmaq lazımdır bu isə yalnız gərginliyin artırılması yolu ilə mümkündür (və yadeşilmə gərginliyin sürüşməsi hesabına mümkün olur). Məhz bu səbəbdən də yuxarı temperaturlarda MSFD fotodioddadeşilmə gərginliyi artır. Bununla yanaşı ionizasiyanı xarakterizə edən digər bir kəmiyyət qadağan olunmuş zonanın enidir və bu kəmiyyət temperaturdan asılı olaraq dəyişir. Bizim halda temperatur intervalının təqribən -90°C olmasına baxmayaraq qadağan olunmuş zonanın eninin dəyişməsi təqribən 2 % yaxın olmuşdur.

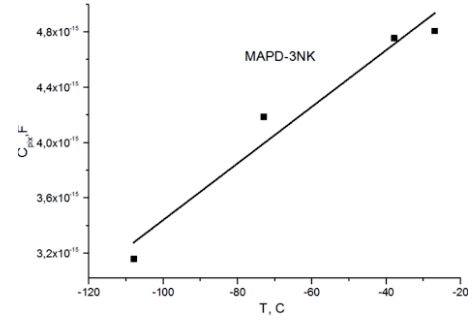
MSFD-3NK fotodiodlarının pikselin tutumunu hesablamaq üçün dQ/dU nisbəti hesablanmış və hər pikselin tutumu üçün $C_{pik} \sim 4,8 \times 10^{-15} \text{ F}$ alınmışdır. Daha sonra müxtəlif temperaturlarda -38°C , -73°C və -108°C piksellərə uyğun gələn tutumun orta qiymətinin dəyişməsinə baxılmışdır.

dır (şəkil 3). Məlum olmuşdur ki MSFD-3NK tipli fotodiodun piksellərinin tutumunun orta qiyməti temperatur azaldıqca xətti azalır: $C_{\text{pik}} = 5,489 \times 10^{-15} + 2,048 \times 10^{-17} \times T$. Ümumi temperatur dəyişməsi -80°C olduqda belə tutumun dəyişməsi 34%-dən çox olmamışdır.

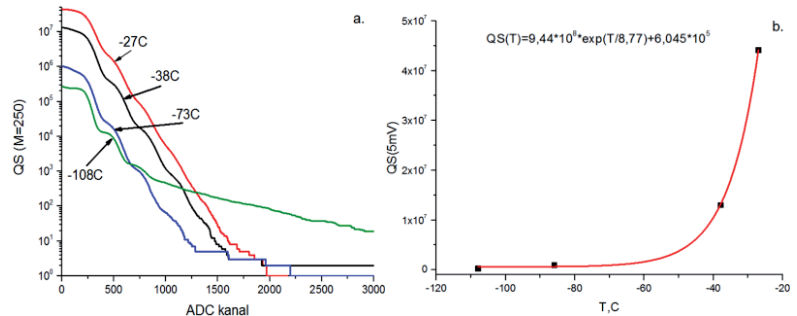
MSFD fotodiodların qaranlıq sayını tədqiq edərkən işıqlandırıcı fotodiodlardan istifadə edilməmişdir. Analoji olaraq iki gücləndiricidən və siqnalın çevrilməsi üçün isə CAEN analoq rəqəmsal çeviricisindən istifadə edilmişdir. Siqnalın qeyd edilməsi zamanı triqer olaraq siqnalın özündən istifadə edilmişdir. Mə-

lumdur ki, qaranlıq say (QS) sürəti əsasən iki növ hadisələr hesabına formalaşır: selvari oblastın $p-n$ keçidində yaranan termal yükdaşıyıcılar və gecikən impulsar hesabına. Termal yükdaşıyıcıların konsentrasiyası generasiya mərkəzlərinin sayından və temperaturdan asılıdır. Bununla yanaşı MSFD fotodioda tətbiq edilən ifrat gərginlik artdıqca sahə hesabına yükdaşıyıcıların generasiya mərkəzindən keçirici zonaya keçmə sürəti artır və bu isə öz növbəsində QS dəyişməsinə səbəb olur. Məhz ona görə də ölçmələr fərqli temperaturlarda və fərqli gücləndirmə əmsallarında aparılmışdır. Şəkil 4a-da qaranlıq elektronlara uyğun gələn amplitud paylanması göstərilmişdir. Ölçmələrin yuxarı temperaturu -27°C olmuşdur. Buna səbəb isə yuxarı temperaturlarda QS çox yüksək olması nəticəsində tək elektronlu amplitud paylanması müşahidə edilə bilməməsidir. Qaranlıq elektronlara uyğun gələn amplitudlar millivoltlar tərtibində olmuşdur. Daha sonra isə 5mV astana qiymətinə uyğun gələn qaranlıq sayın eyni bir gücləndirmə əmsalında temperaturdan asılı olaraq dəyişməsi tədqiq edilmişdir. Gücləndirmə əmsalını eyni seçməklə yalnız temperaturun QS-in dəyişməsinə təsiri öyrənilmişdir. Şəkil 4b-dən görünürdü ki QS temperaturdan asılı olaraq eksponensial qanunla dəyişir və temperatur fərqi -81°C olduqda QS təqribən 169 dəfə azalmışdır.

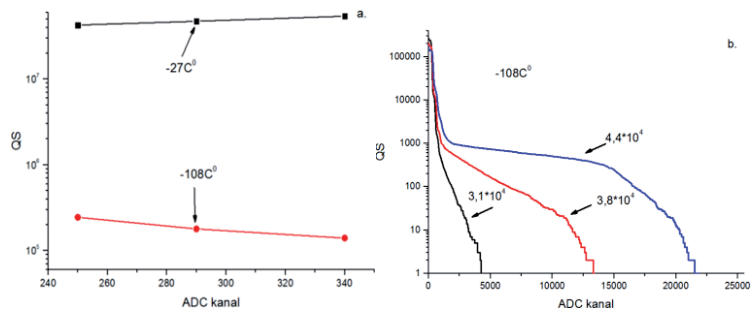
Bundan əlavə eyni bir temperaturda birinci qaranlıq elektrona uyğun gələn qaranlıq sayın gücləndirmə əmsalından asılılığına da baxılmışdır (şəkil 5). Bu zaman yalnız gücləndirmə əmsalının QS-yə təsiri öyrənilmişdir. Ölçmə temperaturu -27°C seçildikdə gücləndirmə əmsalı 36% artdıqda QS artması bu zaman 28%-ə yaxın olmuşdur. QS-nin gücləndirmə əmsalı artdıqca artması MSFD fotodiodlarında qaranlıq elektronların sayının artması və bu yükdaşıyıcıların selvari prosesi başlatma ehtimalının yüksək olması ilə bağlı olmuşdur. Lakin ölçmə temperaturu -108°C seçildikdə gücləndirmə əmsalı 36% artdıqda tək elektrona uyğun



Şəkil 3. MSFD-3NK fotodiodlarının piksellərinin tutumunun temperaturdan asılılığı



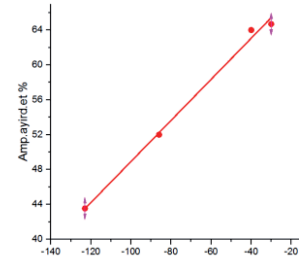
Şəkil 4. MSFD-3NK fotodiodlarının qaranlıq sayının (a) və 5mV astana qiymətində qaranlıq sayının (b) temperaturdan asılılığı



Şəkil 5. MSFD-3NK fotodiodlarında qaranlıq sayın gücləndirmə əmsalından asılılığı

QS-nin azalması 75%-ə yaxın olmuşdur. Belə dəyişmələr isə yalnız -70°C -dən aşağı temperaturalarda müşahidə edilməyə başlanmışdır. Belə dəyişmələrin müşahidə edilməsi yalnız gecikən impulsların müşahidə olunma ehtimalının artması ilə bağlı ola bilər. Məlum olduğu kimi yuxarı temperaturlarda da selvari prosesdə yaranan yükdaşıyıcılar müəyyən kiçik bir ehtimalla tutma mərkəzləri tərəfindən tutulur və bu mərkəzlər yükdaşıyıcılarını qısa bir zaman müddətində buraxır. Lakin aşağı temperaturlarda tutma mərkəzlərinin yükdaşıyıcıları buraxma müddəti $\tau_i = \tau_0 \times \exp(E_i/kT)$ qanun ilə dəyişir. Burada τ_0 - yükdaşıyıcının növündən və zona quruluşundan asılıdır, E_i - tutma mərkəzinin aktivasiya enerjisi, k - Bolsman sabiti və T - temperaturdur.

Aşağı temperaturda tutma mərkəzlərinin selvari prosesdən yaranan yükdaşıyıcıları tutma ehtimalı kəskin artır və demək olar ki, hər selvari prosesdə yaranan yükdaşıyıcıların müəyyən hissəsi tutma mərkəzləri tərəfindən tutulur. Bu mərkəzlərdə yükdaşıyıcılar uzun müddət qala bilər və müxtəlif zaman müddətində buraxılırlar. Belə olduğu halda aşağı temperaturlarda dayaz səviyyəli müxtəlif tutma mərkəzləri fərqli zaman müddətində yükdaşıyıcıları buraxırlar və bunlar çox saylı piksellərdə selvari prosesi başlatdırırlar. Bunun nəticəsində də Gİ kimi buraxılan yükdaşıyıcılar qeyd edilən siqnalın amplitudunun yuxarı enerji oblastına sürüşməsinə imkan verir. Gücləndirmə əmsalı artdıqca bu hadisələrin amplitudu və sayı da kəskin artır. Alınan nəticələr göstərmişdir ki, aşağı temperaturda QS yaranmasında əsasən Gİ əsas rol oynayır və bunun nəticəsində amplitudun artması müşahidə edilir. Həmçinin müəyyən edilmişdir ki, amplituda uyğun gələn ayırdetmə gücləndirmə əmsalı artdıqca xətti olaraq artır. Gücləndirmənin artması eyni ilədə FQE-nin artmasına səbəb olur. Məhz ona görə də amplituda görə ayırdetmənin temperaturdan asılı olaraq dəyişməsinə tədqiq etmək üçün eyni gücləndirməni seçmək olduqca əhəmiyyətlidir. Bunun üçündə spektrdən birinci qaranlıq elektrona uyğun gələn pikin standart kənara çıxmasının amplituda nisbəti qurulmuşdur (şəkil 6).



Şəkil 6. Amplitud ayırdetməsinin temperaturdan asılılığı.

Eyni bir gücləndirmə əmsalında birinci qaranlıq elektrona uyğun gələn pikin amplituda görə ayırd etməsi -30°C -də 64.7%, -40°C -də 64%, 86°C -də 52% və -123°C -də amplituda görə ayırdetmə 43.5% olmuşdur. Başqa sözlə temperatur azaldıqca amplituda görə ayırdetmə azalır və -93°C temperatur fərqi olduqda ayırdetmə 32%-ə kimi yaxşılaşır. Tək fotoelektrona uyğun gələn amplitud ayırd etməsi temperaturdan asılı olaraq xətti qanunla dəyişmişdir ($\text{Amp. ayırd. Etm} = 72.5 + 0.2357 \cdot T$).

Alınan nəticələr bir daha sübut etmişdir ki MSFD-3NK fotodiodları aşağı temperatur detektorlarında uğurla tətbiq oluna bilər.

Nəticə. Təcrübi nəticələrdən müəyyən edilmişdir ki, MSFD-3NK fotodiodlarının dəşilmə gərginliyi sabiti $61\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ tərtibindədir və temperatur azaldıqca dəşilmə gərginliyi xətti azalır. MSFD-3NK fotodiodlarının QS temperatur fərqi -81°C -ə olduqda 169 dəfə azalaraq yaxşılaşır. Aşağı temperaturlarda (-70°C -dən kiçik) qaranlıq sayın yaranmasında gecikən impulsar əsas rol oynayır. Bununla yanaşı göstərilmişdir ki, tək fotoelektrona uyğun gələn amplituda görə ayırdetmə temperatur fərqi -93°C -ə olduqda 32%-ə kimi yaxşılaşır. Başqa sözlə alınan nəticələr göstərmişdir ki, MSFD-3NK fotodiodları aşağı temperaturlarda aparılan təcrübələrdə uğurla tətbiq oluna bilər.

REFERENCES

1. P. Ade, et al., Planck 2013 results. XVI. Cosmological parameters. arxiv:1303.5076.
2. Laura Baudis, WIMP dark matter direct-detection searches in noble gases, Physics of the Dark Universe, Volume 4, 2014, p. 50-59.
3. L. Baudis, G. Kessler, P. Klos, R. Lang, J. Menendez, et al., Signatures of dark matter scattering inelastically off nuclei, Phys. Rev. D88 (2013) 115014. arxiv: 1309.0825, <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.88.115014>.

4. **A. de Bellefon, I. Berkes and et.al.**, Dark matter search with a low temperature sapphire bolometer, Astroparticle Physics, Vol. 6, 1996, p. 35-43.
5. **N.J.C. Spooner**. Tests on low temperature calorimetric detectors for dark matter experiments, Volume 245, number 2 PHYSICS LETTERS B, 1990, p.265-270.
6. **Sadygov Z., Olshevski O., Chirikov I. et al.** Three advanced designs of micro-pixel avalanche photodiodes: Their present status, maximum possibilities and limitations // Nucl. Instrum. Meth. A, 2006, V. 567, p. 70-73.
7. **Ivashkin A., Akhmadov F., Asfandiyarov R., Bravar A., Blondel A., Dominik W., Fodor Z., Gazdzicki M., Golubeva M., Guber F., Hasler A., Korzenov A., Kuleshov S., Kurepin A.** Hadron calorimeter with MAPD readout in the - NA61/SHINE experiment, arxiv preprint arXiv:1205.4864.
8. **Ahmadov F., Ahmadov G., Guliyev E., Madatov R., Sadigov A., Sadygov Z., Suleymanov S.** New gamma detector - modules based on micropixel avalanche photodiode, Journal of Instrumentation, V12, N01, 2017, p. C01003.
9. **Sadygov A.Z., Ahmedov F.I., Sulejmanov S.S., Abdullaev H.I., Muhtarov R.M.** Process izgotovleniya lavinnyh fotodiodov s poverhnostnymi mikropikselyami // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının xəbərləri, Bakı, 2018, cild 10, №3, s. 103-107.
Садыгов А.З., Ахмедов Ф.И., Сулейманов С.С., Абдуллаев Х.И., Мухтаров Р.М. Процесс изготовления лавинных фотодиодов с поверхностными микропикселями // Вестник Азербайджанской инженерной академии, Баку, 2018, Т.10, №3, с. 103-107.

Redaksiyaya daxil olub:	14.11.2018
Tamamlama işlərindən sonra:	18.05.2019
Nəşrə qəbul edilib:	20.05.2019

ИССЛЕДОВАНИЕ КРЕМНИЕВЫХ ФОТОЭЛЕКТРОННЫХ УМНОЖИТЕЛЕЙ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Ф.И. АХМЕДОВ, Ф.Н. АБДУЛЛАЕВ, Г.С. АХМЕДОВ, Р.А. АКБЕРОВ, С.М. НУРИЕВ,
А.З. САДЫГОВ, С.С. СУЛЕЙМАНОВ, Р.М. МУХТАРОВ

В работе представлены результаты исследования физических параметров кремниевых фотоэлектронных умножителей МЛФД-3НК, которые были изготовлены в рамках MAPD коллаборации. Выявлено, что с изменением температуры на 1°C пробивное напряжение фотодиодов МЛФД-3НК изменяется на 61мВ. Темновой счет фотодиода с уменьшением температуры понижался, и при разности -81°C темновой счет уменьшился в 169 раз. При низких температурах на создание темнового счета главным образом влияют фотоэффекты после импульсов. Также амплитудное разрешение сигнала, соответствующее первому фотоэлектрону, из-за изменения температуры на -93°C уменьшилось до 32%. Таким образом, была подтверждена возможность применения этих фотодиодов в низкотемпературных детекторах.

Ключевые слова: кремний, фотоэлектрон, фотодиод, температура, детектор.

STUDY OF SILICON PHOTO-ELECTRON MULTIPLIERS AT LOW TEMPERATURES

F.I. AHMADOV, F.N. ABDULLAYEV, G.S. AHMADOV, R.A. AKBEROV, S.M. NURIYEV,
A.Z. SADIGOV, S.S. SULEYMANOV, R.M. MUKHTAROV

This paper presents the results of a study of the physical parameters of silicon photomultipliers called MAPD-3NK that were manufactured in a frame of MAPD collaboration. It was found that the MAPD-3NK photodiodes with a temperature change of 1°C, the breakdown voltage is changed to 61mV. The dark count of the photodiode decreased with decreasing temperature and, with a difference of -81°C, the dark count decreased 169 times. It was revealed that, at low temperatures, the creation dark count is mainly affected by the after pulses effects. Also, the amplitude resolution of the signal corresponding to the first photoelectron decreased to 32% depending on the temperature change of -93 °C. Thus, the possibility of using these photodiodes in low-temperature detectors was confirmed.

Keywords: silicon, photoelectron, photodiode, temperature, detector.

УДК 622.276.43

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СКВАЖИН – ОСНОВНОЙ ФАКТОР СИСТЕМНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А.Х. ШАХВЕРДИЕВ*

В работе предложен метод диагностирования взаимодействия скважин участка нефтяной залежи методом корреляционного анализа. При взаимодействии нескольких скважин, работающих на одном участке, любые изменения режима работы на одной скважине отражаются на работе другой, степень взаимодействия скважин определяется коэффициентом корреляции. Наиболее простым и удобным показателем тесноты связи является коэффициент ранговой корреляции Спирмена, который использован в работе. Полученные результаты при сравнительном анализе подтверждаются результатами трассерных исследований. Предложенный научно-методический подход в сочетании с дискриминантным критерием формирует правила и практические рекомендации для объектов разработки.

Ключевые слова: корреляционный анализ, коэффициент ранговой корреляции Спирмена, взаимодействие нагнетательных и добывающих скважин, трассерные исследования, карта изокор, дискриминантный критерий, повышение нефтеотдачи пластов, интенсификация добычи нефти.

Введение. Системные исследования при решении задач нефтегазодобычи в первую очередь нацелены на установление взаимодействия и взаимовлияния объектов наземных и подземных коммуникаций разрабатываемых нефтяных месторождений. Особый интерес представляют теоретические и экспериментальные исследования, устанавливающие причинно-следственную и (или) статистическую связь и закономерности взаимодействия скважин добывающего и нагнетательного фонда по жидкости, воде, нефти. Сложная система фильтрации флюидов в неоднородной среде при наличии взаимодействия между эксплуатационными скважинами, как по пласту, так и по наземным коммуникациям, перманентно влияет на режимы работы скважин и тем самым обесценивает усилия по индивидуальной оптимизации каждой из скважин без учета взаимовлияния соседних скважин. Как правило, такое состояние не означает оптимальной работы всей пластовой системы [1-2].

Предлагаемый фрагмент системного подхода позволяет устанавливать тенденции развития пластовой системы, контролировать перераспределение гидродинамических потоков флюидов, предотвращать последствия неустойчивости фронта вытеснения и образования фрактальных структур обводнения, осуществлять оптимизацию путем регулирования

* Институт системных исследований, РАЕН

технологических режимов работы группы взаимодействующих скважин, обеспечивая при этом надежную технологическую эффективность и оптимальность заводнения в целом по объекту разработки.

Следует отметить, что наличие фактических промысловых данных недостаточно для принятия решения и без научно-обоснованной интерпретации и трансформации традиционной пассивной промысловой информации в конкретные и необходимые элементы знания об объекте разработки.

Цель работы - исследование взаимодействия скважин в органическом сочетании с другими составляющими системного подхода.

Статистические закономерности взаимодействия скважин.

Наиболее простым показателем, характеризующим тесноту взаимосвязи параметров процесса, является коэффициент ранговой корреляции Спирмена, который позволяет значительно сократить объем вычислений и при этом сохранить надежность и необходимую достоверность результатов [1-3].

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена для несвязанных рангов вычисляется по формуле:

$$R_s = 1 - \frac{6S_r}{n^3 - n} \quad (1)$$

где $S_r = \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2$, $i = 1:n$, x_i – ранги, присвоенные первому свойству или признаку; y_i – соответствующие ранги, присвоенные второму свойству или признаку; n – максимальное число точек в выборке.

Для связанных рангов коэффициент Спирмена представляется в следующем виде:

$$R_s = \frac{\frac{1}{6}(n^3 - n) - S_r - T_1 - U_1}{\sqrt{\left[\frac{1}{6}(n^3 - n) - 2T_1 \right] \left[\frac{1}{6}(n^3 - n) - 2U_1 \right]}}, \quad (2)$$

где $T_1 = \frac{1}{12}(t^3 - t)$, $U_1 = \frac{1}{12}(u^3 - u)$, t и u – соответственно количество связанных рангов первой и второй ранжированных последовательностей. Если количество связанных рангов невелико, то вклад их в определение R_s незначителен и значениями t и u можно пренебречь, соответственно формула (2) принимает вид формулы (1).

Ниже демонстрируется способ оценки статистической значимости полученных значений коэффициента Спирмена на основе способа определения критических значений статистик, предложенного в работе [4] и применимого для выборки $n > 10$.

Необходимые зависимости для вычисления критических значений коэффициента Спирмена для заданного уровня значимости, при условии, что коэффициенты ранговой корреляции приближенно распределены нормально [3], определяются по формулам:

$$P(R_1 > R) = 1 - \Phi \left\{ \sqrt{1 - nR} \left[1 + 0.19 \left(R^2 - \frac{3}{n-1} \right) \right] \right\} = 1 - \Phi(\sqrt{1 - nR}) \quad (3)$$

$$R(\alpha, n) = \frac{\varphi(1-Q)}{\sqrt{n-1}} \left\{ 1 - \frac{0.19}{n-1} [\varphi^2(1-Q) - 3] \right\} \approx \frac{\varphi(1-Q)}{\sqrt{n-1}} \quad (4)$$

$\Phi(x)$ и $\phi(p)$ - функция и обратная функция нормального распределения с параметрами (0,1); Q - уровень значимости одностороннего критерия, как правило, равный 0,05; R - верхнее критическое значение коэффициента ранговой корреляции Спирмена; значения $\Phi(x)$ и $\phi(p)$ следует определять из таблиц в [4].

Для определения взаимосвязи между параметрами работы скважин на исследуемом участке рассчитываются коэффициенты парной корреляции между значениями приемистости нагнетательных скважин и добычей нефти, воды, жидкости добывающих скважин.

В практике применения формулы Спирмена может сложиться ситуация, когда использование коэффициента парной корреляции недостаточно, а именно, коэффициенты Спирмена между дебитами скважин могут оказаться «зашумленными», т.е. наличие или отсутствие связей между двумя скважинами обусловлены влиянием третьей скважины. Для исключения влияния соседних взаимодействующих скважин необходимо элиминировать влияние третьих скважин с помощью частных коэффициентов корреляции. Коэффициенты частной корреляции, которые характеризуют связь между двумя явлениями при исключении третьего, рассчитываются по формулам:

$$R_{1-2}^{(3)} = \frac{R_{1-2} - R_{1-3}R_{2-3}}{\sqrt{(1-R_{1-3}^2)(1-R_{2-3}^2)}}; \quad R_{1-3}^{(2)} = \frac{R_{1-3} - R_{1-2}R_{2-3}}{\sqrt{(1-R_{1-2}^2)(1-R_{2-3}^2)}}; \quad R_{2-3}^{(1)} = \frac{R_{2-3} - R_{1-2}R_{1-3}}{\sqrt{(1-R_{1-2}^2)(1-R_{1-3}^2)}} \quad (5)$$

где $R_{1-2}^{(3)}$; $R_{1-3}^{(2)}$; $R_{2-3}^{(1)}$ - коэффициенты частной корреляции; R_{1-2} , R_{1-3} , R_{2-3} - коэффициенты парной корреляции; 1, 2, 3 - индексы скважин. Наличие взаимодействия между скважинами определяется путем сравнения коэффициента частной корреляции с критическим. Уточнение частными коэффициентами корреляции предварительно рассчитанных парных коэффициентов корреляции повышает не только достоверность картины взаимодействия, но и степень мобильности закачиваемой воды. Необходимо отметить, что теснота взаимодействия скважин со временем меняется, при этом для дальнейшего анализа рекомендуется сохранять и сравнивать расчеты связей.

В таблице 1 в качестве примера приведены исходные данные и промежуточные итоги для расчетов корреляции по отборам жидкости трех скважин: С1, С2 и С3. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена для несвязанных рангов (скважины С1, С2) вычисляется по формуле (1), для связанных рангов (скважина С3) используется формула (2). Коэффициенты частной корреляции для пар скважин при элиминировании влияния третьей рассчитывались по формулам (5).

Таблица 1

**Исходные данные и промежуточные итоги для расчетов корреляции
по отборам жидкости трех скважин: С1, С2 и С3**

№ п/п	q _ж скв. С1	Ранг Р1	q _ж скв. С2	Ранг Р2	q _ж скв. С3	Ранг Р3	(Р1-Р2)^2	(Р1-Р3)^2	(Р2-Р3)^2
1	1	1735	1	1033	1	2264	2	0	1
2	2	1641	3	643	3	2235	3	0	0
3	3	1645	2	770	2	2287	1	0	1
4	4	1382	6	459	12	2016	5	36	1
5	5	1264	9	536	4	1843	8	25	1
6	6	933	31	503	8	1858	7	529	576
7	7	934	30	474	9	1861	6	441	576
8	8	1078	22	522	5	2102	4	289	324

9	9	1098	20	509	7	1726	9	169	121
10	10	1230	12	511	6	1378	10	36	4
11	11	1241	11	230	28	679	24	289	169
12	12	1176	14	370	19	782	19	25	25
13	13	1246	10	379	17	904	11	49	1
14	14	1145	15	267	24	861	14	81	1
15	15	1142	16	461	11	888	12	25	16
16	16	1007	27	465	10	853	15	289	144
17	17	585	33	148	31	789	18	4	225
18	18	882	32	377	18	840	17	196	225
19	19	452	34	255	25	552	29	81	25
20	20	1065	23	139	32	671	26	81	9
21	21	1004	28	135	33	674	25	25	9
22	22	1040	26	305	21	443	30	25	16
23	23	1123	18	300	22	442	31	16	169
24	24	1103	19	225	30	308	34	121	225
25	25	1091	21	294	23	314	33	4	144
26	26	1046	24	229	29	847	16	25	64
27	27	1134	17	237	26	660	27	81	100
28	28	1212	13	232	27	886	13	196	0
29	29	1042	25	126	34	731	21	81	16
30	30	963	29	383	16	700	22.5	169	42.25
31	31	1445	4	343	20	374	32	256	784
32	32	1331	7	392	15	755	20	64	169
33	33	1297	8	417	14	700	22.5	36	210.25
34	34	1404	5	420	13	628	28	64	529
Связанных рангов		0		0		2			

В таблице 2 приведены результаты расчетов коэффициентов парной и частной корреляции.

Таблица 2

Результаты расчетов коэффициентов парной и частной корреляции

Пары скважин	C1-C2	C1-C3	C2-C3
Sr	3808	4922.5	1883.5
$(n^3-n)/6$	6545	6545	6545
T1	0	0	0
U1	0	0.5	0.5
Парная корреляция	0.418	0.248	0.712
Частная корреляция	0.355	-0.078	0.692

Таким образом, элиминирование влияния третьей скважины на взаимодействие пары скважин очевидно.

Полученное значение коэффициента можно подвергнуть проверке на статистическую значимость. При $n > 10$ ($n=34$) с помощью формулы (4) находим критическое значение коэффициента ранговой корреляции Спирмена $R(\alpha, n)$. Согласно таблицы в [4] находим соответствие $(1-\alpha) = 2.576$.

$$R(\alpha, n) = \frac{2,576}{5,745} \left\{ 1 - \frac{0,19}{33} (2,576^2 - 3) \right\} = 0,44$$

Наличие достаточного количества взаимодействующих скважин свидетельствует о необходимости использования системного подхода при реализации технологий ПНП и ИДН. Кроме того, оценку технологической эффективности нужно осуществлять по всему участку в целом, так как отбор нефти по обработанным скважинам может привести к снижению отбора по соседним взаимодействующим скважинам.

После получения расчетных параметров по каждой скважине и близлежащим строятся карты изокор. Принцип построения карт равных уровней взаимодействия – изокор [1, 2]: для каждой скважины участка, рассматриваемой как центральная, подсчитывается среднее значение коэффициента корреляции этой скважины с соседними, которые наносятся на карту в точках расположения этих скважин, и строятся изолинии уровней взаимодействия по принятой в геологии процедуре построения карт изолиний (изобар, изохор и т.д.), по которым можно выделить зоны с повышенными и низкими уровнями взаимодействия, а также оценить равномерность дренирования залежи. Периодическое построение и сравнение карт изокор по отборам нефти, воды, жидкости на разные моменты времени позволяет проследить за изменением картины взаимодействия после проведения каких-либо мероприятий. В зонах с повышенным взаимодействием на картах, построенным по отборам воды, увеличение отборов может привести к росту обводненности продукции, преждевременному обводнению скважин, наряду с другими факторами: близость ВНК, наличие подошвенной воды. Согласно дискриминантного критерия [8], по этим скважинам дискриминант по воде ниже нуля $D_6 < 0$, и темп роста воды происходит без насыщения.

Строить карты изокор можно каждые 6-12 месяцев с добавлением новых промысловых данных, затем сравнивать их с картами изокор за предыдущий период. Таким образом можно в динамике исследовать картину взаимодействия между скважинами, оценить выработку залежи и определить местоположение застойных и слабодренируемых зон нефти, уточняющих или подтверждающих результаты предыдущего этапа. Преимущество предложенного анализа состоит в том, что полученная информация косвенно отражает изменения, происходящие в пласте на основе оперативно построенных карт, отражающих тесноту связи фактических отборов по жидкости, нефти и воде эксплуатационных скважин (рис.1, 2, 3).

В работе рассмотрен экспресс-метод анализа взаимодействия скважин, основанный на фактических данных работы скважин: объемов закачки воды в нагнетательные скважины, отборов жидкости, нефти и воды из добывающих скважин. Естественно, требуется изучение данных о геолого-физических свойствах коллектора (наличие высокопроницаемых коллекторов, трещин), данных гидродинамических исследований, трассерных исследований для подтверждения полученных результатов о взаимодействии скважин по значимым коэффициентам корреляции [5-8].

Анализ карт изокор по жидкости, воде и по нефти дает некоторое представление о процессах, происходящих в межскважинном пространстве на уровне статистического анализа. Однако причинно-следственную связь можно установить с помощью прямых трассерных исследований и затем контролировать полученную информацию с помощью карт изокор для отдельных проблемных обособленных участков пласта. Дополнительно можно получить информацию о застойных и слабодренлируемых зонах в межскважинном пространстве, наличии разломов, уточнить ФЕС, неоднородность пласта, скорость движения закачиваемой воды и другие показатели.

В качестве примера рассмотрим участок с нагнетательной скважиной Н1, в которую был закачен индикатор тринатрий фосфат 550 кг в виде водного раствора объемом 6 м³. В результате интерпретации данных, полученных в пробах жидкости в окружающих добывающих скважинах С11-С18, следы индикатора были обнаружены во всех скважинах, но в очень малых количествах (таблица 3).

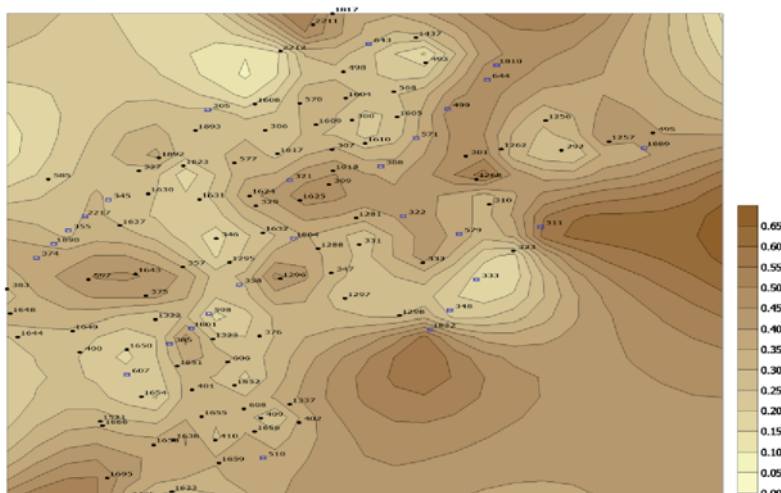


Рис. 1. Карта частных изокор по нефти участка месторождения

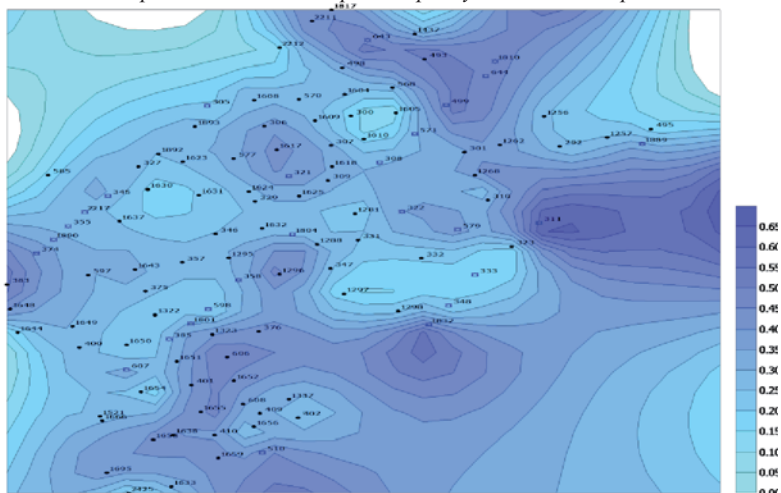


Рис. 2. Карта частных изокор по воде участка месторождения

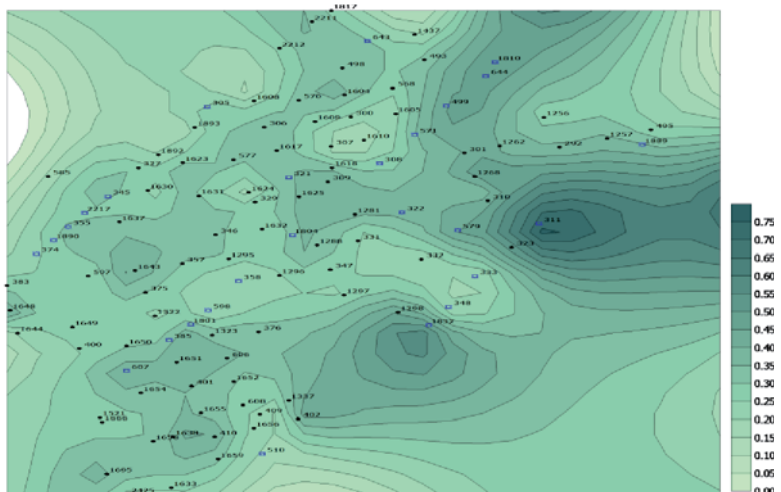


Рис. 3. Карта частных изокор по жидкости участка месторождения

Таблица 3

Результаты трассерных исследований закачки меченой жидкости в скважину Н1

№ n/n	Период отбора проб	Кол-во систем фльтра- ции каналов	Скорости при- хода индикатора		Масса вынесенного индикатора	Суммарный эффективный объем трубок тока	Фактическая проницаемость трубок тока		Сумм. дебит воды, пост. по трубкам тока	Доля воды, пост. по трубкам тока от общего объема
			max	min			max	min		
	сут.	шт.	м/сут.	м/сут.	%	м ³	мкм ²	мкм ²	м ³ /сут.	%
C11	92.3	5	142.8	11.3	3.0E-2	0.9	13.17	1.04	0.05	0.41
C12	92.1	6	63.2	8.4	4.0E-2	2.1	5.77	0.77	0.07	0.50
C13	97.1	7	145.7	11.1	2.5E-2	1.1	17.45	1.33	0.04	0.19
C14	96.9	7	161.0	6.0	0.1	7.7	14.23	0.53	0.19	0.62
C15	96.9	8	200.7	6.2	3.9E-2	2.4	16.84	0.52	0.06	0.64
C16	96.9	6	148.0	10.1	6.4E-2	2.9	21.28	1.45	0.11	0.33
C17	96.9	3	102.7	20.5	3.7E-2	1.6	16.86	3.37	0.06	0.31
C18	96.8	5	122.5	13.7	4.4E-2	1.3	24.20	2.71	0.07	0.36
						20.15			0.66	

Согласно результатам трассерных исследований, гидродинамическая связь между нагнетательной и добывающими скважинами установлена, однако значимость этой связи в каждом конкретном случае необходимо исследовать глубже.

По результатам трассерных исследований видно, что доля воды, поступающей по трубкам тока от общего объема воды, добываемой скважинами, составляет от 0,64% (скважина C15) и 0,62% (скважина C14) до 0,19% (скважина C13). Максимальные скорости прихода индикатора составляют 200,7 м/сут. (скважина C15) и 161,0 м/сут. (скважина C14).

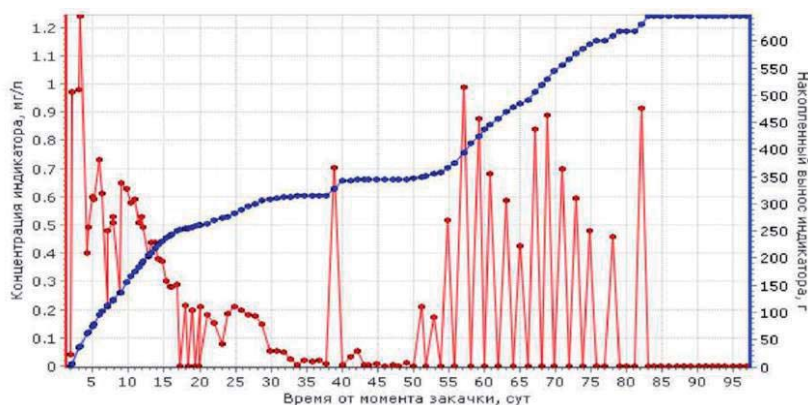


Рис.4. График поступления индикатора в скважину C14

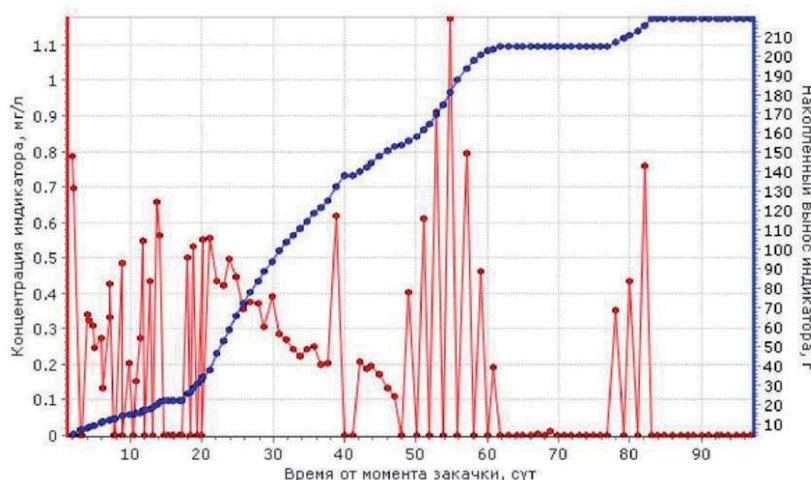


Рис.5. График поступления индикатора в скважину C15

Изменение концентрации по отдельным интервалам (рис. 4, 5) времени «скачками» косвенно подтверждает возможное скачкообразное изменение водонасыщенности при перемещении неустойчивого фронта вытеснения нефти водой. В этих двух соседних взаимодействующих скважинах наблюдается идентичная картина по текущему и накопленному выносу индикатора.

