Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının
XƏBƏRLƏRİ

Beynəlxalq elmi-texniki jurnal

HERALD
of the Azerbaijan Engineering Academy

The international science-technical journal

ВЕСТНИК
Азербайджанской Инженерной Академии

Международный научно-технический журнал

Cild 15. № 2
Vol. 15. № 2
Том 15. № 2

BAKI – 2023

Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının
XƏBƏRLƏRİ
Beynəlxalq elmi-texniki jurnal

Baş redaktor – akademik A.M. Paşayev
Baş redaktorun müavini – akademik Ə.X. Canəhmədov

REDAKSİYA HEYƏTİ:

akademik **Ə.M. Abbasov**, akademik **B.H. Əliyev**, akademik **C.C. Əsgərov**, müxbir üzv **K.Ə. Əsgərov**, akademik **N.H. Cavadov**, akademik **M.Y. Cavadov**, müxbir üzv **M.H. Həsənov**, müxbir üzv **Ə.G. Hüseynov**, professor **A.Y. Qriqoryev** *(Belarus)*, akademik **B.V. Qusev** *(Rusiya)*, müxbir üzv **K.T. Nəbizadə**, akademik **H.Ə. Məmmədov**, akademik **G.H. Məmmədova**, akademik **H.F. Mirələmov**, akademik **S.Y. Müslümov**, müxbir üzv **S.R. Rəsulov**, akademik **İ.R. Sadıqov**

REDAKSİYA ŞURASI:

prof. **N. Antoneski** *(Rumıniya)*, prof. **Konstantin Bravo** *(İsrail)*, prof. **İqor Emri** *(Sloveniya)*, prof. **F. Franek** *(Avstriya)*, prof. **K. Fridrix** *(Almaniya)*, akademik **B.T. Jumaqulov** *(Qazaxıstan)*, prof. **G.S. Kalda** *(Polşa)*, prof. **D. Mavrakis** *(Yunanıstan)*, akademik **S.V. Panin** *(Rusiya)*, akademik **A.İ. Prangişvili** *(Gürcüstan)*, akademik **R.Z. Saqdeyev** *(ABŞ)*, prof. **Junq-Younq Son** *(Koreya)*, akademik **Ə.X. Şahverdiyev** *(Rusiya)*, akademik **A.İ. Vasilyev** *(Ukrayna)*, prof. **A.İ. Volçenko** *(Ukrayna)*, prof. **Tuncay Yalçınkaya** *(Türkiyə)*

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

Editor-in-chief – academician A.M. Pashayev
Deputy editor-in-chief – academician A.Kh. Janahmadov

EDITORIAL BOARD:

academician **A.M. Abasov**, academician **B.H. Aliev**, academician **J.J. Asgarov**, corresponding member **K.A. Asgarov**, academician **N.H. Javadov**, academician **M.Y. Javadov**, corresponding member **M.H. Hasanov**, corresponding member **A.G. Huseynov**, professor **A.Ya. Grigoriev** *(Belarus)*, academician **B.V. Gusev** *(Russia)*, corresponding member **K.T. Nabizada**, academician **G.A. Mamadov**, academician **G.H. Mamadova**, academician **H.F. Miralamov**, academician **S.Y. Muslimov**, corresponding member **S.R. Rasulov,** academician **I.R. Sadigov**

EDITORIAL ADVISORY BOARD:

professor **N. Antonesku** *(Romania)*, professor **Konstantin Bravo** *(Israel)*, professor **İgor Emri** *(Slovenia)*, professor **F. Franek** *(Austria)*, professor **K. Friedrich** *(Germany)*, professor **G.S. Kalda** *(Poland)*, professor **Jung-Young Son** *(Korea)*, professor **D. Mavrakis** *(Greece)*, academician **S.V. Panin** *(Russia)*, academician **A.I. Prangishvili** *(Georgia)*, academician **R.Z. Saqdeev** *(USA)*, academician **A.Kh. Shahverdiyev** *(Russia)*, academician **A.I. Vasilyev** *(Ukraine)*, **A.I. Volchenko** *(Ukraine)*, professor **Tuncay Yalcinkaya** *(Turkey)*, academician **B.T. Zhumagulov** *(Kazakhstan)*

TƏSİSÇİ: "Azərbaycan Mühəndislik Akademiyası" ictimai birliyi.

Jurnal 2009-cu ilin noyabr ayından nəşr olunur. Dövriliyi ildə 4 dəfədir.

Azərbaycan Respublikası Ədliyyə Nazirliyində qeydiyyata alınmışdır.

Qeydiyyat № 2965, 23.06.2009-cu il.

Jurnal Azərbaycan Respublikası Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının reyestrinə namizədlik və doktorluq dissertasiyalarının nəticələrinin dərc olunması üçün daxil edilmişdir.

Jurnal "Rusiyanın elmi sitat indeksləşməsi" (RESİ) layihəsinə daxil edilib.

Jurnalın tam mətn elektron versiyası "Rusiya Universal Elmi Elektron kitabxanasının bazası"nda mövcuddur (htpp:/www.elibrary.ru).

Nəşr olunmuş məqalələrə DOI (Obyektin Rəqəmsal Identifikatoru) verilir.

Jurnal International Scientific Indexing (ISI) və Scientific Journal Impact Factor (SJIF) Beynəlxalq Elmi Sitatlaşma Bazalarına yerləşdirilib, SERTİFİKATLAR verilib, impakt faktor ISI – 1.888 və impakt faktor SJIF – 8.503.

Jurnal «Creative Commons Attribution – NonCommercial 4.0» Beynəlxalq lisenziya ilə lisenziyalaşdırılıb.

Jurnal Web of Science Beynəlxalq Elmi Sitatlama Bazasında yerləşdirilməyə təqdim olunub.

Jurnala "AzərPoçt" ASC-nin poçt bölmələrində abunə olmaq olar. Abunə il boyu davam edir. Abunə indeksi: Hüquqi və fiziki şəxslər üçün – 1156.

Redaksiyanın ünvanı:
Puşkin küçəsi 30, 3-cü mərtəbə.,
Bakı ş. AZ1010,
Azərbaycan Respublikası
Tel/Faks: (+99412) 598 24 52
E-mail: amaxeber@yahoo.com
http://ama.com.az

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 (htpp:/www.elibrary.ru).

All articles are assigned the DOI (Digital Object Identifier).

Jounal was included into International Scientific Indexing (ISI) and Scientific Journal Impact Factor (SJIF), issued a CERTIFICATES, impact factor ISI – 1.888 and impact factor SJIF – 8.503.

Journal licensed under Creative Commons Attribution – NonCommercial 4.0.

The journal is submission to be posted on the International Database of Scientific Citation Web of Science.

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:
Pushkin str., 30, 3 floor,
Baku, AZ1010,
Azerbaijan Republic
Tel/Fax: (+99412) 598 24 52
E-mail: amaxeber@yahoo.com
http://ama.com.az

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

Журнал издается с ноября 2009 года.

Периодичность: 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 (htpp:/www.elibrary.ru).

Опубликованным статьям присваивается Цифровой Идентификатор Объекта DOI.

Журнал размещен в Международных базах научного цитирования International Scientific Indexing (ISI) и Scientific Journal Impact Factor (SJIF), выданы СЕРТИФИКАТЫ, импакт фактор ISI – 1.888 и импакт фактор SJIF – 8.503.

Журнал лицензирован по международной лицензии Creative Commons Attribution – NonCommercial 4.0.

Журнал представлен к размещению в международных базах научного цитирования Web of Science (WoS).

Подписка на журнал осуществляется в отделениях ОАО «АзерПочта» и продолжается в течение года. Индекс подписки для юридических и физических лиц: 1156.

Адрес редакции:
ул. Пушкина, 30, 3-й этаж,
Баку, AZ1010,
Азербайджанская Республика,
Тел./Факс: (+99412) 598 24 52
E-mail: amaxeber@yahoo.com
http://ama.com.az

ISSN 2076-0515 (print)
ISSN 2789-8245 (online)

© Azərbaycan Mühəndislik Akademiyası, 2023
© Azerbaijan Engineering Academy, 2023
© Азербайджанская Инженерная Академия, 2023

M Ü N D Ə R İ C A T

Aviasiya

Kərimli T.İ. Pilotaj və inersial naviqasiya qurğularında Şuler perioduna sazlanma 7

Mexanika və maşınqayırma

Canəhmədov Ə.X., Volçenko N.A., Cavadov M.Y., Nişuk V.V., Andreyçikov Y.Y., Skrıpnık V.S., Juravlev D.Y. Əyləclərin metal friksion elementlərinin fırlanan sistemlərinin nanomayelərində çökmə və diffuziya (I hissə) 15

İbrahimova E.N. Silisium örtüklü boruların daxilində mikroçatların yaranma səbəbləri 23

Qafarzadə H.V., Qafarov A.M., Xankişiyev İ.A. Maşın və avadanlıqların etibarlılığını qiymətləndirmək üçün informasiyanın emalı metodlarının təhlili 29

Süleymanov P.H. Ekstremal vəziyyətlərdə maşınların etibarlılığının və uzunömürlülüyünün analizi 42

Neft və qaz

Əhmədov Ə.S., Dadaş-zadə Ə.R. Qaz qabarcıqlarının mərkəzdənqaçma nasosunun işinə təsiri 53

Əliyeva O.Ə., Əliyev Ə.S. Yeraltı qaz anbarında (YQA) layın açılma dərəcəsinə görə qazodinamik tamamlanmamış yastıdibli hasiledici quyunun debitinin hesablanması 59

Hacıbalayev E.R. Qazların təzyiq və temperaturda dinamiki özlülüyü 64

İnformasiya texnologiyaları

Əliyev B.H., Həşimov X.M., Məmmədova Ə.E., Sultanova C.R. Nanotexnoloji qurğunun mobil telefonlarda tətbiqi 69

Əbdiyeva-Əliyeva G.Ə. Kiber təhlükəsizlikdə məlumatlılıq və işə təsir analizi 74

Səfərova A.A. Katalitik krekinq qurğusunun reaktor bloku üçün optimallaşdırılma məsələsinin həlli 84

Energetika

Abbasov R.M., Manafov E.K., Hüseynov F.H. Generatoru yerlə qapanmalardan mühafizə edən gərginliklər balansı sxeminin tədqiqi 89

Balametov Ə.B. Enerji sistemində dayanıqlığın yüksəldilməsi və gərginlik səviyyələrinin optimallaşdırılmasının tənzimlənməsi üçün idarə olunan FACTS-qurğularının tətbiqi 97

Məlikov E.A., Məhərrəmova T.M. Texnoloji qurğuların vakuum blokunun fəaliyyətinin optimallaşdırılması strategiyası 110

Geologiya

Məmmədova S.B., Cəfərova E.N. Cəbrayıl dağətəyi düzənliyinin geoloji quruluşunun öyrənilməsi 116

Ekologiya

Bağırov A.Ə., Şirinov M.M., Səmədov V.N., Boqopolskiy V.O. Neft yataqlarının istismarı ilə bağlı ekoloji risklər 122

C O N T E N T S

Aviation

Karimli T.I. Tuning for the Schuler period of primary flight and inertial navigation devices 7

Mechanics and Mechanical Engineering

Janahmadov A.Kh., Volchenko N.A., Javadov M.Y., Nischuk V.V., Andreichikov Ye.Yu., Skrypnyk V.S., Zhuravlev D.Yu. Sedimentation and diffusion in nanofluids in rotating systems of metallic friction elements of brake (Part I) 15

Ibrahimova E.N. Causes of Microcracks Silicon Coated in the inside pipes 23

Gafarzada H.V., Gafarov A.M., Khankishiyev I.A. The analysis of information processing methods to assess reliability of machines and equipment 29