Расчет коэффициентов корреляции между закачкой воды в нагнетательную скважину Н1 и добычей нефти и воды добывающих скважин участка, где был закачен трассер, представлен в таблице 4.

Таблица 4

Значения коэффициентов корреляции в различные периоды времени

Доб. скв.	Данные	08.2015-07.2016	03.2016-02.2017	Дискриминант
С14	нефть	-0.144	0.463	Дн <0
С14	вода	0.245	-0.495	Дв >0
С15	нефть	-0.421	0.570	Дн >0
С15	вода	0.256	-0.177	Дв >0
С18	нефть	-0.728	0.471	Дн >0
С18	вода	-0.062	-0.329	Дв >0
С11	нефть	-0.414	0.139	Дн <0
С11	вода	-0.435	0.634	Дв >0
С17	нефть	-0.561	0.517	Дн >0
С17	вода	-0.513	-0.574	Дв >0
С12	нефть	0.095	0.102	Дн <0
С12	вода	0.648	-0.092	Дв >0
С13	нефть	-0.001	0.514	Дн >0
С13	вода	-0.392	0.292	Дв <0
С16	нефть	0.269	0.361	Дн >0
С16	вода	0.139	0.297	Дв >0

Результаты расчетов за 12 месяцев до закачки трассера показали, что корреляционные связи между закачкой в нагнетательную скважину Н1 и отборами нефти и воды в окружающих добывающих скважинах либо отрицательны (по 6 скв.), либо слабые положительные (по 2 скв.), что свидетельствует о неэффективности режима работы скважин. Последующие 12 месяцев, включающие 4 мес. трассерных исследований, показали наличие положительной корреляции между закачкой и добычей нефти по всем 8 скважинам и отрицательной между закачкой и отборами воды.

После соответствующего регулирования режимов работы скважин участка закачиваемая в нагнетательную скважину Н1 вода стала обеспечивать окружающие добывающие скважины эффективным вытеснением нефти и охватом вытеснением по пласту. Отрицательная корреляция между закачкой и отборами воды по 5 скважинам подтверждает эффективность системы поддержания пластового давления на этом отрезке времени.

Анализ динамической картины за эти 12 месяцев с применением дискриминантного критерия также соответствует предполагаемому поведению показателей, за исключением

скважины С11 с коэффициентом корреляции по воде, равным 0,634. По этой скважине, скорее всего, не следует ожидать прорыва воды, поскольку $D_n < 0$ $D_v > 0$. Для скважины С14 скорость доли воды в потоке по трассерным исследованиям относительно высока: 161 м/с, а по результатам расчета коэффициент корреляции между закачкой воды в нагнетательную скважину Н1 и отбором нефти и воды из скважины С14 составил соответственно до трассерных исследований -0,144 и +0,245, а после регулирования наоборот (+0,463 и -0,495), что является значимым в данных условиях.

Заключение. Показана важная роль фактора взаимодействия фонда добывающих и нагнетательных скважин при оптимизации системы разработки и в частности нестационарного заводнения, как актуальной ключевой технологии нефтегазодобывающей отрасли. Особенно следует отметить взаимодополняемость и сочетаемость методов исследования поставленной задачи: непараметрический статистический анализ с использованием парных и частных корреляционных составляющих, построение карт ихокор, использование результатов трассерных исследований и решающих правил дискриминантного критерия.

В работе представлены результаты теоретических, экспериментальных и промышленных исследований с позиции системных исследований. Сочетание различных методов, в том числе традиционных, направленных на исследование взаимодействия нагнетательных и добывающих скважин с помощью расчета парных коэффициентов корреляции Спирмена, элиминированных частными корреляциями, и их подтверждение с помощью прямых трассерных исследований и дискриминантного критерия открывает новые потенциальные возможности в интерпретации фактора взаимовлияния скважин и дает возможность оптимизировать процесс нестационарного заводнения, рассчитанного на повышение нефтеотдачи пластов и интенсификацию добычи нефти.

Предложенный научно-методический подход является составной частью общей системной концепции разработки месторождений жидких и газообразных углеводородов.

REFERENCES

1. **Mirzajanzade A.H., Shahverdiev A.Kh.** Dinamicheskie processy v neftegazodobyche: sistemnyj analiz, diagnoz, prognoz. M.: «Nauka». 1997. – 254 c.
Мирзаджанзаде А.Х., Шахвердиев А.Х. Динамические процессы в нефтегазодобыче: системный анализ, диагноз, прогноз. М.: «Наука». 1997. – 254 с.
2. **Shahverdiev 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.
3. **Hollender M., Vulf D.** Neparametricheskie metody statistiki. M.: Nauka., 1974, 552s.
Холлендер М., Вульф Д. Непараметрические методы статистики. М.: Наука, 1974, 552с.
4. **Bolshev L.N., Smirnov N.V.** Tablicy matematicheskoy statistiki. M.: Nauka, 1983. 415 s.
Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1983. 415 с.
5. **Mandrik I.Y., Panahov G.M., Shahverdiev A.Kh.** Nauchno-metodicheskie i tehnologicheskie osnovy optimizacii processa povysheniya nefteotdachi plastov. M.: Izdatelstvo «Neftyanoe hozyajstvo». 2010. – 288 s.
Мандрик И.Э., Панахов Г.М., Шахвердиев А.Х. Научно-методические и технологические основы оптимизации процесса повышения нефтеотдачи пластов. М.: Издательство «Нефтяное хозяйство». 2010. – 288 с.
6. **Shahverdiev A.Kh.** Sistemnaya optimizaciya nestacionarnogo zavodneniya s celju povysheniya nefteotdachi plastov. Neftyanoe hozyajstvo (RF), №1, 2019. - S.44-50.
Шахвердиев А.Х. Системная оптимизация нестационарного заводнения с целью повышения нефтеотдачи пластов. Нефтяное хозяйство (РФ), №1, 2019. - С.44-50.
7. **Shahverdiev A.Kh.** Innovacionnyj potencial nestacionarnogo zavodneniya v celyah povysheniya nefteotdachi plastov // Vestnik Azerbajdžanskoj inženernoj akademii. T.11, №1, 2019. S.32-41.
Шахвердиев А.Х. Инновационный потенциал нестационарного заводнения в целях повышения нефтеотдачи пластов // Вестник Азербайджанской инженерной академии. Т.11, №1, 2019. С.32-41.

8. **Shahverdiev A.Kh. Shestopalov Y.V.** Kachestvennyy analiz dinamicheskoy sistemy podderzhaniya plastovogo davleniya s celju povysheniya nefteotdachi zalezhej // XIV Mezhdunarodnaya konferenciya «Novye idei v naukah o Zemle», 2-5 aprelja 2019 g. 18 s.

Шахвердиев А.Х. Шестопалов Ю.В. Качественный анализ динамической системы поддержания пластового давления с целью повышения нефтеотдачи залежей // XIV Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле», 2-5 апреля 2019 г. 18 с.

Поступило в редакцию: 20.10.2018

После доработки: 15.01.2019

Принято к публикации: 19.01.2019

QUYULARIN QARŞILIQLI TƏSİRİ – NEFT YATAQLARININ HAZIRLAMASINDA SİSTEMLİYİN ƏSAS AMİLİ

Ə.X. ŞAHVERDİYEV

Məqalədə korrelyasiya təhlili üsulu ilə neft yataqlarında quyularının qarşılıqlı təsirinin diaqnostik metodu təklif edilib. Bir sahədə işləyən bir neçə quyunun qarşılıqlı təsiri birinin iş rejiminin hər hansı dəyişiklikləri, digərinin işinə təsir edir və quyuların qarşılıqlı təsirinin dərəcəsi korrelyasiyanın əmsalı ilə təyin edilir. Rəbitə sıxlığının ən sadə və rahat göstəricisi məqalədə istifadə edilmiş Spirmenanın dərəcə korrelyasiya əmsalıdır. Müqayisəli təhlil zamanı alınmış nəticələr tədqiqatların trasser tədqiqatları ilə təsdiq edilir. Diskriminant meyarla uyğunluqda təklif edilmiş elmi-metodik yanaşma, işlənmə obyektləri üçün həlledici qaydaları və praktik tövsiyələri formalaşdırır.

***Açar sözlər:** korrelyasiya təhlili, Spirmenanın dərəcə korrelyasiya əmsalı, təzyiq və hasilat quyuların qarşılıqlı təsiri, trasser tədqiqatları, izokor xəritəsi, diskriminant meyar, layların neftveriminin artımı, neftçıxarmanın intensivləşdirməsi.*

INTERACTION OF WELLS – THE MAJOR FACTOR OF SYSTEMACITY WHEN DEVELOPING OIL FIELDS

A.Kh. SHAKHVERDIYEV

The paper proposes a method for diagnosing the interaction of wells in a section of an oil reservoir by the method of correlation analysis. In the interaction of several wells operating in the same area, any changes in the mode of operation in one well affect the operation of another, the degree of interaction of the wells is determined by the correlation coefficient. The simplest and most convenient indicator of the closeness of ties is the Spearman's rank correlation coefficient, which is used in the work. The results obtained in a comparative analysis are confirmed by the results of tracer studies. The proposed scientific and methodological approach in combination with the discriminant criterion forms the rules and practical recommendations for development objects.

***Keywords:** correlation analysis, Spearman's rank correlation coefficient, interaction of injection and production wells, tracer studies, isocore map, discriminant criterion, enhanced oil recovery, enhanced oil recovery.*

УДК 622.276.1

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ «СКВАЖИНА-ПЛАСТ»

Е.В. МАМЕДОВА*

В работе предлагается методика исследования газлифтной скважины при ее пуске, что дает возможность более обосновано применять решение и без дополнительных затрат определить основные показатели пласта и скважины.

Ключевые слова: газлифтный подъемник, касательное напряжение сдвига, объем поглощаемой нефти, пусковое давление.

Введение. Управление процессом разработки нефтяных месторождений тесно связано с интенсификацией нефтедобычи, что обуславливает необходимость определения и уточнения параметров пластовой системы, на основе анализа полученных результатов при проведении ГИС (гидродинамического исследования скважин) [1-5].

Для оперативного принятия решения по регулированию технологических и гидродинамических показателей работы газлифтных скважин предлагается применение экспресс-метода при их пуске.

Постановка задачи. Основная идея предлагаемого способа заключается в определении остаточного объема продавочной жидкости в призабойную пласта. Это позволяет оценить фильтрационно-емкостные характеристики, аналогично результатам снятия индикаторных диаграмм и кривых восстановления давления.

Предлагаемый подход исключает применение различных геолого-технологических мероприятий, требующих определенные затраты средств и времени.

Решение задачи. Как показывает промысловая практика, пуск газлифтной скважины в эксплуатацию – сложный процесс, сопровождающийся динамикой пластовой жидкости, как в самом подъемнике, так и в пласте.

Данный процесс заключается в доведении закачиваемого газового агента в затрубное пространство до уровня башмака подъемных труб, т.е. в «отжати» газом жидкости. При этом вытесняемый флюид перетекает в центральную трубу, что приводит к повышению ста-

* Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (АГУНП)

тического уровня и возникновения депрессии на пласт, которая, в свою очередь, будет способствовать частичному поглощению жидкости пластом.

При условии хорошей проницаемости пласта или наличии в призабойной зоне скважины трещин объем перетока жидкости из скважины в пласт увеличивается. При невысокой проницаемости пласта или наличии на забое скин-фактора, что создает дополнительное сопротивление, пропуск жидкости в пласт ухудшается. В свою очередь, объем поглощающей жидкости будет зависеть также от давления на устье скважины, статического уровня и конструкции самой скважины.

Методика исследования. Произведем расчет определения объема флюида при пуске газлифтной скважины с учетом устьевого давления, конструкции подъемника, физических свойств жидкости, силы сопротивления.

В общем виде данную зависимость для однорядного подъемника можно записать так:

$$V_{\text{пог.}} = f(P_{\text{пус.}}; D; \rho; \mu; h) \quad (1)$$

где $V_{\text{пог.}}$ - объем поглощаемой жидкости; D, d - внутренний диаметр колонны и подъемных труб; h - статический уровень жидкости; ρ - плотность жидкости; μ - динамическая вязкость жидкости; $P_{\text{пус.}}$ - пусковое давление.

На рисунке показана схема газлифтного подъемника при его пуске.

Запишем уравнение равновесия для нефти с учетом касательного напряжения сдвига и ускорения свободного падения в частном виде:

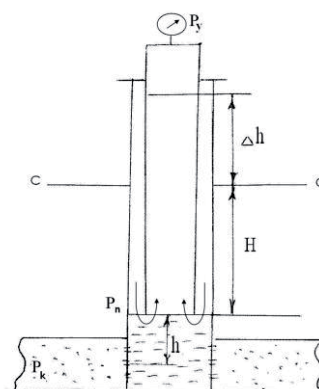


Рис. Схема газлифтного подъемника при его пуске

$$P_{\text{п}} S_{\text{к}} = P_{\text{у}} S_{\text{т}} + \rho g(h + \Delta h) S_{\text{т}} + \tau \chi(h + \Delta h) \quad (2)$$

где $S_{\text{к}}$; $S_{\text{т}}$ - площадь поперечного сечения межтрубной и трубной системы; τ - касательное напряжение сдвига; χ - смоченный периметр подъемника; Δh - повышение уровня в подъемных трубах; h - погружение башмака в подъемных скважинах под статический уровень; ρ - плотность жидкости; g - ускорение свободного падения.

Уравнение равновесия по объему поглощения пластом и поднятия в НКТ примет вид:

$$S_{\text{к}} h = S_{\text{т}} \Delta h + V_{\text{пог.}} \quad (3)$$

Решая совместно уравнения (2) и (3) относительно повышения уровня жидкости в трубе, получим:

$$\frac{P_{\text{п}} S_{\text{к}} - S_{\text{т}} (P_{\text{у}} + \rho g h) - \tau \chi h}{\rho g S_{\text{т}} + \tau \chi} = \frac{1}{S_{\text{т}}} (S_{\text{к}} h - V_{\text{пог.}}) \quad (4)$$

Касательное напряжение сдвига (τ) для ламинарного и турбулентного режима в общем виде записывается по следующей формуле:

$$\tau = \lambda \frac{v^2}{8} \rho \quad (5)$$

где v – средняя скорость движения жидкости в подъемных трубах; λ – коэффициент гидравлического сопротивления.

Учтем, что:

- для ламинарного режима движения жидкости коэффициент гидравлического сопротивления определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (6)$$

- для турбулентного потока жидкости при $Re < 10^5$ коэффициент λ определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{0,3165}{\sqrt[4]{Re}} \quad (7)$$

где $Re = \frac{vD\rho}{\mu}$ – число Рейнольдса.

Принимая во внимание вышесказанное, можно записать уравнение (4) относительно объема поглощения жидкости пластом, которое примет вид:

$$V_{\text{пог.}} = \frac{\pi}{4} \left[(D^2 - d^2)h - \frac{P_{\text{п}}(D^2 - 2d^2) + \rho gh d^2 - \tau \chi h}{\rho g - \frac{4\tau}{d}} \right] \quad (8)$$

Результаты исследования. Как видно, данное уравнение полностью характеризует зависимость объема поглощения жидкости от основных характеристик газлифтного подъемника. Применение данной методики позволит регулировать значения данного объема, что позволяет получить новое направление для изучения основных параметров пласта.

Заключение. Предложена расчетная методика определения объема поглощаемой жидкости при пуске газлифтной скважины. Данная методика дает возможность решать многочисленные задачи совместной работы скважины и пласта.

Получено уравнение для определения объема поглощения в зависимости от основных параметров подъемника и жидкости для конкретной скважины.

REFERENCES

1. Salavatov T.Sh., Dadashzade M.A., Mamedova E.V. Sovmestnaya rabota skvazhin i plasta // Neftepromyslovoye delo, №1, 2013. С.28-30.
Салаватов Т.Ш., Дадашзаде М.А., Мамедова Е.В. Совместная работа скважин и пласта // Нефтепромысловое дело, №1, 2013. С.28-30.
2. Salavatov T.Sh., Dadashzade M.A., Mamedova E.V. Issledovanie gazliftnyh skvazhin v processe ih puska // Vestnik Azerbajjanskoj inzhenernoj akademii, Tom.5. №1, 2013. S.58-63.
Салаватов Т.Ш., Дадашзаде М.А., Мамедова Е.В. Исследование газлифтных скважин в процессе их пуска // Вестник Азербайджанской инженерной академии, Том.5. №1, 2013. С.58-63.

3. **Samarin I.V.** Modelirovanie dvizheniya gaza i zhidkosti v kolcevom prostranstve gazliftnoj skvazhiny // Izvestiya vuzov. Neft i gaz, TGNGU, 2009, №2. S.37-44.
Самарин И.В. Моделирование движения газа и жидкости в кольцевом пространстве газлифтной скважины // Известия вузов. Нефть и газ, ТГНГУ, 2009, №2. С.37-44.
4. **Silash A.P.** Dobycha i transport nefti i gaza. M.: «Nedra», 1980, T. 1, 372 s.
Силаш А.П. Добыча и транспорт нефти и газа. М.: «Недра», 1980, Т. 1, 372 с.
5. **Mamedova E.V.** Opredelenie obyema zhidkosti pri puske gazliftnyh skvazhin // Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Sovremennyye problemy neftegazovogo kompleksa Kazahstana», 2011. S.387-389.
Мамедова Е.В. Определение объема жидкости при пуске газлифтных скважин // Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы нефтегазового комплекса Казахстана», 2011. С.387-389.

Поступило в редакцию:	20.11.2018
После доработки:	23.06.2019
Принято к публикации:	25.06.2019

“LAY-QUYU” SISTEMİNİN VƏZİYYƏTİNƏ OPERATİV NƏZARƏT

Y.V. MƏMMƏDOVA

Qeyd olunan metodika üzrə qazlift quyusunu işə salarkən əlavə xərclərsiz lay və quyunun əsas göstəricilərini həسابlamaq olar.

Açar sözlər: qazlift, sürüşmənin toxunan gərginliyi, layla udulan mayenin həcmi, işə salma təzyiqi.

OPERATIONAL CONTROL OVER THE SYSTEM CONDITION "WELL - REZERVOIR"

E.V. MAMMADOVA

The paper proposes a method for the study of a gas-lift well during its launch, which makes it possible to more reasonably apply the solution and, at no additional cost, determine the main indicators of the formation and well.

Keywords: gas lift, shear stress tangent, volume of absorbed oil, starting pressure.

УДК 622.276.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ В ГЛИНИСТЫХ ПЛАСТАХ

Л.С. ГАДЖИЕВА*

В статье представлены результаты лабораторных экспериментов и промысловых исследований нагнетательных водяных скважин. Выявлено, что при фильтрации воды в глинистых породах имеет место нарушение линейного закона фильтрации Дарси, т. е. существует нелинейный закон фильтрации, при котором с увеличением перепада давления увеличивается проницаемость этих пород. Это объясняется аномальными свойствами водяных плёнок, образующихся на внутренней поверхности твёрдых частиц породы.

Подобные исследования применялись также при разработке и эксплуатации нефтяных месторождений. Проведённые эксперименты и промысловые исследования показали, что при фильтрации воды в глинистых пластах наличие начального градиента давления может быть использовано как резервный источник повышения приёмистости нагнетательных водяных скважин.

Ключевые слова: *фильтрация воды, глинистый пласт, нелинейный закон фильтрации, начальный градиент давления, начальный перепад давления и нагнетательная скважина, коэффициент приёмистости, параметр Рейнольдса.*

Введение. При фильтрации воды в глинистых породах выявлено наличие нелинейного закона фильтрации [1] и нарушение закона фильтрации Дарси [2], показано, что с увеличением перепада давления, увеличивается проницаемость этих пород. Это объясняется аномальными свойствами водяных плёнок, образующихся на внутренней поверхности твёрдых частиц породы [3, 4].

До сих пор не было изучено влияние давления фильтрации на значение начального градиента давления при фильтрации воды в глинистых породах.

С этой целью на установке исследования пластовых нефтей ЦИПН-ІМ, проводились специальные эксперименты [1].

Постановка задачи и метод решения. Вышеописанные эксперименты применялись при разработке нефтяных месторождений. На месторождении «Дарвин банкасы» породы Кирмакинской свиты (КС) содержат 30 ÷ 40 % глины. С целью изучения влияния давления нагнетания на производительность, т.е. на приёмистость нагнетательных скважин, были проведены специальные промысловые исследования.

* Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (АГУНП)

В исследуемых водяных скважинах были сняты кривые двустороннего восстановления забойного давления и были определены значения пластового давления и начального перепада давления. Несколько раз изменился режим закачки воды, после установления различных стационарных режимов закачки воды в пласт была остановлена закачка, и были сняты кривые восстановления забойного давления, при различных режимах закачки.

В качестве испытуемой жидкости была применена пластовая вода. Приготовленная глинисто-песочная смесь была размещена внутри кернодержателя установки и под давлением 30 МПа была подвергнута всестороннему воздействию гидравлического сжатия. Испытуемая порода содержала 30 % в глинистых фракций.

Этот образец породы после тщательного вакуумирования был насыщен испытуемой водой и оставлен в течение 24 час под давлением 0,3 МПа.

После этого, начиная от минимального значения создаваемого давления фильтрации ($\Delta p_0 = 0,55$ МПа – ниже этого значения не происходит фильтрации), в зависимости от давления фильтрации был определён начальный перепад давления Δp_0 .

Были приняты следующие последовательные значения давления фильтрации: 1,5; 2,0; 3,0; 5,0 МПа. При каждом значении этих давлений были созданы стационарные (установившиеся) фильтрации воды в пористой среде и затем были сняты кривые восстановления давления (КВО), т. е. графики зависимости давления от времени (рис. 1).

В результате экспериментов, последовательно были получены следующие значения начального перепада давления: $\Delta p_0 = 0,36$; 0,18; 0,04; 0,0 МПа. Результаты экспериментов приведены на рис. 2, который показывает, что с увеличением давления фильтрации (начального давления) значение начального перепада давления заметно уменьшается, и при значении давления фильтрации $P = 3,0$ МПа оно равняется нулю. Закономерность, полученная в результате экспериментов, показывает, что при фильтрации воды через глинистую, пористую среду проявляется начальный градиент давления и его значение заметно уменьшается с увеличением давления фильтрации.

Как видно из рисунка 1, с увеличением давления нагнетания воды в пласт, значение начального перепада давления уменьшается, т. е. получаются результаты, подобные проведённым лабораторным экспериментам (рис. 2).

Значение начального перепада давления для этого примера изменилось от 0,87 МПа до нуля.

На рис. 3 и 4 приводятся результаты промысловых исследований нагнетательной скважины № 132, эксплуатирующей Кирмакинскую свиту (КС) месторождения «Дарвин банкасы».

При каждом установившемся режиме закачки измерялось суточное количество закачиваемой в пласт воды. Полученные индикаторные диаграммы представлены на рис. 5. Как видно из этого рисунка, индикаторные диаграммы криволинейны и по отношению оси дав-

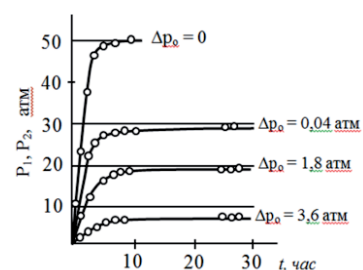


Рис. 1. Кривые восстановления давления на выходе колонки при фильтрации пластовой воды через глинистый песок

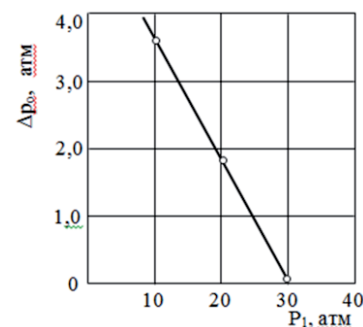


Рис. 2. График зависимости начального перепада давления от давления на входе колонки

лений они являются вогнутыми, а по отношению оси объёма закачки воды – выпуклыми. Кроме того, из этих диаграмм видно, что с увеличением давления нагнетания эти кривые выпрямляются, и последние участки дают возможность установить оптимальный режим закачки воды в пласт.

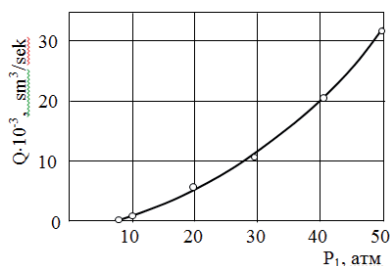


Рис. 3. Индикаторная диаграмма, снятая в колонке

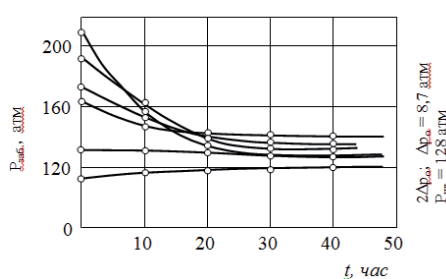


Рис. 4. Кривые двусторонней стабилизации скв. № 132 объекта ПК месторождения б. Дарвина

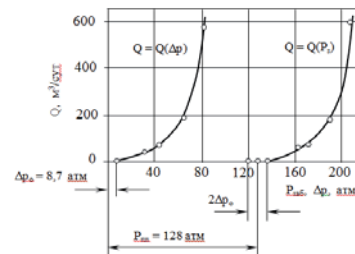


Рис. 5. Индикаторные диаграммы скв. № 132 объекта ПК месторождения б. Дарвина

Подобные результаты были получены по инъекционным водяным скважинам №№ 302, 244, 236, 215, 128 и 152. Результаты промысловых исследований этих скважин приводятся в таблице. Индикаторные диаграммы нагнетательных водяных скважин могут искривляться по следующим причинам: нарушение линейности закона фильтрации; подключение дополнительных пропластков в общую работу при высоких репрессиях; влияние высокого давления нагнетания на значение начального (пластового) давления и возникновение гидравлического разрыва пласта при сравнительно высоких давлениях нагнетания воды.

Таблица

Результаты промысловых исследований скважин

№№ скважин	Суточная при-ёмистость, м³/сут.	Устьевое давление, Р _у	Забойное давление, Р _с	Пластовое давление, Р _к	Репрессия, Δр	Начальный перепад давления, Δр ₀	Коэффици-ент приё-мистости, м³/сут/МПа
		МПа					
1	2	3	4	5	6	7	8
215	37	2,1	14,1	12,12	1,98	0,27	18,69
	82	3,2	15,1		3,08	0,05	26,62
	161	4,0	16,0		3,88	0,00	41,49
128	45	4,0	15,4	11,57	3,8	0,35	11,84
	68	5,6	16,2	“	4,6	0,15	14,78
	118	7,0	17,6	“	6,0	0,0	19,67
152	48	3,8	16,8	14,4	2,4	0,70	20,0
	94	5,4	18,4	“	4,0	0,27	23,5
	130	6,2	19,2	“	4,8	0,19	27,08
	192	7,2	20,2	“	5,8	0,0	33,10
132	56	5,07	17,54	13,2	4,34	0,95	6,91
	70	6,07	19,40	“	6,20	0,46	9,52
	181	7,87	21,24	“	8,04	0,0	13,68
	570	9,57					
236	32	2,4	15,8	11,28	4,52	0,35	7,08
	56	4,6	18,0	“	6,72	0,5	8,33
	116	7,1	20,5	“	9,22	0,0	12,58
244	30	5,54	20,7	16,6	4,10	1,10	7,32
	114	7,24	22,4	“	5,80	0,68	19,66
	254	9,00	24,16	“	7,56	0,0	33,60
302	30	5,64	17,54	13,2	4,34	0,95	6,91
	59	7,50	19,40	“	6,20	0,46	9,52
	110	9,34	21,24	“	8,04	0,0	13,68

Для проверки наличия линейного закона фильтрации по всем исследованным нагнетательным скважинам были подсчитаны значения параметра Рейнольдса (по формуле В.Н. Щелкачёва).

Подобные гидравлические расчёты проводились для самых высоко производительных режимов исследования. Во всех случаях расчёта, значения параметра Рейнольдса получились меньше своего критического значения; это указывало на то, что не имело место нарушения линейного закона фильтрации по исследованным скважинам.

Для проверки наличия гидравлического разрыва пласта по всем исследованным скважинам подсчитаны значения горного давления, и они были сопоставлены с максимальными значениями забойных давлений, создаваемых при промысловых исследованиях.

Во всех рассматриваемых случаях, значения забойных давлений были на много меньше, чем значения горных давлений, которые указывали на отсутствие гидравлического разрыва пласта.

Таким образом, можно отметить, что искривление индикаторной диаграммы происходило из-за воздействия второго и третьего факторов. По большинству исследованных инжекционных водяных скважин индикаторные диаграммы, в областях сравнительно малых скоростей фильтрации, имели криволинейные участки, которые, в свою очередь, говорят о том, что одновременно может иметь место влияние второго и третьего факторов. Но для количественной оценки влияния каждого фактора в отдельности (второго и третьего) необходимо снять для каждой исследуемой скважины в установившемся режиме профили закачки, с помощью глубинных расходомеров (рис. 3, 4, 5).

Случаи увеличения коэффициента приёмистости нагнетательных скважин, с увеличением значения давления нагнетания, наблюдались, также, в скважинах морского нефтяного месторождения острова Песчаного.

Проведённые эксперименты и промысловые исследования показали, что, при фильтрации воды в глинистых пластах, наличие начального градиента давления может быть использован как резервный источник повышения приёмистости инжекционных водяных скважин. Для этого необходимо просто увеличивать давление водонагнетания в пласт, так как с увеличением давления нагнетания значение начального перепада давления уменьшается в зоне возмущения пласта.

Заключение. Увеличение проницаемости глинистых пород, с увеличением перепада давления объясняется аномальными свойствами водяных плёнок, образующихся на внутренней поверхности твёрдых частиц пород.

С целью изучения влияния давления фильтрации на значение начального градиента давления при фильтрации воды в глинистых породах на установке для исследования пластовых нефтей УИПН-ИМ проводились специальные эксперименты.

Результаты экспериментов показывали, что с увеличением давления фильтрации (начального давления) значение начального перепада давления заметно уменьшается, и при значении давления фильтрации 3,0 МПа оно равняется нулю.

В семи нагнетательных водяных скважинах Кирмакинской свиты (КС), морского нефтяного месторождения «Дарвин банкасы», проводились промысловые исследования, подобные проводимому эксперименту в лаборатории и получились такие же результаты.

В статье показаны 4 причины, приводящие к искривлению индикаторных диаграмм. После проверки известными методами выяснилось, что при исследовании скважин не было

нарушения закона фильтрации Дарси и происхождение гидравлического разрыва пласта. Для проверки наличия влияния остальных двух факторов необходимо снять профиль закачки в интервале фильтра с помощью глубинного расходомера.

Проведённые эксперименты и промысловые исследования показали, что с увеличением давления водонагнетания можно уменьшить значение начального градиента давления в глинистых породах и увеличивать приёмистость скважин.

REFERENCES

1. **Gimatudinov Sh.K.** Fizika neftyanogo plasta. M.: Gostoitehizdat, 1963. S. 109-111.
Гиматудинов Ш.К. Физика нефтяного пласта. М.: Гостотехиздат, 1963. С. 109-111.
2. **Mustafaev S.D., Osmanov E.N.** Suyun gilli laylarda süzülmasınınin tədqiqi. ANT, № 8, 1977.
3. **Novruzova S.G.** O prostykh filtratsionnykh potokah neszhimayemykh vyazko-plastichnykh neftej v odnorodnom plaste. Uhtinskij gosudarst. tehn. universitet. Problemy razrabot. i ekspluat. mestorozhdenij vysokovjazkih neftej i bitumov. Materialy mezhr regionalnoj nauchno-tehn. konferencii (13-14 noyabrya 2014 g.), s. 158-165.
Новрузова С.Г. О простых фильтрационных потоках несжимаемых вязко-пластичных нефтей в однородном пласте. Ухтинский госуниверситет. Проблемы разработ. и эксплуат. месторождений высоковязких нефтей и битумов. Материалы межрегиональной научно-техн. конференции (13-14 ноября 2014 г.), с. 158-165.
4. **Mamedova E.V.** Uchet reologicheskix svojstv nenyutonovskix neftej v tehnologicheskix processah neftedobychi // Vestnik Azerbajjanskoy inzhenernoj akademii. T.8, №4, 2016. S.53-58.
Мамедова Е.В. Учет реологических свойств неньютоновских нефтей в технологических процессах нефтедобычи // Вестник Азербайджанской инженерной академии. Т.8, №4, 2016. С.53-58.

Поступило в редакцию: 23.10.2018

После доработки: 16.05.2019

Принято к публикации: 20.05.2019

SUYUN GİLLİ LAYLARDA SÜZÜLMƏSİNİN TƏDQIQI

L.S. HACIYEVA

Məqalədə eksperimentlərin və suvurucu injeksiya quyularının mədən tədqiqatlarının nəticələri təqdim edilmişdir. Aşkar edilmişdir ki, suyun gilli suxurlarda süzülməsi zamanı Darsi xətti süzülmə qanununun pozulması baş verir; yəni qeyri-xətti süzülmə qanunu mövcud olur; bu zaman təzyiq düşküsinin artması ilə bu suxurların keçiriciliyi artır. Bu, suxurun bərk hissəciklərinin daxili səthində əmələ gələn su pərdələrinin anomal xassələrilə izah edilir.

Eksperimentlərin nəticələri şəkildə verilmiş qrafiklə təqdim edilmişdir ki, bu da göstərir ki, süzülmənin təzyiqinin artması ilə (başlanğıc təzyiqinin), başlanğıc təzyiq düşküsinin qiymətinə görə çarpacaq dərəcədə azalır və süzülmə təzyiqi qiyməti 3 MPa-a bərabər olanda "0" sifirə bərabər olur.

Açar sözlər: suyun süzülməsi, gil layı, qeyri-xətti süzülmə qanunu, başlanğıc təzyiqin qradienti, başlanğıc təzyiq düşküsi və basma nasos, qəbul etmə koeffisienti, Reynolds parametri.

RESEARCH OF FILTRATION WATER IS IN CLAY LAYERS

L.S. HAJIEVA

The results of laboratory experiments and mine researches of forcing aquatic mining holes are presented in the article. It is educed that, during filtration of water of takes place the breach of linear law of filtration of Darcy in clay breeds there is a nonlinear law of filtration, at that with the increase of total pressure, permeability of these breeds increases. It is explained by anomalous properties of aquatic tapes appearing on the internal surface of hard particulate of breed.

Results of experiments are brought as the chart brought to a picture, that show that with the increase of pressure of filtration (initial pressure), the value of initial total of pressure notably diminishes and at the value of pressure of filtration, equal 3,0 MPa, it becomes zero.

Keywords: filtration of water, clay lay, nonlinear law filtration, initial pressure gradient, initial pressure drop and injection well, injectivity coefficient, Reynold's parameter.

УДК 543.422.4: 546.824

ИК-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СУЛЬФАТ-АНИОНСОДЕРЖАЩЕГО ОКСИДА ТИТАНА

М.Р. САЛАЕВ*, Э.А. ГУСЕЙНОВА**, С.Э. ЮСУБОВА**,
М.Р. АЛЬ-БАТТБОТТИ**, К.Ю. АДЖАМОВ**, К.С. ГАСАНОВ**

Методом ИК-спектроскопии проведено исследование двух типов диоксида титана: промышленного и приготовленного золь-гель методом, модифицированных сульфат-анионами. Установлено, что в зависимости от метода ввода сульфат-анионов на поверхности диоксида титана формируются отличные фазы: изолированные сульфат-группы при вводе методом пропитки и сульфат-сульфидные группы при золь-гель методе. Модифицирование промышленного диоксида титана сопровождается появлением изолированных поверхностных групп Ti-OH и сульфат-анионных групп, которые координируются с металлом как мостиковый бидентатный лиганд. Отмечено, что золь-гель образец содержит следы спиртового прекурсора и отличается повышенной гидратированностью.

Ключевые слова: ИК-спектроскопия; диоксида титана; сульфат-анион; золь-гель метод; лиганд.

Введение. Возрастающий уровень развития технологии требует создания материалов с высокими эксплуатационными характеристиками и уникальными физическими и химическими свойствами. На сегодняшний день одним из наиболее перспективных материалов является диоксид титана. Диоксид титана существует в виде четырех модификаций: аморфной, анатаза, брукита и рутила. Наиболее известные из них – анатаз и рутил – находят применение в качестве катализаторов, химических, газовых сенсоров, диэлектрического материала в конденсаторах, при обработке воды для разложения органических загрязняющих примесей, в качестве самоочищающихся покрытий окон и антибактериальных агентов, цветосенсибилизированных солнечных батарей, пигмента в лакокрасочной промышленности, в косметике, пищевой промышленности, фармацевтике и пр. [1-5].

Разнообразие сфер и эффективность применения диоксида титана объясняется оптическими, термическими, каталитическими и электрофизическими свойствами данного мате-

* НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия», Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

** Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

риала, которые в том или ином качестве определяются главным образом структурными и текстурными характеристиками, развитостью поверхности и доступностью активных центров во всем объеме.

Анион-модифицированные каталитические системы на основе оксидов циркония, титана, оксида алюминия находят широкое применение в реакциях изомеризации, гидроизомеризации, алкилирования и крекинга углеводородов [6-8]. Примером перспективности создания подобных катализаторов может служить сульфат-модифицированный диоксид циркония, который в реакции изомеризации бензиновых фракций не только не уступает по активности промышленному хлорированному оксиду алюминия, но и является более технологичным: отличаясь простотой приготовления и низкой стоимостью, обладает высокой активностью, селективностью и термической стабильностью [7].