Suleymanov P.H. Analysis of reliability and durability of machines in extreme conditions 42

Oil and Gas

Ahmadov A.S., Dadash-zada A.R. Influence of gas bubbles on the operation of a centrifugal pump 53

Aliyeva O.A., Aliyev A.S. Calculation of the flow rate of a gas dynamically imperfect production well according to the degree of formation penetration in underground gas storages (UGS) 59

Hajibalayev E.R. Dynamic viscosity of gases at temperature and pressure 64

Information Technologies

Aliyev B.H., Gashimov Kh.M., Mamedova A.E., Sultanova J.R. Application of Nanotechnological Devices in Mobile Phones 69

Abdiyeva-Aliyeva G.A. Awareness and employment impact analysis in cyber security 74

Safarova A.A. Solution of the problem of optimizing the reactor block of a catalytic cracking unit 84

Energy Industry

Abbasov R.M., Manafov E.K., Huseynov F.H. Investigation of the voltage balance scheme to protect the generator from ground fault 89

Balametov A.B. Aplication of controlled FACTS an effective way to increase stability and optimize voltage levels in the power system 97

Melikov E.A., Magerramova T.M. Strategy for optimizing the functioning of the vacuum block at the technological equipments 110

Geology

Mammadova S.B., Jafarova E.N. Study of the geological structure of the Jabrayil foothills 116

Ecology

Bagirov A.A., Shirinov M.M., Samedov V.N., Bogopolsky V.O. Environmental risks associated with the exploitation of oil fields 122

СОДЕРЖАНИЕ

Авиация

Каримли Т.И. Настройка на период Шулера пилотажных и инерциальных навигационных устройств 7

Механика и машиностроение

Джанахмедов А.Х., Вольченко Н.А., Джавадов М.Я., Нищук В.В., Андрейчиков Е.Ю., Скрыпнык В.С., Журавлев Д.Ю. Седиментация и диффузия в наножидкости во вращающихся системах металлических фрикционных элементов тормозов (ч. I) 15

Ибрагимова Э.Н. Причины появления микротрещин внутри труб с силиконовым покрытием 23

Гафарзаде Х.В., Гафаров А.М., Ханкишиев И.А. Анализ методов обработки информации для оценки надежности машин и оборудований 29

Сулейманов П.Г. Анализ надёжности и долговечности машин в экстремальных условиях 42

Нефть и газ

Ахмедов А.С., Дадаш-заде А.Р. Влияние газовых пузырей на работу центробежного насоса 53

Алиева О.А., Алиев А.С. Расчет дебита газодинамический несовершенной эксплуатационной плоскодонной скважины по степени вскрытия пласта в подземных хранилищах газа (ПХГ) 59

Гаджибалаев Э.Р. Динамическая вязкость газов при давлении и температуре 64

Информационные технологии

Алиев Б.Г., Гашимов Х.М., Мамедова А.Э., Султанова Дж.Р. Применение нанотехнологических устройств в мобильных телефонах 69

Абдиева-Алиева Г.А. Осведомленность и анализ воздействия на занятость в области кибербезопасности 74

Сафарова А.А. Решение задачи оптимизации реакторного блока установки каталитического крекинга 84

Энергетика

Аббасов Р.М., Манафов Э.К., Гусейнов Ф.Х. Исследование схемы баланса напряжений для защиты генератора от замыканий на землю 89

Баламетов А.Б. Применение управляемых FACTS для повышения устойчивости и отимизации уровней напряжений в энергосистеме 97

Меликов Э.А., Магеррамова Т.М. Стратегия оптимизации функционирования вакуумного блока технологических установок 110

Геология

Мамедова С.Б., Джафарова Э.Н. Изучение геологического строения Джебраильского предгорья 116

Экология

Багиров А.А., Ширинов М.М., Самедов В.Н., Богопольский В.О. Экологические риски, связанные с эксплуатацией нефтяных месторождений 122

Tuning for the Schuler Period of Primary Flight and Inertial Navigation Devices

Karimli T.I.
Azerbaijan National Academy of Aviation (Mardakan ave. 30, Baku, AZ1045, Azerbaijan)

For correspondence:
Karimli Togrul / e-mail: tkarimli@mail.ru

Abstract

The article gives a review of operation of devices for measuring the spatial position of static and dynamic objects. Mechanical pendulums for determining the spatial position of an accelerated moving object with a disrturbed action and a classical solution for eliminating the perturbing inertial disrturbanse are considered. Variants of an universal-purpose pendulum undisrturbed under the disrturbanse of inertia force are presented, in which there is no need to adjust for the Schuler period.

Keywords: aircraft, attitude, pendulum, Schuler period, accelerometer, gyroscope, correction.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_07_14

Received *15.02. 2023*
Revised *16.06.2023*
Accepted *21.06.2023*

For citation:
Karimli T.I.
[Tuning for the Schuler period of primary flight and inertial navigation devices]
Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 7-14 *(in Azerbaijani)*

Pilotaj və inersial naviqasiya qurğularında Şuler perioduna sazlanma

Kərimli T.İ.

Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası (Mərdəkan pr. 30, Bakı, AZ1045, Azərbaycan)

Yazışma üçün:
Kərimli Toğrul / e-mail: tkarimli@mail.ru

Xülasə

Məqalədə müxtəlif təyinatlı statik və dinamik obyektlərin fəza vəziyyətini ölçən qurğular təhlil edilmiş, onların iş prinsipləri araşdırılmışdır. Təcilli hərəkətə malik obyektlərin fəza vəziyyətini müəyyən edən mexaniki rəqqasın həyəcanlanma halına baxılmış və həyəcanlanmanın təsirinin aradan götürülməsinin klassik həlli göstərilmişdir. Universal təyinata malik mexaniki rəqqasın təcilə görə həyəcanlanmayan variantları təqdim edilmişdir. İnersial Naviqasiya Sistemlərində pyezoelektrik özüsazlanan giroskopun əsasında Şuler perioduna sazlanma aparılmadan bucaq parametrlərin təyin edilməsinin mümkünlüyü göstərilmişdir.

Açar sözlər: hava gəmisi, fəza vəziyyəti, rəqqas, Şuler periodu, akselerometr, giroskop, korreksiya.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_07_14

УДК 629.7.05

Настройка на период Шулера пилотажных и инерциальных навигационных устройств

Каримли Т.И.

Азербайджанская Национальная академия авиации (Мардакянский пр. 30, Баку, AZ1010, Азербайджан)

Для переписки:
Каримли Тогрул / e-mail: tkarimli@mail.ru

Аннотация

В статье проводится обзор и принципы работы устройств измерения пространственного положения статических и динамических объектов. Рассмотрены механические маятники определения пространственного положения ускоренно подвижных объектов с возмущенным воздействием и классическое решение устранения возмущающего инерционного влияния. Представлены варианты невозмущаемых под воздействием силы инерции маятников универсального назначения, для которых нет необходимости в настройке на период Шулера.

Ключевые слова: воздушное судно, пространственное положение, маятник, период Шулера, акселерометр, гироскоп, коррекция.

Giriş

Uçuş aparatlarının (UA) hərəkətinin idarə edilməsi üçün onun üfüqə nəzərən fəza vəziyyətini, yəni kren və tanqaj bucaqlarını müəyyən etmək lazımdır**.** Bu məqsədlə, UA-da ərazinin cari şaquli vəziyyətini təyin edən qurğunun olması zəruridir. Məlum olduğu kimi, hərəkətli obyektlərdə fiziki rəqqas təcilli hərəkətlərə həssas olduğundan, şaquli göstərici kimi istifadə edilə bilməz.

Üç sərbəstlik dərəcəsinə malik olan astatik giroskop isə təcillə hərəkət edən obyektlərdə həyəcanlanmayan olduğundan, o, inersial fəzaya nəzərən baş fırlanma oxunu sabit saxlayır. Lakin, Yerə nəzərən hərəkət və Yerin öz oxu ətrafında fırlanması nəticəsində giroskopun baş fırlanma oxu əvvəl şaquli vəziyyətlə üst-üstə düşsə də, zaman keçdikcə fərqli qiymətlərə malik olur.

Beləliklə, sərbəst giroskop şaquli vəziyyət göstəricisi kimi istifadə edilə bilməz. Bu məqsədlə UA-da giroskopik rəqqasdan, girovertikaldan, girohorizontdan və girovertikantdan istifadə edilir [1, 2].

İşin məqsədi

Qarşıya qoyulmuş məsələnin həlli üçün UA-nın pilotaj və naviqasiya məsələlərinin həlli zamanı uçuşların təhlükəsizliyinin səviyyəsini artırmaq məqsədilə fəza vəziyyətinin ölçülməsinin dəqiqliyini və etibarlığını artırmağa imkan verən, tərkibində daha az korreksiya mexanizmləri olan qurğuların inkişaf etdirilməsi təklif edilmişdir.

Məsələnin aktuallığı

HG-nin fəza vəziyyətini və avtonom olaraq naviqasiya parametrlərini ölçmək məqsədilə elektromexaniki aviahorizont, əsasını inersial ölçmə metodu təşkil edən İnersial İstinad Sistemi (İİS) - (İRS - Inertial Reference System), Fəza Vəziyyəti və Yön İstinad Sistemi (FVYÖ) – (AHRS – Attitude and Heading Reference System), İnteqrasiyalı Ehtiyat Uçuş Displeyi (İEUD) – (İSFD - Integrated Standby Flight Display) tətbiq edilir. Bucaq parametrlərinin ölçülməsi üçün sistemə daxil olan əsas qurğu kimi rotorlu, lazer, optik-lifli və miromexaniki giroskoplar tətbiq edilir. Giroskopların başlanğıc bucaqları akselerometrlər və ya peyk naviqasiya sistemi vasitəsi ilə daxil edilir və sonrakı iş prosesində fasiləsiz olaraq korreksiyaya məruz qalır. Təcilli hərəkət nəticəsində korreksiya prosesində platformanın faktiki şaquli vəziyyəti həqiqi şaquli vəziyyətdən fərqli olur.

Statistik məlumatlara əsasən bütün aviasiya qəzalarının 20%-ə qədər olan hissəsi HG-nin kren və tanqaj bucaqlarının itirilməsi nəticəsində baş verir [1, 2]. Ona görə də fəza vəziyyəti ilə əlaqədar olan ölçmələrin fasiləsizliyini və etibarlığını təmin etmək son dərəcə əhəmiyyətə malik aktual məsələlərdən hesab edilir.

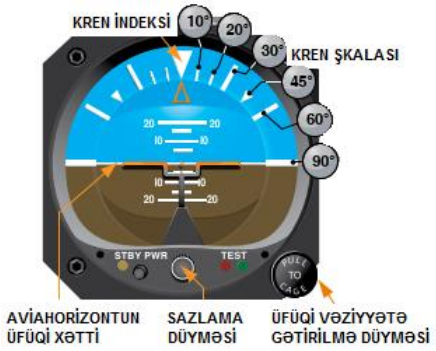
HG-nin kren və tanqaj bucaqları olaraq fəza vəziyyətini ölçən elektromexaniki və inteqrasiyalı ehtiyat elektron aviahorizont şəkil 1-də verilmişdir.

HG-də elektromexaniki aviahorizontda quraşdırılan üç sərbəstlik dərəcəli astatik giroskopun xarici çərçivəsi təyyarənin eninə oxu üzrə, baş fırlanma oxu isə şaquli ox üzrə yerləşən vəziyyəti nəzərdən keçirək (şəkil 2).