Ранее нами была изучена каталитическая активность сульфат-анион модифицированного диоксида титана: промышленного и приготовленного золь-гель методом, и выявлено, что модифицирование оксида титана однозначно приводит к уменьшению удельной поверхности катализаторов, но повышает их каталитическую активность в процессе изомеризации олефинов [9-11]. Накопленный экспериментальный материал позволил установить, что эффективность сульфат-анион-модифицированных оксидных каталитических систем зависит от множества взаимосвязанных факторов, таких как предыстория носителя, способ и условия ввода сульфат-аниона, количество вводимого сульфат-аниона, температура прокаливания катализатора и пр.

В ходе проведенного сравнительного анализа методами рентгенофазового анализа, электронной микроскопии и микроанализа были изучены фазовый состав и структура образцов сульфат-анион-содержащих диоксидов титана, в которые модификатор вводился методом пропитки и золь-гель методом [10]. Показано, что модифицирование диоксида титана методом пропитки приводит к формированию упорядоченной поверхностной структуры, состоящей из сросшихся кристаллитов размером 8-10 мкм; в данной структуре сульфат-анионы стабилизированы в межблочных границах. Диоксид титана, модифицированный золь-гель методом, представляет собой рыхло упакованные крупные агрегаты размером около 30-32 мкм. В его составе отмечено появление фазы тетрасульфида титана, расположенного преимущественно на поверхности. Микроструктурные особенности, в частности обогащение поверхности золь-гель образца серой и уменьшение дисперсности, обусловлены условиями приготовления катализатора.

Принимая во внимание, что спектральные характеристики (положения максимумов полос, их полуширина, интенсивность) индивидуальной молекулы зависят от масс составляющих ее атомов, геометрического строения, особенностей межатомных сил, распределения заряда и т.д., а ИК-спектры отличаются большой индивидуальностью, метод ИК-спектроскопии широко применяется и является ценным при идентификации и изучении строения поверхности катализаторов. В настоящей работе в продолжение комплексных исследований влияния природы и метода ввода сульфат-анион-модификатора на физико-химические свойства диоксида титана, с применением метода ИК-спектроскопии был изучен промышленный диоксид титана, а также его сульфатированный аналог, в который сульфо-анион вводился путем модифицирования диоксида титана по влагоемкости (пропитка), а также оксид титана, полученный золь-гель методом и соответствующий модифицированный образец, в который сульфат-анион вводили на стадии гелеобразования.

Методика эксперимента. Для исследований были взяты 4 типа катализаторов: исходный диоксид титана, а также его сульфатированный аналог, в который сульфо-анион вводился путем модифицирования диоксида титана по влагоемкости (пропитка), и титан оксида, полученный золь-гель методом и соответствующий модифицированный образец, в который сульфат-анион вводили на стадии гелеобразования (метод золь-гель синтеза). Содержание сульфат-анионов в модифицированных образцах составляло 3% масс.

ИК-спектры образцов исследовали на ИК-спектрометре с Фурье преобразованием BOMEM MB102 в диапазоне $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$, разрешение – 4 см^{-1} . Порошки высушенного диоксида титана смешивались с КВг в пропорциях 1 мг образца /100 мг КВг и прессовались в таблетки «толщиной» 50 мг/см^2 при давлении 8 т/см^2 .

Обсуждение результатов. ИК-исследование промышленного немодифицированного TiO_2 (рис.1, а, табл.) показало, что на его поверхности присутствуют три типа гидроксильных групп, которым соответствуют полосы поглощения (п.п.) при $3420\text{--}3440$, 1610 , 1358 , 1093 и 983 см^{-1} . Наблюдаемая узкая полоса поглощения в области валентных колебаний 3740 см^{-1} , а также широкая полоса с максимумом поглощения при 3420 см^{-1} соответствуют валентным колебаниям адсорбированной воды и гидроксильных групп, связанных с поверхностью оксида титана. Полоса поглощения при 1610 см^{-1} соответствует деформационным колебаниям $\delta(\text{НОН})$ адсорбированной воды [12]. Отмеченная при 1093 см^{-1} полоса поглощения относится к деформационным колебаниям групп $\text{Ti}\text{--}\text{OH}$ [13]. В ИК-спектре промышленного немодифицированного TiO_2 также зафиксирована полоса при 983 см^{-1} , соответствующая деформационным колебаниям $\delta(\text{Ti}\text{--}\text{O}(\text{H})\text{--}\text{Ti})$ в массивном TiO_2 [14].

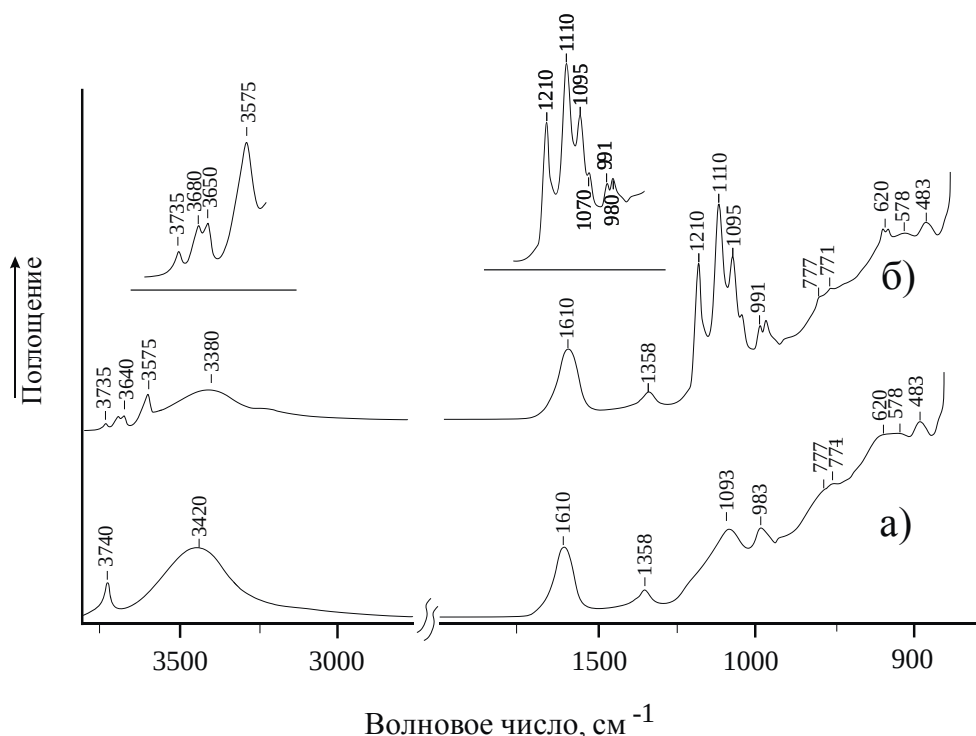


Рис. 1. ИК-спектр промышленного немодифицированного (а) и сульфат-анионмодифицированного (б) TiO_2

Таблица

Расшифровка ИК-спектров исследуемых образцов TiO_2

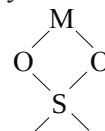
Образец катализатора	Волновое число, ν , см^{-1}	Характеристический тип колебаний
Промышленный немодифицированный TiO_2	483 – 777	ν (Ti-O)
	983	δ (Ti-O(H)-Ti)
	1093	δ (Ti-O(H)-Ti)
	1358	δ (Ti-O(H)-Ti)
	1610	δ Me-(HOH)
	3420, 3740	ν (-OH)
Промышленный сульфатанион- модифицированный TiO_2	483 – 800	ν (Ti-O)
	620	$(\text{SO}_4)^{2-}$
	983	δ (Ti-O(H)-Ti)
	991	$(\text{SO}_4)^{2-}$
	1070	$(\text{SO}_4)^{2-}$
	1095	δ (Ti-O(H)-Ti)
	1110	$(\text{SO}_4)^{2-}$
	1210	$(\text{SO}_4)^{2-}$
	1358	δ (Ti-O(H)-Ti)
	1610	δ Me-(HOH)
	3380	ν (-OH)
	3400-3000	ν (H^+)
	3650, 3640	δ (Ti-O(H)-Ti)
	3575-3735	ν (-OH)
Не модифицированный TiO_2 , полученный золь-гель методом	510 – 910	ν (Ti-O)
	1050-1120	ν (Ti-CO), δ (Ti-O(H)-Ti)
	1200	δ (-OH)
	1410	ν Ti-(CO), δ (Ti-O(H)-Ti)
	1520-1645	δ (H_2O)
	1690, 1680	δ (H_3O^+)
	3000 – 3650	ν (-OH)
Сульфат- анионмодифицированный TiO_2 , полученный золь-гель методом	554 – 910	ν (Ti-O)
	1050-1120	ν (Me-CO), δ (Ti-O(H)-Ti)
	1403	ν Me-(CO), δ (Ti-O(H)-Ti)
	1600 – 1660	δ Me-(HOH)
	3000 – 3650	ν (-OH)

Область низких частот $480\text{--}800\text{ см}^{-1}$ отвечает валентным колебаниям ν (TiO). Полоса поглощения при 483 см^{-1} относится к валентным колебаниям Ti-O-Ti связей в фазе анатаза [14]. Также в ИК-спектре промышленного немодифицированного образца TiO_2 перекрываются полосы поглощения при 578 и 620 см^{-1} , характерные для колебаний Ti-O связей в октаэдре TiO_6 рутила и анатаза [13], соответственно, что указывает на одновременное присутствие в оксидной системе рутила и анатаза, что также хорошо подтверждается полученными нами ранее данными РФА [10].

При модифицировании промышленного TiO_2 сульфат-анионами набор прежних максимумов полос поглощения в основном остается без изменений, но появляются и новые полосы поглощения: при 3650 и 3640 см^{-1} , которые, согласно [15,16], могут быть отнесены к

изолированным поверхностным группам Ti-OH (рис.1, б, табл.); широкая полоса поглощения при 3575 см^{-1} , которая, согласно [5], соответствует водородно-связанным поверхностным OH-группам. Модифицирование также вызывает небольшой сдвиг полосы 3740 см^{-1} в низкочастотную область, что свидетельствует об изменении характера поверхностных гидроксильных групп. На этом фоне в спектре модифицированного образца появляется широкая бесструктурная полоса поглощения в интервале $3400\text{--}3000\text{ см}^{-1}$, которая может быть обусловлена присутствием в образце делокализованных протонов.

О присутствии сульфат-иона свидетельствуют четыре характеристические полосы поглощения в области $1200\text{--}900\text{ см}^{-1}$ (очень сильная полоса поглощения при 1210 см^{-1} и 1110 см^{-1} , а также значительно более слабые при 1070 см^{-1} и 991 см^{-1}). [12]. Согласно литературным данным [12], наблюдаемые частоты сульфат-анионной группы свидетельствуют о том,



что в данном случае она является мостиковым бидентатным C_{2v}O лигандом.

На рисунке 2 представлены ИК-спектры образцов TiO_2 , полученных золь-гель методом. В спектре немодифицированного образца (рис.2, а) в области поглощения $\nu(\text{OH})$ колебаний $3800\text{--}3000\text{ см}^{-1}$ наблюдается широкая интенсивная полоса поглощения, имеющая несколько максимумов.

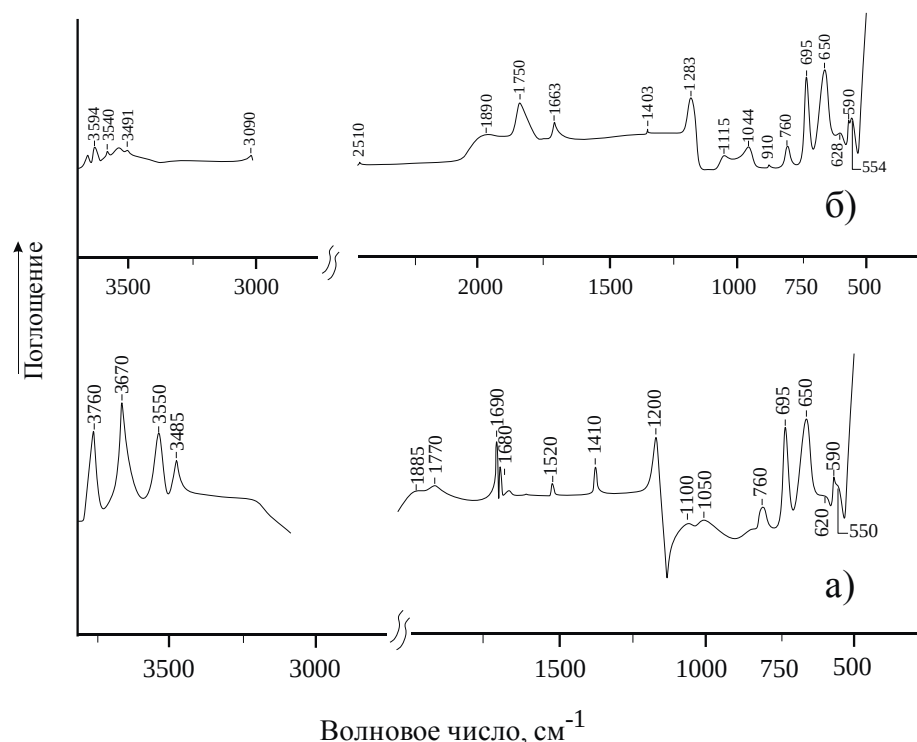


Рис. 2. ИК-спектры немодифицированного (а) и модифицированного TiO_2 , полученного золь-гель методом

Обращает на себя внимание присутствие полос поглощения $\nu(\text{OH})$ с аномально высокими ($3750, 3670, 3550, 3485\text{ см}^{-1}$) и низкими (3115 пл.) значениями максимумов, что свиде-

тельствует о сильной гидратированности образца диоксида титана и присутствии определенного количества неразложившегося гидроксида титана. Отметим, что полосы поглощения с максимумами около 3700 см^{-1} в ИК-спектрах образцов диоксида титана наблюдали также авторы [17-19]. Данный факт может быть обусловлен присутствием в структуре диоксида титана трех типов гидроксогрупп:

а) концевые ОН-группы, не участвующие в водородном связывании – максимумы полос поглощения их колебаний $3856, 3747\text{ см}^{-1}$;

б) ОН-группы, принимающие участие в интенсивном водородном связывании; полосы поглощения $\nu(\text{OH})$ колебаний таковых групп лежат в пределах $3600\ldots 2900\text{ см}^{-1}$ [17];

в) аномально низкие значения $\nu(\text{OH})$, проявляющиеся в названном спектре, позволяют предположить присутствие в структуре TiO_2 атомных групп, по своим характеристикам близким к H_3O^+ .

Предположение о присутствии иона гидроксония подтверждается деформационными колебаниями связанной воды и ионов H_3O^+ при 1690 и 1680 см^{-1} , что говорит о том, что при просушивании образца была удалена лишь часть воды. Эти полосы хорошо изучены и служат аналитическими на присутствие в структуре TiO_2 иона гидроксония H_3O^+ [17].

Наряду с этим, область поглощения $\delta(\text{H}_2\text{O})$ $1520, 1650$ также характеризуется несколькими максимумами, указывающими на разнообразие энергии взаимодействия воды с элементами структуры гидратированного диоксида титана, то есть присутствием в образцах как химически, так и физически связанной воды [17].

На данном ИК-спектре помимо низких частот $480\text{-}800\text{ см}^{-1}$, отвечающих валентным колебаниям (TiO) и деформационным колебаниям аквакомплексов $\delta\text{ Ti-(HOH)}$, появляются полосы валентных колебаний комплексов Ti-(CO) при 1050 и 1100 см^{-1} и валентные колебания гидроксильных групп ($-\text{OH}$) при 1200 см^{-1} , которые обусловлены спиртовой природой прекурсора и растворителя. Это может быть связано с особенностями взаимодействия компонентов – гидролизом изопропилата титана в среде изопропанолового спирта [20].

Также присутствует полоса колебаний $\nu(\text{Ti-O})$, свидетельствующая об образовании диоксида титана. Отмечено присутствие того же набора полос (590 и 620 см^{-1}), соответствующих фазам анатаза и рутила, что и на ИК-спектре промышленного диоксида титана (рис.1), что также свидетельствует о наличии примесей соответствующих фаз в синтезированном золь-гель методом образце.

В ИК-спектре сульфат-анионмодифицированного TiO_2 , полученного золь-гель методом (рис.2, б, табл.), в отличие от ИК-спектра немодифицированного аналога, помимо общих полос поглощений присутствует полоса поглощения высокой интенсивности при 1243.4 см^{-1} , принадлежащая валентным колебаниям S=O и свидетельствующая о наличии сульфатных групп.

Наряду с этим в ходе расшифровки характеристических полос было отмечено появление полос поглощения при волновом числе 1200 и 1100 см^{-1} , которые относятся к валентным колебаниям связей Ti-S в сульфидах, а также очень слабые полосы поглощения при 2510 и 910 см^{-1} , которые относятся к валентным и деформационным колебаниям в S-H группе соответственно. Полосы поглощения при $2500\text{-}2000\text{ см}^{-1}$ по их положению и низкой интенсивности были отнесены к обертонам низкочастотных колебаний [12].

В ИК-спектре сульфатированного образца, полученного золь-гель методом, по сравнению со спектром исходного аналогичного диоксида титана наблюдается уменьшение ин-

тенсивности полосы поглощения валентных колебаний ОН и смещение полосы поглощения валентных колебаний ОН-групп из области 3450 см^{-1} в высокочастотную область около 3491 см^{-1} , что объясняется уменьшением числа водородных связей в модифицированном аналоге. Кроме того, интенсивность полосы поглощения плоскостных деформационных колебаний ОН связи в области 1381.1 см^{-1} (Ti–O(H)–Ti) значительно уменьшается.

Также в модифицированном золь-гель образце, как и в исходном его аналоге, присутствуют полосы ν Me-(CO) и ν (–CH). Вероятно, часть спирта абсорбируется в порах структуры высушенного геля.

Заключение. Расшифровка ИК-спектров образцов позволяет сделать некоторые заключения о влиянии метода ввода сульфат-аниона в состав диоксида титана. Очевидно, что:

- на поверхности немодифицированного промышленного диоксида титана присутствуют три типа гидроксильных групп, которые соответствуют валентным и деформационным колебаниям адсорбированной воды и гидроксильных групп, связанных с поверхностью массивного оксида титана; последний представляет собой смешанную оксидную систему рутила и анатаза;

- при модифицировании промышленного TiO_2 сульфат-анионами набор прежних максимумов полос поглощения в основном остается без изменений, но появляются и новые полосы поглощения, отнесенные к изолированным поверхностным группам Ti–ОН, сульфат-анионным группам, которые в данном случае координируются с металлом как мостиковый бидентатный C_{2v} лиганд;

- на ИК-спектре диоксида титана, полученного золь-гель методом, обращает на себя внимание присутствие полос поглощения $\nu(\text{OH})$ с аномально высокими и низкими значениями максимумов, что свидетельствует о сильной гидратированности образца диоксида титана и присутствии определенного количества неразложившегося гидроксида титана, а также появляются полосы валентных колебаний комплексов Ti-(CO) и гидроксильных групп (–ОН), которые обусловлены спиртовой природой прекурсора и растворителя;

- в ИК-спектре сульфат-анион-модифицированного TiO_2 , полученного золь-гель методом, в отличие от ИК-спектра немодифицированного аналога, помимо общих полос поглощений присутствует полоса поглощения высокой интенсивности при 1243.4 см^{-1} , принадлежащая валентным колебаниям $\text{S}=\text{O}$ и свидетельствующая о наличии сульфатных групп, однако наряду с этим в ходе расшифровки характеристических полос было отмечено появление полос поглощения, которые относятся к валентным и деформационным колебаниям связей Ti – S в сульфидах.

REFERENCES

1. **Feng G., Liu S., Xiu Z.** // J. Phys. Visible light Photocatalytic activities of TiO_2 nanocrystals doped with upconversion luminescence agent / Chem. C. 2008. V. 112, N. 35. – P.13692-13699.
2. **Gaya U.I., Abdullah A.H.** Heterogeneous photocatalytic degradation of organic contaminations over titanium dioxide: A review of fundamentals, progress and problems // J. Photochem. Photobiol. C: Photochem. Rev. – 2008. V. 9, N 1. – P. 1-12.
3. Pat. 20080187457 A 1 US, C 08 F /46, A 61 L 2/10, B 05 D 3/06. Antibacterial Titanium Dioxide Compositions / J.R. Mangiardi; заявитель i патентообладатель. № US 11/937,102; заявл. 08.11.2007; опубл. 07.08.2008. – 4 с.
Пат. 20080187457 A 1 US, C 08 F /46, A 61 L 2/10, B 05 D 3/06. Заявитель и патентообладатель. № US 11/937,102; заявл. 08.11.2007; опубл. 07.08.2008. – 4 с.
4. **Kolesnik I.V.** Mezoporiystye materialy na osnove dioksida titana: avtoreferat dis.... kandidata himicheskikh nauk: 02.00.21, 02.00.01, Mosk. gos. un-t im. M.V. Lomonosova. Him. fak. - Moskva, 2010.- 27 s.

- Колесник И.В.** Мезопористые материалы на основе диоксида титана: автореферат дис.... кандидата химических наук: 02.00.21, 02.00.01, Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. Хим. фак. - Москва, 2010. - 27 с.
5. **Bessudnova E.V.** Sintez i issledovanie nanarazmernykh chastic dioksida titana dlya primeneniya v katalize i nanobiotekhnologiyah : Dissertaciya... kandidata himicheskikh nauk: 02.00.04 / Kemer. gos. un-t. - Novosibirsk, 2014. - 145 s.
Бессуднова Е.В. Синтез и исследование наноразмерных частиц диоксида титана для применения в катализе и нанобиотехнологиях : Диссертация... кандидата химических наук: 02.00.04 / Кемер. гос. ун-т. - Новосибирск, 2014. - 145 с.
6. **Lavrenov A.V., Basova I.A., Kazakov M.O., Finevich V.P., Belskaja O.B., Buluchevskij E.A., Duplyakin V.K.** Katalizatory na osnove anion-modificirovannykh oksidov metallov dlya polucheniya ekologicheski chistyykh komponentov motornykh topliv // Rossijskij Himicheskij Zhurnal. - 2007. - T.LI. - № 4 - S.75-85
Лавренов А.В., Басова И.А., Казаков М.О., Финеви́ч В.П., Бельская О.Б., Булучевский Е.А., Дуплякин В.К. Катализаторы на основе анион-модифицированных оксидов металлов для получения экологически чистых компонентов моторных топлив // Российский Химический Журнал. - 2007. - Т. LI. - № 4 - С.75-85
7. **Bikmetova L.I.** Sintez i issledovanie Pt/SO₂-4 /ZrO₂ sistem, nanesennykh na SiO₂ i Al₂O₃, v reakcii izomerizacii n-geksana Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoy stepeni kandidata himicheskikh nauk. Omsk - 2015 Institut problem pererabotki uglevodorodov Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk, 21 s.
Бикметова Л.И. Синтез и исследование Pt/SO₂⁻⁴ /ZrO₂ систем, нанесенных на SiO₂ и Al₂O₃, в реакции изомеризации n-гексана Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук. Омск - 2015 Институт проблем переработки углеводородов Сибирского отделения Российской академии наук, 21 с.
8. **Bavykin D.V., Dubovitskaya V.P., Vorontsov A.V., Parmon V.N.** Effect of TiO/SO₄ Hydrothermal Hydrolysis Conditions on TiO₂ Morphology and Gas-Phase Oxidative Activity // Res. Chem. Intermed. - 2007. - V.33. - No.3-5. - P.449-464.
9. **Salaev M.R., Gusejnova E.A., Alieva N.T., Ajamov K.J.** Izomerizacija n-geksana v prisutstvii nanesennykh titanoksidnykh katalizatorov// HTTM, 2018, №2, S.22-26
Салаев М.Р., Гусейнова Э.А., Алиева Н.Т., Аджамов К.Ю. Изомеризация n-гексана в присутствии нанесенных титаноксидных катализаторов// ХТТМ, 2018, №2, С.22-26
10. **Salaev M.R., Gusejnova E.A., Al-Battbotti M.R., Ajamov K.J.** Vliyanie dobavok sulfat-aniona na fazovyj sostav i strukturu dioksida titana// Zhurnal prikladnoj himii, T. 91, №: 6, 2018, S.786-792.
Салаев М.Р., Гусейнова Э.А., Аль-Баттботти М.Р., Аджамов К.Ю. Влияние добавок сульфат-аниона на фазовый состав и структуру диоксида титана// Журнал прикладной химии, Т. 91, №: 6, 2018, С.786-792.
11. **Salaev M.R., Gusejnova E.A., Al-Battbotti M.R., Ajamov K.J.** Izomerizacija buten-1 na sulfatirovannom dioksidi titana // Vestnik Azerbajjanskoj Inzhenernoj Akademii, 2018, №3, S.89-96.
Салаев М.Р., Гусейнова Э.А., Аль-Баттботти М.Р., Аджамов К.Ю. Изомеризация бутен-1 на сульфатированном диоксиде титана // Вестник Азербайджанской Инженерной Академии, 2018, №3, С.89-96.
12. **Nakamoto K.** ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений: Пер. с англ. - М.: Мир, 1991. - 536 с.
Накамото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений: Пер. с англ. - М.: Мир, 1991. - 536 с.
13. **Kostrikin A.V., Kuznecova R.V., Kosenkova O.V.** ИК-спектр гидратированного диоксида титана // Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. - 2007. - №2(8). - С. 181-186.
Кострикин А.В., Кузнецова Р.В., Косенкова О.В. ИК-спектр гидратированного диоксида титана // Вопросы современной науки и практики. - 2007. - №2(8). - С. 181-186.
14. **Kundu T.K., Chakravorty D.** Synthesis and characterization of nonconventional nickel-titania glasses by sol-gel route // Journal of Materials Research. - 1999. - Vol. 14. - No. 3. - P. 1069-1073.
15. **Panov A.G., Ivanov A.V., Kustov L.M., Kazanskij V.B.** Issledovanie kislotnykh svojstv TiO₂, modificirovannogo ionami SO₄²⁻ // Kinetika i Kataliz. 1997. — Т. 38, №3.-С. 468-473
Панов А.Г., Иванов А.В., Кустов Л.М., Казанский В.Б. Исследование кислотных свойств TiO₂, модифицированного ионами SO₄²⁻ // Кинетика и Катализ. 1997. — Т. 38, №3.-С. 468-473
16. **Cyganenko A., Filimonov V.N.** Vliyanie kristallicheskoj struktury okislov na ИК спектры поверхностных ОН-групп // Uspehi fotoniki. 1974 - №4. - S.51-74.
Цыганенко А., Филимонов В.Н. Влияние кристаллической структуры окислов на ИК спектры поверхностных ОН-групп // Успехи фотоники. 1974 - №4. - С.51-74.
17. **Kostrikin A.V., Kuznecova R.V., Kosenkova O.V.** ИК-спектр гидратированного диоксида титана // Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Un-t im. V.I. Vernadskogo. - 2007. - № 2 (8). - С. 181-186.
Кострикин А.В., Кузнецова Р.В., Косенкова О.В. ИК-спектр гидратированного диоксида титана // Вопросы современной науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. - 2007. - № 2 (8). - С. 181-186.
18. **Pervushin V.J.** Sostoyanie vodoroda v gidrookisi titana // Zhurn. prikl. himii. 1977. Т. 50. № 10. S. 2362-2364.
Первушин В.Ю. Состояние водорода в гидроокиси титана // Журн. прикл. химии. 1977. Т. 50. № 10. С. 2362-2364.
19. **Pletnev R.V.** Gidratirovannyye dioksidy elementov IV i V grupp. - М.: Nauka, 1986. - 160 s.
Плетнев Р.В. Гидратированные диоксиды элементов IV и V групп. - М.: Наука, 1986. - 160 с.

20. **Kravcov A.A. i dr.** Issledovanie vliyanija prirody rastvoritelya na strukturu i fazovyy sostav nanorazmernogo dioksida titana // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Estestvennye nauki. 2015. № 2(186). S. 62 – 65.

Кравцов А.А. и др. Исследование влияния природы растворителя на структуру и фазовый состав наноразмерного диоксида титана // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2015. № 2(186). С. 62 – 65.

Поступило в редакцию: 20.12.2018

После доработки: 14.05.2019

Принято к публикации: 19.05.2019

SULFAT-ANİONTƏRKİBLİ TİTAN OKSİDİN İQ-SPEKTROSKOPİK TƏDQIQI

M.R. SALAYEV, E.Ə. HÜSEYNOVA, S.E. YUSUBOVA, M.R. AL-BATTBOTTİ,
K.Y. ƏCƏMOV, Q.S. HƏSƏNOV

İQ-spektroskopiya üsulu ilə iki tip sulfat-anionlarla modifikasiya edilmiş titan dioksidin tədqiqi aparılmışdır: sənaye və zol-gel üsulu ilə hazırlanmış. Müəyyən edilmişdir ki, sulfat-anionun daxil edilmə üsulundan asılı olaraq titan dioksidin səthində müxtəlif fazalar formalaşır: hopdurma üsulu ilə daxil edilmə zamanı izolə edilmiş sulfat-qruplar və zol-gel üsulu üzrə sulfat-sulfid qrupları. Sənaye titan dioksidin modifikasiyası izolə edilmiş Ti-OH səth qruplarının və sulfat-anion qrupların meydana gəlməsi ilə müşayət olunur ki, bunlar da körpü bidentat liqandlar kimi metal ilə koordinasiya olunur. Qeyd olunmuşdur ki, zol-gel nümunəsinin tərkibində spirt prekursoru izləri mövcuddur və yüksək hidratlaşma dərəcəsi ilə fərqlənir.

Açar sözlər: İQ-spektroskopiya; titan dioksid; sulfat-anion; zol-gel üsul; liqand.

IR-SPECTROSCOPIC RESEARCH OF SULFATE-ANION-CONTAINING TITANIUM OXIDE

M.R. SALAEV, E.A. GUSEYNOVA, S.E. YUSUBOVA, M.R. AL-BATTBOTTI,
K.Y. AJAMOV, K.S. GASANOV

Using IR spectroscopy, two types of titanium dioxide have been studied: industrial and prepared by sol-gel method, modified with sulfate anions. It was found that, depending on the input method of sulfate anions, excellent phases are formed on the surface of titanium dioxide: isolated sulfate groups when introduced by the impregnation method and sulfate sulfide groups in the sol-gel method. The modification of industrial titanium dioxide is accompanied by the appearance of isolated surface groups of Ti-OH and sulfate-anionic groups, which are coordinated with the metal as a bridge bidentate ligand. It is noted that the sol-gel sample contains traces of an alcohol precursor and is characterized by increased hydration.

Keywords: IR spectroscopy; titanium dioxide; sulfate anion; sol-gel method; ligand.

UOT 622.691.24

HİDRAT ƏMƏLƏ GƏLMƏSİNİN QARŞISINI ALMAQ ÜÇÜN İSTİFADƏ EDİLƏN METANOLUN DƏQİQLƏŞDİRİLMİŞ SƏRF NORMASININ İŞLƏNMƏSİ HAQQINDA

A.Y. COMƏRDOV*, Ə.N. QURBANOV*, M.Ə. HÜSEYNOVA*

Neft-qaz yataqlarında təbii qazın çıxarılması, hazırlanması və sahələ hidratsız rejimlə nəql olunmasını təmin etmək üçün metanol tətbiq edilir. Aparılan mədən tədqiqat işlərinin nəticələrinə əsasən “Abşeronneft” NQÇİ üzrə çıxarılan və nəql edilən təbii və səmt qazının termodinamiki parametrləri: təzyiq (P), temperatur (T), hasil olunan qazın həcmi (Q_{qaz}), nəmliyin miqdarı və sair göstəriciləri təhlil edilmiş və metanolun sərf normaları dəqiqləşdirilmişdir.

Aparılan elmi-tədqiqat və mədən işlərinin nəticələrinə əsasən metanolun dəqiqləşdirilmiş sərf normalarının işlənməsi üçün lazımi göstəricilər toplanmış və metodikalar seçilmişdir.

Qeyd olunanları nəzərə alaraq və vaxtında mədən şəraitində yaranan hidrat birləşmələrinin qarşısını almaq üçün “Abşeronneft” NQÇİ-nin mədənlərində və laboratoriyada aparılan elmi-tədqiqat işlərinin nəticəsində alınan faktiki göstəricilərin əsasında NQÇİ-nin yatağında qazın nəqlə hazırlanması prosesində istifadə edilən metanolun sərf normalarının dəqiqləşdirilmiş təhlilinin aparılması və onun tətbiqi işi üzərində sistemli nəzarət etmək məqsədə uyğundur.

***Açar sözlər:** təzyiq, məhsuldarlıq, ingibitor, nəmlilik, karbohidrogen, udulma.*

Giriş. Neft-qaz yataqlarında təbii qazın çıxarılması, hazırlanması və sahələ hidratsız rejimlə nəql olunmasını təmin etmək üçün metanol tətbiq edilir.

Məlumdur ki, qazkondensat yataqlarının istismarı zamanı qazın termodinamiki göstəriciləri: təzyiq, temperatur, məhsuldarlıq, lay suları və s. faktorların dəyişməsi, texnoloji sistemdə istifadə olunan metanolun sərf normasını dəyişməsinə səbəb olur [1-6].

Qeyd olunanları nəzərə alaraq və vaxtında mədən şəraitində yaranan hidrat birləşmələrinin qarşısını almaq üçün “Abşeronneft” NQÇİ-nin mədənlərində və laboratoriyada aparılan elmi-tədqiqat işlərinin nəticəsində alınan faktiki göstəricilərin əsasında NQÇİ-nin yatağında qazın nəqlə hazırlanması prosesində istifadə edilən metanolun dəqiqləşdirilmiş sərf normalarının təhlili aparılmışdır.

Məsələnin qoyuluşu. Metanolun sərf normasının hesabı qazın temperatur, təzyiq və nəmliyindən asılıdır və hər konkret şərait üçün ayrılıqda yerinə yetirilir.

* “Neftqaz elmi-tədqiqat layihə” institutu

Qeyd etmək lazımdır ki, ümumiləşdirilmiş heabat da aparmaq olar. Məsələn, təzyiq, temperatur və nəmlik göstəricilərinə görə bir-birinə anoloji olan bir qrup quyular üçün inhibitorun sərf normasını tədqiqat işlərinin nəticələrinə əsasən aparmaq olar.

Burada, nisbət fərqi 10^0 -dən yuxarı olmamalıdır [1].

“Abşeronneft” NQÇİ-də tətbiq edilən metanolun xüsusi sərf normalarının təhlili üçün əsas göstəricilər aşağıdakılardır: qaz fazasında olan su buxarlarını udmaq üçün metanolun miqdarı; qaz kəmərinin başlanğıc və son nəticələrində qazın tərkibində olan nəmliyin miqdarı; qaz axını vurulan işlənməmiş metanolun qatılığı; işlənməmiş metanolun qatılığı; qazın tərkibində olan suyun (sərbəst su) udulmasına sərf olunan metanolun miqdarı.

Qazın nəqlə hazırlanması texnologiyasında hidrat əmələ gəlmə temperaturunu aşağı salmaq üçün qaz axınına vurulan inhibitorun sistemdə yaranan itkilərinin yerinə doldurmaq üçün sistemə lazımı miqdarda əlavə inhibitor vurulur. Ona görə də, metanolun dəqiqləşdirilmiş sərf normasının təhlilini apararkən aşağıdakı səbəbdən əmələ gələn itkilər nəzərə alınmalıdır [1,4,5,6]: metanolun qazla təmasda itkisi (buxarlanma); metanolun maye karbohidrogenlərdə həll olması; qaz axınında metanolun maye fazasında və ayrı-ayrı texnoloji xətlərdə itkisi.

Həlli üsulları. “Abşeronneft” NQÇİ üzrə qazın nəqlə hazırlanması texnologiyası və termodinamiki parametrlərin təyini. “Abşeronneft” NQÇİ-də hasil olunan $100,0 \text{ min m}^3/\text{gün}$ təbii və səmt qazından gündəlik $22,5 \text{ min m}^3$ həcmində qaz üç ölçü qovşağında (“Pirallahı-Yeni”, “1 may qəsəbəsi”, “Pirallahı-Qala”) “Azəriqaz” İB və Qİİ-nin qaz sisteminə təhvil verilir (şəkil 1).

Kompresor təsərrüfatı haqqında “Abşeronneft” NQÇİ-də 2 ədəd kompressor stansiyası vardır.

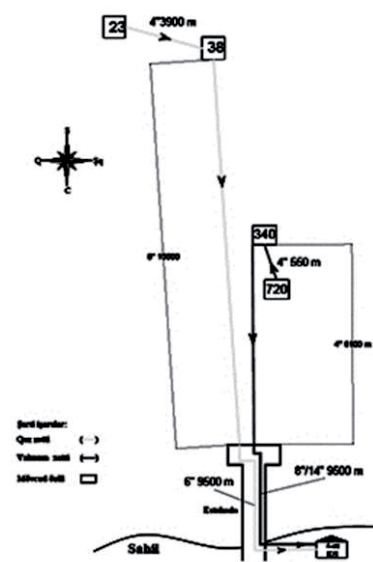
- KS-4-də 11 ədəd 2SQ-50 tipli elektrik intiqallı kompressor, 2 ədəd 2SQ-8 və 1 ədəd 2 SQ-4 tipli kompressor qazın nəql sistemində işləyir.
- KS-5-də 2 ədəd 2SQD100 tipli elektrik intiqallı kompressordan erlift sistemində istismar olunur. 3 ədəd 2SQ-8 tipli elektrik intiqallı kompressor qazın nəqli sistemində işləyir. 3 ədəd 405QP-15/70 tipli kompressor və əlavə 4 ədəd Almaniya istehsalı olan AZN-2K-112/360 tipli qazkompressor quraşdırılmışdır [1, 4, 5].

Dənizdə 23 sayılı özöldən 2 quyu üzrə 23 və 166 sayılı quyulardan orta gündəlik təbii qaz hasilatı $100,0 \text{ min m}^3$ təşkil edir: o cümlədən - 23 sayılı quyunun parametrləri: $P_{b,a} - 10,8 \text{ MPa}$, $P_{h,f} - 10,4 \text{ MPa}$; $P_{q,a} - 10 \text{ MPa}$ - 106 sayılı quyunun parametrləri: $P_{b,a} - 10,6 \text{ MPa}$, $P_{h,f} - 9,8 \text{ MPa}$; $P_{q,a} - 8,8 \text{ MPa}$. Separatorun girişində təzyiq $8,2 \text{ MPa}$, çıxışında isə $7,2 \text{ MPa}$ təşkil edir.