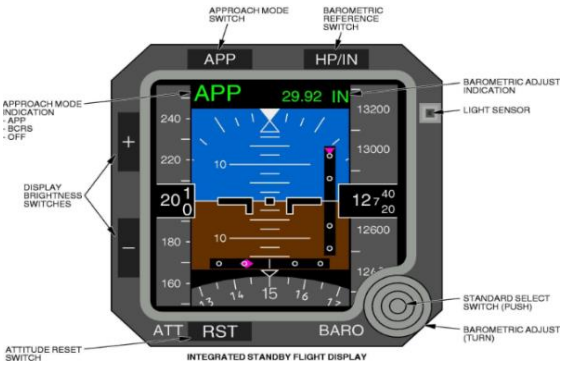
HG ekvator boyunca üfüqi istiqamətdə hərəkət edirsə, şaquli vəziyyətin yerdəyişməsi $U + {}^{V}/_{R}$ sürəti ilə müəyyən edilir. Giroskopun xarici çərçivəyə nəzərən yayınma sürəti aşağıdakı düstur ilə təyin edilir.

$$\dot{\alpha} = \left(U + {}^{V}/_{R}\right) \qquad (1)$$

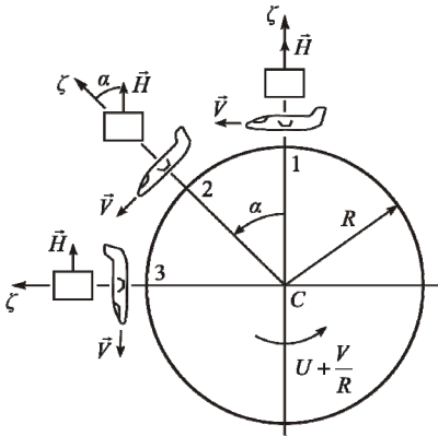
a)



b)



Şəkil 1 – Aviahorizont:
a) Elektromexaniki; b) İnteqrasiyalı elektron
Figure 1 – Artificial horizon:
a) Electromechanical; b) Stanby Flight Display



Şəkil 2 – Astatik giroskopun ərazinin şaquli vəziyyətinə nəzərən mövqeyi
Figure 2 – The position of the astatic gyroscope relative to the terrain vertical position

Burada $U = 7.2921 \cdot 10^{-5}$ *rad/san* Yerin öz oxu ətrafında fırlanmasının bucaq sürəti, R - Yerin radiusu, V - HG-nin yol sürəti, H - giroskopun rotorunun kinetik momentinin istiqamətidir. Şəkildən güründüyü kimi HG 3 mövqeyində olduqda cari şaquli istiqamət və giroskopun baş fırlanma oxu arasında α fərq bucağı 90^0 təşkil edir [3].

Məsələnin həlli

Göründüyü kimi, üçsərbətlik dərəcəsinə malik olan astatik giroskop cari ərazinin faktiki şaquli vəziyyətini müəyyən edə bilmir. Bu məqsədlə iki üsuldan istifadə edilir: 1) Rəqqaslı həssas elementlərin siqnalları əsasında giroskopun baş fırlanma oxunu şaquli vəziyyətə gətirmək (sazlamaq) üçün korreksiya sistemlərindən istifadə; 2) Baş fırlanma oxu boyunca asqıya nəzərən giroskopun kütlə mərkəzinin yerdəyişməsi.

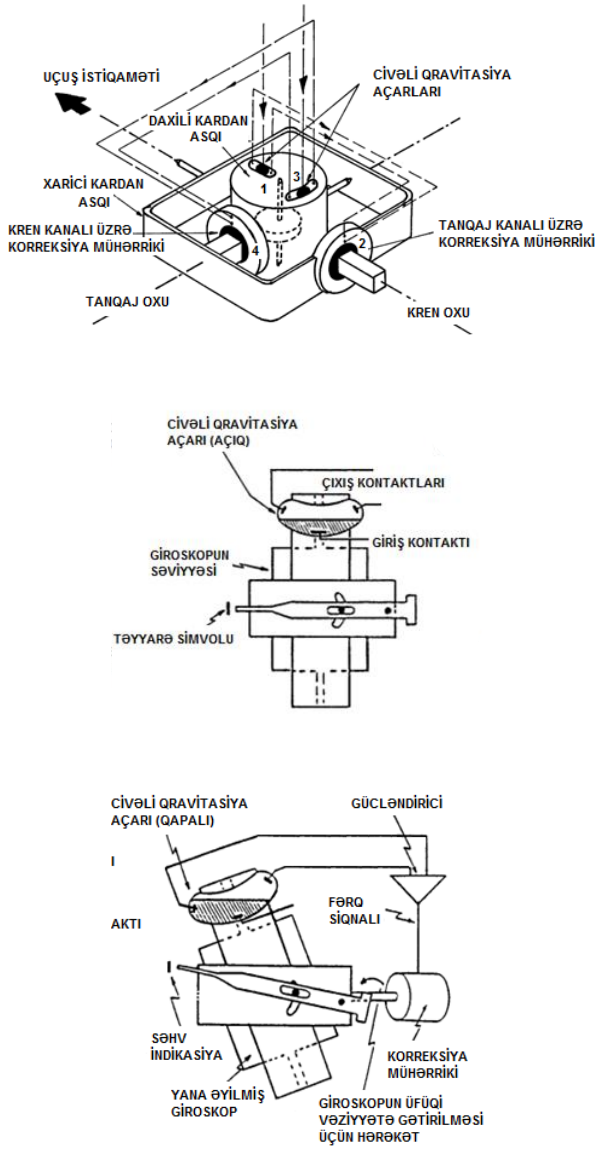
Birinci üsuldan platformalı və platformasız giroskopik qurğularında istifadə edilir. Bu üsul əsasında yaradılmış qurğular aviahorizont, girovertikal, girohorizont, girovertikant adlanır. Girohorizont və girovertikant kosmik uçuş aparatlarında və raket sistemlərində tətbiq edilir [2, 3].

İkinci üsuldan platformalı giroskopik qurğularda istifadə edilir. Bu üsul əsasında yaradılmış qurğular giroskopik rəqqaslar adlanır.

Elektromexaniki aviahorizontda tətbiq edilən giroskopun baş fırlanma oxunu müntəzəm olaraq cari şaquli vəziyyətə gətirmək (korreksiya) üçün şəkil 3-də təqdim edilən sxemdən istifadə edilir [4].

Korreksiya qurğusu cari şaquli vəziyyəti təyin edən və elektrik korreksiya siqnalını formalaşdıran civəli qravitasiya açarlarından və onun kontaktlarından, gücləndiricidən, daxili və xarici kardan asqıları ilə giroskopun rotorunun baş fırlanma oxunu şaquli vəziyyətə gəti-

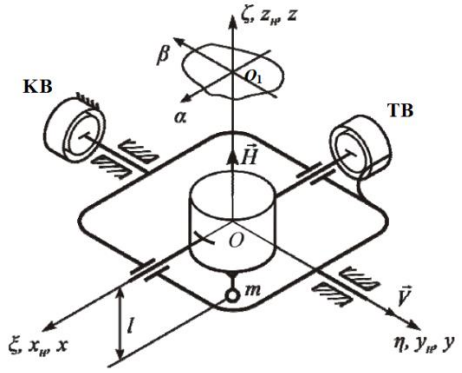
rən kren və tanqaj kanalları üzrə elektrik korreksiya mühərriklərindən və təcilli hərəkətlərdə yanlış korreksiya siqnalını korreksiya mühərrikinin elektrik şəbəkəsindən açan korreksiya ayırıcısından (şəkildə göstərilməyib) ibarətdir.



Şəkil 3 – Korreksiya edilən aviahorizont
Figure 3 – Correctable artificial horizon

Belə ki, təcilli hərəkətlərdə fiziki rəqqas olan civəli qravitasiya açarının daxilindəki civə təcilin yaratdığı qüvvə ilə hərəkət edərək müvafiq kontaktlarda yanlış (səhv) elektrik siqnalı formalaşdırır. Bunun qarşısını almaq üçün korreksiya ayırıcısı belə halda (təcilli hərəkətdə) korreksiya mühərriklərini şəbəkədən ayırır. Ona görə, vizual cihazlarda viraj zamanı xətanın qiyməti artır.

Şəkil 4-də ölçmə ilə yanaşı təcilsiz hərəkətdə korreksiya məsələsini həll edən giroskopik rəqqas verilmişdir. Giroskopun ağırlıq mərkəzi asqıya nəzərən l məsafəsi qədər aşağı istiqamətə sürüşdürülmüşdür. Daxili və xarici Kardan asqılarında (çərçivələrdə) dönmə bucaqlarını elektrik siqnalına çevirən kren bucağı (KB) və tanqaj bucağı (TB) bucaq vericiləri quraşdırılmışdır.



Şəkil 4 – Giroskopik rəqqasın kinematik sxemi
Figure 4 –Kinematic scheme of a gyroscopic pendulum

Daxili və xarici çərçivələrin oxlarına nəzərən girorəqqas k tezliyinə malik sönməyən rəqslərə malik olur.

$$k = \frac{mgl}{H} \tag{2}$$

Bu rəqslərin periodu isə (3) düsturu ilə müəyyən edilir.

$$T_{GR} = 2\pi \frac{H}{mgl} \tag{3}$$

Məlum olduğu kimi L uzunluğuna malik riyazi rəqqasın rəqs periodu

$$T_R = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \tag{4}$$

düsturu ilə təyin edilir.

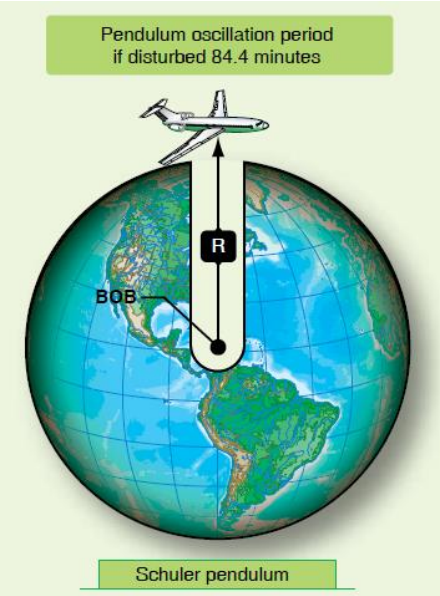
$$T_{GR} = T_R \text{ şərtindən } 2\pi \frac{H}{mgl} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

riyazi rəqqasın uzunluğu aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$L = \frac{H^2}{g(ml)^2} \quad (5)$$

Böyük H kinetik momentə və kiçik mgl statik momentə malik giroskopu seçməklə böyük rəqs perioduna malik girorəqqas əldə edilə bilər. Bununla, girorəqqasdan istifadə etməklə, hərəkətli obyektlərdə cari ərazinin şaquli vericisini yaratmaq imkanı əldə edilir [3].

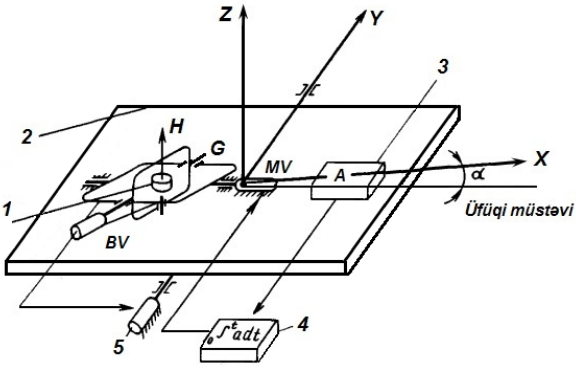
1923-cü ildə alman alimi Maks Şuler nəzəri olaraq sübut etmişdir ki, uzunluğu Yerin radiusuna bərabər olan və rəqs periodu $T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$=84.4 dəq. düsturuna əsasən 84.4 dəqiqəyə bərabər rəqqas (rəqqasın kütləsi Yerin mərkəzində olarsa) təcilin heç bir qiymətinə məruz qalmayaraq Yerin faktiki şaquli vəziyyətindən kənara meyl etmir. Beləliklə, rəqqas həyəcanlanmayan xüsusiyyətə malik olar (şəkil 5). Belə bir rəqqası hazırlamaq mümkün olmasa da, onun hərəkətini modelləşdirmək mümkündür.



Şəkil 5 – Həyəcanlanmayan rəqqasın nəzəri modeli
Figure 5 – Undisrturbed pendulum model

Müxtəlif təyinatlı sualtı və suüstü nəqliyyat vasitələri, uçuş aparatları və onların müəyyən səthlərini üfüqi və ya şaquli vəziyyətdə stabilləşdirmək və idarə etmək məqsədi ilə inersial ölçmə metoduna əsaslanan platformalı və platformasız inersial naviqasiya sistemlərində Şuler periodu üzrə sazlanma yerinə yetirilir.

Şəkil 6-da, misal olaraq, platformalı inersial naviqasiya sistemində Şuler periodu üzrə sazlanma sxemi verilmişdir.



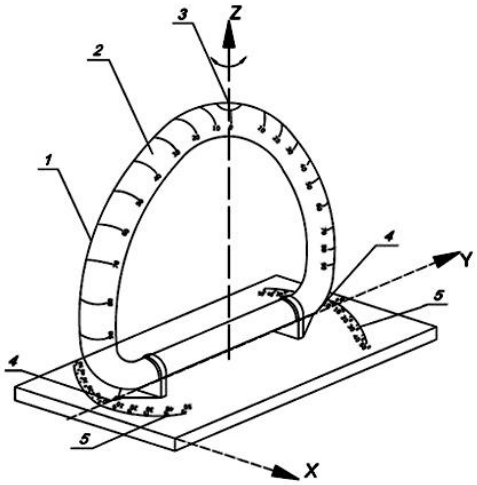
Şəkil 6 – Platformalı inersial naviqasiya sistemində Şuler periodu üzrə sazlanma sxemi
Figure 6 – Tuning scheme for the Schuler period in a platform inertial navigation system

1 giroskopu və 2 platformanın üzərində quraşdırılan 3 akselerometri X oxu boyunca platformanın təcilini ölçür. Akselerometrdən mənimsənilən l siqnal 4 inteqratorunda inteqrallanaraq giroskopun (G) oxu üzərində yerləşən moment vericisinə (MV) daxil olur və giroskopu presessiyaya məruz qoyur. Giroskopun mexaniki yerdəyişməsi bucaq verici (BV) ilə ölçülərək elektrik siqnalı şəklində platformanı Y oxu üzrə hərəkət etdirən 5 mühərrikinə daxil olur. Platforma Y oxu üzrə T=84.4 dəq. rəqs periodu ilə harmonik rəqsi hərəkət edir [5]. Oxşar qayda ilə, platformanı X oxu ətrafında hərəkət etdirən idarəetmə sxemi də tətbiq edilir (şəkildə göstərilməyib).

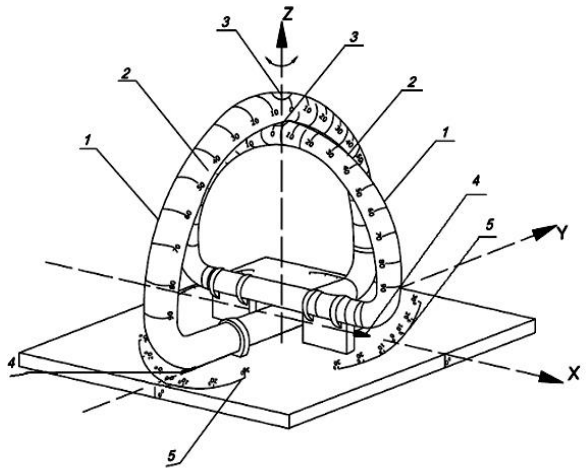
Platformasız İnersial Naviqasiya Sistemlərində Şuler perioduna sazlanma proqram təminatı əsasında icra olunur. Burada giroskop-

lar və akselerometrlər sərt olaraq inersial blokun gövdəsinə bərkidilir.

Şəkil 7-də heç bir başlanğıc və cari korreksiya əməliyyatı, həmçinin Şuler perioduna sazlanma tələb etməyən dinamik obyektlərin, o cümlədən hava gəmilərinin fəza vəziyyətini ölçən Universal Mayeli Bucaqölçənlərin (UMB) iki variantı verilmişdir.



a)



b)

Şəkil 7 – Universal Mayeli Bucaqölçənlərin yeni variantları
Figure 7 – New versions of the Universal Liquid Angle Indicators

Şəkil 7a-da təsvir edilən qurğu X və Z, şəkil 7b-də isə təsvir edilən qurğu eyni zamanda X, Y və Z üzrə obyektlərin maillik bucaqlarını (kren, tanqaj və yön) ölçməyə imkan verir [6, 7]. UMB əvvəlki variantlarından fərqli olaraq, əlavə Z oxu ilə HG-nin yönünü ölçmək üçün qurğuda quraşdırılan maqnitometrdən (yön vericisindən) alınmış elektrik siqnal əsasında elektron rəqəmlərin indikasiya olunması təklif edilir. Lakin bu qurğular vizual cihaz qismində istifadə edilə bilər.

Nəzərə almaq lazımdır ki, uçuş hündürlüyündən, coğrafi koordinatlardan asılı olaraq, Şuler periodunun ədədi qiyməti dəyişir. Dəqiq inersial naviqasiya məsələlərin həllində bu amil mütləq nəzərə alınmalıdır. Sürətli manevr edən taktiki və strateji raketlərdə peyk naviqasiyadan istifadə edilmədikdə (avtonom idarəetmədə) mövcud məsələnin həlli xüsusi əhəmiyyətə malikdir.

UA-nın manevri zamanı cari fəza vəziyyətlərini istənilən məkan və zaman çərçivəsində yüksək dəqiqliklə ölçmək məqsədilə, xüsusilə təcilli hərəkətlərdə, akselerometrin ətalətli kütləsində parazit təcildən yaranan qüvvə və yerdəyişməni qarşılıqlı şəkildə sxematik kompensasiya etməyə imkan verən, Şuler perioduna sazlanma aparılmadan yeni elektron və MEMS (Mikroelektromexaniki sistemlər) əsaslı vericilərin işlənməsi naviqasiyada vacib məsələlərdən hesab edilir.

Pilotsuz Uçuş Aparatlarında (PUA) özüsazlanan giroskop-akselerometrin (ÖGA) mərkəzini yüksək dəqiqliklə PUA-nın kütlə mərkəzində yerləşdirməklə Şuler perioduna sazlanmaya ehtiyac olmaya da bilər.

Bunun üçün ÖGA-nın uc nöqtələrinin qarşılıqlı şəkildə diferensial birləşməsi nəticəsində PUA-nın manevri səbəbindən yaranan təcillərin elektrik siqnallarını ölçüb elektron korreksiya blokunda qarşılıqlı kompensasiya edilərək giroskop-akselerometrin bucaq ölçmə rejimində Şuler perioduna sazlanma zərurəti qalmır [8].

Nəticə

Mülki HG-də pilotaj parametrlərdən olan kren və tanqajı, naviqasiya parametri olan yönü (vurnuxma) ölçmək məqsədilə yüksək etibarlığa və avtonomluğa malik UMB əvvəlki variantlarından fərqli olaraq, vahid konstruksiyada maqnit kompasının ölçdüyü əlavə naviqasiya parametri kimi HG-nin yönünü təyin etməyə imkan verən qurğunun istifadə edilməsi təklif edilir.

Yüksək dinamikliyə malik UA-da pilotaj-naviqasiya parametrlərini təyin etmək məqsədilə pyezoelektrik ÖGA əsasında təcilli hərəkətlərdə ÖGA-nın uc tərəflərində diferensial təcillərin qiymətləri əsasında, proqram təminatı ilə Şuler perioduna sazlanma aparılmadan da cari şaquli vəziyyət müəyyən edilməklə PUA-nın faktiki bucaqlarını müəyyən etmək mümkündür. Böyük ölçülü UA üçün ÖGA uc nöqtələrini UA-nın kütlə mərkəzinin əks tərəflərində (sol-sağ və aşağı-yuxarı) simmetrik yerləşdirməklə Şuler perioduna sazlanma aparılmadan UA-nın fəza vəziyyətini və naviqasiya parametrlərini təyin etməyə şərait yaradan qurğunun işlənməsi təklif edilir.

Maraqlar münaqişəsi

Müəllif bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edir.

REFERENCES

1. **Kərimli T.İ.** Uçuş aparatlarının fəza vəziyyətini müəyyən edən həyəcanlanmayan universal rəqqaslı qurğu. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*, 2018. Cild 10, №1. s.7-15 *(in Azerbaijani).*
2. **Kargu L.I.** Izmeritelnyye ustroystva letatelnykh apparatov. Moskva: *Mashinostroyeniy*e, 1988. 256 p. *(in Russian).*
3. **Vinichenko N.T., Katsay D.A., Lysova A.A**. Teoriya giroskopicheskikh priborov. Chelyabinsk. YuUrGU, 2010. 141 p. *(in Russian).*
4. İnstrumentation. JAA ATPL. Theoretical knowledge manual. Oxford Aviation, Frankfurt, Germany, 2001. 662 p. *(in English)*
5. **Vorobyev V.Q., Qlukhov V.V., Kadyshev I.K..** Aviasionnyye pribory, informasionno izmeritelnyye sistemy i kompleksy. Moskva: *Transport*, 1992. 399 p. *(in Russian).*
6. **Həzərxanov Ə.T., Kərimli T.İ., Abdullabəyli A.A.** Mayeli bucaqölçən (variantlar). Patent-ixtira İ20170043, 12.09.2017, 10 s. *(in Azerbaijani).*
7. **Hazarkhanov A.T., Karimli T.I., Abdullabayli A.A.** Universal liquid angle indicator. United States Patent. US 10190878B2, 2019, 11 p. *(in English)*
8. **Qurbanov T.B., Kərimli T.İ., Kərimli V.İ.** Pyezoelektrik özüsazlanan giroskop-akselerometr. Patent-ixtira I20190047, Azərbaycan Respublikası, 2019, 15 s. *(in Azerbaijani).*

Sedimentation and Diffusion in Nanofluids in Rotating Systems of Metallic Friction Elements of Brake *(Part I)*

A.Kh. Janahmadov[1,3], N.A. Volchenko[2], M.Y. Javadov[3], V.V. Nischuk[4], Ye.Yu. Andreichikov[4], V.S. Skrypnyk[4], D.Yu. Zhuravlev[4]

[1] *Azerbaijan National Academy of Aviation (Mardakan ave, 30, Baku, AZ1045, Azerbaijan)*
[2] *Kuban State Technological University (International Activities Support Department, Room A-523, Moskovskaya st., 2, Bld. A, Krasnodar, 350072, Russia)*
[3] *Azerbaijan Engineering Academy (Mardakan ave. 30, Baku, AZ1045, Azerbaijan)*
[4] *Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Karpatska ave.15, Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine)*

For correspondence:
Zhuravlev Dmitriy / e-mail: dmytro.2103@ukr.net

Abstract

According to the principles of nonequilibrium thermodynamics, it is necessary to study the processes of heat generation in friction pairs and the local nature of its removal from the inner surface of the brake pulley rim. Such means are briquettes made of nanoparticles and forming capillary structures resting in metal frames. The latter are installed in three rows in wide circular grooves on the inner surface of the pulley rim, to which the fluid chamber is attached. The interaction of the latter with the nanocapillary structure in briquettes is described. The connection between sedimentation and diffusion in a nanofluid was carried out by means of the intensity of the entropy source caused by the frictional interaction of metal-polymer friction pairs. To assess sedimentation, the gradient theory was applied to pressure, velocity, partial and specific volume, mass and molar concentration, as well as the determination of the sedimentation coefficient. The diffusion of nanoparticles was characterized by the coefficient and its mobility in the liquid. Selection by molecular weight of various materials of nanoparticles was made. The results of experimental studies on a model band-shoe brake are presented and the cooling efficiency is established.