Səmt qazı. 2 quyu üzrə səmt qazı:

- 832 sayılı quyunun parametrləri: $P_{b,a} - 10 \text{ MPa}$, $P_{h,f} - 8,4 \text{ MPa}$; $P_{q,a} - 8,2 \text{ MPa}$, $Q_{qaz} - 12 \text{ min m}^3/\text{gün}$,
- 835 sayılı quyunun parametrləri: $P_{b,a} - 10,7 \text{ MPa}$, $P_{h,f} - 8,8 \text{ MPa}$; $P_{q,a} - 6,6 \text{ MPa}$, $Q_{qaz} - 10,5 \text{ min m}^3/\text{gün}$ təşkil edir.

Aparılan mədən tədqiqat işlərinin nəticələrinə əsasən “Abşeronneft” NQÇİ üzrə çıxarılan və nəql edilən təbii və səmt qazının termodinamiki parametrləri: təzyiq (P), temperatur (T), hasil



Şəkil 1. “Abşeronneft” NQÇİ üzrə təbii qazın nəqlə hazırlanması sxemi

olunan qazın həcmi (Q_{qaz}), nəmliyin miqdarı və sair göstəriciləri təhlil edilmiş və metanolun sərf normaları dəqiqləşdirilmişdir.

Metanol qazın tərkibində tarazlıq halında olan su buxarlarının udulmasını təmin edir. Metanolun bir hissəsi qaz fazası ilə, digər hissəsi isə qazla çıxan maye fazasında, sərbəst lay suları və maye karbohidrogen kondensatında həll olur [1].

Aparılan elmi-tədqiqat və mədən işlərinin nəticələrinə əsasən metanolun dəqiqləşdirilmiş sərf normalarının işlənməsi üçün lazımı göstəricilər toplanmış və metodikalar seçilmişdir.

Metanolun ümumi sərf normasının miqdarı aşağıdakı düstura əsasən hesablanır:

$$S = D_m - D_k \quad (1)$$

Burada: S – metanolun ümumi sərfi, $\text{kg}/1000\text{m}^3$; D_m – metanolun qazdan ayrılan su buxarlarına görə sərfi, $\text{kg}/1000\text{m}^3$; D_k – metanolun qaz fazasındakı sərfi, $\text{kg}/1000\text{m}^3$.

Metanolun qaz fazasındakı olan su buxarlarına görə sərfi, əsasən qazın nəmlik dərəcəsi və qaz axınına vurulan təzə və işlənmiş metanolun qatılığından asılıdır. Hesabat aşağıdakı düsturun köməkliliyi ilə aparılır [1]:

$$D_q = \frac{(W_1 - W_2) \cdot C_2}{C_1 - C_2} \quad (2)$$

Belə ki: D_q – metanolun qaz fazasındakı su buxarlarına görə sərfi, $\text{kg}/1000\text{m}^3$; $W_1 - W_2$ – metanol vurulana qədər və vurulandan sonra qaz fazasında olan su buxarlarının miqdarı, $\text{kg}/1000\text{m}^3$; $C_1 - C_2$ – qaz axınının vurulacaq təzə və işlənmiş metanolun qatılığı, % kütlə.

Qeyd etmək lazımdır ki, çıxarılan qazın hər bir m^3 -də olan suyun miqdarını tapmaq üçün 1-ci şəkildə verilmiş nomogrammadan istifadə edilir. Bu qrafikə əsasən qazın tarazlıq halında təzyiqi, temperaturu və sıxlığından istifadə edərək hər bir m^3 qazda olan suyun miqdarı təyin edilir.

“Abşeronneft” NQÇİ-də aparılan tədqiqat işlərinin nəticələri göstərdi ki, “Günəşli” yatağında olan qazların sıxlığı $700-705 \text{ kg}/\text{m}^3$ bərabərdir.

NQÇİ-də təbii qazın nəqlə hazırlanması üçün istifadə edilən metanolun qatılığı 97% kütlədir. Texnoloji sistemdə işlənmiş metanolun qatılığı isə hazırlanan qazın hidrat əmələ gətirmə temperaturunun aşağı salınmasından (Δt) və spirtin fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərindən asılıdır.

Qazlarda hidrat əmələ gəlmə temperaturunun məlum qiymətlərinə əsasən aşağıdakı düstur vasitəsilə istifadə olunan metanolun doymuş məhlulunda onun qatılığı təyin etmək olar [1, 4]:

$$C_2 = \frac{M \cdot \Delta t}{K + M \cdot \Delta t} \quad (3)$$

Burada: C_2 – metanolun işlənmiş məhlulda qatılığı, % kütlə; M – metanolun molekulyar kütləsi; $M=60$; K – metanol üçün əmsal. Bu əmsal 1220 bərabərdir; Δt – hidrat əmələ gətirmə temperaturunun depressiyası; $^{\circ}\text{C}$ (aşağı salınmasının göstəricisi).

“Abşeronneft” NQÇİ-nin qaz quyularında aparılan tədqiqat işlərinə görə hazırlanmış qazliftə işlədilən və sahələ nəql olunan qazın quyu ağzında təzyiqi $6.0-6.4 \text{ MPa}$ və temperaturu $22-23^{\circ}\text{C}$ -dir. Qazı separatorun girişində drosel etdikdən sonra onun təzyiqi $4.0-4.2 \text{ MPa}$ və temperaturu $6-8^{\circ}\text{C}$ düşür. Qazın bu göstəriciləri tam hidrat əmələ gətirmə şəraitinə uyğundur (şəkil 2).

Onda: qazın hidrat əmələ gətirmə temperaturunun aşağı salınması verilən qiymətlərə əsasən aşağıdakı düsturla təyin edilir [1, 4].

$$\Delta T_{qaz} = T_{hid} - T_{hes} \quad (4)$$

ΔT_{qaz} – qazın hidrat əmələ gətirməsinin depressiyası, $^{\circ}\text{C}$; T_{hid} – qazın başlanğıc nöqtədə hidrat əmələ gətirmə temperaturu, $^{\circ}\text{C}$; T_{hes} – qazın hesabat nöqtəsində olan temperaturu, $^{\circ}\text{C}$.

“Abşeronneft” NQÇİ-nin mədənlərində qazliftə işlədilən qazın hesabat əməliyyatı aparılan son texnoloji nöqtələrdə temperaturu $5\div 7^{\circ}\text{C}$ -dir.

Mədən şəraitində göstərilən faktiki göstəricilərə əsasən qazın hidrat əmələ gətirmə temperaturunun aşağı salınmasının təhlili aparılır.

4-cü düsturda verilən qiymətləri yerinə qoyaraq hesabat aşağıdakı kimi aparılır: $\Delta T_{\text{qaz}} = 23 - 7 = 16^{\circ}\text{C}$. Deməli, qazın hidrat əmələ gətirmə temperaturu 16°C aşağı salınmalıdır. Lakin, qazın nəqlini maneəsiz təmin etmək üçün nəql zamanı prosesə təsir edən digər amilləri də nəzərə alaraq sistemdə hidrat əmələ gəlmə temperaturunu bir neçə dərəcə artırıq, yəni “ehtiyat” temperaturu nəzərə alınmaqla $2-3^{\circ}\text{C}$ aşağı salınmalıdır.

Verilən temperaturun ($18\div 19^{\circ}\text{C}$) aşağı salınmasını təmin etmək üçün metanolun işlənmiş qatılığını təyin etmək lazımdır. Bunun üçün 3-cü düsturdan istifadə edilir. Düsturda verilən qiymətlər yerinə qoyularaq hesabat aparılır:

$$C_2 = \frac{32 \cdot 18}{32 \cdot 18 + 1220} \cdot 100 = 32.0\% \text{ kütlə}$$

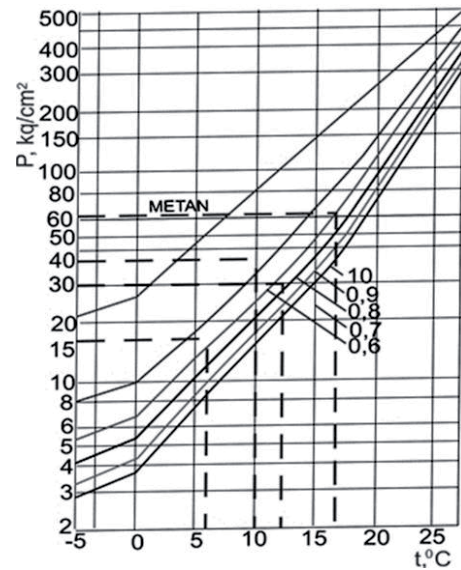
Deməli, qazın hər iki halda hidrat əmələ gətirmə temperaturunu aşağı salmaq üçün işlədilmiş məhlulda metanolun qatılığı 32.0% kütlə olmalıdır.

Hesabatla yanaşı aparılan elmi-tədqiqat işlərinin nəticəsinə əsasən metanolun sulu məhlulunun qatılığından asılı olaraq qazın hidrat əmələ gətirmə temperaturunun aşağı düşməsi asılılıq qrafiki ilə təyin edilir (şəkil 3).

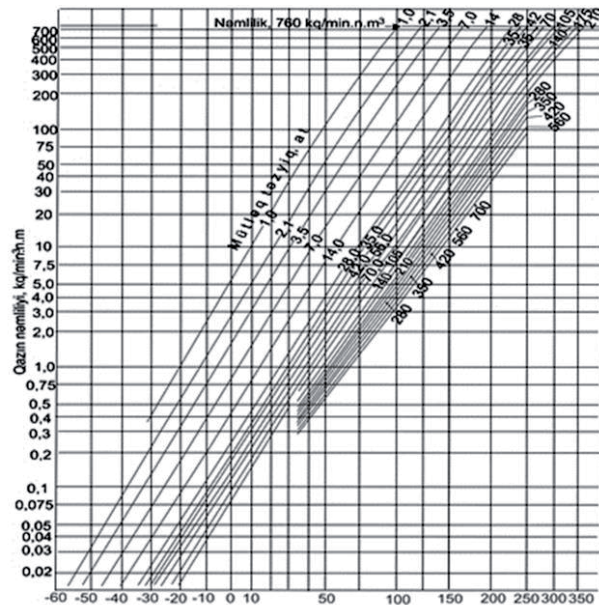
Bu qrafikdən istifadə edərək mədən şəraitində qazın optimal rejimdə nəqli prosesi üçün metanolun lazım olan qatılığını seçmək olar.

Hesabatı aparmaq üçün “Abşeronneft” NQÇİ-nin mədənlərində görülmüş tədqiqat işlərinin nəticəsində əldə edilən faktiki göstəricilərdən istifadə edilir.

Aşağıdakı cədvəldə “Abşeronneft” NQÇİ-nin qaz quyularında qazın qazliftə və sahilə nəqli prosesində olan faktiki göstəricilər verilmişdir.



Şəkil 2. Qazların təzyiq, temperatur sıxlıqdan asılı olaraq hidrat əmələ gəlməsinin asılılıq qrafiki



Şəkil 3. Metanolun sulu məhlulunun qatılığından asılı olaraq qazın hidrat əmələ gətirmə temperaturunun aşağı düşməsi asılılıq qrafiki

Cədvəl

	<i>Qazın əsas göstəriciləri</i>	<i>Başlanğıc</i>	<i>Sonuncu</i>
1	Təzyiq, MPa (qazliftə işlədilən qaz)	6.4	4.0
2	Qazın quyu ağzında temperaturu, °C	25-27	5-7
3	Qazda olan suyun miqdarı, kq/1000m ³	0.5	0.3
4	Hidrat əmələ gəlmə temperaturu, °C	18	
5	Hidrat əmələ gəlmə temperaturunun aşağı salınması, °C(ΔT)	14-15	
6	Metanolun qaz axını ilə gələn sərbəst suda itkisi, (metanolun hər 1000m ³ qaza görə sərf normasına nisbətən)	10-12	10-12

Cədvəldə verilən faktiki göstəricilərdən istifadə edərək, hesabat aşağıdakı ardıcılıqla aparılır.

Birinci mərhələ: Metanol mye-su fazası doymasına sərfinin miqdarı aşağıdakı qaydada 2-ci düsturun köməyi ilə aparılır.

$$D_{\text{maye}} = \frac{(0.5-0.2) \cdot 32.0}{97-32.0} = 0.1476 \text{ kq/1000m}^3$$

Deməli, maye fazasına sərf olunan metanolun miqdarı 0.1476 kq/1000m³ olur.

İkinci mərhələ: Metanolun qaz fazasında olan sərfinin hesabatı aparılır. Hesabat aşağıdakı düsturla yerinə yetirilir:

$$D_q = 0.1 \cdot \alpha \cdot C_2 \quad (5)$$

Burada: D_q – metanolun qaz fazasında olan sərfi kq/1000m³; C_2 – işlənmiş məhlulda metanolun miqdarı, % kütlə; α - metanolun qaz fazasının doymasına sərf olunan miqdarının işlənmiş metanolun sulu məhlulundakı qatılığına nisbətdir. α - qiyməti təzyiq və temperaturdan asılı olaraq hazır qrafikdən təyin edilir (şəkil 4).

6.4 və 4.0 MPa təzyiq və 5-7°C temperatur olduqda “ α ”-nın qiyməti 29-a bərabərdir. Hesabat aşağıdakı kimi aparılır:

$$D_q = 0.1 \cdot 29 \cdot 0.32 = 0.928 \text{ kq/1000m}^3$$

Beləliklə, maye və qaz fazasında metanolun sərf normasının cəmi aşağıdakı kimi olacaqdır:

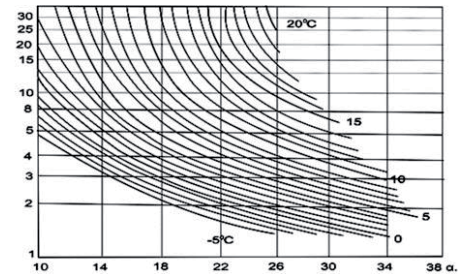
$$C = D_{\text{maye}} + D_{\text{qaz}} = 0.1476 + 0.928 = 1.0757 \text{ kq/1000m}^3$$

Üçüncü mərhələ: qaz axını ilə gələn sərbəst suyun miqdarından asılı olaraq metanolun sərfi nəzərə alınır:

Nəticə. Dünya praktikasından məlumdur ki, qazkondensat yataqlarının istismarı müddətində quyulardan gələn sərbəst suyun miqdarını təyin etmək praktiki olaraq çox çətinidir. Ona görə də, hidrat inhibitorlarının sərf normalarının hesabatını apararkən inhibitorun mərhələlər üzrə hesablanmış xüsusi sərf normasının üzərinə sərbəst suya görə 10-15% əlavə edilir.

Quyuların istismar müddətində asılı olaraq, gələcəkdə sərbəst suların miqdarı artacaqdır. Hazırda “Abşeronneft” NQÇİ-nin qaz quyularında sərbəst suyun miqdarı metanolun ümumi sərf normasının 10-15% təşkil edir.

Beləliklə, hesabatın bu mərhələsində metanolun sərf normasının miqdarı sərbəst suya görə 12% artıq götürülməlidir. Deməli: $C = 1.0757 \cdot 0.12 = 0.12908 \text{ kq/1000m}^3$. Aparılan hesabatlardan alınan metanolun sərf normasının miqdarı aşağıdakı kimi olacaqdır [5]: $C = 1.0757 + 0.12908 = 1.20477 \text{ kq/1000m}^3$. Beləliklə, “Abşeronneft” NQÇİ-də qazın nəqlə hazırlanması prosesində əmələ gələn hidratın qarşısını almaq üçün tətbiq edilən metanolun hər 1000m³ qaza görə sərfi 1.2 kq olmalıdır.



Şəkil 4. Metil spirti üçün müxtəlif təzyiq və temperaturda “ α ” – nın qiyməti. (“ α ” –metil spirtinin qaz fazasının doymasına sərf olunan miqdarının, işlənmiş spirtin sulu məhlulundakı qatılığına olan nisbətidir)

Məlumdur ki, qazkondensat mədənlərində hər il istismar vaxtı sistemdə termodinamiki və texnoloji göstəricilər ($P.T.$, Q_{qaz} , Q_{su} , Q_{kon} və s.) dəyişir. Ona görə hər il tətbiq edilən metanolun sərf normalarının dəqiqləşdirilmiş hesabatının aparılması və onun tətbiqi işi üzərində sistemli nəzarət etmək məqsədə uyğundur.

REFERENCES

1. **Comərdov A.Y.** "Azneft" İB üzrə yeni texnoloji şəraitə uyğun olaraq metanolun sərf normalarının işlənməsi // "Neftqaz-elmitədqıqat" İnstitutunun hesabatı, 2016. S.35-40.
2. **Qurbanov R.Ə., Hümbətov H.H., Əbdülhəsənov A.Z., Mirələmov H.F.** Dənizneftqaz yataqlarında qazların nəqlə hazırlanması texnologiyası. Bakı, Elm, 2002. 145 s.
3. **Rəsulov A.M., Əliyeva A.İ., Əbdülhəsənov F.A.** Təbii qazların nəqlə hazırlanması və sənayedə istifadəsinin müasir vəziyyəti və perspektivləri // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, № 4-5, 2007, 34 s.
4. **Rasulov A.M., Abdulgasanov A.Z.** Novye inhibitory gidratoobrazovaniya. Gazovaya promyshlennost. M. 1994, № 6, с. 30-31.
Расулов А.М., Абдулгасанов А.З. Новые ингибиторы гидратообразования. Газовая промышленность. М. 1994, № 6, с. 30-31.
5. **Grunvald A.V.** Ispolzovanie metanola v gazovoj promyshlennosti v kachestve inhibitora gidratoobrazovaniya i prognoz ego potrebleniya v period do 2030 g. // Neftgazovoe delo, 2007. № 5.
Грунвальд А.В. Использование метанола в газовой промышленности в качестве ингибитора гидратообразования и прогноз его потребления в период до 2030 г. // Нефтегазовое дело, 2007. № 5.
6. **Qurbanov Ə.N., Quliyev A.S.** Dəniz yataqlarından çıxarılan qazın nəqlə hazırlanması zamanı istifadə edilən reagentlərin sərf normasının tənzimlənməsi // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri. 2017. № 3. S. 56-64.

Redaksiyaya daxil olub:	5.11.2018
Tamamlama işlərindən sonra:	14.05.2019
Nəşrə qəbul edilib:	25.05.2019

РАЗРАБОТКА УТОЧНЕННОЙ НОРМЫ РАСХОДА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ ИСПОЛЬЗУЕМОГО МЕТАНОЛА

А.Ю. ДЖОМАРДОВ, А.Н. ГУРБАНОВ, М.А. ГУСЕЙНОВА

В нефтегазовых залежах для извлечения и подготовки в безгидратообразованном режиме и для обеспечения беспрепятственной транспортировки на берег природного газа применяют метанол. При проведении исследований на результаты на НГДУ «Абшероннефть» термодинамических показателей транспортируемого природного и попутного газа: давления (P), температуры (T), объема добываемого газа ($Q_{газ}$), количества влажности и т. д. - были проанализированы показатели и определены расходы метанола.

По результатам проведенных научно-исследовательских и промысловых работ по уточненному расходу метанола были собраны нужные показатели и избрана методика определения уточненной нормы расхода и целесообразного системного контроля.

Ключевые слова: *давление, продуктивность, ингибитор, влажность, углеводород, поглощение.*

ABOUT USING OF SPECIFIED CONSUMPTION RATE OF METHANOL TO PREVENT THE FORMATION OF HYDRATES

A.Y. JOMARDOV, A.N. QURBANOV, M.A. HUSEYNOVA

Methanol is used to produce of natural gas in the oil and gas fields, process and transport it onshore without hydrates. According to the results of field research, the thermodynamic parameters of natural and associated gas produced and transported on "Absheronneft" OGPD: pressure (P), temperature (T), capacity of produced gas (G), quantity of moisture and other parameters were analysed, and consumption rate of methanol is specified.

Based on the results of the scientific research and field work, the necessary data were collected and the methodologies were selected for using of specified consumption norm of methanol.

Taking into account the above mentioned it is advisable to carry out a detailed analysis of the methanol consumption norm used in the gas processing at OGPD field and conduct systematic control over its application on the basis of actual data obtained as a result of scientific research works carried out in the fields and laboratory of "Absheronneft" OGPD to prevent hydrate formations occurring in field condition.

Keywords: *pressure, productivity, humidity, inhibitor, hydrocarbon, absorption.*

УДК 621.774

NEFTÇIXARMA SAHƏSİNDƏ NANOTEXNOLOGİYALARIN İSTİFADƏSİ

H.F. MİRƏLƏMOV*, Ç.İ. MƏMMƏDOV*

Bu işdə nanotexnologiyaların istifadəsi ilə neft hasilatının və neft veriminin yaxşılaşdırma, asanlaşdırmasının bəzi metodları araşdırılıb. Neft verilməsinin artırılması üçün nanotexnologiyaların istifadəsi aktual məsələdir. Bu məsələnin həlli üçün əsas istiqamətləri katalizatorların xüsusiyyətlərində ölçü effektləri kimi, katalitik aktiv məsaməli materiallarda ölçü effektləri kimi, qarışıqların bölünməsində nanotexnologiyalar kimi, nanotexnoloji örtüklər kimi təqdim etmək olar. Bundan əlavə, ötürücülər, idarəetmə qurğuları şəklində olan ağıllı sistemin bir hissəsi kimi istifadə olunması planlaşdırılır.

Açar sözlər: nanotexnologiyalar, neft sənayesi, nanomateriallar, nanoxüsusiyyətlər, innovasiyalar, neftverimi.

Giriş və məsələnin aktuallığı. Neft-qaz çıxarma sənayesinin müasir vəziyyətinin təhlili bunu deməyə imkan verir ki, dünyada neftə artan tələbat fonunda yeni yataqların kəşfi ilə bərabər mövcud yataqlarda işlənmənin səmərəliliyinin artırılması, çətin çıxarılan ehtiyatların istismara cəlb olunması vasitəsilə yataqların son neftvermə əmsalının artırılması daha çox önəm daşımaqdadır. Bunun üçün quyudibi və laya təsir üçün yeni tərkib, daha səmərəli üsul və texnologiyaların yaradılması tələb olunur.

Məsələnin həlli. İndi inkişaf yolu elmin, istehsalatın, inkişafın səmərəli mühitinin formalaşması üçün əlverişli iqlimi və yüksək texnologiyaların tətbiqini təmin edə biləcək yanaşmaları tələb edir [1].

Bu yol istehsalatın formalaşdırılması və biliklərin tətbiqi üçün, yeni texnologiyaların inkişafı və tətbiqi üçün əlverişli şəraitin təmin edilməsini tələb edir. Müasir nanotexnologiyaların inkişaf məsələsi- nanotexnologiyaların inkişafı üçün yeni layihələrin həyata keçirilmə imkanı üçün yeni ideyaların tapılması yolu ilə, kritik texnologiyalar siyahısından çıxmaq üçün yeni ideyalar tapmaqdır. Neftqaz sahəsində nanoxüsusiyyətlərin istifadəsi, texnoloji quruluşun ticarət məhsulu olan, nanotexnologiyaların aktiv istifadəsi yolu ilə ola bilər [2].

Neft verilməsinin artırılması üçün nanotexnologiyaların istifadəsi aktual məsələdir.

* Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Nanoölçü vəziyyətində istənilən maddələr, onların makro həcmli vəziyyətindən çox fərqlənən yeni kimyəvi, bioloji və fiziki xüsusiyyətləri əldə edirlər. Hal-hazırda həm fundamental və tətbiqi elm sahəsində, həm də sənaye və biznes sahəsində yeni materiallar sinifində maraq daima artır [3].

Bu günə neftçixarma sahəsində nanotexnologiyaların istifadəsinin əsas istiqamətlərini demək olar: katalizatorların xassələrində ölçü effektləri, katalitik aktiv məsaməli materiallarda ölçü effektləri, qarışıqların bölünməsində nanotexnologiyalar, nanotexnoloji örtüklər. Nanotexnologiyalar qazma prosesinin yaxşılaşdırılması və neft və qaz çıxarmada istifadə oluna bilər. Nanotexnologiyalar neft və qaz hasilatını yaxşılaşdırılmasına kömək edəcəklər, neftin və qazın rezervuarda ayrılması daha asanlaşacaq, məsələn, molekulyar səviyyədə proseslərin daha dərindən alınmaq vasitəsi ilə.

Həmçinin nanomaterialların, ancaq inkişaf etmiş funksional materiallar qismində deyil, hətta datçiklər, ötürücülər, idarəetmə qurğuları daxil olmaqla, müxtəlif elementlərdən ibarət olan ağıllı strukturun ayrılmaz hissəsi kimi istifadə edilməsi ehtimal olunur. Hazırkı tədqiqatda ən maraqlı nanotexnologiya neft sənayesində ən maraqlı nanotexnologiya əlavələrinin xülasəsi verilir. Belə ki, məsələn, işdə [4] nanohissəciklərin əsasında katalizatorların istifadəsi tədqiq edilib. 1-100 ölçülü hissəciklərdən istifadə etmək katalizatorun aktiv səthini artırmağa imkan verir. Bunun nəticəsində səth, daxilində nanohissəciklər maksimal aktivlik göstərdiyi aşağı koordinasiyalı tərkibli alınır. Tədqiqatçılar mürəkkəb kompozitdən tərtib olan: nanokristaldan, plastik morfologiyalı ultrastabil seolitdən müasir Kretinq katalizatorundan istifadə etdilər. Bu tədqiqatlar həmçinin, neftin xammalı, nikel və vanadiumun ionları kimi çirkləndirən maddələrini tuta bilən matrisanın məsaməli strukturunu optimallaşdırmağa da imkan verirlər.

Bu işlər göstərir ki, məsaməli mühitlərdə neft çıxarılmasının effektivliyini müəyyən edən hadisələrin ionlara məxsus ölçüləri-kapillyar gisterezis, ion mübadiləsi, asfaltənlərin ölçüləri-nanometrin onda bir hissəsini təşkil edirlər. Qata vurulan reagentlərin kimyəvi və ion tərkibinin məqsədyönlü tənzimləməsi və üstəlik qata hətta gil tərkibli qata fizioloji sahələrin təsiri “neft-qaz-su-qat” sistemində ion tarazlığının dəyişməsinə və neftqaz çıxarılmasının artırılmasına gətirəcək [5, 6, 7].

İndiyə qədər qatda kapillyarlar haqqında elə təəvvür var idi ki, bu bir birləri ilə kəsişən kiçik borulardır. Aydın oldu ki, məsaməli məkanın strukturu başqadır, onun örtüyü nahamar olduğuna görə daha çox “İran xalçası ilə” müqayisə edilə bilər. İstehsalatın məqsədi isə ondadır ki, hər hansı hamar borudan deyil, çətin nanometr hamarlığı ilə olan borudan, hansından ki o “asılır”, neftin və ya qazın molekulunu çıxartmaqdan ibarətdir. Burada lotos effektindən istifadə etdilər.

Asan müqayisə. Əgər bir neft damcısı hamar güzgünün üstünə düşsə idi, onu adi süngərin köməyi ilə yığmaq olardı. Əgər bu damcı xalça liflərin üzərinə düşsə idi o zaman süngər-yaxşı assistent deyil. Bu nahamarlığı formalaşdıran gilli mineral kristalların forması nanoölçülər səviyyəsində mövcuddur. Texnoloji məsələ ondan ibarət olub ki, məsələn, kapilyara təsir etmək lazımdır ki, kapilyar qüvvələrinə təsir edən onun nahamarlığı azalsın və neft ondan çıxsın. Bu, neftçixarma sənayesində olan bir dənə də uyğunsuzluqdur-neftvermə uyğunsuzluğu.

Yenə də neft və qaz hasilatını yaxşılaşdırmağa kömək edəcək nanotexnologiyalar. Prosesi, maye və bərk cisim sərhəddində olan proseslərdən molekulyar səviyyədə baxmaq lazımdır və bu rezervuarda yağın və qazın ayrılmasını asanlaşdıracaq. Məqsəd - yağ sudan daha səmərəli necə ayrılı bildiyini başa düşməkdir. Nanotexnologiyalar, səthi-aktiv maddələrin daxil etmə şəklində neft verilməsinin artırılması üçün istifadə oluna bilər. Korroziyaya qarşı örtüklərin

hesabına avadanlığın etibarlılığının artırılması həmçinin neft və qaz sənayesinin əsas istiqamətlərindən biridir. Yüksək kükürlü neftin hasilatının bir qədər əvvəlki artımı ilə, soru kəmərləri və texnoloji avadanlıq adı hallardan daha tez deqradasiya edir. davamlılığın və korroziya davamlılığın artırılması üçün nanotexnoloji örtüklərin istifadəsi, istilik mübadiləsi baş tutan yerin ötrüyünü yaxşılaşdıracaq və təmirlə bağlı boş dayanmaların azalmasına gətirəcək. Etibarlılığın artırılması həmçinin sağlamlığın müdafiəsi və təhlükəsizliyi üçün çox irəli gedən nəticələri var.

İstiliyin və təhlükəsizliyin itirilməsi neftin və qazın emalı üzrə avadanlığın iki əsas problemidir. İstilik itkisi enerjinin sənaye istifadəsinin ümumi həcmnin 50 % qədər təşkil edir. Nanotexnologiyalar, sənaye avadanlığını istilik itkisindən təcrid edən aerogel kimi bir ixtidardır. Kağız parçası kimi örtüyün qalınlığı boru və ya rezervuarı təcrid edir və üstəlik şüşə liflərdən ibarət olan izolyasiya. Bu qarışıq həmçinin korroziyaya qarşı yüksək davamlılığı təmin edir. İzolyasiya istənilən metal səthində səpələnə bilər və həmçinin boruların divarlarına daxilə vurula bilən örtüklər var. Bu zaman karbohidrogenlərin sürüşmə sürəti artır və nəql prosesi asanlaşır.

Nəticə. Nanotexnologiyalar neftçixarma sənayesinin inkişafında böyük rol oynayır. Belə işlərin araşdırılması imkan verir ki, nanotexnologiyaların istifadəsi neftvermə əmsalının artırılmasına və avadanlıqların etibarlılığının artırılmasına imkan verəcək.

REFERENCES

1. **Havkin A.J.** Intellekualizacija razrabotki mestorozhdenij s ispolzovaniem nanotexnologicheskix effektov // Neft. Gaz. Novacii. - 2012. № 10. - S.59-63.
Хавкин А.Я. Интеллектуализация разработки месторождений с использованием нанотехнологических эффектов // Нефть. Газ. Новации. - 2012. № 10. - С.59-63.
2. **Anciferov V.N.** Problemy nauki o materialah i razvitie vysokih tehnologij v Rossii. – Perm: PGU. 2010. – S.174.
Анциферов В.Н. Проблемы науки о материалах и развитие высоких технологий в России. – Пермь: ПГУ. 2010. – С.174.
3. **Alfimov S.M.** Razvitie v Rossii rabot v oblasti nanotekhnologij / S.M. Alfimov, B.A. Bykov, E.P. Grebennikov i dr. // Nano- i mikrosistemnaya tehnika. - 2004. - №8. - S. 2-8.
Алфимов С.М. Развитие в России работ в области нанотехнологий / С.М. Алфимов, В.А. Быков, Е.П. Гребенников и др. // Нано- и микросистемная техника. - 2004. - №8. - С. 2-8.
4. **Solodova N.L.** Nanomaterially i nanotekhnologii v neftepererabotke / N.L. Soldatova, N.A Terenteva // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta, 2013, T. 16, №3. S.209-216.
Солодова Н.Л. Наноматериаллы и нанотехнологии в нефтепереработке / Н.Л. Солдатова, Н.А Терентьева // Вестник Казанского технологического университета, 2013, Т. 16, №3. С.209-216.
5. **Havkin A.J.** Nanojavleniya i nanotekhnologii v dobyche nefti i gaza / A.J. Havkin - M.: Neft i gaz. - T.2. -2008. – S. 171
Хавкин А.Я. Наноявления и нанотехнологии в добыче нефти и газа / А.Я. Хавкин - М.: Нефть и газ. - Т.2. - 2008. – С. 171
6. **Ratkin L.S.** Nanotekhnologii i nanomaterialy, razrabotannye uchrezhdeniyami Rossijskoj Akademii Nauk, dlya obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti v neftegazovoj otrasli / L.S. Ratkin // Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanyh kompanij - 2015. - № 10. - S.7-12

Раткин Л.С. Нанотехнологии и наноматериалы, разработанные учреждениями Российской Академии Наук, для обеспечения экологической безопасности в нефтегазовой отрасли / Л.С. Раткин // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний - 2015. - № 10. - С.7-12

7. **Навкин А.Я.** Energeticheskaya effektivnost neftegazovyh nanotehnologij. Nanojavleniya pri razrabotke mestorozhdenij uglevodorodnogo syrja: ot nanomineralogii i nanohimii k nanotehnologiyam» // Materialy IV Mezhdunarodnoj konferencii v g. Moskva 11-12 noyabrya 2014 g. - М.: Neft i gaz, 2014. - S.173-176.

Хавкин А.Я. Энергетическая эффективность нефтегазовых нанотехнологий. Наноявления при разработке месторождений углеводородного сырья: от наноминералогии и нанохимии к нанотехнологиям» // Материалы IV Международной конференции в г. Москва 11-12 ноября 2014 г. - М.: Нефть и газ, 2014. - С.173-176.

Redaksiyaya daxil olub: 15.10.2018

Tamamlama işlərindən sonra: 11.05.2019

Nəşrə qəbul edilib: 20.05.2019

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Г.Ф. МИРАЛАМОВ, Ч.И. МАМЕДОВ

В работе рассмотрены некоторые методы улучшения, упрощения нефтедобычи и нефтеотдачи с использованием нанотехнологий. Основные направления для решения этой задачи можно сформулировать как размерные эффекты в свойствах катализаторов, размерные эффекты в каталитически активных пористых материалах; нанотехнологии в разделении смесей; нанотехнологические покрытия. Помимо этого, наноматериалы планируется использовать как часть системы, которая будет выглядеть в виде различных датчиков, приводов, устройств управления.

Ключевые слова: нанотехнологии, нефтяная промышленность, наносвойства, инновации, нефтеотдача.

THE USE OF NANOTECHNOLOGIES IN THE OIL-EXTRACTING INDUSTRY

H.F. MIRALAMOV, Ch.I. MAMMADOV

In this paper, the authors consider some methods of improvement, and simplification of oil production and oil recovery with the help of nanotechnologies. The use of nanotechnologies in increasing of the oil recovery is an urgent task. The main directions for solving this problem can be formulated as follows: dimensional effects in the properties of catalysts, size effects in catalytically active porous materials; nanotechnologies in the separation of mixtures; nanotechnological coatings. In addition, nanomaterials are planned to be used as a part of the intelligent system that will include different sensors, drives and control devices. One of the papers considers the issues of how oil and water can be separated more effectively.

Keywords: nanotechnology, oil industry, nanoscience, innovation, oil recovery.

УДК 62.83.52

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ СУДОВЫХ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ С ПОМОЩЬЮ ТИРИСТОРНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Э.Ф. СУЛТАНОВ*, Э.М. МАМЕДОВ*

В статье рассмотрены вопросы управления электроприводами судовых грузоподъемных механизмов с помощью тиристорных преобразователей напряжения и указаны преимущества данного метода управления.

***Ключевые слова:** судно, грузоподъемный механизм, электропривод, тиристор, преобразователь напряжения.*

Введение. Электроприводы судовых грузоподъемных механизмов выпускаются с применением электрических машин и аппаратов, изготавливаемых с учетом специфики работы в морских условиях. Всё оборудование грузоподъемных механизмов, устанавливаемых на открытой палубе, должно быть рассчитано на обливание морской водой, вплоть до погружения на короткое время под накатывающуюся волну, на возможность обледенения, на работу в условиях вибрации и повышенной температуры, в зависимости от района плавания. Результаты многочисленных наблюдений показывают, что для этих машин и механизмов в основном характерны перегрузка во время эксплуатации, разрушения от действий повторных статических и однократных сверхнормативных нагрузок, температурные деформации, вибрация и т.д. [1-5]. Исходя из этого, среди требований, предъявляемых к грузоподъемным механизмам, особое значение имеют требования в отношении виброустойчивости, корпусной прочности и коррозионной устойчивости. Электрическое оборудование грузоподъемных устройств, предназначенное для установки на открытой палубе (электрические двигатели, контроллеры, командоконтроллеры, тормозные механизмы и др.) должно быть водозащищенного исполнения. Магнитные контроллеры, резисторы, преобразователи и другие аппараты, будучи изготовлены в брызгозащищенном исполнении, должны устанавливаться в закрытых помещениях.

* Азербайджанская Государственная Морская Академия

Постановка задачи. Согласно с действующими стандартами, наименьшая мощность двигателя переменного тока на обмотке наибольшей скорости вращения для режима S3 (ПВ-40%), не должна быть меньше 90% мощности, соответствующей выбору троса с номинальным тяговым усилием при максимальной скорости. В режиме S1 (ПВ-100%) двигатель переменного тока должен допускать работу при мощности 50% номинальной, и в режиме S2 (ПВ-25%) с наименьшей скоростью вращения.

В общем случае продолжительность работы электродвигателя, измеряемая в процентах, находится из выражения

$$\text{ПВ}\% = \frac{t_{\text{раб}}}{t_{\text{раб}} + t_{\text{пер}}} 100\%$$

Здесь: $t_{\text{раб}}$ – продолжительность включения двигателя; $t_{\text{пер}}$ – общее время перерывов в работе за один рабочий цикл.

При включении электродвигателя с холодного состояния продолжительность непрерывной работы на обмотках низкой и средней скорости должна составлять не менее 5 минут.

Одним из способов регулирования скорости вращения асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, применяемых в электроприводах судовых грузоподъёмных механизмов, обеспечивающим ограничение диапазона регулирования скорости и снижение пускового тока, является регулирование напряжения статорной обмотки. Кроме применяемых в настоящее время трансформаторных регуляторов напряжения, также широкое применение нашли тиристорные регуляторы напряжения [3].

Упрощённая принципиальная схема трёхфазного тиристорного регулятора напряжения показана на рисунке 1. Силовая часть указанного регулятора состоит из 6-ти (по 2 на фазу) встречно-параллельно соединённых тириستоров. Данная схема позволяет прохождение тока в обоих полупериодах (положительную полуволну пропускает один из тиристоров, отрицательную – другой).

Регулирование напряжения на выходе тиристорного регулятора напряжения (ТРН) осуществляется путем сдвига по фазе электрических импульсов. На управляющие электроды тиристоров подаются импульсы с системы импульсно-фазового управления, которая обеспечивает их сдвиг на необходимый угол открытия α , в функции внешнего сигнала управления. При угле управления $\alpha=0^\circ$ напряжение U_2 на выходе тиристорного регулятора практически будет равно значению напряжения U_1 на входе (внутренним падением напряжения на тиристоре, по причине малого значения, можно пренебречь). Увеличение угла управления ($\alpha>0^\circ$) ведёт к снижению напряжения U_2 на выходе регулятора [3].

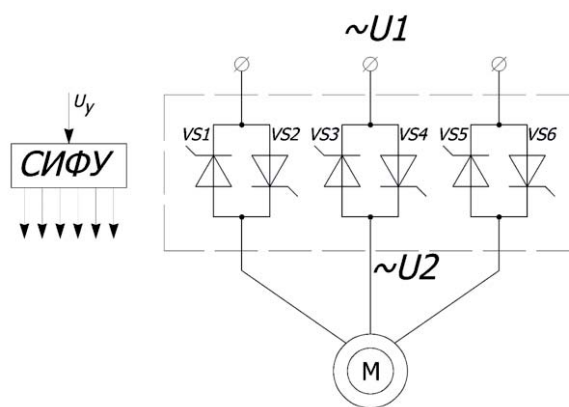


Рис. 1. Схема трёхфазного тиристорного регулятора напряжения

Указанный вид тиристорных регуляторов напряжения может быть применен только в нереверсивных электроприводах, где не требуется изменение направления вращения электродвигателя.

Применение тиристорных регуляторов напряжения в реверсивных электроприводах.

В реверсивных тиристорных регуляторах напряжения используются пять пар тиристоров, подключенных встречно-параллельно (рис. 2). Данный тип тиристорных регуляторов напряжения обеспечивает пуск, реверсирование, торможение противовключением и режим динамического торможения асинхронного электродвигателя. Управление реверсивным тиристорным регулятором напряжения осуществляется подачей импульсов от СИФУ. Сложность схемы заключается в наличии 10-ти каналов управления тиристорами. Для работы электродвигателя в одном направлении импульсы управления («вперёд») подаются на открытие *первой, второй и третьей* пары тириستоров на фазах А, В и С. На данном этапе *четвёртая и пятая* пары должны оставаться запертыми. При этом напряжение на зажимы статорной обмотки должно подаваться в последовательности а – в – с.

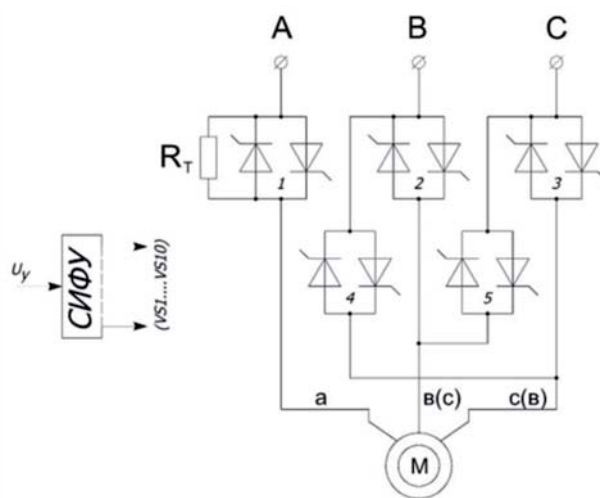


Рис. 2. Схема тиристорного регулятора напряжения переменного тока

Для реверсирования электродвигателя, т.е. изменения направления вращения ротора, необходимо подать управляющие импульсы на *первую, четвёртую и пятую* пары тиристоров, а *вторая и первая* должны оставаться запертыми. Последовательность фаз напряжения на выходе регулятора (зажимах статора) будет а – с – в [4].

Для осуществления динамического торможения в схеме предусмотрен резистор R_T , который во всех режимах двигателя остается шунтирующим *первую* группу и тем самым не оказывает влияния на работу двигателя. При осуществлении динамического торможения электродвигателя, вращающегося «вперёд», необходимо запереть *первую* группу тиристоров, тем самым прекращается шунтирование резистором R_T . Обратные тиристоры *второй и третьей* группы тоже остаются запертыми. Тиристоры группы В и С будут работать как выпрямители (*четвертая и пятая* группы заперты). При указанном положении тириستоров через обмотку статора протекает постоянный ток, обеспечивая этим возникновение тормозного момента и постоянного магнитного потока. Резистор R_T обеспечивает ограничение тока.

Заключение. Предложенная методика управления электроприводом судовых грузоподъемных механизмов с помощью тиристорных регуляторов напряжения обеспечивает бесконтактный пуск, реверсирование и торможение асинхронного электродвигателя. Достигается снижение значения пускового тока при пусковых режимах асинхронного электродвигателя.

REFERENCES

1. **Babaev A.M., Jagodkin V.J.** Avtomatizirovannye sudovye elektroprivody. M.: «Transport», 1986. 448 s.
Бабаев А.М., Ягодкин В.Я. Автоматизированные судовые электроприводы. М.: «Транспорт», 1986. 448 с.
2. **Sultanov E.F., Abdullayev A.N.** Müasir gəmi elektrik intiqalları, dərslik, Bakı, ADDA mətbəəsi, 2018. - 438 s.
3. **Osmanov S.C.** Elektrik maşınları, II hissə, dərslik, Bakı–2010. - 256 s.
4. **Kopylov I.P.** Elektricheskie mashiny. M.: Logos, 2000. 607 s.
Копылов И.П. Электрические машины. М.: Логос, 2000. 607 с.
5. **Gafarov A.M., Sulejmanov P.G., Gafarov V.A.** Povyshenie nadezhnosti detalej mashin i oborudovaniy, rabotajushhih v ekstremal'nyh usloviyah, metodom raskatyvaniya // Vestnik Azerbajjanskoj inzhenernoj akademii. 2014. T.6, №4. S. 22-33.
Гафаров А.М., Сулейманов П.Г., Гафаров В.А. Повышение надежности деталей машин и оборудования, работающих в экстремальных условиях, методом раскатывания // Вестник Азербайджанской инженерной академии. 2014. Т.6, №4. С. 22-33.

Поступило в редакцию: 23.10.2018

После доработки: 25.04.2019

Принято к публикации: 29.04.2019

GƏMİ YÜKQALDIRICI MEXANİZMLƏRİNİN ELEKTRİK İNTİQALLARININ TİRİSTOR GƏRGİNLİK TƏNZİMLƏYİCİLƏRİ İLƏ İDARƏ OLUNMASI

E.F. SULTANOV, E.M. MƏMMƏDOV

Məqalədə gəmi yükqaldırıcı mexanizmlərinin elektrik intiqallarının tiristor gərginlik tənzimləyiciləri ilə idarə olunması araşdırılmış və onların müsbət cəhətləri qeyd edilmişdir.

Açar sözlər: gəmi, yükqaldırıcı mexanizm, elektrik intiqalı, tiristor, gərginlik tənzimləyicisi.

CONTROL OF ELECTRICAL DRIVES ON THE SHIP'S LIFTING DEVICES WITH THYRISTOR VOLTAGE REGULATOR

E.F. SULTANOV, E.M. MAMMADOV

The article describes the control of ship lubrication electric drive with the assistance of thruster voltage regulators and their advantages.

Keywords: vessel, cargo lifting mechanism, electric drive, thyristor, voltage regulator.

UOT 669.162.6**AUSTENİT-BEYNİT ÇEVİRİLMƏSİNİN TEMPERATUR
REJİMLƏRİ**

M.B. BABANLI*, R.S. ŞAHMAROVA*, T.Q. CABBAROV*, B.H. HÜSEYNOV*

Tədqiqat işində yüksək dispersiyalı perlitli çuqun əvəzinə yüksək sıxlığa malik beynitli çuqunun alınma rejiminə baxılmışdır. Göstərilmişdir ki, yüksək keyfiyyətli sintetik çuqun tökməsini, izotermik tablama üsulu ilə, beynit strukturlu çuquna çevirmək olar. Bu halda çuqunun fiziki və mexaniki xassələri xeyli artır.

Açar sözlər: beynitli çuqun, perlit, austenit, izotermiki tablama, sintetik çuqun.

Giriş. Son zamanlar yüksək keyfiyyətli izoleedilmiş qrafitli çuqunların tətbiqi zamanı alınan nəticələrin analizi göstərir ki, austenit-beynit strukturlu çuqunlar əslində müasir maşınqayırmada yeni konstruksiya materialı kimi istifadə edilir.

Austenit-beynit çuqunların (ABÇ) tətbiqi istismar xassələrini artırır, enerjiyə qənaət edilir, tökmənin çəkisi azalır və s. Bu baxımdan, beynitli çuqunların alınma texnologiyasının tərtib edilməsi aktual məsələdir.

Beynitli çuqunlara elə çuqunlar daxildir ki, onların metallik əsası ya müəyyən qədər, ya da tamamilə beynitdən ibarət olur.

Məsələnin qoyuluşu. Beynit strukturu austenitin 250÷500°C temperatur həddində çevrilməsi nəticəsində yaranır. Bu o vaxt baş verir ki, austenitləşdirilmiş çuqun fasiləsiz olaraq elə soyudulsun ki, sürət ya böhran sürətindən yüksək, ya da izotermiki saxlama müddətindən yüksək olsun (beynit çevrilmə temperaturunda).

Austenit 500÷350°C temperaturda ferritə (α -faza) və γ -austenitə (yüksək karbonlu) parçalanır. Austenitin parçalanma temperaturunda uzun müddət saxlanması, dispers karbidləri əmələ gətirir.

Austenitləşmə temperaturu yüksək olduqda, austenitdə karbonun qalığı azalır və sonrakı austenit parçalanması çətinləşir.

Austenitdə həll olan karbonun miqdarı austenitləşmə temperaturunda saxlama müddətindən asılıdır.

* Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

İlkin austenit dənəsində əmələ gəlmiş α -faza (aşağı beynit strukturunda) martensit iynələri ilə eynidir və onun karbonla ifrat doyması, martensit ilə ferrit arasında olduğu kimi aralıq yer tutur.

Uzun müddətli saxlanmadan sonra, ondan karbon ayrılır və karbidlərin dispers quruluşunu formalaşdırır.

Beynit strukturları qeyri-stabildir, ona görə də çuqunun istismarı və tabəksildilməsi zamanı temperaturun maksimum qiyməti, austenitin izotermiki parçalanma temperaturundan yüksək olmamalıdır.

Dalma nasos istehsal və təmir edən Bakı istehsalat müəssisəsinin tökmə sexində bu nasosun bəzi hissələrinin maya dəyərini aşağı salmaq məqsədlə elmi-tədqiqat işləri aparılmışdır.

Nasosun istiqamətləndirici aparatı və sürüşmə yastığının gövdəsi, hal-hazırda “Nirezist” çuqunundan hazırlanır və neft quyularından neft-qaz-su-qum məhlulunun çıxarılmasında tətbiq edilir.

Nasosun bu hissələri az qələvi mühitdə abraziv yeyilməyə məruz qalır və ona görə də xüsusi çuqunda tökmə üsulu ilə hazırlanır.

Çuqunun kimyəvi tərkibi belədir, %: C–3,6; Mn–0,5; Si–2,5; Cu–5,0; Ni–12,0; Cr–0,8; Nb–2,0; P≤0,1; S≤0,05.

Çuqunun mikrostrukturu ferritdən, perlitdən, qalıcı austenitdən və lövhəli qrafitdən ibarətdir. Brinelə görə çuqunun bərkliyi–HB 130–150 həddindədir, istismar müddəti 30–150 sutka təşkil edir.

Müəlliflərin [1] tərtib və tətbiq etdikləri texnologiya imkan vermişdir ki, bu hissələrin tələb olunan xassələri, onları “Nirezist” çuqun əvəzinə, yüksək keyfiyyətli sintetik çuqunla əvəz edilsin.

Müəlliflərin [2, 3] işlərində göstəriləyi kimi, belə strukturlu çuqunun xassələri elə “Nirezist” çuqunun xassələrinə uyğun gəlir. Buradan məlum olur ki, nasosun bu hissələri üçün daha yüksək sıxlıqlı sintetik çuqunun alınma texnologiyasının tərtib edilməsi və tətbiqi aktual məsələdir.

Məsələnin həlli. Aparılan tədqiqat işinin məqsədi, müəlliflərin [4, 5] tətbiq etdiyi dispers perlit strukturlu sintetik çuqunun texnologiyası əvəzində, kimyəvi tərkibi və tökmə texnologiyasını dəyişmədən, daha yüksək sıxlıqlı beynit strukturlu sintetik çuqunun alınma texnologiyası tərtib edilsin.

Bu məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlər həll edilməlidir:

1. Tətbiq edilmiş texnologiya ilə müqayisəli əritmə aparmaq, sınaq nümunələr və töküklər tökülməlidir.

2. Nümunə və töküklərin izotermiki tablama rejimləri tərtib edilməli, sınaqdan keçirməli və fiziki-mexaniki xassələri aşkar edilməlidir. Burada izotermiki tablama zamanı yuxarı və aşağı beynit strukturlarının alınma müxanizmləri verilməlidir.

Təcrübə nəticəsində məlum olur ki, $465\div 355^{\circ}\text{C}$ temperatur həddində çuqunun strukturunda austenitin çevrilməsi beynit karbidinin ayrılması ilə başlayır. Beynit karbidi dənələrin sərhəddində incə vidmanştat lövhəciklər və dispers aşqarlar şəklində görünür. Austenit-karbid strukturu bu temperaturda uzun müddət qalır. Temperatur azaldıqca karbidin ayrılması azalır. Yüksəkkeyfiyyətli çuqunlarda beynit karbidinin ayrılması ardınca α -faza əmələ gəlir. Bu γ -faza az miqdarda uzun müddət qalır.

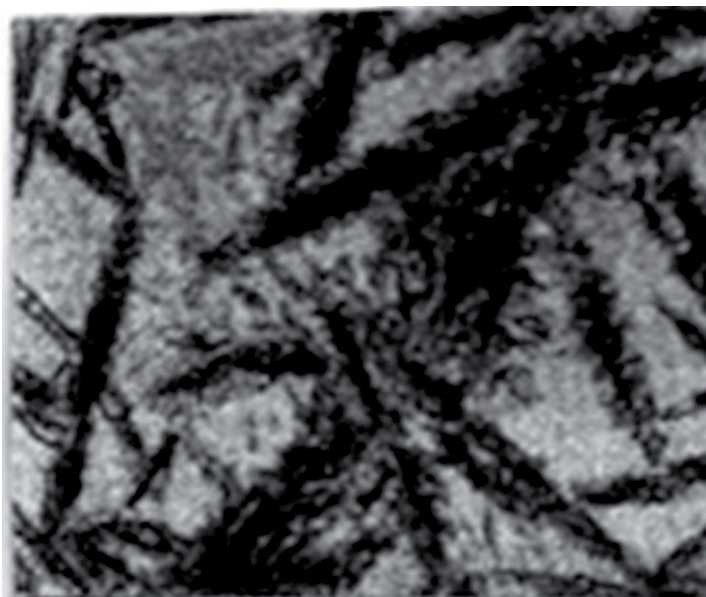
İfrat soyma nəticəsində beynit karbidinin ayrılması dayanır, çevrilmə α -fazanının ayrılması ilə başlayır. Saxlama müddəti artdıqca α -fazanın miqdarı artır, ayrıca zonalar şəklində yerləşir və yuxarı beynitin zəncirlərini yaradırlar (şək.1).

Saxlama müddəti artdıqca beynit zəncirlərinin sayı və eni artır. Təcrübənin nəticəsi göstərir ki, 300°C temperaturda, 30 saat müddətində austenitin təxminən 50%-i yuxarı beynitə çevrilir.

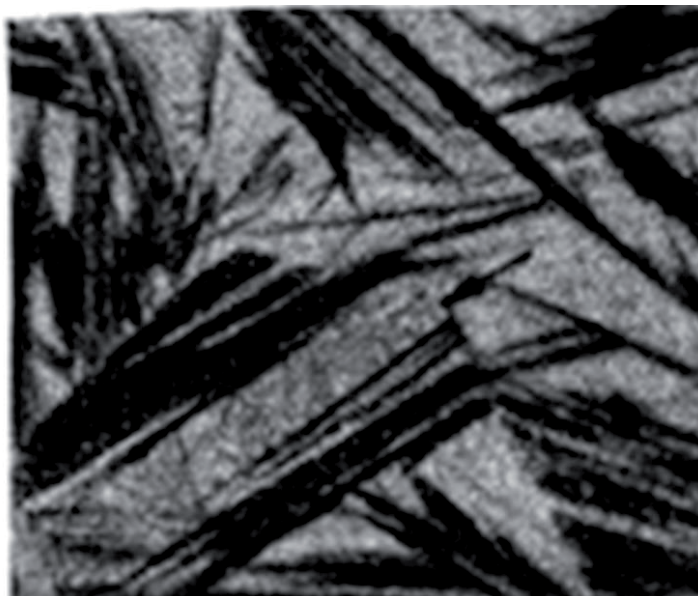
Sonradan, temperatur azaldıqca çevrilmə sürətlənir. Bu halda strukturda tədricən yuxarı beynitin aşağı beynitə çevrilməsi başlayır. Prinsip etibarı ilə, bu strukturlarda morfoloji fərq yoxdur (şək.1).

Aşağı beynit incə nazik paralel lövhəciklər şəklində formalaşır (şək.2), onun en kəsiyi iynələri formalıdır (iynəvari martensitdən fərqlənir).

Nəticə. Göstərilmişdir ki, yüksək keyfiyyətli sintetik çuqun tökməsini, izotermiki tablama üsulu ilə, beynit strukturlu çuquna çevirmək olar. Bu halda çuqunun fiziki və mexaniki xassələri xeyli artır. Austenit-beynit çuqunların (ABÇ) tətbiqi istismar xassələrini artırır, enerjiyə qənaət edilir, tökmənin çəkisi azalır və s. Bu baxımdan beynitli çuqunların alınma texnologiyasının tərtib edilməsi aktual məsələdir. Austenit-beynit strukturlu çuqunlar əslində müasir maşınqayırmada yeni konstruksiya materialı kimi istifadə edilir.



*Şəkil 1. Yuxarı beynitin lövhələr dəstəsi
(300 °C tökmədə saxlama müddəti 30 saat).
Aşılama HNO_3 , $\times 1000$*



*Şəkil 2. Aşağı beynitin lövhələr dəstəsi
(250 °C tökmədə saxlama müddəti 30 saat).
Aşılama HNO_3 , $\times 1000$*

REFERENCES

1. **Gusejnov B.G.** Vliyanie parametrov kontrolirovanoj pлавки na plotnost zhidkosti i tverdogo sinteticheskogo chuguna. – Baku: AzTU, 2005, 5 s.
Гусейнов Б.Г. Влияние параметров контролируемой плавки на плотность жидкости и твердого синтетического чугуна. – Баку: АзТУ, 2005, 5 с.
2. **Gusejnov B.G., Babanly M.B., Ismailov F.S.** Primenenie vysokokachestvennogo sinteticheskogo chuguna vzamen chuguna «Nirezist» // Processy lit ja, 2011, №3, s.63–67.
Гусейнов Б.Г., Бабаңлы М.Б., Исмаилов Ф.С. Применение высококачественного синтетического чугуна взамен чугуна «Нирезист» // Процессы литья, 2011, №3, с.63–67.
3. **Gusejnov B.G.** Vliyanie otnosheniya kremniya k uglerodu na svojstva sinteticheskogo chuguna. – Baku: AzTU, 1989, s. 8–9.
Гусейнов Б.Г. Влияние отношения кремния к углероду на свойства синтетического чугуна. – Баку: АзТУ, 1989, с. 8–9.
4. **Bunin K.P., Malinochka J.N., Taran J.N.** Osnovy metallografii chuguna. – M.: Metallurgija, 1969. 416 s.
Бунин К.П., Малиночка Я.Н., Таран Ю.Н. Основы металлографии чугуна. – М.: Металлургия, 1969. 41
5. **Veliev R.G., Javadov N.G., Dyshin O.A.** Kontrolirovanie kriticheskix sostojaniy tverdogo tela pri plasticheskoy deformacii s ispolzovaniem obobshhennyx zolotyh otnosheniy // Vestnik Azerbajjanskoy inzhenernoj akademii, T.8, №2, 2016. S.7-17.
Велиев Р.Г., Джавадов Н.Г., Дышин О.А. Контролирование критических состояний твердого тела при пластической деформации с использованием обобщенных золотых отношений // Вестник Азербайджанской инженерной академии, Т.8, №2, 2016. С.7-17.

<i>Redaksiyaya daxil olub:</i>	25.10.2018
<i>Tamamlama işlərindən sonra:</i>	17.05.2019
<i>Nəşrə qəbul edilib:</i>	25.05.2019

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ АУСТЕНИТНО-БЕЙНИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ

М.Б. БАБАНЛЫ, Р.Ш. ШАХМАРОВА, Т.Г. ДЖАББАРОВ, Б.Г. ГУСЕЙНОВ

В работе рассмотрен режим получения бейнитного чугуна высокой плотности вместо высокодисперсного перлитного чугуна. Указано, что при литье высококачественного синтетического чугуна с применением метода изотермической закалки возможно его превращение в чугун бейнитной структуры. При этом значительно повышаются физические и механические свойства чугуна.

Ключевые слова: бейнитный чугун, перлит, аустенит, изотермическая закалка, синтетический чугун.

TEMPERATURE MODE OF AUSTENITIC-BEYNITE TRANSFORMATION

M.B. BABANLI, R.S. SHAHMAROVA, T.Q. CABBAROV, B.H. HUSEYNOV

The paper examines the mode of production of high density bainitic iron instead of highly dispersed pearlitic iron. It is indicated that when casting high-quality synthetic cast iron using the method of isothermal hardening, it is possible to transform it into cast iron of a bainite structure. This significantly increases the physical and mechanical properties of cast iron.

Keywords: bainite cast iron, perlite, austenite, isothermal hardening, synthetic cast iron.

УДК 551.24

ВОПРОСЫ ИЗМЕНЕНИЯ ОТНОШЕНИЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ СКОРОСТЕЙ, ПРИВОДЯЩИХ К ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЮ

А.Г. РЗАЕВ*, С.Р. РАСУЛОВ, Р.Я. ГАНИЕВА****

Установлена причина аномального изменения отношений продольных и поперечных сейсмических волн, приводящих к землетрясению. Предложен математический подход количественного определения изменения данных отношений в зависимости от значения коэффициента Пуассона. Показано, что основной причиной данного изменения является различие минералогического состава горной породы в очаге землетрясения.

Ключевые слова: *горная порода (ГП), землетрясение, сейсмические волны, отношение скоростей, предел прочности, минералогический состав.*

Введение. Успешный прогноз землетрясений включает правильную оценку трех элементов: времени, места и масштаба прогнозируемого землетрясения.

Процесс прогнозирования землетрясения состоит из нескольких последовательных этапов [1]: статистического; тектонического; физического.

Статистическое прогнозирование пригодно для предварительной работы по долгосрочному планированию оптимальных систем контроля или же предотвращению разрушений, для которых элементы неопределенности вполне допустимы.

Тектоническое прогнозирование является вторым этапом и связано, в первую очередь, с магнитудой, типом и другими тектоническими параметрами ожидаемого в заданном месте землетрясения.

Физическое прогнозирование состоит в точном определении всех трех факторов – времени, места и масштаба землетрясения по его основным распознаваемым сейсмическим предвестникам. Таким образом, конечная цель физического прогнозирования заключается в детерминированном прогнозе. Основными требованиями для такого рода работ является достаточное знание физических законов механики землетрясений и точный контроль физических состояний в сейсмическом регионе и его окрестностях в нужные моменты времени. Для контроля физического состояния существуют различные предвестники. В работах [1-3] перечислены 15 видов предвестников, использовавшихся в разное время и в разных регионах земного шара: смещение земной поверхности, наклоны и деформация, форшоки, микросейсмичность, механизм очага, аномалии крипа по разлому, изменение отношения продоль-

* Институт систем управления НАНА

** Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

ных (v_p) и поперечных (v_s) сейсмических волн (v_p/v_s), геомагнетизм, электрические токи в Земле, электросопротивление, выделение радона, уровень подземных вод, изменение дебита нефтяных скважин.

Среди них следует особенно подчеркнуть предвестниковые изменения продольных (v_p) и поперечных (v_s) скоростей сейсмических волн или их отношение, которое отмечалось в сейсмическом регионе. На рисунке показаны временные изменения отношения скоростей сейсмических волн перед сильными землетрясениями в Гарме (Таджикистан). По оси ординат откладывается отклонение v_p/v_s от нормального значения, а значение K по оси абсцисс задается как десятичный логарифм сейсмической энергии в джоулях ($K=13$ соответствует сейсмической энергии 10^{13} Дж). Предсейсмические изменения отношений скоростей в этом примере весьма примечательны. Кривая идет сначала вниз, затем возвращается к нормальному уровню – к моменту основного толчка.

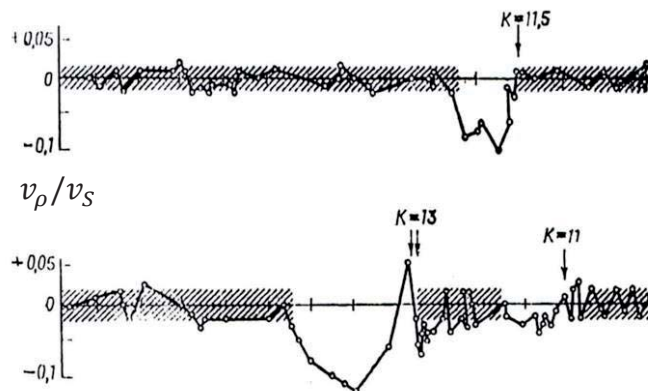


Рис. Изменения отношений сейсмических скоростей, предшествовавшие землетрясению в Гарме (Таджикистан)

Как видно по рисунку, по оси ординат складывается относительное отклонение величины v_p/v_s от нормального значения за определенный период. Величина K – энергетический класс.

Постановка задачи. Если подобная сейсмоскоростная аномалия имеет место перед каждым землетрясением, то она может быть ценным сигналом и основанием решения проблемы детерминированного прогноза. В целях подтверждения такой возможности во многих странах были проведены интенсивные исследования.

Некоторые исследования подтверждают подобную возможность, однако существуют и другие, которые ее опровергают. Разногласия можно частично отнести в счет недостаточной точности обычных сейсмометрических данных, а частично в счет анизотропии горных пород. Иными словами, количественно это может выражаться в зависимости от направления пути распространения волн по отношению к преобладающей ориентации микротрещин.

Решение задачи. Ниже нами приводится попытка установить механизм появления предвестника аномального изменения отношения скоростей продольных и поперечных волн v_p/v_s предстоящих землетрясений и ответить на вопрос: почему данный предвестник появляется в одних случаях (например, землетрясение в Гарме) и не имеет существенного значения в других случаях ($v_p/v_s = const$). Для этого в первую очередь уточним число факторов, существенно влияющих на соотношение v_p/v_s .

Согласно работе [4] v_p и v_s определяются по следующим формулам:

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}; \quad v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}; \quad \lambda = \varphi - \frac{2}{3}\mu \quad (1)$$

где φ – всестороннее объемное сжатие; μ – модуль сдвига; ρ – плотность среды, в которой распространяются сейсмические волны.

Выразим параметры φ и μ через модуль Юнга (E) и Пуассона (ν) [5]:

$$\mu = \frac{E}{2(1 + \nu)}; \quad \varphi = \frac{E}{3(1 - 2\nu)}; \quad E = \frac{Q}{\varepsilon_1}; \quad Q = \sigma_1 - \sigma_2; \quad \nu = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$$

где σ_1 и σ_2 – соответственно продольное (осевое) и боковое напряжение; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – продольная (осевая) и поперечная (радиальная) деформация; Q – приложенное напряжение.

Следовательно, отношение v_p/v_s с учетом вышеприведенных формул будет иметь следующий вид:

$$\frac{v_p}{v_s} = \sqrt{\frac{1}{1 - 2\nu} + 1} \quad (2)$$

Как видно из формулы (2), с повышением значения $\varepsilon_2/\varepsilon_1$, значение v_p/v_s повышается, и наоборот, с понижением значения $\varepsilon_2/\varepsilon_1$ значение v_p/v_s падает.

Для нормального значения $v_p/v_s=1,75$ коэффициент Пуассона ν , или отношение $\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$, имеет значения 0,2575. А поскольку ГП в очагах различных сейсмоактивных зонах будет иметь анизотропию по напряжению и различные минералогические составы, имеющие различные качественные показатели (прочность, добротность и скорость распространения сейсмических волн), соответственно значения v_p/v_s будут различными. В одних случаях значение v_p/v_s будет близко к нормальному (тем самым теряется его предвестниковый эффект), а в других случаях будет изменяться существенно, как при землетрясении в Гарме. Эти различия продемонстрированы в таблице, заимствованные из работы [6].

Таблица
Средние значения прочности в зависимости от минералогического состава ГП

Горная порода	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при растяжении, МПа	Предел прочности при сдвиге, МПа	Коэффициент Пуассона (ν)
Песчаник	89,6	3,1	9,0	0,27
Гранит	137,9	4,5	13,8	0,21

Подставляя значения ν из таблицы 1 в уравнение (2), получим значения v_p/v_s : для песчаника – 2,78; для гранита – 1,65.

Таким образом, получен частичный ответ на вышепоставленный вопрос по аномалии (предвестниковому качеству) значения: v_p/v_s существенно зависит от минералогического состава ГП, так как для песчаника $v_p/v_s = 2,78$, а это значение является нормальным [3] (аномалия не проявляется), а для гранита – наоборот $v_p/v_s = 1,65$, и относительное отклонение этого значения от нормального составляет:

$$\delta = \frac{2,75 - 1,65}{2,75} \cdot 100\% = 40\%$$

v_p/v_s для данного минерала имеет явное предвестниковое качество.

Кроме того, как отмечено в работе [7], при ромбической системе трещин v_p не изменяется, тогда как v_s спадает. Тем самым аномалия по v_p/v_s упрочняется. По мнению авторов работы [8], основным источником излучения являются вершины трещин и наиболее важным моментом является замедление фронта волн при прохождении через область вокруг

вершины трещин, т.к. вокруг вершин существует разряжение. При этом следует отметить, что когда акустические сигналы (сейсмические волны) переходят из одной среды в другую, меняется скорость их распространения и одновременно происходят частичные отражения от границы между двумя составами.

По мнению Касахоры [3]:

- в дилатансионно-диффузионной модели значение v_p / v_s понижается на 10-20%;
- уменьшением прочности понижается скорость распространения сейсмических волн (v_p, v_s), которое видно из приведенных нами формул.

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- при изменении минералогического состава и повышении, в среднем, прочности (хрупкости) ГП понижаются значения v_p / v_s , так как темп повышения скорости поперечных волн больше, чем темп повышения скорости продольных волн;
- при накоплении напряжения в очаге землетрясения до критического значения, появлении ромбических ориентационных трещин и понижении прочности ГП скорость продольных волн остается постоянной, а скорость поперечных волн падает [7], повышается значение коэффициента Пуассона и, как видно из формулы (2), повышается значение v_p / v_s ;
- при повышении сжимающего напряжения в очаге предстоящего землетрясения до определенного значения ($Q=100$ МПа) объем ГП уменьшается, так как закрываются трещины, происходит дислокационный сдвиг и удаление дефектных мест из кристаллических решеток минералов ГП. При этом ГП существенно упрочняется [8-11], понижается значение коэффициента Пуассона и, следовательно, отношение v_p / v_s .

Таким образом, дается обоснование, почему в одних случаях аномалия в отношениях скоростей (продольных и поперечных) сейсмических волн предстоящим землетрясением появляется (как предвестник), а в других нет. Появление указанной аномалии обуславливается тем, что средняя прочность минералов, таких как силикаты различного состава (роговые обманки, пироксены, гранаты и др.), которые составляют 85% массы твердой ЗК, а также шпаты, песчаники, эклогиты и др., в зависимости от компонентного состава и напряжения сжатия меняется существенно. Отсутствие аномалии наблюдается тогда, когда коэффициент Пуассона имеет постоянное значение и соответствует нормальному значению v_p / v_s .

На этой почве возникли противоположные мнения сейсмологов в вопросе использования отношения сейсмических скоростей как предвестников землетрясений. В этом аспекте среди существующих моделей, претендующих на объяснение механизма возникновения землетрясений, особое место занимает дилатантно-диффузионная модель Шольца и модель американских геофизиков У. Брейса и А.М.Нура [12], что позволяет сделать вывод о том, что возникающие микроскопические трещины при попадании в них воды не способны вновь закрыться, объем ГП увеличивается, напряжения возрастают, одновременно увеличивается паровое давление и снижается прочность породы. Все это приводит к разрядке напряжений – землетрясениям. Однако это является качественным объяснением изменения величины v_p / v_s . А предложенный нами подход позволяет количественно определить изменения значения v_p / v_s в зависимости от изменения коэффициента Пуассона (отношение поперечной деформации $\mathcal{E}_2$ к продольной $\mathcal{E}_1$).

Заключение. Предложен подход, отражающий отношение v_p / v_s в зависимости от коэффициента Пуассона. Показано, что изменение этого отношения, главным образом, зависит от минералогического состава горной породы в очаге землетрясения.

REFERENCE

1. **Kasakhara K.** Mekhanika zemletryaseni. Per. s ang. M.: Mir, 1985. 264 s.
Касахара К. Механика землетрясений. Пер. с англ. М.: Мир, 1985. 264 с.
2. **Hiroo Kanamori**, Earthquake Prediction: An Overview. International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology Copyright, 2003, by the Int. Assoc. seismol. and Phys. Earths lateriol.
3. **Rikitake T.** Earthquake Prediction Developments in Solid Earth Geophysics Series, 1976, Vol.9, Elsevier Sci, Amsterdam.
4. **Koronovskiy N.V., Abramov V.A.** Zemletryaseniya: prichiny, posledstviya, prognoz// Sorosovskiy obrazovatelnyy zhurnal, 1998, №12, s.71-78.
Короновский Н.В., Абрамов В.А. Землетрясения: причины, последствия, прогноз// Соросовский образовательный журнал, 1998, №12, с.71-78.
5. **Stefanov YU.P., Bakeyev YU.P.** Formirovaniye tsvetkovykh struktur narusheniy v sloye geosredy pri razryvnom gorizontalnomo sdvige osnovaniya // Fizika Zemli, 2015, №4, s.81-93.
Стефанов Ю.П., Бакеев Ю.П. Формирование цветковых структур нарушений в слое геосреды при разрывном горизонтальном сдвиге основания // Физика Земли, 2015, №4, с.81-93.
6. **Grey Dzh.R., Darli G.S.G.** Sostav i svoystva burovyykh agentov (promyvochnyykh zhidkostey). Per. s angl. M.: Nedra, 1985, 509 s.
Грей Дж.Р., Дарли Г.С.Г. Состав и свойства буровых агентов (промывочных жидкостей). Пер. с англ. М.: Недра, 1985, 509с.
7. **Nikolayevskiy V.N., Sobisevich L.Ye.** Priroda bifokalnoyo ochaqa zemletryaseniya i predvestniki udara// Geofizicheskiy zhurnal, 2015, T.37, №4, s.51-74.
Николаевский В.Н., Собисевич Л.Е. Природа бифокального очага землетрясения и предвестники удара// Геофизический журнал, 2015, Т.37, №4, с.51-74
8. **Landau D.D., Kitaygorskiy A.I.** Fizika dlya vseh, Kniga 2, Molekuly. M.: Nauka, 1982, 208 s.
Ландау Д.Д., Китайгорский А.И. Физика для всех, Книга 2, Молекулы. М.: Наука, 1982, 208 с.
9. **Kabardin O.F.** Fizika. Spravochnie materialy. Uchebnoye posobie dlya uchashikhsya. L – M.: Prosveshenie, 1991, 267 s.
Кабардин О.Ф. Физика. Справочные материалы. Учебное пособие для учащихся. Л.–М.: Просвещение, 1991, 267 с.
10. **Rasulov S.R., Kelbaliyev G.I., Rzayev Ab.G. i dr.** Uplotniye neftyanogo plasta v rezultate deformatsii i osazhdeniya razlichnykh primesey // Vestnik Azerbajjanskoy Inzhenernoy Akademii, 2015, T.7, №4, s.101-111.
Расулов С.Р., Келбалиев Г.И., Рзаев Аб.Г. и др. Уплотнение нефтяного пласта в результате деформации и осаднения различных примесей // Вестник Азербайджанской инженерной академии, 2015, Т.7, №4, с.101-111.
11. **Aliyev T.A., Rzayev Ab.G., Rasulov S.R., Guluyev G.A.** Identifikatsiya mekhanizma tektonicheskikh dvizheniy, privodyashchikh k vozniknoveniyu zemletryaseni // Vestnik Azerbajjanskoy inzhenernoy akademii, 2016, №4, s.43-52.
Алиев Т.А., Рзаев Аб.Г., Расулов С.Р., Гулуев Г.А. Идентификация механизма тектонических движений, приводящих к возникновению землетрясений // Вестник Азербайджанской инженерной академии, 2016, №4, с.43-52.
12. **Nur A.**, 1974. Matsushiro, Japan, earthquake swarm: Confirmation of the dilatancy-fluid diffusion model. Geology 2, p.217–221.

Поступило в редакцию: 02.12.2018
После доработки: 15.05.2019
Принято к публикации: 21.05.2019

ZƏLZƏLƏYƏ SƏBƏB OLAN SEYSMİK SÜRƏTLƏRİN NİSBƏTLƏRİNİN DƏYİŞİLMƏSİ MƏSƏLƏLƏRİ

A.B. RZAYEV, S.R. RASULOV, R.Y. QANIYEVA

Zəlzələyə gətirib çıxaran düz və köndələn seysmik dalğaların nisbətlərinin anomal dəyişməsinin səbəbi müəyyənəşdirilmişdir. Həmin nisbətlərin Puasson əmsalının qiymətindən asılı olaraq kəmiyyətə təyin edilməsi üçün riyazi yanaşma təklif olunmuşdur. Zəlzələ ocağında dağ süxurlarının mineraloji tərkibinin müxtəlifliyi qeyd edilən dəyişmənin əsas səbəbi olduğu göstərilmişdir.