Keywords: band-shoe brake, friction pairs, brake pulley rim, nanoparticles, liquid, diffusion-sedimentation processes, molecular weight.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_15_22

Received *14.01.2023*
Revised *19.06.2023*
Accepted *21.06.2023*

For citation:
Janahmadov A.Kh., Volchenko N.A., Javadov M.Y., Nischuk V.V., Andreichikov Ye.Yu., Skrypnyk V.S., Zhuravlev D.Yu.
[Sedimentation and diffusion in nanofluids in rotating systems of metallic friction elements of brake (Part I)]
Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 15-22 *(in English)*

Əyləclərin metal friksion elementlərinin fırlanan sistemlərinin nanomayelərində çökmə və diffuziya *(I hissə)*

Ə.X. Canəhmədov[1,3], N.A. Volçenko[2], M.Y. Cavadov[3], V.V. Nişuk[4], Y.Y. Andreyçikov[4], V.S. Skrıpnık[4], D.Y. Juravlev[4]

[1] *Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası (Mərdəkan pr. 30, Bakı, AZ1045, Azərbaycan)*
[2] *Kuban Dövlət Texnologiya Universiteti (Moskovskaya küç. 2, Krasnodar, 350072, Rusiya)*
[3] *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyası (Mərdəkan pr. 30, Bakı, AZ1045, Azərbaycan)*
[4] *İvano-Frankivsk Milli Texniki Neft və Qaz Universiteti (Karpatska küç.15, İvano-Frankivsk, 76019, Ukrayna)*

Yazışma üçün: Juravlev Dmitriy / e-mail: dmytro.2103@ukr.net

Xülasə

Məqalədə nanohissəciklərdən hazırlanmış və metal karkaslarda dayanan kapilyar strukturlar əmələ gətirən briketlər nəzərdən keçirilib. Onlar maye kamerasının bağlandığı qasnağın halqasının daxili səthində geniş dairəvi yivlərdə üç cərgədə quraşdırılır. Bu mayenin briketlərdəki nanokapilyar strukturla qarşılıqlı təsiri təsvir edilib. Nanomayedə çökmə və diffuziya arasında əlaqə "metal-polimer" sürtünmə cütünün friksion qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranan entropiya mənbəyinin intensivliyi vasitəsilə həyata keçirilmişdir. Çöküntünün qiymətləndirilməsi üçün qradiyent nəzəriyyəsinin tətbiqi təzyiqin, sürətin, qismən və xüsusi həcmin, kütlə və molyar konsentrasiyanın, həmçinin çökmə əmsalı təyin edilmişdir. Nanohissəciklərin diffuziyası onun əmsalı və onun mayedə hərəkətliliyi ilə xarakterizə olunurdu. Nanohissəciklərin müxtəlif materiallarından molekulyar çəki üzrə seçimlər aparılmışdır.

Açar sözlər: lent-kündəli əyləc, sürtünmə cütü, əyləc qasnağı, nanohissəciklər, maye, diffuziya-çökmə prosesi, molekulyar çəki.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_15_22

УДК 62.92.113; 621.2.082.18

Седиментация и диффузия в наножидкости во вращающихся системах металлических фрикционных элементов тормозов *(часть I)*

А.Х. Джанахмедов[1,3], Н.А. Вольченко[2], М.Я. Джавадов[3], В.В. Нищук[4], Е.Ю. Андрейчиков[4], В.С. Скрыпнык[4], Д.Ю. Журавлев[4]

[1] *Азербайджанская Национальная академия авиации (Мардакянский пр. 30, Баку, AZ1010, Азербайджан)*
[2] *Кубанский государственный технологический университет (ул. Московская, 2, Краснодар, 350072, Россия)*
[3] *Азербайджанская Инженерная академия (Мардакянский пр. 30, Баку, AZ1045, Азербайджан)*
[4] *Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа (ул. Карпатская, 15, Ивано-Франковск, 76019, Украина)*

Для переписки: Журавлев Дмитрий / e-mail: dmytro.2103@ukr.net

Аннотация

В статье рассмотрены брикеты, изготовленные из наночастиц и образующие капиллярные структуры, покоящиеся в металлических каркасах. Они установлены в три ряда в широкие круговые пазы на внутренней поверхности обода шкива, к которому прикреплена камера с жидкостью. Описано взаимодействие этой жидкости с нанокапиллярной структурой в брикетах. Связь между седиментацией и диффузией в наножидкости осуществлялась посредством интенсивности источника энтропии, вызванного фрикционным взаимодействием пар трения «металл-полимер». Для оценки седиментации применялась градиентная теория к давлению, скорости, парциальному и удельному объему, массовой и мольной концентрации, а также определен коэффициент седиментации. Диффузия наночастиц характеризована коэффициентом и ее подвижностью в жидкости. Произведен подбор по молекулярному весу из различных материалов наночастиц.

Ключевые слова: ленточно-колодочный тормоз, пары трения, обод тормозного шкива, наночастицы, жидкость, диффузионно-седиментационные процессы, молекулярный вес.

Introduction

Suspensions based on solid phase nanoparticles are called nanofluids [1]. The thermal conductivity of suspensions with a low concentration of solid phase particles can be described by the Maxwell theory [2]. The theory is built on the basis of a number of assumptions: the concentration of particles of the solid phase is small (the distance between the particles significantly exceeds their size); particles are immobile in a liquid; particles have a spherical shape, the equations of conductive heat transfer are valid for describing the heat transfer process. When using particles of the nanometer range, shrouded in a polymer film, which are dipoles, during the movement of a nanofluid in cooling systems, a transformation of charges occurs, leading to the formation of electronic and ionic zones. The driving force in a nanofluid is jumps of various kinds of potentials. The large scatter of experimental data is associated with a number of objective reasons: the method of nanoparticle synthesis, the size distribution function of nanoparticles, the nanofluid manufacturing technology, as well as the method of measuring thermal conductivity and integrating results. In addition, depending on the mode of rotation of the metal friction element of the brakes, the effect of sedimentation of nanoparticles is observed. Sedimentation is the settling of small nanoparticles in a liquid or gas under the action of a gravitational field and centrifugal forces.

Analysis of literary sources and the state of the problem

In works [1-3] on the study of heat transfer in nanofluids, it was shown that the thermal conductivity of suspensions of ultrafine aluminum, silicon, and titanium oxides in water at a volume concentration of the order of several percent exceeds the thermal conductivity of a pure liquid by tens of percent.

The results of the experiment with nanoparticles of various sizes indicate that the thermal conductivity of a liquid based on larger particles is fairly well described using the Maxwell theory [2].

First of all, the data obtained with theoretical models built to describe the thermal conductivity of coarse suspensions. The first such model was created by Maxwell [2], who obtained the relation between the thermal conductivity of the suspension λ and the base fluid λ_0.

An analysis of the influence of the size of nanoparticles on the thermal conductivity coefficient (λ) of a nanofluid shows that the coefficient λ of nanofluids increases with an increase in the size of nanoparticles [4].

In [5], the simulation of the thermal conductivity coefficient of a nanofluid depending on the different masses of nanoparticles is presented. The authors found that λ of a nanofluid at a fixed size and concentration of nanoparticles increases with their mass. The dependence of the increase in the thermal conductivity of a nanofluid on the mass of nanoparticles means at the same time the same dependence on the density of particles with the same particle size.

The thermal conductivity coefficient of nanofluids is also affected by the shape of nanoparticles, which can be spherical, cylindrical, prismatic, flat, elliptical. Thus, in [2, 3], the thermal conductivity of a nanofluid with ZnO nanoparticles having prismatic and spherical shapes was experimentally studied at various volume concentrations of nanoparticles in the range from 0.05 to 5.0%. It was found that the coefficient λ of nanofluids with zinc oxide nanoparticles increased by 12% and

18%, respectively, for spherical and prismatic nanoparticles at φ = 5.0%, compared with the coefficient λ of the base liquid - water.

However, many of the experimental data obtained so far have a large scatter and often contradict each other. Some of the data indicate an anomalous increase in the thermal conductivity of nanofluids in comparison with the theory [1]. But in the course of joint studies conducted by organizations from different countries, an anomalous increase in thermal conductivity at low concentrations of nanoparticles was not found [6]. The classification of nanofluids and the analysis of theoretical approaches to modeling the transport coefficients are given in [7]. In particular, it was noted that a rigorous theory of transport processes in nanofluids has not yet been developed, and the use of molecular dynamics modeling of thermal conductivity still gives predictions that differ from the classical theory. In work [8] on a new type of composite brake pulley with a chamber of a band-shoe brake in bench conditions, liquid (water) cooling of its friction pairs was studied, the efficiency of which was 10 -14%. The modes of motion and changes in the parameters of nanofluid and vapor along the length of the inner wall of the pulley rim were studied in [9]. The presence of the following zones from the pinched edge of the rim to the free one was established).

The first one is a single-phase convective heat exchange of a nanofluid with macrosections of thermal and hydrodynamic stabilization; the second is the beginning of the nanofluid boiling; the third is the beginning of intense nanovapor content, after which the intensity of heat transfer increases significantly; the fourth - near-wall two-phase layers are formed; in this case, the mode of movement of the mixture, as a rule, is bubbly; fifth, superheated vapor and nanofluid move in the annular flow at saturation temperature; there is a sequential change in flow regimes - from bubble to dispersed-annular.The efficiency of air-nano-liquid cooling of friction pairs of a band-shoe brake in bench conditions of the material is 16 - 18%.

However, the considered systems of forced cooling of friction pairs of a band-shoe brake have the following disadvantages: - there was a sedimentation (falling) of nanoparticles under the action of the settling of the gravitational field and centrifugal forces on the bottom of the pulley chamber, which reduced the efficiency of forced cooling; - forced cooling contributes to uneven distribution of bulk temperatures from the pinched edge of the pulley rim to the free one due to the complex conductive heat exchange between the rim, its flanges and the mounting lug; - no substantiation was made for the choice of nanoparticles for capillary structures and liquids in rotating metal friction elements of brakes [10].

Formulation of the problem. It is necessary to solve the problem of using nanoparticles in the form of briquettes that make up the nanocapillary structure in the system of forced liquid cooling of the friction pairs of a band-shoe brake and evaluate the effectiveness of its operation.

The main issue of the article: the design and operation of a nanocapillary liquid cooling system for friction pairs of a band-shoe brake; the discussion of the results.

The purpose of the work is to substantiate the performance of nanoparticles in capil-

lary structures and in liquid in rotating brake systems.

Design and operation of nanocapillary and nanofluid cooling systems for brake friction pairs. The principle of capillary-liquid cooling of friction pairs of a band-shoe brake is based on the following effects: convective, vortex, radiant, conductive, and evaporative-condensation in capillary structures located in briquettes. Let us dwell on a brief analysis of the types of cooling that were considered. The vortex effect is the movement of air or liquid layers, in which their small volumes not only move, but also rotate around the instantaneous axis, which are cooled due to the redistribution of energy over the flow layers, leading to a change in the specific density gradient.

Radiant heat transfer of a metal friction element from matte and polished surfaces occurs due to the conversion of its internal thermal energy into radiation energy carried out with the help of photons. The transfer of the specified thermal energy into space where it is absorbed by the ambient air or liquid in a different thermodynamic state. Conductive heat transfer is the transfer of thermal energy by microparticles (electrons, ions) from a more heated area, a metal friction element, to a less heated one. In this case, the microparticles in the considered body of the friction element not only move, but also interact. Let us proceed directly to the design features of the nanocapillary and nanofluid cooling system for the tribological couplings of the drawworks band-shoe brake. On fig. 1 *a*, *b*, *c*, *d* shows a band-shoe brake, longitudinal section (*a*); in fig. 1 *b* - section along A-A in fig. 1 *c*, *d* – longitudinal section of the cooling device (view B from fig. 1 *b*); *d* - diffusers and confusers.