Açar sözlər: dağ süxuru, zəlzələ, seysmik dalğalar, sürətlər nisbəti, bərklik həddi, mineraloji tərkib.

QUESTIONS OF CHANGING THE RELATIONS OF SEISMIC SPEEDS, EARTHQUAKE

A.G.RZAYEV, S.R. RASULOV, R.Y. QANIYEVA

The cause of the abnormal change in the ratios of longitudinal and transverse seismic waves leading to an earthquake is established. A mathematical approach to the quantitative determination of the change in these relations is proposed depending on the value of the Poisson ratio. It is shown that the main reason for this change is the difference in the mineralogical composition of the rock in the source of the earthquake.

Keywords: rock, earthquake, seismic waves, ratio of velocities, ultimate strength, mineralogical composition.

UOT 553.3/4

YENİ KƏŞF OLUNMUŞ UĞUR QIZIL YATAĞININ GEOLOGİYASI, FİLİZ KÜTLƏSİNİN MORFOLOGİYASI VƏ MİNERALOGİYASI

A.Ə. VƏLİYEV*, Ş.M. QƏDİMOV*, A.Ə. BAYRAMOV*,
S.M. MƏMMƏDOV*, C.R. İBRAHİMOV*

Məqalədə ilk dəfə olaraq 2016-cı ildə AİMKL Şirkətinin Gədəbəy Kəşfiyyat Qrupu tərəfindən kəşf olunan, Gədəbəy yatağından 5km şimal-qərbdə yerləşən sənaye əhəmiyyətli Uğur qızıl yatağının Gədəbəy-Bittibulaq dərinlik qırılması hüdudlarında yerləşməsinə, geoloji quruluşuna, filiz kütləsinin morfolojiyasına, minerallaşma mərhələlərinə, mineraloji tərkibinə və proqnoz ehtiyatlarının hesablanmasına həsr olunmuşdur. Geoloji məlumatların təhlili nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, Uğur sahəsində filiz kütləsi “kasa” formasında dərinliyə doğru həm şaquli və həm də üfüqi istiqamətlərdə azalan və əsasən subvulkanik riolitlərin hidrotermal dəyişmələrindən formalaşmış metasomatitlərdə yerləşmişdir. Belə nəticəyə gəlinmişdir ki, qızıl filizləşməsi əsasən barit-hematit, az miqdarda massiv və yarım-massiv pirit mineral assosiasiyaları ilə sıx əlaqədardır.

***Açar sözlər:** Gədəbəy filiz rayonu, Uğur yatağı, minerallaşma mərhələləri, mineraloji tərkib, qızıl.*

Giriş. Gədəbəy Filiz Qovşağının geoloji quruluşunun əsas xüsusiyyətləri və filizləşmənin spesifikasiyası onun dəfələrlə təkrarlanan tektonik hərəkətlər, polisiklik maqmatizm və onlarla əlaqəli filizləşmə prosesləri ilə şərtlənən kifayət qədər mürəkkəb daxili quruluşu ilə səciyyələnən mərkəz tipli nəhəng Gədəbəy-Qaradağ (Gədəbəy-Slavyanka-Çənlibel) vulkan-plutonik strukturundakı geoloji-struktur mövqeyi ilə müəyyən olunur. Kiçik Qafqaz meqantiklinorisinin Şəmkir qalxımının əksər hissəsini əhatə edən bu iri tektono-maqmatik struktur müxtəlif yaşlı, fərqli istiqamətli və tərkibli qırılma zonaları sistemləri ilə çox mürəkkəbləşmiş, özündə daha kiçik vulkan-plutonik, həmçinin mərkəz tipli quruluşları (Yoğundağ, Qızılcadağ, Almalıtala, Slavyanka-Qaradağ, Barum-Barsum və d.) ehtiva edən ayrı-ayrı bloklara parçalanmışdır. Bu blokların çərçivəsi (ətrafı) əsasən Orta Yura vulkanitlərindən ibarət mürəkkəb qranitoid intruzivləri ilə təmsil olunmuşlar. Elə bu bloklarda müxtəlif formasıyaların (qızıl-mis-porfir, mis-porfir, qızıl-mis-kolçedan, mis-kolçedan, mis-polimetal və s.) yataqları (Gədəbəy, Qaradağ, Bittibulaq, Ərtəpə, Maarif) və təzahürləri, minerallaşma sahələri (Çolpan, Şəkərbəy, Qızılca, Almalıtala, Ayıtalası və s.) təşəkkül tapmışlar [7]. Bir sıra yataq və təzahürlər (Gədəbəy, Qaradağ, Maarif, Bittibulaq, Ərtəpə) içərisində bəzi

* Azərbaycan İnterneyşnl Mayning Kompani Limited

yerlərdə kolçedan filizlərinin linzalarını, linza-ştoklarını və ştoklarını saxlayan möhtəvi-damarcıq tipli sulfid filizlərinin geniş yayılması ilə səciyyələnilər və digərləri (Masxit, Söyüdlü, Parakənd) isə qızıl-sulfid-kvars tipli damar-zonalarla təmsil olunurlar.

Yuxarıda sadalanan geoloji faktorlar Gədəbəy-Bittibulaq filiz düyününün hüdudlarında müxtəlif metodlarla axtarış-kəşfiyyat işləri həyata keçirilməyə əsas olmuşdur. Müəlliflər tərəfindən 2012-ci ildə Gədəbəy yatağından 300m şimal-qərbdə aşağı sulfidləşmiş sənaye əhəmiyyətli Qədir epitermal qızıllı mis-polimetal yatağı [12] və 2016-cı ildə sənaye əhəmiyyətli daha bir yataq – Uğur yüksək sulfidləşmiş epitermal qızıl yatağı kəşf edilmişdir [1, 13].

Uğur qızıl yatağı Azərbaycanın şimal-qərbində Kiçik Qafqazın Gədəbəy filiz rayonunda, Gəncə şəhərindən 48km cənub qərbdə, Gədəbəy qızıl-mis mədəninə 5km şimal-qərbdə, Daşbulaq kəndindən 1km qərbdə eyni adlı kəşfiyyat sahəsinin cənub-şərq cinahında yerləşir.

Uğur yatağının da yerləşdiyi Uğur filizləşmə sahəsi Qızılcağağ ətklərinin qərb, şimal və şərq cinahlarını əhatə edir. Sahənin şərq cinahı daha dəqiq öyrənilmişdir və aşağıdakı digər filiz təzahürlərinin yerüstü hidrotermal dəyişmələri baxımından maraq kəsb edən məntəqələr hesab edilir: Qızılcağağ misli və Daşbulaq (Qorelski) hematitli kükürd-kolçedanı təzahürləri [1].

Əvvəllər-Sovetlər dövründə Uğur kəşfiyyat sahəsinin də daxil olduğu ərazidə regional xəritəalma və irimiqyaslı (1:50 000) geofiziki tədqiqatlar (maqnit, elektrik və qravimetrik kəşfiyyat işləri) həyata keçirilmişdir. Buna baxmayaraq, həmin ərəfədə sahə hüdudlarında sənaye əhəmiyyətli hər hansı faydalı qazıntı yatağı aşkar edilməmişdir.

Məsələnin qoyuluşu. Qızıl filizi yataqları Kiçik Qafqazın müxtəlif strukturlarında geniş təmsil olunmuş və müxtəlif geodinamik şəraitlərdə – adalar qövsü (Kiçik Qafqazın şimal-şərq hissəsi), riftogen (Kiçik Qafqazın Mərkəzi hissəsi) və kollizion zonaları (Kiçik Qafqazın cənubu) əmələ gəlmişdir. Qızıl filizi yataqlarının genetik tipləri strukturların əmələ gəlməsinin geodinamik şəraitlərindən asılı olaraq fərqlidir [2, 5].

Orta-Üst Yura dövrlərinə aid vulkanik-çökmə, maqmatik və metamorfik süxurlar regionun geoloji bünövrəsini formalaşdırır. Üst Bayos və Kimmeric yaşlı plagioqranitlər, qabbrolar, dioritlər, qranodioritlər və qranitlər bu süxurlara aiddirlər [6, 10].

Gədəbəy filiz rayonu Lök-Qarabağ struktur-formasiya zonasının Şəmkir qalxımının Qərb hissəsində yerləşir. Şəmkir antiklinorium heterogen quruluşlu qırıntılı-qırıxıq quruluşuna aiddir. Qalxım (Şəmkir qraben-əyilməsi) ilkin Alp mərhələsində əyilmiş formada olub, meridional istiqamətli daxili qraben əyilmə və horst-qalxmaldan ibarətdir. Bunlar Bat öncəsi dövrdə əmələ gəlmiş ümumqafqaz istiqamətli qırıxıqlıqlar ilə səciyyələnilər. Şəmkir qalxımının daxili quruluşu, geoloji inkişafı və maqmatizm əsasları yuxarıda göstərilən uzununa və eninə pozuntularla sərhədlənən ilkin quruluşla səciyyələnilir [3].

Şəmkir antiklinoriumunun əsas qırıxıqlıq strukturlarının elementləri sadə quruluşu ilə səciyyələnilir və antiklinoriumun ümumi uzanması istiqamətində - Şimal-Qərb istiqamətində uzanır. Antiklinorium cənubdan, amplitudası 700-800 m-ə qədər olan qırılıb-qalxma tipli regional dərinlik qırılması boyu Daşkəsən sinklinoriumu ilə təmasdadır. Şimaldan isə Kiçik Qafqazın dərinlik qırılması üzrə Kür depresiyasından ayrılır.

Kiçik Qafqazın şimal-şərq hissəsində Erkən Yura (Bayos) zamanı vulkanogen-metasomatik mənşəli kükürd kolçedanı, mis-kolçedan, kolçedan-polimetal, mis-enargit, barit-polimetal, silisiumlu-hematit, barit-polimetal və kaolinit formasiyalarına mənsub yataqlar yaranmışdır [9]. Bu sıraya son illərdə aşkar edilmiş Qədir qızıl-mis-sulfid (kolçedan) [7, 8] və Uğur kəşfiyyat sahəsində

lokallaşmış Uğur qızıl yataqları da əlavə olunmuşdur (şəkil 1). Uğur filizləşmə sahəsinin daxili quruluşunu mürəkkəbləşdirən ikinci dərəcəli qırıxıq strukturlardan aşağıdakıları göstərmək olar.

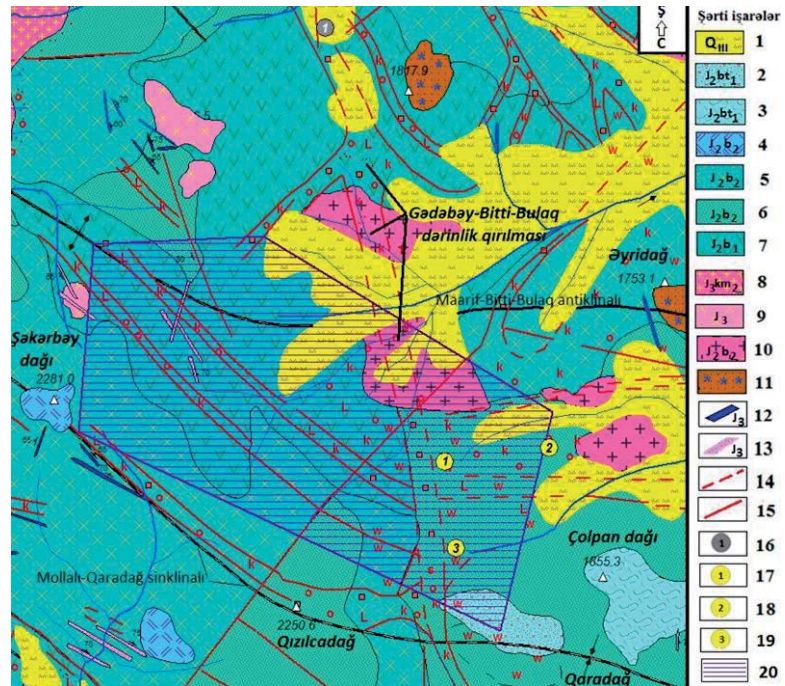
Mollalı-Qaradağ

sinklinalı. Bu strukturun oxu Mollalı adlanan yerdən başlayaraq, Söyüdlü kəndinə qədər uzanır. Söyüdlü kəndi ərazisində sinklinal tamamilə Gədəbəy intruzivi ilə tutulur. Qaradağ dağı yaxınlığında yenidən meydana çıxır və Uğur sahəsinin Cənubunda yerləşən Qızılcadağı yaxınlığında sönür.

Maarif-Bittibulaq

antiklinalı. Qeyd olunan antikalinal en dairəsi istiqamətində uzanmaqla, Şərqdə Pırbulaq kəndindən başlayaraq, Maarif kəndinin Şimalından və Əyridağ dağına Cənubundan keçərək Bittibulaq mis-mərgümüş təzahürünə çatır. Maarif-Bittibulaq antikalinalı Alt və Üst Bayosun effuziv və effuziv-piroklastik süxurlarından təşkil olunmuşdur. Maarif və Slavyanka kəndləri arasında antikalinalın tağ hissəsi Atabəy-Slavyanka intruzivi ilə mürəkkəbləşmişdir. Ağamalı kəndindən Qərbdə isə strukturun oxunda Çanaxçı (Almalıtala) kvarslı diorit intruzivi yerləşir. Bu antikalinalın tağ hissəsində Maarif mis-porfir, Bittibulaq mis-mərgümüş yataqları və b. təzahürlər yerləşir [4].

Gədəbəy-Bittibulaq qırılması. Şəmkirçayın sol qolu olan Gəlinqayası ilə birləşmə hissəsindən başlayaraq, Şimal-Qərb istiqamətində uzanır və Gədəbəy şəhəri və Gədəbəy mis-kolçedan yatağından, Arıxdam kəndindən, Qızılcadağdan, Bittibulaq mis-mərgümüş təzahüründən keçərək, Missuyu çayı boyunca uzanmaqla, Samanlıq kəndinə çatır. Missuyu boyunca qırılma meridional istiqamət alır. Qırılma bütün uzanması boyu kəskin kvarslaşmadan, kaolinləşmədən, serisitləşmədən, müxtəlif sulfid minerallaşmalarından ibarət olan hidrotermal dəyişmələrlə, əzilmə və çatlar sistemi ilə müşayiət olunur. Ən kəskin hidrotermal-metosomatik dəyişmə Gədəbəy yatağı, Qızılcadağ və Bittibulaq təzahürləri sahələrində qeyd olunur. Bu sahələr əsas qırılma zonalarının Şimal-Şərq və en dairəsinə yaxın istiqamətli qırılmaqla kəsişmə sahələrinə təsadüf edir. Qırılma zonası boyu Gədəbəy, Qədir mis-kolçedan yataqları, Çolpan kükürd-kolçedan, Uğur Au-Ag yatağı, Qızılcadağ minerallaşma sahələri və Bittibulaq mis-mərgümüş yatağı yerləşir [11].



Şəkil 1. Uğur sahəsinin geoloji xəritəsi, ilkin miqyas 1:38000

Şərti işarələr: 1 - Dördüncü dövr çöküntüləri: allüvial və ellüvial-dellüvial; 2 - Alt Bat yarım-mərtəbəsi, metamorfik dəyişilmiş tuflar (subvulkanik fasiya); 3 - Alt Bat yarım-mərtəbəsi, andezit tərkibli kiçik ölçülü tuf brekçiyaları; 4, 5 və 6 - Üst Bayos yaşlı riolit-dasit tərkibli porfirin uyğun olaraq subvulkanik, piroklastik və lava fasiyası; 7 - Alt Bayos yaşlı andezit porfirinlər (lava fasiyası); 8 - Çanaxçı intruzivinin ikinci fazası: qranodioritlər, kvars-dioritlər; 9 - diorit tərkibli intruzivlər; 10 - Atabəy-Slavyanka plagiogranit intruziv massivi; 11 - qreyzenləşmiş turmalinli törəmə kvarsitlər; 12 - andezit porfirin tərkibli daykalar; 13 - aplit daykaları; 14 - ehtimal edilən qırılmaqlar; 15 - müəyyən edilmiş qırılmaqlar; 16 - Bittibulaq mis-mərgümüş yatağı; 17 - Qızılcadağ kükürd-kolçedan təzahürü; 18 - Daşbulaq (Qorelski) mis təzahürü; 19 - Uğur qızıl yatağı; 20 - Uğur filizləşmə sahəsi.

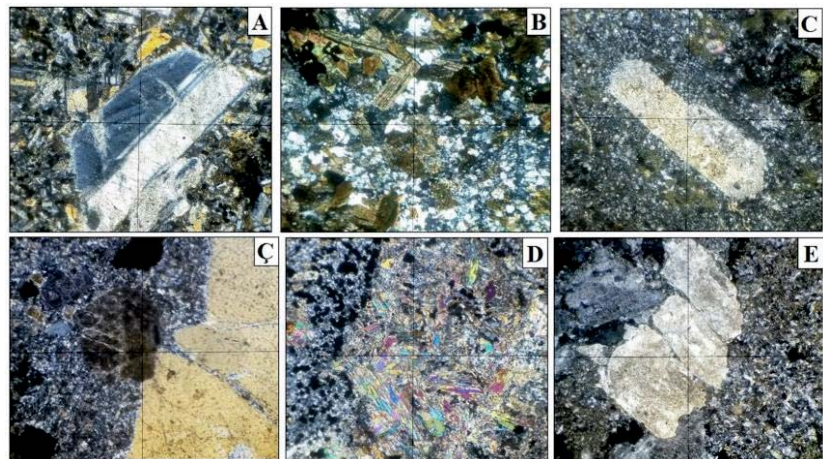
Yatağın geologiyası. Şəmkir antiklinoriumunun Gədəbəy filiz rayonunda, Gədəbəy-Bittibulaq dərinlik qırılması həddlərində, Gədəbəy şəhərindən 4,5km şimal-qərbdə yerləşən Uğur filizləşmə sahəsi Qızılcağağın şimal-şərq və qərb yamaclarını əhatə edərək Bittibulaq mis-mərgümüş yatağına qədər uzanır. Sahə Mollalı-Qaradağ sinklinalının ŞmŞ, Maarif-Bittibulaq antiklinalının CQ qanadında yerləşir. Mütləq yüksəklik nöqtələri suayrıclarında yerləşərək, 1500-1900 m arasında dəyişir. Yataq üçün az meyilli relyef xarakterikdir. Relyefin belə olmasına baxmayaraq, köklü süxurların yer üzünə çıxışı çoxdur. Sahənin az hissəsi müasir çöküntülərlə örtülmüşdür.

Sahədə Alt Bayos yaşlı andezit porfirlərin lava fasiyası (alt vulkanogen qat), cənub və şərqində Üst Bayos yaşlı riolit-dasit-porfir tərkibli süxurların lava fasiyası (üst vulkanogen qat) geniş ərazini əhatə edir və süxurlar qırılma sistemləri ilə doğranmışdır. Şimaldan Atabəy-Slavyanka plagiogranit intruziv massivi ilə əhatə olunan filizləşmə sahəsinin cənub-qərbində yayılmış riolit-dasit-porfir tərkibli süxurların piroklastik fasiyası Qızılcağağın şərq yamacı boyu uzanır. Sahənin tektonik quruluşunda mühüm rol qırılma pozulmalarına, xüsusən, Gədəbəy-Bittibulaq dərinlik qırılmasına məxsusdur. Qırılmanın şərq sərhədi şimal-şərqə 75-85° bucaq altında düşür və ŞmQ istiqamətində uzanaraq, sahəni iki böyük, Qərb və Şərq hissələrinə ayırır. Qərb hissəsi filizləşməyə nəzərən daha perspektivli hesab olunur. Qırılma pozulmaları boyu yer səthində zəif və orta limonitləşmə, kaolinləşmə, hematitləşmə kimi dəyişmələrə tez-tez rast gəlinir. Sahədə dayka sistemi zəif inkişaf etmişdir. Əsasən andezitlər və andezit porfir tipli süxurların törəmə kvarsitləri yarımış ŞmQ və Q istiqamətli dayka sistemlərinə rast gəlinir [1].

Uğur yatağı Bayos (Orta Yura) və Titon (Üst Yura) yaşlı süxurlarda lokallaşan yüksək sulfidli qızıl yatağı hesab edilir. Qızıl filizləşməsi riolasit tərkibli brekçiyalardan ibarət Üst Bayos yaşlı subvulkanik süxurlarda təşəkkül tapmışdır (şəkil 2). Subvulkanik kütlə ilə təmas zonalarında bu süxurlar sonradan güclü hidrotermal dəyişilməyə məruz qalmışlar.

Filizləşmə, əsasən, Üst Bayos yaşlı fumarol tipli turş vulkanizmin təsiri ilə intensiv təmas metasomatik dəyişikliyə uğramışdır. Üst Bayos yaşlı riolit-dasitlərdə və onların aqlomerat tuflarında və törəmə kvarsitlərdə (hidrotermal dəyişilmiş süxurlar) təşəkkül tapmışdır (şəkil 2). Təmas hidrotermal dəyişilmə, Uğur yatağının yaxınlıqdakı yüksəkliklərdə yer səthində çıxışları qeyd olunan plagiogranit intruziyasının təsiri nəticəsində baş vermişdir.

Uğur kəşfiyyat sahəsində minerallaşma məntəqələri regional planda davamlı olaraq izlənilən ŞmQ istiqamətli birinci tərtib qırılma strukturu ilə idarə olunan ŞmQ, ŞmŞ, Ş və C istiqamətli struktur zonalarının qovşağında təşəkkül tap-



Şəkil 2. Uğur kəşfiyyat sahəsində rast gəlinən vulkanik və subvulkanik süxurların petroqrafik şəkilləri (20 dəfə böyüdülmüşdür)

A) Kvarsli andezit; B) Boz rəngli afir strukturlu andezit-dasit; C) Açıq boz rəngli möhtəvi quruluşlu dasit; D) Piritleşmiş, xlorit-epidotlaşmış riolit; E) Açıq boz rəngli kvarsli-plagioklazlı riolit

mışdır. Tektonik qırılma ŞmQ 70-80° yatıma malikdir. Mərkəzi zonanın tektonik qırılmaları hidrotermal metasomatik dəyişilmə və qızıl minerallaşması ilə müşayiət olunur [11].

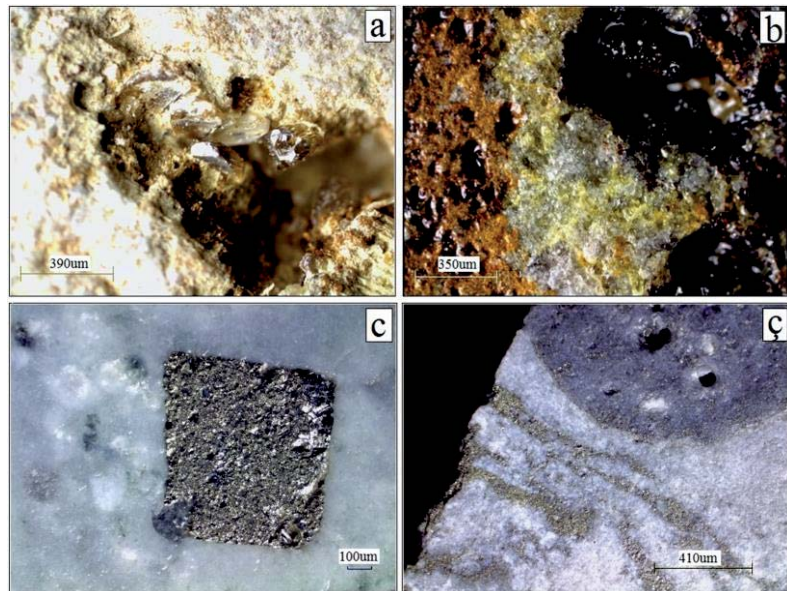
Uğur filiz kütləsinin morfologiyası və mineraloji xüsusiyyətləri. Uğur yatağında aşkar olunmuş filiz kütləsi kasa şəklindədir. Yer səthində (1850m horizontunda) filiz cismi planda 300x200 m, 1750m horizontunda isə 50x50 m təşkil edir. Yataqda filizləşmənin şaquli yayılma diapazonu 110m təşkil edir. Yataqda qızılın, gümüşün və misin paylanması zonallıq müşahidə olunmur. Filizləşmə iki genetik tipdə – ilkin (10%) və oksidləşmiş (90%) filizlər şəklində təzahür etmişdir.

Uğur filizləşmə sahəsindən keçən Qızılcadağ eninə istiqamətli qalınlığı 15m-ə qədər olan qırılma qeyd olunur. Qırılma brekçiyalaşmış, silisləşmiş, hematitləşmiş və limonitləşmiş süxurlarla təmsil olunur. Tektonik strukturlar arasında lokallaşan filizləşmə zonasının intensiv kaolinləşmiş və içərisində pirit, nadir hallarda xalkopirit fenokristalları olan süxurları oksidləşərək güclü limonitləşmiş və oxralaşmış süxurlardan ibarət “dəmir papaq” əmələ gətirirlər.

Yataqda hidrotermal dəyişilmə zonasındakı süxurlar lokal olaraq brekçiyalaşmış, argillitləşmə içərisində isə güclü limonitləşmə və hematitləşmə müşahidə edilir. Təbii açılışlarda intensiv barit və barit-hematit damarları və damarcıqları, həmçinin “dəmir papaq”lar (sulfid zonasının üst hissəsi) müşahidə olunur. Ümumi uzunluğu 270 metr olan üç xəndəkdə (1, 2 və 3 nömrəli xəndəklər) əsas filizləşmə zonalarından sınaqlar götürülmüş, qızıla və gümüşə nəzərən müsbət nəticələr alınmışdır. 1 və 2 nömrəli əsas açılışlardan götürülmüş 550 ədəd sınağın nəticələrindən istifadə olunmuşdur.

Uğur yatağında ilkin filizləşmə, əsasən, hematit-barit-kvars-kaolin damar-damaqcıqları, habelə piritin ştok-ştokverkləri və kvars-sulfid damarlarından ibarət olmaqla turş vulkanik süxurlarda baş vermişdir. Yer səthində ayrılmış filiz cisminin mərkəzində barit-hematit damar-damaqcıq minerallaşması daşıyan brekçiyaları sementləşdirən dəmir oksidlərinin və hidro-oksidlərinin toplanması müşahidə olunur.

Hematit-barit-kvars-kaolin tərkibli damarlar, damarcıqlar və brekçiyalar, həmçinin pirit ştok-ştokverk və kvars-sulfid damarları Uğur sahəsinin əsas minerallaşmasını təşkil edir. Yer səthində əsas filiz kütləsinin mərkəzində barit-hematit minerallaşması ilə törəmə kvarsitlərin çıxışları mövcuddur. Çıxışların üzərində kvarsın və törəmə kvarsitlərin brekçiyalarını sementləşdirən dəmir oksidlərin izləri görünür.



Şəkil 3. Minerallaşma tipləri, kern nümunələri
(x1.0-2.0, Leica S8AP0 binokulyarı ilə çəkilmişdir):

a) boşluqlarda barit kristalları (12.2m, 1№-li quyuyu); b) törəmə kvarsitlərdə barit-hematit və limonitləşmiş damar və damarcıqlar (14m, 1№-li quyuyu); c) kubik formalı pirit kristalı (319.2m, 2№-li quyuyu); d) pirit damarcıqları (89.2m, 2№-li quyuyu)

Aşınma və eroziya hissələrində limonitləşmiş filiz ştoklarının güclü oksidləşmə məhsulu olan “qırmızımtıl kütlə” izlənilir. Tipik dəmir papağı olan bu süxurlar xəndək məlumatlarına əsasən 5-10 m qalınlığa malik olmaqla 0.3-3.5 q/t qızıl və 1.0-45 q/t gümüş saxlayırlar [11].

Qızılın yüksək miqdarı (3-6 q/t) aşağıdakı mineral assosiasiyalarda qeydə alınmışdır (əyar analizinin nəticələrinə əsasən): 1. Barit-hematit-kvars-kaolin (Şəkil 3a və 3b); 2. Hematit-kvars-kaolin; 3. Barit-sulfid-kvars.

Qızılın aşağı miqdarı (0.1-0.6 q/t) isə aşağıdakı mineral assosiasiyalarda qeydə alınıb: 1. Möhtəvi pirit (Şəkil 3c); 2. Pirit ştok və ştokverkləri (Şəkil 3ç); 3. Möhtəvi pirit-kovellin damarcıqları (+/- firuzə).

Hər bir assosiasiya ayrı-ayrılıqda, ləkəvari və hopmuş şəkildə izlənilə bilər. Bütün assosiasiyalar süxurların intensiv kvarslaşma areollarında müşahidə oluna bilər. Möhtəvi pirit yataqda bütün ilkin süxurlarda izlənilir.

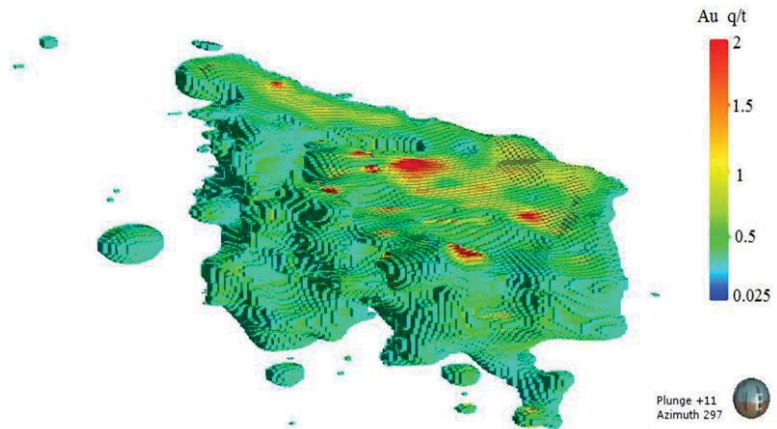
Qeyri-filiz minerallarından kvars, kalsit, barit, plagioklaz, xlorit, epidot, kaolinit, muskovit, firuzə (alt horizontlarda) və s. geniş yayılmışdır.

Geoloji modelləşdirmə. Sahəni qızıl filizləşməsi ehtiyatına görə dünya yataqları ilə müqayisədə kiçik yataqlar qrupuna aid edilir. Filiz cisminin geolomorfoloji yozumunda təxminən 20 intervalda geoloji kəsilişlərdən istifadə etməklə tamamlanmışdır. Bu təhlillərdən "Datamine" proqram təminatında karkasların formalaşdırılması üçün tətbiq edilmişdir və bu karkaslar sonradan resursların qiymətləndirilməsi üçün əsas zona (domaen/filizləşmiş zonalar) kimi istifadə edilmişdir (şəkil 4).

Filizləşmə zonasının ölçüləri təxminən 300x200 metr, maksimum qalınlığı isə 110 metrdir. Modelləşdirmə üçün müəyyənləşdirilmiş əsas filizləşmə zonası planda 230x170 metr, qalınlığı isə təxminən 100 metrdir.

2017-2018-ci illərdə AİMKL şirkətinin baş geoloqu H. Çələbi və “The Joint Ore Reserves Committee (JORC)” şirkəti tərəfindən yataq sahəsində qızıla axtarış-kəşfiyyat-qiymətləndirmə işləri aparılmış və nəticədə faktiki materiallar əsasında qızıl filizinin C₁, C₂, C₁+C₂ və P₁ kateqoriyası üzrə resursları hesablanmışdır (cədvəl).

Bu resurslar Azərbaycan İnterneyşnl Mayning Kompani Limited Şirkətinin apardığı geoloji-kəşfiyyat işlərinin nəticələrinə əsasən müəyyən edilmişdir. Nəticələr yerüstü dağ-qazmalarından (xəndək, şurf və s.) və buruq quyularından əldə olunan faktiki məlumatlara, analitik işlərin nəticələrinə, həmçinin geoloji interpolyasiyaya və ekstrapolyasiyaya əsaslanır.



Şəkil 4. “DataMine” (DataMayn) proqram təminatı əsasında ehtiyatların hesablanması və blok modelin “ortoqonal” görünüşü

Uğur yatağı üçün hesablanmış filiz ehtiyatları

Yatağın ehtiyatları	Tonnaj	Qızılın orta miqdarı	Gümüşün orta miqdarı	Qızıl	Gümüş
	Mt	(q/t)	(q/t)	(Unsiya)	(Unsiya)
Ölçülmüş (C_1)	4,12	1,2	6,3	164	841
Göstərilmiş (C_2)	0.34	0.8	3.9	8	44
Ölçülmüş+Göstərilmiş	4.46	1,2	6.2	172	884
Proqnozlaşdırılan (P_1)	2.5	0.3	2.1	27	165
Cəmi:	6.96	0.9	4.7	199	1049

Tədqiqat üsulları. Məqalənin əsasına müəlliflərin 2014-2018-ci illər ərzində Gədəbəy-Bittibulaq dərinlik qırılması boyu və o cümlədən, Uğur filizləşmə sahəsi həddlərində apardığı çöl-tədqiqat işləri nəticəsində topladığı materiallar və onların laboratoriya tədqiqatlarının nəticələri qoyulmuşdur. İş prosesində filiz sahəsinin regional xəritəsi nəzərdən keçirilmiş və yatağın geoloji struktur və hidrotermal dəyişmələr xəritələri tərtib edilmiş, mövcud olanlar isə yeni geoloji məlumatlar əsasında dəqiqləşdirilmişdir. Petroqrafik-mineraloji tədqiqatlar məqsədilə 1000-ə qədər kimyəvi, 20-ə yaxın miqdarı spektral, 10 ədəd 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 Uğur filiz kütlələrinin ilkin mineraloji xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi məsələləri yerinə yetirilmişdir. Qrafik materialların tərtibində müəlliflər tərəfindən Datamine, MapInfo, Leapfrog Geo, Surpac proqram təminatlarından geniş istifadə edilmişdir.

Öldə olunmuş nəticələr. Tədqiqatı aparılan Uğur filizləşmə sahəsində geniş yayılmış süxurlar əsasən Bayos vulkanizminin məhsulu olaraq, ardıcıl diferensiallaşmış bazalt-andezit-dasit-riolit forması bazalt-andezit (alt bayos) və dasit-riolit (üst bayos) subformasiyalarından ibarətdir.

Vulkanogen formasıyanın son turş mərhələsində (üst bayosun sonu) dasit-riolit tərkibli ekstruziyanın yaranması və filizdaşıyan flüidın ayrılması prosesləri baş vermiş və bu əlverişli fəaliyyətlə genetik əlaqədar olaraq Gədəbəy filiz rayonunda aşağı-orta temperaturu Uğur qızıl yatağı formalaşmışdır.

Yataq rayonunda təxminən bütün yan süxurlar az və ya çox dərəcədə hidrotermal-metasomatik dəyişilmələrə məruz qalmışdır. Belə yataqlarda hidrotermal-metasomatik dəyişilmələr əsasən propilitlərdən və törəmə kvarsitlərdən ibarətdir.

Törəmə kvarsit metasomatitlərinin ən geniş yayılmış paragenetizləri kvars-kaolinit, kvars-serisit və kvars-kaolinit-alunit minerallarından təşkil olunmuşdur.

Yataqda öyrənilmiş filiz kütləsi kasa formasında olması təklif edilir və filiz ehtiyatları kiçik-orta olaraq qiymətləndirilir.

Əsas filizləşmə zonası içərisində qızıllı barit-hematit damar-damarcıq minerallaşmasına malik törəmə kvarsitlərdən ibarətdir. Onların üstündə kvars və törəmə kvarsit brekçiyalarını

sementləşdirən dəmir oksidləri və hidrooksidləri toplanır. Yer səthinin eroziyaya uğramış yerlərində müşahidə olunan “qırmızı kütlə” filiz cisminin və ştokverk tipli hematit filizləşməsinin oksidləşmə məhsuludur.

Nəticə. İşin əsas məqsədi Uğur yatağının geoloji-struktur şəraitinin və filiz cisimlərinin morfoloji və mineraloji xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi, geoloji-kəşfiyyat və istismar işlərinin düzgün istiqamətləndirilməsi və geoloji modelləşdirilməsi məsələlərinin öyrənilməsindən ibarətdir.

Qarşıya qoyulmuş məqsədlə əlaqədar olaraq müəlliflərin tədqiqatları aşağıdakı istiqamətlərə yönəldilmişdir: filiz sahəsi və yataq miqyasında filizyerləşdirici strukturların tədqiqi; filiz sahəsinin maqmatik komplekslərinin geoloji xüsusiyyətlərinin tədqiqi və onların filizəmələgəlmədə rolunun müəyyənəndirilməsi; filiz cisimlərinin morfoloji xüsusiyyətlərinin, onların daxili quruluşunun və maddi-mineral tərkibinin öyrənilməsi və minerallaşma mərhələlərinin ayrılması; filiz kütləsinin axtarışın proqnozlaşdırılması faktorlarının və qızıl filizləşməsinin qiymətləndirilməsi.

REFERENCES

1. **Bayramov A.Ə.** Uğur filizləşmə sahəsinin geoloji quruluşunun və filizliliyə perspektivliyinin öyrənilməsi // “Yer və İnsan” elmi-populyar jurnal, №2, 2015. Bakı. S. 55-57/
2. **Musayev Ş.C., Abdullayeva Ş.F.** Çovdar filiz sahəsinin geoloji quruluşunun özəllikləri və filizləşmənin yerləşmə qanunauyğunluqları // Bakı Universitetinin Xəbərləri, Təbiət elmləri seriyası, 2015, №31.
3. **Abdullaev R.N.** Mezazojiskij vulkanizm severo-vostochnoj chasti Malogo Kavkaza. Baku: izd. AN Azerb. SSR, 1963.
Абдуллаев Р.Н. Мезазойский вулканизм северо-восточной части Малого Кавказа. Баку: изд. АН Азерб. ССР, 1963.
4. **Abdullaev R.N., Ismet A.R., Bagirbekova O.D., Abdullaev I.A.** Vozrastnoe raschlenenie magmaticeskix obrazovanij severo-vostochnoj chasti Malogo Kavkaza po dannym K-Ar metoda. Baku: Jelm. 1979.
Абдуллаев Р.Н., Исмет А.Р., Багирбекова О.Д., Абдуллаев И.А. Возрастное расчленение магматических образований северо-восточной части Малого Кавказа по данным К-Аг метода. Баку: Элм. 1979.
5. **Baba-zade V.M., Ramazanov V.G., Masimov A.A., Ismailova A.M.** Cherty geohimii metasomatitov severo-zapadnoj chasti Megri-Ordubadskogo plutona // Struktura, geohimiya i mineralogiya rudnyh i nerudnyh mestorozhdenij Azerbajjana. Baku: Izd. AGU, 1989.
Баба-заде В.М., Рамазанов В.Г., Масимов А.А., Исмаилова А.М. Черты геохимии метасоматитов северо-западной части Мегри-Ордубадского плутона // Структура, геохимия и минералогия рудных и нерудных месторождений Азербайджана. Баку: Изд. АГУ, 1989.
6. **Baba-zade V.M., Agasiev M.A., Ramazanov V.G.** Tipovye geologo-geneticheskie modeli medno-porfirovyh mestorozhdenij Malogo Kavkaza // Struktura, geohimiya i mineralogiya rudnyh i nerudnyh mestorozhdenij Azerbajjana. Baku, Izd. AGU, 1989.
Баба-заде В.М., Агасиев М.А., Рамазанов В.Г. Типовые геолого-генетические модели медно-порфировых месторождений Малого Кавказа // Структура, геохимия и минералогия рудных и нерудных месторождений Азербайджана. Баку, Изд. АГУ, 1989.
7. **Baba-zade V.M., Mahmudov A.I., Ramazanov V.G.** Medno- i moliden-porfirovye mestorozhdeniya. Baku: Azerneshr, 1990. 377 s.
Баба-заде В.М., Махмудов А.И., Рамазанов В.Г. Медно- и молиден-порфировые месторождения. Баку: Азернешр, 1990. 377 с.
8. **Bayramov A.A.** “Geological Setting of The New Discovering Gadir Low Sulfidation Epithermal Deposit, Gedabek Ore District, Lesser Caucasus, Azerbaijan”, IJSET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, 4, 12. 2017. C. 21-27.
9. **Doebrich L.J., Babazade V.M., Kekelia S.A., Ramazanov V.G., Mamedov Z.Y., Ismailova A.M., Abdulaeva Sh.F., Kekelia M.A., Kuloshvili S.I., Gagnidze N.E., Sadradze N.G.** Geological-Geophysical and Geochemical Models of Ore Magmatic Systems of Porphyry Copper Deposits of the Kedabek Mining District. Proceedings of LEPL Alexandre Janelidze Institute of Geology, New Series, 2008. vol. 124. Pp. 307-316.
10. **Kerimov G.İ.** Petrology and mineralization of Gedabek ore district. Baku, 1976. 175 p.

11. Valiyev A.A., Bayramov A.A., Ibrahimov J.R., Mammadov S.M., Jafarov Z.A. Lithological-Structural Setting and Mineralization Styles of Reza High Sulfidation Epithermal Gold Deposit of Ugur Exploration Area, Gedabek Ore District, Lesser Caucasus, Azerbaijan; A Newly Discovered Orebody in the Western Asian. Ore Deposits of Asia: China and Beyond. 2017. September 17-20, Beijing, China.
12. Veliyev A.A., Bayramov A.A., Ibrahimov J.R., Mammadov S.M., Alizhadeh G.M. Geological Setting and Ore Perspective of the New Discovered Gadir Low Sulfidation Epithermal Deposit, Gedabek NW Flank, Lesser Caucasus, Azerbaijan, Universal Journal of Geoscience, 6, 3, 2018. C.78-101.
13. White N.C., Hedenquist J.W. Epithermal environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guidelines for exploration // Journal of geochemical exploration. 36. 1990. C. 445-474.

Redaksiyaya daxil olub: 15.09.2018
Tamamlama işlərindən sonra: 11.05.2019
Nəşrə qəbul edilib: 20.05.2019

ГЕОЛОГО-МОРФОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УГУРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА

А.А. ВЕЛИЕВ, Ш.М. ГАДИМОВ, А.А. БАЙРАМОВ,
С.М. МАММАДОВ, Д.Р. ИБРАХИМОВ

Статья посвящена геологическому строению, морфологии рудной массы, этапам минерализации, минералогическому составу и оценке минеральных ресурсов Угурского золотоместорождения промышленного значения, расположенного в 5 км от Гедабекского месторождения на Гедабек-Биттибулагском глубинном разломе и впервые разведанного Геолого-разведочной Группой Гедабека АМГКЛ в 2016 году. В результате геологической интерпретации выявлено, что на Угурском участке рудное тело имеет сложную форму - «чашу», горизонтально и вертикально увеличивающуюся в Ю-З направлении; в основном размещено в метасоматитах, образованных в результате гидротермального изменения субвулканических риолитов. Сделан вывод, что золотоносное рудообразование в основном тесно связано с барит-гематит, массивной и полумассивной пиритовой минеральными ассоциациями.

Ключевые слова: Гедабекский рудный район, Угурское месторождение, стадии минерализации, минералогический состав, золото.

GEOLOGY, MORPHOLOGICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERISTIC OF THE UGUR GOLD DEPOSIT, GEDABEK ORE DISTRICT, LESSER CAUCASUS, AZERBAIJAN

A.A.VELIYEV, SH.M.GADIMOV, A.A.BAYRAMOV,
S.M.MAMMADOV, C.R.IBRAHIMOV

The article is devoted to the geological structure, the morphology of the ore mass, the stages of mineralization, the mineralogical composition properties and estimation of mineral resources of the Ugur gold deposit of industrial significance, located 5km from Gedabek deposit on the Gedabek-Bittbulag deep fault and first explored by the Gedabek Exploration Group of AIMCL in 2016. As a result of the geological interpretation, it was revealed that in the Ugur area the ore body has a complex “bowl” shape, horizontally and vertically decreasing in the deeper direction; mainly located in metasomatites formed as a result of hydrothermal alterations of subvolcanic rhyolites. It can be concluded that gold-bearing ore formation is mainly closely related with barite-hematite, massive and semi-massive pyrite mineral associations.

Keywords: Gedabek ore region, Ugur deposit, stages of mineralization, mineralogical composition, gold.

UOT: 614. 84

YANĞINSÖNDÜRMƏ SAHƏSİNDƏ TƏTBİQ EDİLƏN MÜXTƏLİF KÖPÜKƏMƏLƏGƏTİRİCİ MADDƏLƏRİN SÖNDÜRMƏ XÜSUSİYYƏTLƏRİNİN TƏHLİLİ

M.A. QURBANOVA*, Ş.Ə. ƏHMƏDOV**

Məqalədə yanğın söndürmə sahəsində tətbiq edilən müxtəlif köpükəmələgətirici maddələrin söndürmə xüsusiyyətlərinin müqayisəli təhlili aparılmışdır.

Açar sözlər: köpükəmələgətirici maddələr, yanğın hadisələri, sintetik tərkibli köpükəmələgətirici maddələr, ftortərkibli köpükəmələgətirici maddələr.

Giriş. Elm və texnikanın, yeni sintetik materialların tətbiqi ilə istehsalın, kimya, neft və qaz sənayesi sahələrinin sürətli inkişafı, texnoloji proseslərdə böyük miqdarda yanğın və partlayış təhlükəli maddələrin istifadə edilməsi, ictimai və yaşayış binaların mərtəbələrinin və sahələrinin artması yanğınların xəbərdar edilməsi və söndürülməsi daim diqqət tələb edir. Fövqəladə Hallar Nazirliyinin verdiyi statistikaya əsasən, tezalısan və yanar mayelər saxlanılan çənlərdə baş vermiş yanğınlar, ümumilikdə neft - kimya obyektlərində baş verən yanğınların 15% - ni təşkil edir. Lakin, bu cür yanğınlar mürəkkəb inkişaf prosesi ilə xarakterizə olunur və bir qayda olaraq, uzun müddət davam edir. Belə yanğınların aradan qaldırılması üçün effektiv yanğınsöndürücü vasitələr, xüsusi texnika və böyük sayda qüvvənin cəlb edilməsi tələb olunur. İndiyə kimi neft sənayesində ən iri miqyaslı yanğınlar, karbohidrogen tərkibli məhsulların hasilatı, nəqli, emalı və saxlanması ilə məşğul olan müəssisələrin texnoloji sxeminə daxil olan rezervuarlarda baş verən yanğınlar olaraq qalır. Bu cür yanğınlar B sinifli yanğınlar qrupuna aid edilir və belə yanğınların effektiv söndürülməsində yanğınsöndürücü vasitə kimi əsasən köpükəmələgətirici maddələrdən istifadə edilir.

Əsas hissə. Yanğınsöndürmə üçün köpük əmələgətiricilərinin müasir keyfiyyəti keçən yüzillik ərzində formalaşmışdır. Bu sahədə ilk addım 1902-ci ildə Sankt - Peterburq şəhərində kimyaçı Loran tərəfindən əsas qoyulmuş kimyəvi köpük üzərində ilkin təcrübələrin aparılması hesab olunur [1]. Sənayenin inkişaf etməsi ilə köpüyün keyfiyyətinə olan yeni tələblər meydana çıxdı. Bu da eyni zamanda, köpükəmələgətirici maddələrin tərkibinin təkmilləşdirilməsi və köpük generatorlarının yeni konstruksiyalarının yaradılmasına səbəb oldu. Köpükəmələgətiricilərin tərkibləri bir qayda

* Fövqəladə Hallar Nazirliyinin Akademiyası

** Azərbaycan Texniki Universiteti

olaraq, istehsalçı şirkət tərəfindən açıqlanmır, buna görə də onları müəyyən sinfə aid etmək çətinlik törədir.

Köpüklər, səthi - aktiv maddələrin su məhlullarından əldə edilir. Bu maddələrin əsas fərqləndirici xassələri onların “su – hava” və “su – karbohidrogenlər” fazalarının sərhəd təbəqələrində sərbəst şəkildə həllolma, adsorbsiya olunmaq qabiliyyətindən ibarətdir. Müxtəlif növ köpük əmələgətiriciləri müqayisə etdikdə, növlərlə yanaşı, kimyəvi tərkibləri, səciyyəvi xüsusiyyətləri və təyinatları da nəzərə almaq lazımdır. Təsnifatlarına əsasən, onları proteinli, sintetik, ftor - protein tərkibli, ftor - sintetik tərkibli, universal növlərə ayırmaq olar.

Protein tərkibli köpükəmələgətirici maddələr. Bu maddələrin əsas fərqləndirici cəhəti köpük sabitləşdiricisi kimi ümumi ifadəsi $[H_2NR'(CONHR'')_n]COONa$ olan hidroliz edilmiş təbii zülaldan istifadə olunmasıdır. Burada $n = 3...6$; R – müxtəlif SAM əlavəli aşağı molekulyar zülalların və digər birləşmələrin hissələrə ayrılma qalıdır [9].

Zülallı molekulların mürəkkəb quruluşu və onların ayrı - ayrı hissələrinin səthində, zülallı tərkiblər əsasına malik nisbətən səthi hissələrdə adsorbsiya imkanı sayəsində [10] köpüklər olduqca yüksək hidrostatistik və termik davamlığa malikdirlər, bu da təkrar alışmanın qarşısını almağa kömək edir. Protein tərkibli köpüklər qaynar metal səthlərə (məsələn, rezervuarların divarları) tətbiq edilə bilər, lakin yanacaqda çirklənmələrə qarşı olduqca həssasdır. Bununla əlaqədar olaraq, köpüyün tətbiqi zamanı ötürmə bilavasitə yanacaqda yönləndirilməlidir. Rezervuarlarda yanğınsöndürmə təcrübəsində protein köpüyünün “mülayim ötürmə” üsulu ilə borta istiqamətləndirilməsi (imkan daxilində tangensial) nəzərdə tutulmuşdur. Zülallı birləşmələrin (SAM kimi) əhəmiyyətli çatışmazlığı, onlardan orta və yüksək artımlı köpük əldə edilməsinin mümkün olmamasıdır. Bu da proteinli köpük əmələgətiricilərin taktiki imkanlar diapazonunu məhdudlaşdırır [6]. Mövcud çatışmazlıqlara baxmayaraq, bəzi ölkələr hələ də protein tərkibli köpükəmələgətirici maddələrin ucuzluğunu və xammalın geniş yayılmasını əsas tutaraq yanğınsöndürmə sahəsində tətbiq edirlər. Bu tərkibli köpükəmələgətirici maddələrdən respublikamızda ümumiyyətlə istifadə edilmir.

Sintetik köpük əmələgətiricilərin əsasını karbohidrogen SAM təşkil edir. Əksər hallarda tərkiblərdə səthi - aktiv anion və qeyri - aktiv kation su məhlulunda parçalanan anion SAM - lərdən istifadə edilir. Belə birləşmələr yüksək köpük əmələgətmə qabiliyyətinə malikdir, orta və yüksək artımlı köpük əldə edilməsini təmin edirlər. Əsas köpük sabitləşdiricisi SAM - dən əlavə, sintetik tərkiblərin böyük əksəriyyəti müxtəlif əlavələrdən ibarətdir. Digər köpük əmələgətiricilərdə olduğu kimi, bu əlavələr də köpükəmələgətirici maddələrin ya istismar xassələrini (donma temperaturu, suvaşqanlıq, saxlanma, korroziya aktivliyi), ya da məqsəd xassələrini (yanğınsöndürmə və köpük əmələgətirici qabiliyyəti) təkmilləşdirir.

Sintetik köpük əmələgətiricilərin köpüklərinin yanğınsöndürmə xassələrinin tədqiqi nəticələri, onların tətbiq sahəsinin protein tərkibli köpük əmələgətiricilərindən daha geniş olduğunu göstərir. Neft məhsulları yanğınlığının söndürülməsi ilə yanaşı, onlardan böyük həcmli yanğınlığın söndürülməsində də geniş istifadə edilir. Sintetik köpüklərin çatışmazlıqları haqqında danışdıqda onların aşağı termik və hidrostatistik davamlığını, xüsusilə də karbohidrogen çirklənməsinə qarşı az davamlı olmasını qeyd etmək lazımdır. Sintetik SAM molekullarının qeyri-polyar radikallarının karbohidrogen yanacaq mayeləri ilə oxşarlığı nəticəsində sonuncular asanlıqla SAM həll olmasına səbəb olur və bununla da, yanacaqda təmasda olan köpüyün sabitliyini pozur. Bu proses hava ilə sərhəddə SAM məhlulunun yanacaq mayenin səthi gərilməsi arasında ziddiyyətli fərqlin olması nəticəsində köpük təbəqələri boyunca karbohidrogenlərin asanlıqla axması ilə əlaqədar daha da güclənir. Bu proses, həmçinin köpüyün axın sürətinin artırılması ilə də güclənir. Belə ki, bu zaman köpük

kanallarında yanacaqın köpük tərəfindən udulmasının başlıca aparıcı qüvvəsi olan kapilyar yüksəlməsi prosesi güclənir. Sintetik tərkiblərin yanacaq [11] ilə “sərt” təmas şəraitində və yaxud yanacağın təbəqə altından söndürülməsi zamanı effektivsizliyinin səbəbi aydın olur.

Ftortərkibli köpükəmələgətirici maddələr. Proteinli və sintetik köpük əmələgətiricilər üçün səciyyəvi olan çatışmazlıqlar ftor - proteinli tərkiblərdə əhəmiyyətli dərəcədə aradan qaldırılmışdır. Adından da məlum olduğu kimi onlar zülal və ftor tərkibli SAM - dən ibarətdir. Bu tərkiblərdən əldə edilmiş köpük zülalı köpüklərin ən yaxşı xassələrini, yəni yüksək termik və hidrostatik davamlılığını özündə saxlayır və FSAM nəticəsində yüksək axma qabiliyyəti və karbohidrogenlərin təsirinə qarşı neytrallıq əldə edir.

Ftor - protein tərkibləri əsasən, protein tərkiblər kimi hazırlanır, lakin sonrakı mərhələlərdə qarışığa FSAM əlavə olunur. Tərkiblərdə istifadə edilən müxtəlif əlavələr digər köpük əmələgətiricilərində olduğu kimi eyni məqsədlər daşıyır: köpüyün sabitliyinin, davamlılığının artırılması, donma temperaturunun aşağı salınması və s. Yarandığı andan etibarən ftor - protein tərkibləri rezervuarlarda neft məhsulları yanğınlarının söndürülməsi vasitələri arasında əsas yerlərdən birini tutmuşlar və bu gün də həmin yeri qoruyub saxlamaqdadırlar. Bu köpük əmələgətiricilərinin köpüyü vasitəsilə bir çox iri həcmli rezervuar yanğınları söndürülmüşdür. Onlardan Amoko (ABŞ), Sinqapur və digərlərinin adlarını çəkmək olar. *Angus F.A.* şirkətinin Sinqapurda tətbiq edilən FP70 ftor - protein tərkibli köpük əmələgətiricisi bir sıra inkişaf etməkdə olan ölkələrə ixrac edilir.

Müasir ftor - protein tərkiblər nisbətən aşağı dəyəri, yüksək saxlanma qabiliyyəti (protein tərkibləri müqayisədə) ilə fərqlənir. Xüsusilə neft məhsullarının təbəqə altından söndürülməsi baxımından effektivdirlər [7]. Ftor üzvi birləşmələrin ən son kimyəvi nailiyyətləri ftor - protein tərkibinə, effektivliyi artıran və tətbiq sahəsi diapazonunu genişləndirən təbəqə əmələgətirmə xüsusiyyəti əlavə etmək imkanı verdi. Müasir ftor - protein tərkibli köpük əmələgətiricilərindən geniş həcmli yanacaq tökülmələri və təyyarə qəzaları zamanı baş verən yanğınların söndürülməsi üçün istifadə edilir.

Ftor - sintetik köpük əmələgətiriciləri ilk dəfə 70 – ci illərin əvvəllərində «3M» (ABŞ) şirkəti tərəfindən istehsal edilmişdir. Onlar adi sintetik köpük əmələgətiricilərindən son dərəcə aşağı səthi gərilmə sayəsində karbohidrogenlərin səthində su təbəqəsi yaratmaq effekti ilə fərqlənilirlər [13]. Təbəqə əmələgətirmə, karbohidrogenlərə qarşı neytrallıq, aşağı hidro və termik davamlıq və köpük əmələgətirmə qabiliyyəti ftor - sintetik köpük əmələgətiricilərinin tətbiq sahəsini müəyyən edir. Daha əvvəl qeyd edildiyi kimi, onlar geniş sahələrdə karbohidrogen (yüngül fraksiyalar istisna olmaqla) yanğınlarının söndürülməsi və yanacağın təbəqə altından söndürülməsi üçün (ayrı-ayrı tərkiblər üçün) istehsal edilmiş və bu gün də tövsiyə olunur. Təbəqə əmələgətirici köpük əmələgətiricilərindən hava - köpük yanğınsöndürücü qurğuları üçün tərkiblər qismində istifadə edilməsi geniş yayılmışdır [12, 14].

Universal köpükəmələgətiricilərin tətbiq sahəsinin genişləndirilməsində ilk addımlar sintetik polimerli tərkiblərin işlənilib hazırlanması və protein tərkiblərinə FSAM - in əlavə edilməsi olmuşdur. Yanğınsöndürmə vasitələrinin inkişaf etdirilməsi ilə ftor - protein tərkibli təbəqə əmələgətirici köpük əmələgətiriciləri yaranmışdır. Hal - hazırda köpük əmələgətirici vasitələrin istehsalı üzrə aparıcı yerləri tutan şirkətlərin hamısı məhsul çeşidləri arasında universal köpük əmələgətiricisinə malikdir [7, 8].

Köpük əmələgətiricilərinin təkmilləşdirilmə tarixi boyunca fiziki - kimyəvi xassələr, istismar xərclərinin azaldılması, korroziya aktivliyinin azaldılması hesabına saxlanma müddətinin uzadılması, saxlanma zamanı sabitliyin artırılması, donma temperaturunun aşağı salınması, işlək qatılığın

azaldılması və s. istiqamətində dəyişikliklərə uğramışdır. Köpük əmələgətiricilərin istehlakçı xassələri, xüsusilə qoruma və köpük əmələgətirmə qabiliyyəti təkmilləşmə istiqamətində inkişaf etmişdir ki, bu da müvafiq olaraq xassə diapazonunun genişlənməsini tələb edir. Yuxarıda deyildiyi kimi, köpük əmələgətirici kompozisiyaların xassələri əsasən onların kimyəvi tərkibi ilə müəyyən olunur. Tərkiblərin mürəkkəbləşdirilməsi kompozisiyaların bahalaşmasına səbəb olur. Yanğın növlərinin müxtəlifliyi daha ucuz, lakin az effektiv tərkiblərin ən effektiv və bahalı tərkiblərdən qənaət baxımından daha sərfəli olmasına gətirib çıxarır. Digər bir tərəfdən, başqa bir effektiv tərkiblərin istifadəsinin zəruri olduğu şərtlər də mövcuddur.

Köpüyün effektivliyini və yaxud yanğınsöndürmə qabiliyyətini adətən, yanğınların stasionar şəraitlərdə söndürülmə vaxtına əsasən qiymətləndirirlər. Effektivliyin daha ətraflı xarakteristikası yanğının söndürülməsinin (suda həll olmayan birləşmələrin) mümkün olduğu zaman müddətində köpük əmələgətiricisinin minimal xüsusi sərfi və yaxud verilmənin böhran intesivliyidir.

Onu da qeyd etmək lazımdır ki, köpük əmələgətiricisinin xassələri və köpüyün xüsusiyyətlərindən əlavə, böhran intensivlik YM-in təbiətindən, onun səthi temperaturundan, təbəqənin qalınlığından, köpüyün veriliş üsulundan və s. asılıdır. Buna baxmayaraq, yanğınsöndürmə qabiliyyətinin müəyyən edilməsi üzrə əldə edilmiş nəticələr həttə, sadalanan amillərin nəzərə alınması ilə birmənalı şərh olunmur.

[3]-də 150 m² həcmində rezervuarlarda heksanın proteinli, təbəqə əmələgətirici və spirtli köpük əmələgətiricilərinin zəif axınlı köpüyü ilə və sintetik köpük əmələgətiricisinin yüksək axınlı köpüyü ilə söndürülməsi üzrə aparılmış təcrübələrin nəticələri verilmişdir. Ən yaxşı nəticə yüksək axınlı köpükdə, ən pis nəticə isə - təbəqə əmələgətirici köpük əmələgətiricisində qeydə alınmışdır.

Analoji olaraq [15]-də verilmiş təcrübə şərtlərini qeyd etmək olar. Bu təcrübə zamanı ən yaxşı nəticəni yüksək axınlı, ən zəif nəticəni isə zəif axınlı köpük göstərmişdir. O da qeyd edilir ki, zəif axınlı köpük yüksək izolyasiya etmə qabiliyyətinə malikdir və yüksək axınlı köpüyün istifadəsi texniki cəhətdən mürəkkəbdir. Proteinli köpük əmələgətiricilər haqqında, daha əvvəl aparılmış təcrübələr zamanı zəif effektə malik olmaları sübut edildiyindən sınaqdan keçirilmədikləri deyilir.

Müxtəlif karbohidrogenləri (heksan, heptan, dodekan, heptan və dodekan qarışığı, yüksək növlü benzin, ağ neft, dizel yanacağı və neft) proteinli, ftor - proteinli, sintetik və təbəqə əmələgətirici köpük əmələgətiricilərinin köpükləri [2,18] ilə söndürmüşlər. Təcrübə nəticəsində köpüklərin yanğınsöndürmə effektivliyi itirdikləri suvaşqanlıq həddlərinin növbəti ardıcılığı əldə edilmişdir: proteinli köpük < sintetik və ftor - proteinli tərkibli köpük < təbəqə əmələgətirici köpük.

Avia yanacaqların ümumi təyinatlı sintetik köpük əmələgətiricisinin, yüksək yanğınsöndürmə effektivinə malik sintetik köpük əmələgətiricisinin və təbəqə əmələgətirici köpük əmələgətiricisinin zəif axınlı köpüyü ilə söndürülməsi zamanı, yanğının yalnız təbəqə əmələgətirici köpük vasitəsilə söndürülməsinin mümkünlüyü müşahidə olunmuşdur [15, 16].

Həmçinin, [5]-də orta axınlı köpüyün zəif effektivliyi səbəbindən geniş tətbiq edilmədiyini qeyd olunur. Bir sıra işlərdə köpüklə yanğınsöndürmə problemləri kifayət qədər ətraflı və obyektiv işıqlandırılır, rezervuarlarda baş vermiş karbohidrogen yanğınlarının köpüyün üstən və ftor - proteinli köpük əmələgətiricilərinin köməyi ilə yanacağın təbəqə altında verilişi üsulu ilə söndürülməsi zamanı müşahidə edilmiş ən yüksək effektivlər haqqında nəticələr göstərilmişdir.

Qeyd olunur ki, təbəqə əmələgətirici köpük əmələgətiricilərinin köpüyü ftor - proteinli tərkibli köpük əmələgətiriciləri ilə müqayisədə daha az termik davamlığa malikdir və buna görə də rezervuar yanğınlarının söndürülməsi zamanı daha zəif nəticələr göstərir. Bununla yanaşı, bu köpük əmələgətiriciləri növlərinin geniş sahələrdə YM axması zamanı baş verən yanğınların söndürülməsi

üçün köpüyün yaxşı yayılma qabiliyyəti və su təbəqəsinin köpüyündən yaranan qoruyucu xüsusiyyətlərinə görə daha üstün olması bildirilir.

Angus Fire Armor (İngiltərə) şirkəti “Petroseal” adlı ftor - protein tərkibli köpük əmələgətiricisini reklam edərkən, onun ilk növbədə yanacaq tökülmələri yanğınları və daha sonra rezervuarlarda baş verən yanğınlar üçün tətbiq edilməsini məsləhət görür. Şirkət öz köpük əmələgətiricilərinin 90 m² sahədə neft məhsullarının axması zamanı baş vermiş yanğınların model üzrə söndürülməsi sınağından müvəffəqiyyətlə keçməsi barədə məlumat verir. Həmçinin, yanacaq məhsullarının axması zamanı yaranmış yanğınların ftor - protein tərkibli köpük əmələgətiricilərinin (xüsusilə, “Petroseal” və “Alcoseal”) köməyi ilə daha effektiv şəkildə söndürülməsi də qeyd edilir.

Nəticə. Ədəbiyyat mənbələrinin daha dəqiq təhlili göstərir ki, eyni köpük əmələgətiricilərin müxtəlif nəticələri aparılmış təcrübə şəraitlərindən asılı olaraq dəyişir. Beləliklə, əksər tədqiqatçılar, o cümlədən Rusiya tədqiqatçıları [17] tərəfindən də müəyyən edilmişdir ki, rezervuarlarda baş verən yanğınları zəif axınlı köpüklərə nisbətən orta axınlı köpüklər daha tez söndürür. İlk baxışda buradan belə qənaətə gəlmək olar ki, sintetik köpük əmələgətiriciləri ilə sabitləşdirilmiş bu köpüklərin effektivliyi orta və yüksək axınlı köpüklər yaratmaq qabiliyyətinə malik olmayan protein tərkibli köpük əmələgətiricilərinin köpüklərindən daha yüksək olacaq.

Sintetik köpük əmələgətiricilərdən alınan köpük neft məhsullarının rezervuarlarda baş vermiş və uzun müddət davam edən geniş yanğınlar zamanı az effektivdir. Hal - hazırda təcrübədə sintetik köpük əmələgətiricilərindən alınan orta axınlı köpüklərdən və yaxud ftor tərkibli köpük əmələgətiricilərinin zəif axınlı köpüyündən istifadə etmək təklif edilir [4].

Ftor - protein tərkibli və təbəqə əmələgətirici köpük əmələgətiricilərin müqayisəli effektivliyinin qiymətləndirilməsi zamanı yaranan fikir ayrılıqları da həmçinin, nəticələrin əldə edilmə şəraitlərinin müxtəlifliyindən irəli gəlir [17, 18].

Müxtəlif növ köpükəmələgətiriciləri müqayisə etdikdə, növlərlə yanaşı, kimyəvi tərkibləri, səciyyəvi xüsusiyyətləri və təyinatları da nəzərə almaq lazımdır. Sadalanan, köpükəmələgətirici maddələrin hər birinin tətbiq sahəsində müəyyən çatışmazlıqları vardır. Buna baxmayaraq, müasir dövrümüzdə də yanğınsöndürmə sahəsində SAM tərkibli müxtəlif köpükəmələgətirici maddələr geniş tətbiq olunur. Lakin, artıq bəzi dünya dövlətləri B sinifli yanğınların söndürülməsində digər alternativ üsulların tətbiqinə çalışırlar və müəyyən mənada buna nail olurlar. İmtinanın əsası kimi müəyyən səbəblər (ekoloji, iqtisadi , effektivlik və s.) qeyd olunub. Artıq, respublikamızda da bu sahə üzrə yeni texnologiyaların tətbiqinə dair müəyyən işlər aparılır.

REFERENCES

1. **Sharovarnikov A.F., Sharovarnikov S.A.** Penobrazovatel i peny dlya tusheniya pozharov. Sostav, svojstva, primeneniye. M. : Pozhnauka, 2005. 335 s.
Шароварников А.Ф., Шароварников С.А. Пеннообразователи и пены для тушения пожаров. Состав, свойства, применение. М. : Пожнаука, 2005. 335 с.
2. **Kawano T., Otsuka K., Kadono T., Inokuchi R., Ishizaki Y., Dewancker B., and Uezu K.** "Eco-Toxicological Evaluation of Fire-Fighting Foams in Small - Sized Aquatic and Semi - Aquatic Biotopes", Advanced Materials Research, 2014 Vols. 875 - 877, pp. 699 – 707.
3. **Hidenobu Mizuki, Kazuya Uezu, Tomonori Kawano, Takashi Kadono, Masataka Kobayashi, Shuichi Hatae, Yoshihiko Oba, Shinji Iwamoto, Shota Mitumune, Yoshio Nagatomo, Masanori Owari, Hisao Umeki and Keiichi Yamaga.** NOVEL ENVIRONMENTAL FRIENDLY SOAP-BASED FIRE-FIGHTING AGENT. J. Environ. Eng. Manage., 17(6), 403-408 (2007).
4. **Christine Baduel, Jochen F. Mueller, Anna Rotander, John Corfield, Maria-José Gomez-Ramos.** Discovery of novel per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) at a fire fighting training ground and preliminary investigation of their fate and mobility. Chemosphere. Volume 185, 2017, Pages 1030-1038.
5. **Joe Ziemba.** Environment a priority in rig fleet s fire safety selection. World Oil. December 2007 issue, pgs 57–58.

6. Penoobrazovateli dlya tusheniya pozharov. Obshhie tehnicheckie trebovaniya i metody ispytaniy. NPB 304-2001. MOSKVA 2002. Data vvedeniya v dejstvie 1 yanvarya 2002 g.
Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний. НПБ 304-2001. МОСКВА 2002. Дата введения в действие 1 января 2002 г.
7. New York State Rule Regulating PFOS and PFOA: Implications for Tyco Fire Protection/Chemguard Customers. June 23, 2016.
8. **Shuangwei Xie, Tieniu Wang, Shijie Liu, Kevin C. Jones, Andrew J. Sweetman, Yonglong Lu.** Industrial source identification and emission estimation of perfluorooctane sulfonate in China. Environment International. Volume52, 2013. Pages 1-8.
9. Biotechn. Bioeng. V. 11, № 4, p. 701 — 710.
10. **Welker J.R., Martinsen W.E., Jonson D.W.** Effectiveness of Fire control agents for hexane fires // Fire Technol., 1986, V. 22, № 4, p. 329-340 9/2.
11. Pat. 142562 (PNR), MKI³ A 62 D 1/02. Penoobrazovatel dlya tusheniya pozharov.
Пат. 142562 (ПНР), МКИ³ А 62 Д 1/02. Пенообразователь для тушения пожаров.
12. Pat. 61-185325 (Japoniya), MKI³ V 01 F 17/42. Penoobrazovatel dlja tushenija pozharov s uluchshennoj ustojchivost ju reny.
Пат. 61-185325 (Япония), МКИ³ В 01 Ф 17/42. Пенообразователь для тушения пожаров с улучшенной устойчивостью пены.
13. Pat. 8705299 (Mezhdunar.), MKI³ S 07 K 11/22. Novye ftorsoderzhashhie poverhnostno-aktivnye veshhestva, proizvodnye ot proteinsoderzhashhih produktov, ih poluchenie i ispol zovanie.
Пат. 8705299 (Междунар.), МКИ³ С 07 К 11/22. Новые фторсодержащие поверхностно-активные вещества, производные от протеинсодержащих продуктов, их получение и использование.
14. Typ. SL 300 AFFF // Schweiz. Feuerwehr-Ztg. 1988, V. 14, № 3, p. 135.
15. Standart FRG D/№ 14272-84, teil 2 32/1.
Стандарт ФРГ D/№ 14272-84, teil 2 32/1.
16. **Paramor R.** Post - fire security enters the foam debate // Fire — 1987, № 79, № 983, p. 56 34/3-2.
17. **Korolchenko D.A., Sharovarnikov A.F., Degaev E.N., Vlasov N.A., Melnikov A.I.** Tushenie plameni gorjuchih zhidkostej himicheski aktivnym ingibitorom // Pozharovzryvobezopasnost . 2015. T. 24, №11. S. 70 – 76.
Корольченко Д.А., Шароварников А.Ф., Дегаев Е.Н., Власов Н.А., Мельников А.И. Тушение пламени горючих жидкостей химически активным ингибитором // Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24, №11. С. 70 – 76.
18. **Əhmədov Ş.Ə., Hacızadə F.M., Qurbanova M.A.** Neft məhsulları yanğınlarının söndürülməsində istifadə olunan od-söndürücü vasitələrin ekoloji xarakteristikalarının təhlili. Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının (AMA) xəbərləri, c.10, №4, 2018

Redaksiyaya daxil olub:	15.09.2018
Tamamlama işlərindən sonra:	11.05.2019
Nəşrə qəbul edilib:	20.05.2019

АНАЛИЗ ОГNETУШАЩИХ СВОЙСТВ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЦЕЛЯХ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

М.А. ГУРБАНОВА, Ш.А. АХМЕДОВ

В статье проведен сравнительный анализ огнетушащих свойств пенообразователей, применяемых в области пожаротушения.

Ключевые слова: пенообразователи, фторсодержащие пенообразователи, пожар, синтетические углеводородные пенообразователи.

ANALYSIS OF FIRE EXTINGUISHING PROPERTIES OF FOAMING AGENTS USED FOR PUTTING DOWN FIRE

M.A. GURBANOVA, Sh.A. AKHMEDOV

The article provides a comparative analysis of the fire extinguishing properties of blowing agents used in the field of fire suppression.

Keywords: frothers, fluorine-containing frothers, fire, synthetic hydrocarbon frothers.

УДК 631

НОВАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОПУСКНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ЗАКРЫТЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ И ЗАКОНОМЕРНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ В КРУГЛЫХ ТРУБАХ

Б.Г. АЛИЕВ*, З.Г. АЛИЕВ*, А.Ф. ЗЕЙНАЛОВА*

В статье показано определение пропускной способности напорных трубопроводов закрытой оросительной сети. Выведена принципиально новая методика расчета закономерности распределения скоростей в круглых трубах, на базе которой получена новая формула для определения сопротивления движению потока в трубах, что дает возможность для достоверного определения пропускной способности трубопроводов закрытой оросительной сети.

Ключевые слова: оросительная система, пропускная способность, закон распределения скоростей.

Введение. Все более широкое применение закрытых оросительных систем в сельскохозяйственном производстве вызывает необходимость достоверного определения пропускной способности их трубопроводов, представляющей интерес при проектировании и строительстве этих систем. Известные предложения для решения этой задачи имеют те или иные недостатки, приводящие к различного рода погрешностям выдаваемых ими результатов. Такое положение вызывает необходимость сильнейших теоретических исследований для более достоверного определения пропускной способности трубопроводов закрытых оросительных систем. Для решения этой задачи прежде всего остановимся на анализе известных предложений по определению пропускной способности трубопроводов закрытых оросительных сетей.

Цель статьи. Создание усовершенствованного метода расчета пропускной способности трубопроводов закрытых оросительных сетей, которые достоверно определяют сопротивление движения и их закономерности распределения скоростей в круглых трубах.

Постановка задачи. Для решения задачи рассмотрим существующие методы расчета распределения скоростей при турбулентном движении воды в круглой трубе. Однако они не отвечают требованиям достоверного определения пропускной способности в круглых трубах.

* Азербайджанский университет архитектуры и строительства

Закономерность распределения скоростей имеет основополагающее значение при решении практических и теоретических задач гидравлики потоков в напорных трубопроводах. Она служит также исходной позицией для оценки сопротивления движению потока в трубопроводах.

Экспериментальным и теоретическим исследованиям распределения скоростей по сечению трубопроводов и сопротивления движению потока в них посвящены работы: В.Н. Гончарова [1], А.С. Образовского [2], Ф.Г. Майранского [3], Е.М. Минского [4], М.М. Дидковского [5], К.Ашида, И. Танака [6], О.Ф. Нордин, И.Н. Альгерт [7], В.А. Ванони [9], И. Никурадзе [12] и Прандтл Л [8].

Необходимо отметить, что существует **логарифмический закон распределения скоростей**.

Наиболее надежной базой для вывода уравнения распределения скоростей могли бы служить уравнения Рейнольдса [10]. Однако эта система уравнений не позволяет решить поставленную задачу в виду того, что она не замыкается и решение этого вопроса встречается с очень большими трудностями. В принципе, логарифмический закон распределения скоростей базируется на гипотезе Л. Прандтля о том, что длина пути перемещения (связь между коэффициентом турбулентного обмена и полем скоростей) у стенки прямо пропорциональна расстоянию «у» от стенки, т.е. $e = \chi u$.

В свою очередь, Л.Д. Ландау и Е.М. Лившиц [11] из соображений размерности, а И. Никурадзе [12] на базе данных экспериментальных исследований в трубах с искусственной шероховатостью пришли к уравнению распределения скоростей в следующем виде:

$$\frac{U}{U_*} = \frac{1}{\chi} \ln \frac{r}{\Delta} + N \quad (1)$$

где U - скорость в различных точках радиуса трубы, м/с; χ - коэффициент Кармана; $\chi=0,4$; r - текущий радиус трубы, м; Δ - высота выступов шероховатости трубы, м; N - некоторое постоянное число, определяемое из опыта; $U_* = \sqrt{\tau/\rho}$ - динамическая скорость, м/с; τ - напряжение трения на стенке, т/м²; ρ - плотность, т/м³.

Значение постоянной N в формуле (1) выражается как отношение

$$N = \frac{U_\Delta}{U_*} \quad (2)$$

где U_Δ - данная скорость на высоте выступов шероховатости стенок труб, м/с.

Для труб различными исследованиями получены различные значения постоянного N . Наиболее обоснованными из них можно считать значение $N = 8,5$, полученное И. Никурадзе на базе широких и тщательно поставленных опытов.