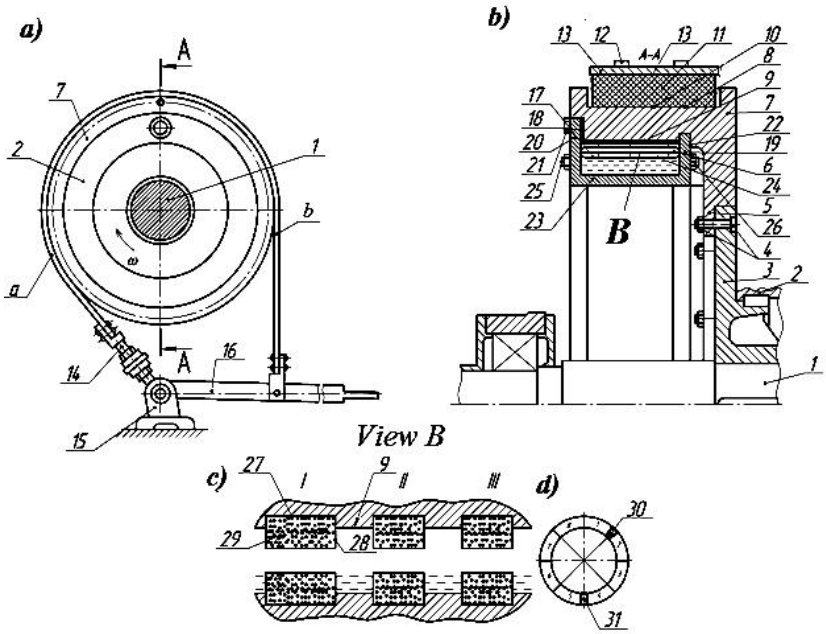


Figure 1 a, b, c, d – Band-shoe brake with a forced system of nanocapillary liquid cooling: a – general view; in fig. b - a section along A-A in fig. a; in fig. c - longitudinal section of the cooling devices (view B from fig. b) located in the upper and lower parts of the pulley rim; rice. 1 d - diffusers and confusers formed between the ends of fixed briquettes during the rotation of the pulley rim

A band-shoe brake with a nanocapillary system and nano-liquid cooling consists of a lifting shaft 1, a drum 2 with a flange 3, which is fastened with a bolted connection 4 to a heat-insulated protrusion 5 of the brake pulley 6. The latter has flanges 7, working 8 and non-working 9 surfaces. The working surface 8 of the pulley in the process of braking frictionally interacts with the working surfaces 10 of the polymer linings 11 attached with the help of antennae 12 to the brake band 13, which has an incoming (a) and running (b) branches. The running branch (*a*) of the tape 13 is attached to the support 15 by means of a threaded tie 14, and its running branch (*b*) is attached to the brake control lever 16.

Under the non-working surface 9 of the rim of the pulley 6 there is a chamber 17 occupying the volume from the first radial side wall 18, located on the side of the free edge of the rim of the pulley 6 and to the second radial side wall 19, located near the protrusion 5 of the pulley 6. From above, the first radial side wall 18 is located in groove 19 of the end of the flange 7 and through the sealing gasket 20 with the help of bolts 21 is attached along its perimeter to the rim of the pulley 6. The second radial side wall 19 is inserted with an interference fit into the circular groove 22. From the bottom, the walls 18 and 19 are interconnected cylindrical ring 23. Chamber 17 is filled with nanofluid 24 through inlet valve 25, and the resulting vapor in chamber 17 is vented into the atmosphere through outlet valve 26.

The chamber 17 is filled with liquid 24 for 2/3 of its volume and above it the non-working surface 9 of the rim of the pulley 6 is polished and circular grooves 27 of various widths are located in it (larger on the side of the free edge of the rim and smaller on the side of its pinched edge). Convex U-shaped briquettes are installed in circular grooves 27. The frame for the briquettes is made of sheet solid or perforated copper, in which there are sintered nanoparticles 29. The unclosed ends of the fixed briquettes form between themselves in the annular grooves 27 on top of the pulley rim into diffusers 30, and from below confusers 31.

Band-shoe brake with nanocapillary and liquid cooling system works as follows. When the brake control lever 16 is pressed, the brake band 13 is tightened and the working surfaces 10 of the polymer linings 11 interact with the working surface 8 of the brake pulley 6, which contributes to the generation of heat on their surfaces. At the same time, a significant part of the heat is absorbed by the pulleys 6, which is an accumulator of thermal energy.

<u>The first case</u> is illustrated in Fig. 1*c*, when the liquid 24 does not wash the polished non-working surface 9 of the rim of the brake pulley 6 and its briquettes, and a gap has formed between their surfaces. From the polished non-working surface 9 of the rim of the brake pulley 6, radiant heat transfer is carried out: a radiant flux q_d is supplied from the polished working surface 8 of the rim of the brake pulley 6 and, in accordance with the Stefan-Boltzmann law, the flow of own radiation with a density of $C_dT^4_d$ is diverted directly to the surface of an absolute black body, i.e. liquid 24. In this case, there is also a weak convective heat transfer, since during the rotation of the pulley 6, due to centrifugal forces, liquid drops still fall on the polished non-working surface 9 of the rim of the pulley 6 and into the nanocapillary structure of the briquettes on which they immediately turn into steam. Thus, in this case, it has weak convective-conductive and strong radiant heat trans-

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy
2023, vol. 15, no. 2, pp 15-22.
Janahmadov A.Kh et al.

fers, which reduce the energy load of the brake pulley rim.

The second case is shown in Fig. 1 *c*, when the liquid 24 is on the polished non-working surface 9 of the rim of the brake pulley 6 and in its briquettes. In this case, the convective-conductive heat transfer is strong when the liquid layers 24 interact with the polished non-working surface 9 of the pulley rim 6 with their weak radiant heat transfer.

From fig. 1 *c* it follows that the thermal state of the parts of the brake pulley located at different poles in the vertical plane is not the same due to a change in the thermodynamic parameters of the liquid and surrounding air, which contributes to a change in their gradients, and as a result, the intensification of conductive, convective and radiative heat transfer in the proposed nanocapillary liquid cooling system.

When liquid gets between the rings of briquettes (I - II) on the non-working polished surface of the pulley rim, i.e., in the evaporation zone, it heats up and evaporates. Subsequently, due to the created pressure drop between the evaporation and condensation zones (between the rings of briquettes II - III), the liquid from the evaporation zone enters the condensation zone by centrifugal forces arising from the rotation of the pulley. In addition, part of the liquid heat carrier located in the left and right parts of the cooling chamber, respectively, under the free and pinched edges of the pulley rim, depending on its position, circulates in two phases - liquid and gaseous. The ratio of the design parameters of the cooling chamber provides the necessary amount of liquid in the condensation zone to wet the evaporation zone under the action of centrifugal forces. In addition, the separation of drops of condensate moving along the capillary structure of the briquettes under the action of centrifugal forces is prevented.

Thus, when operating in the modes of rotation of the brake pulley or frictional interaction of friction pairs of a band-shoe brake, the following types of heat transfer take place:

- in the first mode - convective air and liquid, conductive, as well as radiant with a working and non-working surface (polished) of the pulley rim; as well as evaporation-condensation heat exchange with nanocapillary structures of briquettes;

- in the second mode - convective, air and liquid, conductive, as well as radiant with a polished non-working surface of the brake pulley rim; in this case, the nanocapillary structure in the briquettes is saturated with liquid (Fig. 1 *d*).

The listed types of heat transfer to an unequal degree affect the energy load of the friction pairs of the drawworks band-shoe brake, and ultimately reduce their energy load, and as a result, the durability of working surfaces.

The discussion of the results

Theoretical and experimental studies of non-uniform nanocapillary and nanofluid cooling of friction pairs of a model tape-shoe brake of a drawworks made it possible to state the following: - at temperatures above 100 °C, an increase in the electrochemical potential and the formation of a system of electronic and ionic zones in the cavity, which contribute to potential jumps, are observed; in this case, the nanofluid acts as an electrolyte; - the use of nanofluid in the cooling system of the composite pulley made it possible to reduce its energy load by 21,8%, wear of friction linings by 19,9%, and increase the braking torque by 13,2%; - according to the principles of non-

equilibrium thermodynamics, the processes of heat generation in friction pairs and the local nature of its removal from the inner surface of the brake pulley rim were studied.

Conclusion

Thus, due to the circulation of the coolant in briquettes with a nanocapillary structure and in the volume of the pulley rim chamber in different phases, its energy load is quasi-levelled, which contributes to the stabilization of the operational parameters of the friction pairs of the brakes, and as a result, a decrease in their wear.

Conflict of Interests

The authors declare there is no conflict of interests related to the publication of this article.

REFERENCES

1. **Rudyak V.Ya., Minakov A.V., Pryazhnikov M.I.** Thermophysical properties of nanofluids and similarity criteria. *Letters to the Journal of Technical Physics.* 2016, V.42, No. 24. Pp. 9 - 16. *(in English)*

2. **Gorshkov A.V.** Ensuring the permissible temperature level of forced marine diesel engines by intensifying heat transfer in cooling systems by modifying heat carriers with nanoparticles: diss. … cand. tech. Sciences: 05.08.06 / Gorshkov Roman Vladimirovich. – Yaroslavl. - 2019. – 27 p. *(in English)*

3. **Rudyak V.Ya.** Statistical aerohydrodynamics of homogeneous and heterogeneous media. T. 2. Hydromechanics. Novosibirsk: NGASU, 2005. 468 p. *(in English)*

4. **Choi, E.S., Brooks, J.S., Eaton, D.L., Al-Haik, M.S., Hussiani, M.Y., Garmestani, H, Li, D., Dahmen, K.** Enhancement of thermal and electrical properties of carbon nanotube polymer composites by magnetic field processing // *Journal of Applied Physics*. 2003 Vol. 94. No. 9. Pp. 6034-6039. *(in English)*

5. **Wang X., Xu X., Choi S.U.S.** Thermal conductivity of nanoparticlefluid mixture. J. Thermophys. Heat Trans. 1999 Vol. 13. No. 4. P. 474 - 480. *(in English)*

6. **Maxwell J. C. A.** treatise on electricity and magnetism. 2nd ed. Oxford: Clarendon Press, 1881. Vol. 1, 435p. *(in English)*

7. **Eastman J. A., Choi S.U.S., Li S., Thompson L. J., Lee S.** Enhanced thermal conductivity through the development of nanofluids. Materials Research Society. Boston: FallMeeting, 1998. Pp. 3–11. *(in English)*

8. **Volchenko, N.** Features of the estimation of the intensity of heat exchange in selfventilated disk-shoe brakes of vehicles / Volchenko, N., Volchenko, A., Volchenko, D., Poliakov P., Malyk V., Zhuravlev D., Vytvytskyi, V., Krasin, P. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. - 1/5 (97). – Pp. 47-53. *(in English)*

9. Design and verification calculation of friction units of band-shoe brakes of drilling winches: Standard: A.Kh. Janahmadov, D.A. Volchenko, N.A. Volchenko [and others] // Baku: *Apostrophe*. – 311 p. *(in English)*

10. Tribology: friction, wear, lubrication / A.Kh. Janahmadov, A.I. Volchenko, K.T. Nabizade [et al.]. Baku: Apostrof-A, 2019. 640 p. *(in English)*

Causes of Microcracks Silicon Coated in the inside Pipes

E.N. Ibrahimova

Azerbaijan State Oil and Industry University (Azadlig ave. 16/21, Baku, AZ 1010, Azerbaijan)

For correspondence:
Ibrahimova Ellada / e-mail: elladai@inbox.ru

Abstract

Disappointments are seen in pipelines of oil field and oil refining gear working in high temperature, pressure and synthetically dynamic climate after a brief time of activity. Research and testing have shown that silicon-coated pipes' service lives are greatly reduced by defects, including roughness on the inner surface of the pipe, microscopic bubbles, and macro- and microcrack layers. The paper that is being discussed looks at the root causes of these flaws and offers solutions. The research was carried out in "Khazar Pipe Coatings" and "Socar" companies. The quality coating within the pipe and their diagnostic techniques are described in the text.