Тогда, принимая значение $\chi = 0,4$ и переходя от натуральных к десятичным логарифмам, уравнение (1) можно привести к виду:

$$\frac{U}{U_*} = 5,75 \lg \frac{r}{\Delta} + 8,5 \quad (3)$$

Логарифмический закон распределения скоростей (3), как показали исследования [13], хорошо удовлетворяет опыту в пределах ближайшей к стенке 0,2 радиуса трубы. Поэтому применение его на всей толще потока не всегда оправдано.

Кроме того, расстояние от стенки, где местная осредненная скорость равняется средней скорости на вертикали из (1), получается в виде

$$r_b = \frac{r_o}{e} = 0,37 r_o \quad (4)$$

где r_o - радиус трубы, м; e - Неперово число ($e = 2,72$).

Как видно из (4), расстояние от стенки r_e , где местная осредненная скорость равняется средней на вертикале скорости, не зависит от сопротивления трубы и, следовательно, формы эпюры распределения скоростей, что также является недостатком логарифмического закона.

Как видно, логарифмический закон распределения скорости вдоль радиуса трубы обладает рядом существенных недостатков, отрицательно влияющих на конечные результаты решаемых с его помощью задач.

Наряду с логарифмическим законом общей известностью пользуется также **степенной закон распределения скоростей**, имеющий следующий общий вид [13]

$$\frac{U}{U_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^{1/\alpha} \quad (5)$$

Здесь U_0 – скорость на оси трубы, м/с; r_0 – радиус трубы, м; r – текущий радиус, м; α – показатель степени уравнения кривой распределения скорости.

Различными исследованиями показано, что с помощью уравнения (5) можно решить ряд задач кинематики и сопротивления движению потока в трубопроводах. Для этого необходимо знать значение параметра α , являющегося переменной величиной. С этой целью ряд исследователей занимались вопросом определения значения α , которыми получены различные виды формул для α . Причем одни авторы связывали значение α с коэффициентом шероховатости, другие – с коэффициентом Шези, третьи – с абсолютной величиной шероховатости и глубиной потока и т.д.

По поводу уравнения (5) можно отметить, что при различных подходах к определению значения α и неоднозначности их конечных результатов существенным недостатком его является то, что оно, хорошо отвечая основной толще потока, недостаточно соответствует ему в придонном слое.

Из приведенного краткого анализа уравнений (1), (3) и (5) становятся очевидными их недостатками и, следовательно, необходимость дальнейших исследований с целью получения более совершенных закономерностей, свободных от недостатков как логарифмического, так и степенного законов распределения скоростей.

Решение задачи. Такая попытка была сделана доктором технических наук Ч.Г. Нуриевым в работе [14]. Однако он получил лишь новое уравнение распределения скоростей вдоль радиуса трубы степенного вида, которое существенно отличается от (5). При решении этой задачи Ч.Г. Нуриев исходит из уравнения параболы в общем виде (рис.1.):

$$(U_x - U_\Delta)^a = 2P(r_0 - r) \quad (6)$$

В результате ряда преобразований он приходит к уравнению распределения скоростей вдоль радиуса в границах между осью трубы и высотой выступов шероховатости на ее стенке. Это уравнение имеет следующий вид:

$$U_\eta = U_0 - 3,75 \frac{a}{a-2} [1 - (1-\eta)^{1/2}] \cdot U_* \quad (7)$$

Здесь приняты следующие обозначения: U_0 – скорость на оси трубы, м/с; $\eta = r/r_0$ – относительный радиус.

$$a = \left(1 + \frac{1}{2}\right) \left(2 + \frac{1}{2}\right) \quad (8)$$

Далее Ч.Г. Нуриев установил, что расстояние от оси трубы, где местная осредненная скорость равняется средней скорости на вертикали, выражается таким образом:

$$\eta_{cp} = 1 - \left(\frac{2}{d}\right)^{1/\alpha} \quad (9)$$

Если иметь в виду, что автором (7) получена связь между α и коэффициентом сопротивления (Дарси) λ в виде [14]:

$$\frac{1}{\alpha} = \sqrt{\frac{2,25 - 4,07\sqrt{\lambda}}{1 - 2,99\sqrt{\lambda}}} - 1,5, \quad (10)$$

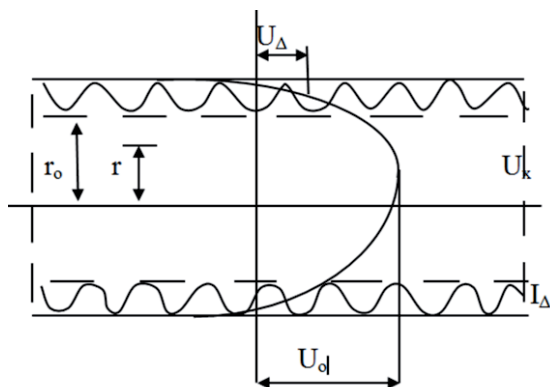


Рис. 1. Расчетная схема

то можно констатировать: формула (9) выражает зависимость расстояния от оси трубы, где местная осредненная скорость равняется средней скорости на вертикали, от коэффициента сопротивления λ , следовательно, от вида эпюры распределения скорости и потому является переменной величиной. Это и является одной из положительных отличительных особенностей степенного закона распределения скоростей от логарифмического.

С другой стороны, при $\eta=1$ (что соответствует высоте выступов шероховатости на стенке трубы) из (7) получается значение донной скорости на высоте выступов шероховатости:

$$U_{\Delta} = U_0 - 3,75 \frac{a}{a-2} U_* \quad (11)$$

Этому положению в ранее предложенном уравнении (5) соответствует $r = 0$. При этом из выражения (5) получается $U_{\Delta} = 0$, что не соответствует реальному положению вещей, так как всегда имеет место условие $U_{\Delta} \neq 0$.

Таким образом, уравнение (7), выведенное Ч.Г. Нуриевым, свободно от этого недостатка формулы (5), что свидетельствует о более высокой достоверности (7).

Надо отметить, что полученная Ч.Г. Нуриевым закономерность распределения скоростей (7) сопоставлена с данными лабораторных исследований Никурадзе [12], что показало их весьма близкое совпадение.

К сожалению, доктор технических наук Ч.Г. Нуриев не развил дальше работу над решением этой задачи и ограничился приведенными выше результатами, которые могут служить базой для дальнейших исследований в этом направлении. Как было отмечено выше, Ч.Г. Нуриев рассмотрел задачу о распределении скоростей в области потока между осью трубы и высотой выступов шероховатости, т.е. без учета движения воды в пределах высоты выступов шероховатости. Рассмотрению решения этой задачи мы и посвящаем следующий раздел данной работы.

Закономерность распределения скоростей с учетом шероховатости.

Для решения этой задачи берем уравнение распределения скоростей в виде (рис.1).

$$U_r = U_0 \left(1 - \frac{r}{r_0 + \Delta}\right)^{1/\alpha} \quad (12)$$

Здесь Δ – высота выступов шероховатости на стенке трубы; m ; r – отсчитывается от оси трубы.

При этом полагаем, что скорость у основания выступов шероховатости равняется нулю и что эпюра распределения скоростей пересекает условную линию, проходящую по вершинам шероховатостей в конце отрезка, отсчитываемым от начала координат (рис.1).

При $r = r_0$ имеем $U_r = U_\Delta$, и уравнение (12) принимает вид

$$U_\Delta = U_0 \left(\frac{\Delta}{r_0 + \Delta} \right)^{1/\alpha} \quad (13)$$

Разделив (12) на (13) и решая относительно U_r , получим

$$U_r = U_\Delta \left(1 + \frac{r_0 - r}{\Delta} \right)^{1/\alpha} \quad (14)$$

Далее из совместного решения (12) при $N = 8,45$ и (11) находим:

$$\frac{U_0}{U_\Delta} = \frac{12,2a - 16,9}{8,45(a - 2)} \quad (15)$$

С учетом (15) уравнение (14) приводится к виду:

$$\frac{U_r}{U_0} = \frac{8,45(a - 2)}{12,2a - 16,9} \left(1 + \frac{r_0 - r}{\Delta} \right)^{1/\alpha} \quad (16)$$

Это и есть уравнение распределения скоростей в круглой трубе с учетом высоты выступов шероховатости.

В качестве контроля соблюдения граничных условий из (16) при $r = r_0 + \Delta$, т.е. у основания выступов шероховатости, получается $U_r = 0$; при $r = r_0$, что соответствует высоте выступов шероховатости, $U_r = U_\Delta$, и уравнение (16) принимает вид

$$\frac{U_\Delta}{U_0} = \frac{8,45(a - 2)}{12,2a - 16,9} \quad (17)$$

Одним из важных параметров в уравнении распределения скоростей (16) является показатель степени α , который, как было отмечено выше, имеет переменное значение. Поэтому имеет большое теоретическое и практическое значение определение величины этого параметра.

Для решения этой задачи воспользуемся граничными условиями уравнения (16). Так, при $r = 0$ скорость U_r соответствует скорости на оси трубы, т.е. имеет место $U_r = U_0$, и уравнение (16) выражается следующим образом:

$$1 = \frac{8,45(a - 2)}{12,2a - 16,9} \left(1 + \frac{r_0}{\Delta} \right)^{1/\alpha} \quad (18)$$

Логарифмирование выражения (18) приводит нас к уравнению

$$\lg \left(\frac{r_0 - \Delta}{\Delta} \right) = \alpha \lg \frac{12,2a - 16,9}{8,45(a - 2)} \quad (19)$$

По-прежнему $a = \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right) \left(2 + \frac{1}{\alpha} \right)$

Уравнение (19) дает возможность для определения значения. Однако ввиду сложности этого выражения аналитическое определение значения встречается с трудностями, так как решать уравнение (19) приходится подбором. Поэтому уравнение (19) графически изображено на рис. 2 в виде функции $\alpha = f\left(\frac{r_0 - \Delta}{\Delta}\right)$. Из этого рисунка можно легко определить значение параметра α , если по оси абсцисс отложить логарифмы отношения $(r_0 - \Delta)/\Delta$, а на оси ординат находить соответствующие им значения α .

Другим важным параметром для определения пропускной способности трубопровода является коэффициент сопротивления (Дарси) λ трубы движения потока.

Сопротивление движению потока в круглых трубах. Достоверное определение коэффициента сопротивления движению потока зависит от степени точности исходного для этого уравнения распределения скоростей вдоль радиуса трубы.

До настоящего времени для вполне развитого турбулентного течения, т.е. для квадратной области сопротивления, за исходное в основном принимался логарифмический закон распределения скоростей. Из этого закона, с учетом опытного уточнения Никурадзе, получено выражение для коэффициента λ в виде:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg \frac{r_o}{\Delta} + 1,74 \quad (20)$$

Эта зависимость в дальнейшем нами будет использована для оценки пропускной способности трубопровода в сравнении с рекомендуемой нами зависимостью для определения коэффициента Дарси λ .

Для решения этой задачи воспользуемся общеизвестным выражением [13]

$$U_o = U_{cp} + 3,75 U_* \quad (21)$$

Тогда, приравняв (11) к (13), с учетом (21) и соотношения

$$\frac{U_{cp}}{U_*} = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{\lambda}} \quad (22)$$

можно после несложных преобразований получить формулу для определения значения коэффициента гидравлического трения (сопротивления) λ в следующем виде:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,33 \left\{ \frac{a}{(a-2)[1-(\frac{\Delta}{r_o+\Delta})^{1/\alpha}] - 1} \right\} \quad (23)$$

Здесь α определяется из графика рис.2. при известном значении $\lg \frac{r_o - \Delta}{\Delta}$, а значение α – из выражения (8). Таким образом, мы получили совершенно новое уравнение (23) для определения значения коэффициента гидравлического трения λ , позволяющие получить более достоверные и реальные значения этого коэффициента. Уравнение (23) дает возможность определить величину коэффициента гидравлического трения (Дарси) для труб любых диаметров при известных значениях высоты выступов их шероховатости.

Достоверность уравнения (23) косвенно подтверждается тем, что уравнение распределения скоростей (7) довольно точно соответствует реальному распределению скоростей по сечению трубы, полученных Никурадзе в результате тщательно поставленных экспериментальных исследований по их измерению. Что касается уравнения (16), то оно является развитием уравнения (7) с учетом зоны движения потока в пределах высоты выступов шероховатости.

Сопоставление результатов расчета коэффициента сопротивления по различным формулам.

Как было отмечено выше, одним из основных параметров, от достоверного определения которого зависит точность определения расхода воды, служит коэффициент сопротивления русла движению потока (коэффициент Дарси) λ . Этот коэффициент найден, исходя из логарифмического закона распределения скоростей (16) – из уравнения (23).

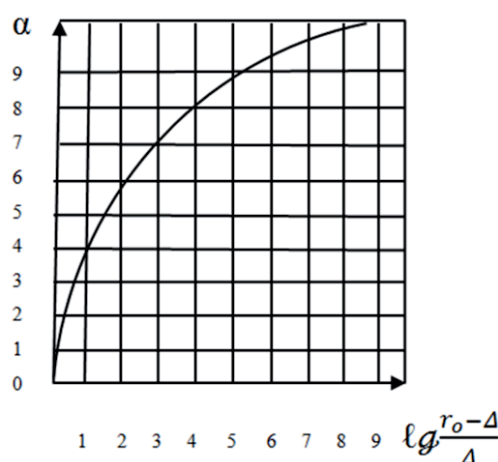


Рис.2. График зависимости $\alpha = f(\frac{r_o - \Delta}{\Delta})$ для напорных трубопроводов

Если проанализировать эти формулы, то можно увидеть, что для гладких труб, когда $\Delta=0$ из логарифмики (20), получается: $\lambda=0$, чего не может быть, так как абсолютно гладких поверхностей, особенно стенок труб, не бывает.

Что касается нашего уравнения (23), то здесь при $\Delta=0$ мы имеем выражение для определения сопротивления движения потока в гладких трубах в виде

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{2,66}{a-2} \quad (24)$$

В этом выражении вступают в действие вязкостные характеристики потока, и значение λ , входящего в (8), должно определяться с учетом этих характеристик (этот вопрос в данной работе не рассматривается). Однако это обстоятельство также свидетельствует о несовершенстве логарифмического закона распределения скоростей и вытекающей из него формулы (20).

В нашем же уравнении (16) и вытекающего из него выражения (23) эти недостатки полностью отсутствуют, что свидетельствует о более корректном решении задачи в этом случае.

Исходя из этого краткого, но принципиального анализа, представляет интерес сравнение результатов расчета по формулам (20) и (23), так как от величины коэффициента λ во многом зависит пропускная способность трубопровода.

Для расчета рассмотрим трубы двух диаметров: $d = 100$ мм и $d=1000$ мм. Отметим, что трубы с диаметром $d=100$ мм наиболее часто применяются при монтаже прогрессивной техники полива. Расчет для труб с $d=1000$ мм рассматривается для сравнительной оценки значений λ . Трубы такого диаметра также часто применяются для водоснабжения и других целей. При расчетах рассмотрим несколько вариантов с различными значениями высоты выступов шероховатости Δ : 0,01; 0,005; 0,001; 0,0005; и 0,0001 м.

При этом для определения значения λ формулы (20) и (23) приведем соответственно к виду:

$$\lambda = \frac{1}{(2\ell g_{\frac{r_0}{\Delta}} + 1,74)^2} \quad (25)$$

$$\lambda = 0,565 \left\{ \frac{(a-2) \left[1 - \left(\frac{\Delta}{r_0 + \Delta} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{a - (a-2) \left[1 - \left(\frac{\Delta}{r_0 + \Delta} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \right\}^2 \quad (26)$$

Тогда для трубы с $d = 100$ мм ($r_0 = 50$ мм) при $\Delta = 0,01$ м по формуле (25) находим:

$$\lambda = \frac{1}{(2\ell g_{\frac{0,05}{0,01}} + 1,74)^2} = 0,1$$

Для определения значения λ по формуле (26) необходимо знать величину показателя α . Поэтому, зная $r_0 = 0,05$ м и $\Delta = 0,01$ м, находим: $\ell g_{\frac{r_0 + \Delta}{\Delta}} = \ell g_{\frac{0,05 + 0,01}{0,01}} = 0,778$

Зная $\ell g_{\frac{r_0 + \Delta}{\Delta}} = 0,778$, из графика рис.2 находим $\alpha = 2,15$.

Тогда из (8) будем иметь: $\alpha = (1 + \frac{1}{2,15})(2 + \frac{1}{2,15}) = 3,6$

Далее при помощи уравнения (26) определяем значение коэффициента λ :

$$\lambda = 0,565 \left\{ \frac{(3,6-2) \left[1 - \left(\frac{0,01}{0,05+0,01} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2,15}}}{3,6 - (3,6-2) \left[1 - \left(\frac{0,01}{0,05+0,01} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2,15}}} \right\}^2 = 0,064$$

Значения λ по формулам (25) и (26) при $d = 100$ м приводятся в таблице 1.

Таблица 1.

Δ , м	$\frac{r_o}{\Delta}$	$\frac{r_o + \Delta}{\Delta}$	$\lg \frac{r_o + \Delta}{\Delta}$	α	a	λ по формулам (25),(26)	
0,01	5	6	0,778	2,15	3,60	0,1000	0,064
0,05	10	11	1,040	2,50	3,20	0,070	0,043
0,001	50	51	1,708	4,00	2,81	0,038	0,027
0,0005	100	101	2,000	4,40	2,73	0,030	0,025
0,0001	500	501	2,700	5,60	2,57	0,020	0,017

Из рассмотрения результатов расчета, приводимых в табл.1., видно, что во всех случаях значение коэффициентов сопротивления трения λ по нашей формуле (26) получается меньше, чем по формуле (25), хотя с уменьшением величины выступов шероховатости значения λ , определяемые по обеим формулам, приближаются друг к другу. Следовательно, пропускная способность одних и тех же трубопроводов по нашей формуле (26) получается больше, чем по формуле (25), так как λ при определении расхода воды входит в знаменатель уравнения

$$Q = W \cdot V_{cp} = W \sqrt{\frac{8g}{\lambda} \cdot i r_o} \quad (27)$$

Аналогичные расчеты выполнены и для труб с диаметром $d = 1000$ мм (таблица 2).

Таблица 2.

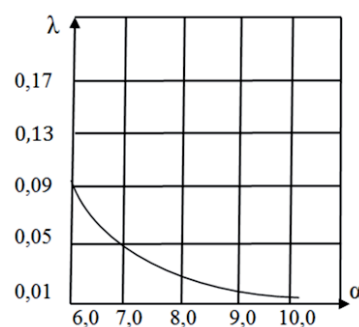
Δ , м	$\frac{r_o}{\Delta}$	$\frac{r_o + \Delta}{\Delta}$	$\lg \frac{r_o + \Delta}{\Delta}$	α	a	λ по формулам (25),(26)	
0,01	50	51	1,708	4,08	2,80	0,037	0,027
0,05	100	101	2,004	4,60	2,70	0,030	0,023
0,001	500	501	2,700	5,60	2,57	0,020	0,017
0,0005	1000	1001	3,000	6,05	2,52	0,017	0,015
0,0001	5000	5001	3,700	7,00	2,45	0,012	0,012

Как видно из данных табл.2, в этом случае значение λ по нашей формуле (26) получается существенно меньше, чем по формуле (25), и лишь при очень малых величинах Δ (в данном случае при $\Delta=0,0001$ м) значения λ по формулам (25) и (26) совпадают.

Для большей наглядности данные табл.1 и 2 графически изображены на рис. 3 и 4, приводимых ниже. Из этих рисунков четко видно, что по формуле (26) значение λ всегда получается меньше, чем по формуле (25), и лишь при весьма малых значениях Δ они приближаются друг к другу. Однако эти приближения носят случайный характер, т.к. для гладких труб, т.е. при $\Delta=0$ по формуле (25) $\lambda=0$, чего не может быть, наша формула (26) упрощается и принимает вид:

$$\lambda = 0,14(a-2)^2 \quad (28)$$

В работе Г. Шлихтинга [13] приводятся графики сравнения результатов расчета для гладких труб по степенному закону распределения скоростей с данными экспериментальных измерений, где значения показателя α подбирались с учетом наибольшего соответствия расчетных и опытных значений скоростей друг другу. При этом оказалось, что меньшему зна-

Рис.3. График функции $\lambda = f(\alpha)$ для гладких труб

чению числа Рейнольдса R_e соответствует меньшее значение α . Так, при $R_e = 4 \cdot 10^3$ значение $\alpha = 6$; $R_e = 2,3 \cdot 10^4$, $\alpha = 6,6$; $R_e = 1,1 \cdot 10^5$, $\alpha = 7,0$; $R_e = 1,1 \cdot 10^6$, $\alpha = 8,8$; и при $R_e = 2 \cdot 10^6$ и $R_e = 3,2 \cdot 10^6$, $\alpha = 10$.

Определим значение коэффициента Дарси λ для гладких труб при приведенных величинах α , полученных из экспериментов. Для этого прежде определим значение a . Согласно выражению (8) при $\alpha=6$ имеем:

$$a = (1 + \frac{1}{6})(2 + \frac{1}{6}) = 3,11$$

Определенные таким образом значения a и α по формуле (28) приводятся в таблице 3.

Таблица 3.

α	6,0	6,6	7,0	8,8	10,0
a	3,11	2,48	2,45	2,35	2,32
λ	0,172	0,0323	0,0284	0,0172	0,0135

Данные табл.3. графически изображены на рис.3. Как видно из этого рисунка, значение λ имеет наибольшее значение при $\lambda=6$, а затем резко падает и имеет реальные для гладких труб значения при $\alpha \geq 7$, так как в гладких трубах коэффициент сопротивления λ не может иметь также большие значения, которые имеют место при $\lambda > 7,0$. Таким образом, наше уравнение (23) или (26) носит общий характер по сравнению с формулой (25) и отличается от нее своей более высокой точностью и достоверностью выдаваемых результатов.

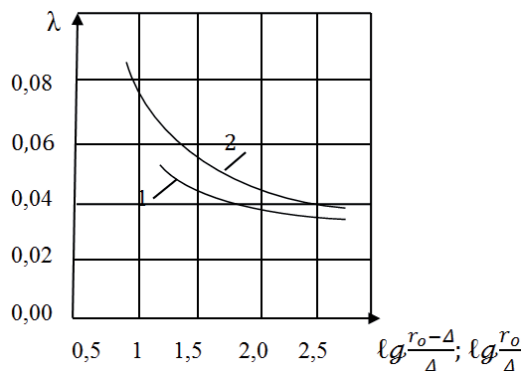


Рис.4. Кривые зависимости $\lambda = f(\ell g \frac{r_o - \Delta}{\Delta}; \ell g \frac{r_o}{\Delta})$ по формулам (36a) – 1 и (39a) – 2 для труб с диаметром $d = 100$ мм.

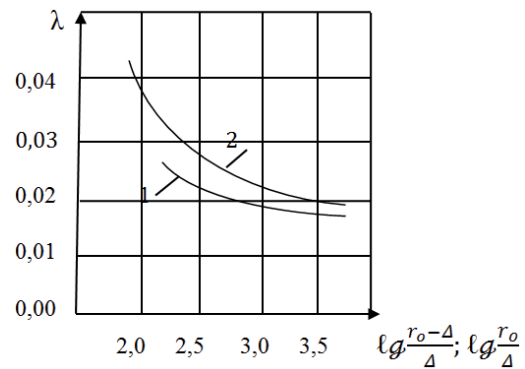


Рис.5. Кривые зависимости $\lambda = f(\ell g \frac{r_o - \Delta}{\Delta}; \ell g \frac{r_o}{\Delta})$ по формулам (36a) – 1 и (39a) – 2 для труб с диаметром $d = 100$ мм.

Возвращаясь к табл. 1 и 2, изобразим их результаты графически на рис. 4 и 5. Из этих рисунков видно, что значения λ по нашей формуле (26) всегда получаются меньше, чем по формуле (25) и лишь при весьма малых значениях Δ они приближаются друг к другу. Такое положение говорит о том, что, при прочих равных условиях, при одном и том же диаметре трубы пропускная способность ее по нашей формуле получается существенно больше, чем по формуле (25) или один и тот же расход воды в нашем случае можно пропустить по трубе с малым диаметром, чем по формуле (25).

Покажем сказанное на примере расчета. При расчетах трубопроводов в первую очередь определяется значение коэффициента сопротивления λ . Этот вопрос нами рассмотрен выше, результаты расчетов приведены в табл. 1 и 2 соответственно для труб с $d = 100$ мм и

$d = 1000$ мм. Далее рассмотрим решение задачи о пропускной способности трубы с $d=100$ мм при значении высоты выступов шероховатости $\Delta=1,0$ мм.

Известно, что скорость воды в трубе определяется из выражения

$$V = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} iR \quad (29)$$

где R - гидравлический радиус, м.

Если мы обозначим значение коэффициента сопротивления, полученного из логарифмической формулы (25) λ , а по нашей формуле (26) λ_2 , то при одном и том же уклоне трубопровода i можно соответственно написать

$$V_1 = \sqrt{\frac{8g}{\lambda_1}} iR_1 \quad (30)$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{8g}{\lambda_2}} iR_2 \quad (31)$$

Тогда, разделив (31) на (30), будем иметь:

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \cdot \frac{R_2}{R_1}} \quad (32)$$

Из этого выражения можно получить:

$$V_2 = V_1 \sqrt{\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \cdot \frac{R_2}{R_1}} \quad (33)$$

Положим, что с помощью трубопровода дождевальным аппаратом подается вода, расход которой необходимо определить. Диаметр трубопровода $d_1 = 100$ мм (наружный диаметр) $d_n = 108$ мм при толщине стенки $t = 4,0$ мм), высота выступов шероховатости $\Delta_1 = 1,0$ мм. Для этих данных значение λ_1 , по формуле (25) составляют $\lambda_1 = 0,038$, а по формуле (26) $\lambda_2 = 0,027$ (см. табл.1). Принимаем значением уклона $i = 0,01$. Тогда по формуле (30) скорость воды в трубопроводе будет

$$V_1 = \sqrt{\frac{8g}{\lambda_1}} i \frac{d}{4} \quad (34)$$

Подставляя соответствующие значения параметров, получим:

$$V_1 = \sqrt{\frac{8 \cdot 9,81}{0,038} \cdot \frac{0,1}{4} \cdot 0,01} = 2,27 \text{ м/с}$$

С учетом значения $\lambda_2 = 0,027$ по нашей формуле (26) из (33) при $R_1 = R_2$ будем иметь:

$$V_2 = 2,27 \sqrt{\frac{0,038}{0,027}} = 2,69 \text{ м/с}$$

Теперь определим пропускную способность трубопровода при расчетах по логарифмическому закону распределения скоростей ($V_1=2,27$ м/с) и полученному нами степенному закону ($V_2=2,69$ м/с). Соответственно будем иметь:

$$Q_1 = W V_1 = \pi r^2 \cdot V_1 = 3,14 \cdot 0,05^2 \cdot 2,27 = 0,00786 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$Q_2 = W V_2 = \pi r^2 \cdot V_2 = 3,14 \cdot 0,05^2 \cdot 2,69 = 0,00931 \text{ м}^3/\text{с}$$

Таким образом, пропускная способность трубопровода согласно логарифмическому закону составляет $Q_1 = 7,86$ л/с и по предлагаемому нами степенному закону $Q_2 = 9,31$ л/с. А это означает, что в нашем случае пропускная способность трубопровода получается на 18% больше, чем по логарифмической формуле.

Если принять за пропускную способность трубопровода $Q_1 = 7,86$ л/с, полученную на основе расчетов по логарифмическим зависимостям, то этот же расход при скорости потока

в трубопроводе с $d=100$ мм равной $V_2=2,69$ м/с, полученной по нашей степенной формуле с некоторой незначительной погрешностью можно пропустить по трубопроводу с диаметром

$$d_2 = 2 \sqrt{\frac{Q}{\pi V_2}} = 2 \sqrt{\frac{0,00786}{3,14 \cdot 2,69}} = 0,061 \text{ м}$$

Этому внутреннему диаметру трубы по ГОСТ 10704-76 соответствует труба с наружным диаметром $d_n = 70$ мм и толщиной стенки $t = 4,0$ мм. Эта толщина $t = 4,0$ мм принята одинаковой с толщиной стенки трубы $d = 100$ мм ($d_n = 108$ мм), для удобства сравнения.

Если теперь сравнить вес одного погонного метра трубы с $d_n = 108$ мм и $d_2 = 70$ мм, то можно установить экономический эффект от применения в расчетах нашей формулы (26).

Согласно ГОСТ 10704-76 1 пм трубы с $d_n = 108$ мм весит 10,26 кг, а с $d_n = 70$ мм – 6,51 кг. Тогда экономия металла на 1 пм трубы при расчетах по нашей формуле (26) по сравнению с формулой (25) составляет $10,26 - 6,51 = 3,65$ кг.

Таким образом, если в стране в течение одного года при строительстве закрытых оросительных сетей других коммуникаций используется 500 км труб с $d_n = 70$ мм взамен труб с $d_n = 108$ мм, то общее количество сэкономленного металла составит $500000 \cdot 3,65 = 1825000$ кг или 1825 тн.

В настоящее время нет стабильных цен на материалы, они часто меняются в основном в большую сторону. Однако, если взять стоимость 1 т металла по нынешним ценам (грубо) 20000 манатов, то общая экономическая эффективность от применения труб с $d_n = 70$ мм труб вместо $d = 100$ мм по нашим рекомендациям, составит:

$\Xi = 1825 \cdot 20000 = 36500000$ манатов, или 36,5 млн. манатов. Это экономия, полученная в стоимости материалов.

Однако можно подсчитать экономию и в другом варианте, заключающемся в том, что за счет подачи воды по трубе с $d_n = 108$ мм в количестве 9,31 л/с, по нашему методу расчета, 7,86 л/с по логарифмическим формулам можно увеличить площади орошаемых культур и получить дополнительную сельскохозяйственную продукцию, обеспечить большее число населенных пунктов, промышленных предприятий питьевой и технической водой и подсчитать в связи с этим экономический эффект, который окажется весьма значительным. Можно осуществить расчеты и для других диаметров труб и для каждого диаметра определить экономическую эффективность от применения нашего метода расчета. Таким образом, применения предполагаемого нами метода расчета по определению пропускной способности, трубопроводов закрытой оросительной сети, показывает их высокую достоверность и в связи с этим большую экономическую эффективность сельскохозяйственного производства и других отраслях производства [8-15].

Заключение. Все более широкое применение водосберегающей техники полива вызвало необходимость достоверного определения пропускной способности напорных трубопроводов закрытой оросительной сети. В связи с этим путем теоретических исследований выведена принципиально новая методика расчета закономерности распределения скоростей в круглых трубах, на базе которой получена новая формула для определения сопротивления движению потока в трубах, что дает возможность для достоверного определения пропускной способности трубопроводов закрытой оросительной сети.

Это, в свою очередь, даст возможность для мощного подъема сельскохозяйственного производства, а также сэкономит поливные трубы для эксплуатации систем орошения при остром дефиците воды в республике.

REFERENCES

1. **Goncharova V.N.** Dinamika ruslovyh potokov. L.: Gidrometeoizdat., 1962. - 216 s.
Гончарова В.Н. Динамика русловых потоков. Л.: Гидрометеиздат., 1962. - 216 с.
2. **Obrazovskij A.S.** Gidravlika vodopriemnyh kovshej. M.: Gosstrojizdat, 1962. - 195 s.
Образовский А.С. Гидравлика водоприемных ковшей. М.: Госстройиздат, 1962. - 195 с.
3. **Bogomolov A.I., Borokov V.S., Majranovskij F.G.** Vysokoskorostnye potoki so svobodnoj poverhnostju. M.: Strojizdat, 1979. - 344 s.
Богомолов А.И., Бороков В.С., Майрановский Ф.Г. Высокоскоростные потоки со свободной поверхностью. М.: Стройиздат, 1979. - 344 с.
4. **Minskij E.M.** Turbulentnost ruslovogo potoka. L.: Gidrometeoizdat, 1952. - 164 s.
Минский Е.М. Турбулентность руслового потока. Л.: Гидрометеиздат, 1952. - 164 с.
5. **Didkovskij M.N., Rodionov I.A.** Soprotivlenie dvizheniya vody v bolshih zemlyanyh kanalah.
Дидковский М.Н., Родионов И.А. Сопротивление движения воды в больших земляных каналах.
6. **Ashida K., Tanaka I.** Astatistical study of sand Waves. Proc. IAHR 12 Congress, W.2.
7. **Nordin C.F., Algert I.H.** Spectral analysis of sand Waves. Journal of the Hudraulics Divison, Proc, ASCE, 1966, Vol. 92, num. 5, P. 95-114.
8. **Prandtl L.**, Führer durch die strömungslehre 342, 1949.
9. **Vanoni V.A.**, Transportation of suspended sediment by water, tpsns. Am. SOC.
10. **Grishanin K.V.** Dinamika ruslovyh potokov. M.: Gidrometeoizdat, 1979. - 311 s.
Гришанин К.В. Динамика русловых потоков. М.: Гидрометеиздат, 1979. - 311 с.
11. **Landau L.D., Livshic E.M.** Mehanika sploshnyh sred. 2-e izdanie. GITTL, 1953. - 788 s.
Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Механика сплошных сред. 2-е издание. ГИТТЛ, 1953. - 788 с.
12. **Nikuradze I.** Stromungsgezetze in rauchen Pohren – VDI Forscungsheff, 1993, Pp. 361.
13. **Shlihting G.** Teoriya pogranchnogo sloya. M.: «Nauka», 1974. - 711 s.
Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: «Наука», 1974. - 711 с.
14. **Nuriev Ch.G.** O raspredelenii skorostej pri turbulentnom dvizhenii vody v krugloj trube. Truby VNII «VODGEO». Sovershenstvovanie sistem podachi i raspredeleniya vody. M., 1983. S.92-93.
Нуриев Ч.Г. О распределении скоростей при турбулентном движении воды в круглой трубе. Трубы ВНИИ «ВОД-ГЕО». Совершенствование систем подачи и распределения воды. М., 1983. С.92-93.
15. **Aliev B.G., Atababaev J.R., Gasymova N.A., Zejnalova A.F.** Problemy globalnogo potepleniya v atmosfere i ego vliyanie na opustynivanie // Vestnik Azerbajjanskoy inzhenernoj akademii. 2019. Tom 11, №1, s.116-127.
Алиев Б.Г., Атабабаев Э.Р., Гасымова Н.А., Зейналова А.Ф. Проблемы глобального потепления в атмосфере и его влияние на опустынивание // Вестник Азербайджанской инженерной академии. 2019. Том 11, №1, с.116-127.

Поступило в редакцию:	20.10.2018
После доработки:	15.01.2019
Принято к публикации:	19.01.2019

BAĞLI SUVARMA ŞƏBƏKƏLƏRİNİN SUÖTÜRMƏ QABİLİYYƏTİNİN MÜƏYYƏNLƏŞDİRİLMƏSİNİN YENİ ÜSULLARI VƏ DƏYİRMİ BORULARDA SÜRƏTİN YAYILMASININ MÜNTƏZƏMLİYİ

B.H. ƏLİYEV, Z.H. ƏLİYEV, A.F. ZEYNALOVA

Məqalədə qapalı suvarma şəbəkəsinin təzyiq boru kəmərlərinin ötürmə qabiliyyətinin müəyyənəşdirilməsi əks olunmuşdur. Dəyirmi borularda sürətin yayılmasının müntəzəmliyinin hesablanması üçün əsaslı yeni metod ortaya qoyulmuşdur. Həmin metod əsasında axına qarşı borularda yaranan müqaviməti müəyyənəşdirən yeni düstur alınmışdır. Öz növbəsində bu qapalı suvarma şəbəkəsinin boru kəmərlərinin ötürmə qabiliyyətinin etibarlı şəkildə müəyyən etmək imkanını yaradır.

Açar sözlər: suvarma sistemi, ötürmə qabiliyyəti, sürət bölgüsü qanunu.

NEW METHOD OF CALCULATION OF PASSAGING ABILITIES OF CLOSED IRRIGATION NETWORKS AND REGULARITY OF SPEED DISTRIBUTION IN ROUND PIPES

B.G. ALIEV, Z.G. ALIEV, A.F. ZEYNALOVA

The article shows the definition of the throughput capacity of the pressure pipelines of the closed irrigation network. A fundamentally new method of calculating the laws of velocity distribution in round pipes was derived, on the basis of which a new formula was obtained for determining the flow resistance in pipes, which makes it possible to reliably determine the throughput capacity of pipelines of a closed irrigation network.

Keywords: irrigation system, throughput, law of velocity distribution.

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, 5 cümlədən çox olmayaraq (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. Rəy verilmə müddəti 3 aya qədərdir. Məqaləyə mənfi rəy verildiyi halda redaksiya bu barədə müəllifə məlumat verir.

Mətnin yenidən yığılması zamanı yarana biləcək nöqsanları aradan qaldırmaq məqsədi ilə məqalə mətni Word for Windows formatında, Times New Roman şrifti ilə elektron şəkildə də redaksiyaya təqdim edilməlidir.

Əlyazmanın nəşri üçün müəlliflərdən ödəniş alınmır.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Редколлегия журнала рассматривает статьи, которые соответствуют научному профилю журнала, нигде не опубликованы и не переданы в редакции других журналов.

В редакцию следует представить 1 экземпляр статьи на азербайджанском, русском или английском языке, который включает:

1. Название статьи, имена авторов (с переводом на три языка), наименования учреждений и E-mail;
2. Коды УДК;
3. Аннотацию, до 5 предложений (с переводом на три языка);
4. Ключевые слова, до 6 слов (с переводом на три языка);
5. Текст статьи (Введение. Цель работы. Постановка задачи. Решение задачи. Заключение);
6. Список литературы с указанием полных сведений об источнике. Ссылка на журнал «Вестник АИА»;
7. Подписанные 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 up to 5 sentences (translated into three languages);
4. Keywords, up to 6 words (translated into three languages);
5. Article full text (Introduction. Purpose of work. Objective. Formulation of the problem. The solution of the problem. Conclusion);
6. References with full information about sources. Link to the magazine "HERALD of the AEA"
7. Captions to figures and tables;

8. Informations about authors (surname, first name, academic degree, academic rank, position, phone, e-mail) with correspondence detail.

It is necessary to include a cover letter with a signature of head of institution.

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**

**HERALD
of the Azerbaijan Engineering Academy**

**ВЕСТНИК
Азербайджанской Инженерной Академии**

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

Cild 11. № 3
Vol. 11. № 3
Том 11. № 3

BAKİ – 2019

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 20.09.2019,
formatı 60x84 1/8,
kağız təbəşirli, f.ç.v. 16.5
Tirajı 1255 əd.*