Keywords: silicon coating, micro- and macrocracks, cooling mode, heating temperature, in-tube diagnostics.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_23 _28

Received *03.10.2022*
Revised *16.06.2023*
Accepted *21.06.2023*

For citation:
Ibrahimova E.N.
[Causes of microcracks silicon coated in the inside pipes]
Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 23-28 *(in Azerbaijani)*

Silisium örtüklü boruların daxilində mikroçatların yaranma səbəbləri

E.N. İbrahimova
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı ş., AZ1010, Azərbaycan)

Yazışma üçün: İbrahimova Ellada / e-mail: elladai@inbox.ru

Xülasə

Yüksək temperatur, təzyiq və kimyəvi aktiv mühitdə işləyən neft-mədən və neft-emalı avadanlıqlarının boru xətlərində qısa istismar müddətindən sonra nasazlıqlar müşahidə olunur. Aparılan tədqiqatlar və eksperimental təcrübələr göstərir ki, silisium örtüklü borularda əsasən qüsurların, borunun daxili səthindəki qeyri-hamarlıqların, xırda qabarcıqların, makro və mikroçat qatlarının olması onların istismar müddətini xeyli azaldır. Təqdim olunan məqalədə bu qüsurların yaranma səbəbləri araşdırılmışdır və onların aradan qaldırılması üçün üsul və metodlar təklif edilmişdir. Tədqiqat "Xəzər Boru Örtükləri" və "Socar" şirkətində aparılmışdur. Məqalədə borunun daxilinə keyfiyyətli örtüyün çəkilməsi və onların diaqnostika üsulları şərh edilmişdir.

Açar sözlər: silisium örtüklər, mikro və makroçatlar, soyuma rejimi, qızma temperaturu, borudaxili diaqnostika.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_23_28

УДК 681.3

Причины появления микротрещин внутри труб с силиконовым покрытием

Э.Н. Ибрагимова
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг, 16/21, Баку, AZ1010, Азербайджан)

Для переписки: Ибрагимова Эллада / e-mail: elladai@inbox.ru

Аннотация

Отказы наблюдаются в трубопроводах нефтепромыслового и нефтеперерабатывающего оборудования, работающего в условиях высоких температур, давлений и химически активных сред после непродолжительного периода эксплуатации. Проведенные исследования и эксперименты показывают, что наличие дефектов на внутренней поверхности трубы, мелких пузырей, слоев макро- и микротрещин в трубах с силиконовым покрытием значительно снижает срок их службы. В представленной статье рассматриваются причины возникновения этих дефектов и предлагаются пути и средства их устранения. Исследования проводились в компаниях «Khazar Pipe Coatings» и «Socar». В статье описаны покрытия внутри трубы и методы их диагностики.

Ключевые слова: силисиумные покрытия, макро- и микротрещины, режим охлаждения, температура нагрева, внутритрубная диагностика.

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy
2023, vol. 15, no. 2, pp. 23-28
Ibrahimova E.N.

Giriş

Borudaxili silisium örtüklər neft-mədən avadanlıqlarının boru xətləri ilə yanaşı, kimya, qida və atom sənayesində tətbiq olunur. Boru xətlərinin daxili səthində intensiv korroziya prosesi nəticəsində müxtəlif çat qatları, qopmalar və çöküntülər əmələ gəlir. Boru kəməri zədələnmə və sızma nəticəsində sıradan çıxdıqda qəza baş verir və nəql olunan məhsulun itkisi ilə yanaşı, ətraf mühitin çirklənməsi də baş verir. Tədqiqatlar zamanı müəyyən olunmuşdur ki, boruların istismarı səviyyəsinin keyfiyyəti 2-4 il ərzində kifayət qədər aşağı düşür. Bu zaman təmirə dayanmaların sayı artmaqla iqtisadi səmərəlilik də aşağı düşür.

Neft sənayesində boruların uzunömürlüyü örtüklərdə yaranan mikro-makro çatların və digər defektlərin vaxtında aşkar olunmasından, diaqnostika prosesinin düzgün aparılmasından asılıdır [1, 2].

İşin məqsədi

Mövzunun aktuallığı onunla izah olunur ki, müasir dövrdə bir çox boru kəmərləri istehsal və istismar zamanı sıradan çıxaraq böyük iqtisadi itgilərlə nəticələnir. Belə hallarda defektləri vaxtından əvvəl aşkar etmək, onların yaranma səbəblərini müəyyən etmək və aradan qaldırmaq elmi tədqiqat işinin əsas məqsədidir. Qarşıya qoyulan məsələlərin həlli ilə yanaşı, uyğun diaqnostika üsulunun seçilməsi məqsədə uyğundur.

Məsələnin qoyuluşu

Praktiki və nəzəri tədqiqatlardan məlumdur ki, silisium örtüklü borularda makro və mikroçatların yaranma səbəbi aşağıdakılarıdır [1-6].

Borunun istehsalı zamanı seçilən materialın keyfiyyətsiz olması; Borunun daxilinə örtük çəkilmə texnoloji prosesinin düzgün aparılmaması; Yüksək temperatur (600-800°C) mühitindən otaq temperaturuna qədər soyudulma zamanı yaranan termiki gərginliklər; Örtüklərdə yaranan mikroçatların diaqnostika üsulunun düzgün seçilməməsi; Borunun istismarı zamanı ətraf mühitin (yüksək təzyiq və temperaturun) təsiri.

Silsium emal örtüklərin materialları əsasən ГОСТ Р 51164-98, СНиП 2.05.06-85, РД 153-34.0 20.158-2003 tələblərinə uyğun seçilir.

Boruların daxilinə örtük çəkmək üçün texnoloji rejimin parametrlərinə (n – borunun fırlanma sürəti, V – irəliləmə sürəti, D – borunun diametri) müəyyən intervalda olması tənzimlənməlidir ki, istehsala keyfiyyətli örtüklər təhvil verilsin [3].

Boru müəyyən fırlanma və irəliləmə hərəkəti ilə təyin edilmiş sürətlərlə sobaya daxil olur və örtük çəkilir. Göstərilən texnoloji parametrlərin qiymətlərinə düzgün tənzi-mləmədikdə borunun daxilinə keyfiyyətsiz örtük çəkilir və müəyyən müddətdən sonra sıradan çıxır.

Sobadan çıxdıqdan sonra havada və süni soyutma kamerası ilə 600–800°C-dən otaq temperaturuna qədər soyudulur. Bu zaman soyutma rejiminin dəqiq riayət olunması vacib məsələlərdən biridir. Əks halda örtüyün səthində boruların həndəsi ölçülərindən asılı olaraq makro-mikro çatlar və qabarmalar yaranaraq örtüyü yararsız vəziyyətə sala bilər. Məlumdur ki, xüsusi kövrəkliyə malik olan silisium örtüklü borular xüsusi rejimlə soyudulmalıdır. Bu problemi aradana qaldırmaq üçün

25 dəq ərzində hər dəfə örtüyün səthinin temperaturunu 5-10°C salmaqla otaq temperaturuna qədər soyuma prosesinə nail olmaq olar [2, 3].

Silisium örtüklü boruların diaqnostikası zamanı defektoskop əsasən borunun və örtüyün materialına uyğun seçilir. Borudaxili silisium örtüklər əsasən elektroqığılcım defektoskopu ilə aparılır. Praktiki və nəzəri məlumatlara istinad edərək örtüklərdə yaranan defektləri elektroqığılcım defektoskopu ilə dəqiq müəyyən etmək olar.

Silisium örtüklər ətraf mühitin temperaturu $-60^0 \div 350^\circ$C intervalında və təzyiqi 10 Mpa qədər olduqda tədbiq oluna bilər. Əks halda örtüyün daxilində defektlər yaranır.

Məsələnin həlli

"Xəzər boru örtükləri" və "Socar" şirkətində boruların daxilində baş verən qüsurların və çatların diaqnostikasının statistik analizi aparılmışdır. Göstərilən şirkətlərdən diaqnostika zamanı alınan informasiyaların nəticəsində çatların yaranma səbəbləri təhlil olunmuşdur. Belə ki, çatların dərinliyi borunun divarının qalınlığının 15 %-ni təşkil etdiyi hallarda qüsurlu borular kimi qəbul edilib, əsaslı təmirə göndərilməsi məqsədəuyğun hesab edilir. Örtüklü borularda qüsurların tam azalması üçün aşağıdakı şərtlərə riayət olunmalıdır [3–6].

Boru daxilində qüsurların və çatların azalması üçün avtomatlaşdırma texnogiyasının işlənməsi; Normativ sənədlərə riayət edilməməsi və tələblərin tam yerinə yetirilməməsi, çatların sayının artmasına gətirib çıxardır; Qüsurların və çatların baş verməməsinin metodik interpretasiya və onun proqramının olmaması və tətbiq edilməməsi; Çatların yaranmamasının statistik-eksperimental təhlilinin və onun lazımı hesabatlarının olmaması boru daxili səthinin sıradan çıxması.

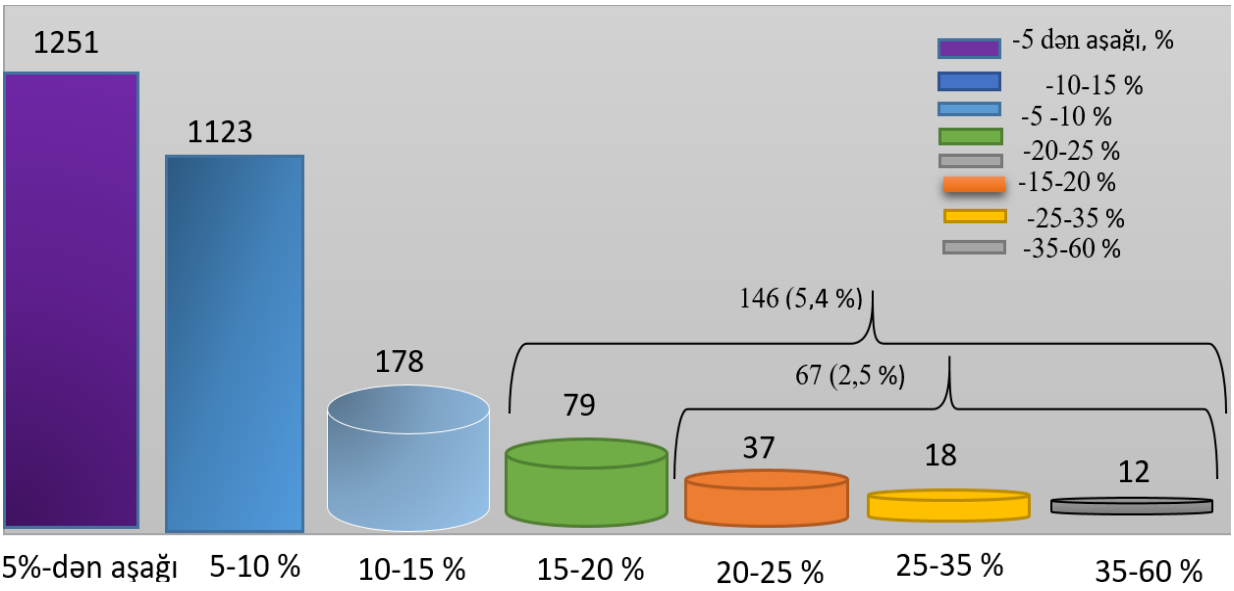
Aşağıdakı cədvəl 1-də 2018-2021-ci illərdə tədqiqat aparılan şirkətlərdə yaranan qüsurların və çatların sayının miqdarı göstərilmişdir.

Cədvəl 1 – Boru daxilində çatların miqdarı
Table 1 – The amount of cracks inside the pipe

Diaqnostikanın aparıldığı il	Hesabatda aşkar olunmayan çatlar və qüsurlar sayı	Hesabatda aşkar olunan çatlar və qüsurlar sayı	Çatların yaranma ehtimalı
2018	928	281	6
2019	1792	11	26
2020	2698	1245	277
2021	136	66	25
Cəmi	5554 (74,14 %)	1603 (21,40 %)	334 (4,46 %)

Çatların borunun daxilinə nüfuz etmə dərinliyi şəkildə göstərilmişdir. Burada çatların dərinlik boyunca paylanması göstərilmişdir ki, onların 94.6 %-inin dərinliyi borunun divarının qalınlığının 15 % qədərini, lakin 146 çatın (5.4 %) dərinliyinin isə borunun divarının 15 %-dən çoxunu təşkil etdiyi qeydə alınmışdır. Həmçinin 67 təhlükəli defektlərin 20 % dərinlikdə olduğu müəyyən olunmuşdur.

ГОСТ-55999-2014 standartına görə "Boru daxili örtüklərində çatların diaqnostikası"-na uyğun tələblərə əsasən göstərilən şirkətlərdə diaqnostika aparılmışdır [3, 4]. Bu tələblərə əsasən örtüklərin səthində yaranan çat qatlarının növləri, yerləşdiyi koordinatları və həndəsi formaları göstərilməlidir.



Şəkil – Mikroçatların borunun dərinliyinə nüfüzetmə dərinliyi
Figure – The prospective depth of microcracs inside the pipe

Cədvəl 2 – Xəzər boru örtükləri (CPC), "Socar" və "Total France" boru şirkətlərində örtüklərdə yaranan çatların təhlili
Table 2 – Analysis of the coverings' developing fractures in Caspian Pipe Coating (CPC), "Socar" and "Total France" pipe company

Boruların ölçüləri, mm	Çatların istiqamətinin dəyişməsi	Çatların həndəsi ölçüləri, mkm			Çatların koordinatları		Keyfiyyətsiz boru örtüyünün %-lə miqdarı	Keyfiyyətli boru örtüyünün % -lə miqdarı
		L	*h*	*S*	*l*, mm	*φ*, ^{0}		
Ø300x20	En kəsik	560	740	150	1550	32	6.51	1.8
Ø400x25	Ox boyu	720	980	240	3740	48	7.23	2.5
Ø500x30	En kəsik ixtiyarı	1120	1600	425	4870	55	5.12	3.2
Ø600x35	Ox boyu ixtiyarı	1820	2580	680	6720	112	8.14	4.3
Ø800x40	En kəsik ixtiyarı	2720	3500	870	4240	270	9.75	5.1

Burada, L – çatların uzunluğu, h – dərinliyi, S – örtüyün çatların qalınlığı, l – çatların arasındakı məsafəsi, φ – en kəsiyin dönmə bucağıdır.

Cədvəl 2-ə uyğun olaraq, müxtəlif şirkətlərdə aparılan müşahidə nəticəsində metroloji ölçmələrin parametrlərinin diaqnostik təhlili təqdim edilmişdir.

Cədvəldə keyfiyyətsiz boru örtüyünün faizlə miqdarı boru daxilində mikro-makro çatları və defektləri yaradan səbəblər aradan qaldırılmadan diaqnostikanın nəticəsi demək-dir. Belə ki, 100 borudan 6-9%-i istismara yararsız olur.

Nəticə

Apardığımız tədqiqatda borundaxili silisium örtüklərdə mikro-makro çatların yaranmasına səbəb olan problemlər aradan qaldırıldıqda keyfiyyətsiz borunun faizlə miqdarı aşağı düşür.

Təcrübə zamanı götürülmüş 100 ədəd sınaq borusundan 1-5 % keyfiyyətsiz ola bilər. Bu borular sənayeyə təhvil verilən zaman onların istismar mudəti 5 ildən 10 ilə qədər artır. Çünki, borunun daxilinə örtük çəkilməsi zamanı texnoloji rejimi düzgün riayət olunur və soyuma rejimi təqdim olunun intervalla soyudularaq yararsız boruların sayı 2 dəfə azalır.

Maraqlar münaqişəsi

Müəllif bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edir.

REFERENCES

1. **İbrahimova E.N.** Boruların silisium örtüklərində yaranan çatların diaqnostikası. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*, 2017. cild 9, №14, s.65-68 *(in Azerbaijani)*
2. **Ibrahimova E.N**. Silisium boru örtüyündə soyutma zamanı yaranan termiki gərginlik rejiminin tənzimlənməsi. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*, 2021, cild 13, №1, s. 62-65 *(in Azerbaijani)*
3. **Ibragimov N.Yu., Ibragimova E.N.** Aparatus for identifying microcracks on the inner surface of glazed pipes. *Glass and Ceramics*, 2018, v.75, pp. 272-274 *(in English)*
4. **Vasilin V.A., Ivashov E.N., Stepanchikov S.V.** Avtomatizaciya naneseniya tonkoplyonochnyh pokrytij v sovremennyh vakuumnyh tekhnologiyah. *Avtomatizaciya i sovremennaya tekhnologiya*, 2011, №7, s. 19-24 *(in Russian)*
5. **Ilyes B.K., Laurent G., Daniel C., Daniel R.** Structure and properties of lead silicate glasses and melts. *Chemical Geology*, 2017, v. 461, pp.104-114 *(in English)*
6. **Larosche C.J.** Types and causes of cracking in concrete structure. *Failure, Distress and repair of concrete structures*. 2009, pp. 57-83 *(in English)*

The Analysis of Information Processing Methods to Assess Reliability of Machines and Equipment

H.V. Gafarzada[1], A.M. Gafarov[2], I.A. Khankishiyev[2]

[1] *Azerbaijan State University of Oil and Industry (Azadlig ave., 16/21, Baku, AZ1010, Azerbaijan)*
[2] *Azerbaijan State Marine Academy (Z. Aliyeva str., 18, Baku, AZ1000, Azerbaijan)*

For correspondence:
Gafarov Aydin / e-mail: aydin.qafarov@hotmail.com

Abstract

In the article, the issues of analysis of the methods of processing the results of the studies conducted for the evaluation of reliability parameters of machines and equipment were considered. For this purpose, the possibility of applying the basic principles and laws of Probability Theory and Mathematical Statistics was investigated.

Keywords: machines, equipment, detail, reliability, experiment, result, processing, theory of probability, mathematical statistics, evaluation.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_29_41

Received *19.10.2022*
Revised *19.06.2023*
Accepted *21.06.2023*

For citation:
Gafarzada H.V., Gafarov A.M., Khankishiyev I.A.
[The analysis of information processing methods to assess reliability of machines and equipment]
Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 29-41 *(in Azerbaijani)*

Maşın və avadanlıqların etibarlılığını qiymətləndirmək üçün informasiyanın emalı metodlarının təhlili

H.V. Qafarzadə[1], A.M. Qafarov[2], İ.A. Xankişiyev[2]

[1]*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr., 16/21, Bakı ş., AZ1010, Azərbaycan),*
[2]*Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası (Z. Əliyeva 18, Bakı ş., AZ1000, Azərbaycan)*

Yazışma üçün:
Qafarov Aydın / e-mail: aydin.qafarov@hotmail.com

Xülasə

Məqalədə, maşın və avadanlıqların etibarlılıq parametrlərinin qiymətləndirilməsi üçün aparılan tədqiqatların nəticələrinin emalı metodlarının analizi məsələlərinə baxılmışdır. Bu məqsədlə Ehtimal nəzəriyyəsinin və Riyazi statistikanın əsas prinsiplərinin və qanunlarının tətbiqi mümkünlüyü araşdırılmışdır.

Açar sözlər: maşın, avadanlıq, detal, etibarlılıq, eksperiment, nəticə, emal, ehtimal nəzəriyyəsi, riyazi statistika, qiymətləndirmə.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_29-41

УДК 621.81; 519.23/25

Анализ методов обработки информации для оценки надежности машин и оборудований

Х.В. Гафарзаде[1], А.М. Гафаров[2], И.А. Ханкишиев[2]

[1]*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг, 16/21, г. Баку, AZ1010, Азербайджан)*
[2]*Азербайджанская государственная морская академия (З.Алиева, 18, г. Баку, AZ1000, Азербайджан)*

Для переписки: Гафаров Айдын / e-mail: aydin.qafarov@hotmail.com

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы анализа методов обработки результатов исследований для оценки параметров надежности машин и оборудований. Обсуждаются возможности использования основных принципов и закономерностей Теории вероятностей и Математической статистики.

Ключевые слова: машины, оборудования, деталь, надежность, эксперимент, результат, обработка, теория вероятности, математическая статистика, оценка.

Giriş

Aydındır ki, maşın və avadanlıqalrın etibarlılığı və uzunömürlülüyü, onları təşkil edən ayrı-ayrı detallardan asılıdır. Maşın avadanlıqlarının detallarının hər birinin həqiqi ölçüləri müəyyən növ xətalarla xarakterizə olunurlar. Bu xətaların hamısı, növündən asılı olmayaraq təsadüfi kəmiyyətlərdir. Onlara, sistematik, sistematik qanuna uyğun, mütləq, nisbi, gətirilmə, statiki, dinamiki, multiplikativ, additiv, təsadüfi və digər xətaları misal göstərmək olar.

Təsadüfi xətalardan başqa, yuxarıda göstərilən xətaların tam əksəriyyətini, bu və ya digər texniki-texnoloji tədbirləri həyata keçirməklə tam, yaxud qismən aradan qaldırmaq olar.

Təsadüfi xətaları isə adi üsullarla müəyyənləşdirmək və yaxud əvəz etmək kifayət qədər mürəkkəb və çətin məsələdir. Belə ki, onlar bir-biri ilə əlaqəsi olmayan çoxlu sayda təsadüfi faktorların təsirindən yaranırlar.

Buna görə də emal edilən detalların dəqiqlik və keyfiyyət göstəricilərinin müxtəlif faktorların təsirindən dəyişməsini, Ehtimal nəzəriyyəsinin və Riyazi statistikanın əsas müddəaları əsasında öyrənilməsi mümkünlüyü çox aktual və vacib məsələlərdən biridir.

Tədqiqatın məqsədi gəmi maşın və avadanlıqlarının detallarının əsas parametr-lərinin etibarlılıq göstəricilərinin eksperi-mental tədqiqatlar vasitəsi ilə təyin edilməsi prosesində, Ehtimal nəzəriyyəsinin və Riyazi statistika metodlarının tətbiqi mümkün-lüyünün araşdırılmasıdır.

Məsələnin qoyuluşu və həlli

Məlumdur ki, gəmi maşın və avadanlıqlarının detallarının dəqiqlik və keyfiyyət göstəriciləri, onların hazırlanması prosesində yaranan xətalarla əlaqəli olan təsadüfi kəmiyyətlərdir. Təsadüfi kəmiyyətlər, diskret və fasiləsiz kəmiyyətlərə ayrılır. Təsadüfi kəmiyyətlər o kəmiyyətlərə deyilir ki, onların qiymətləri təcrübədən-təcrübəyə, təsadüfi olaraq dəyişir.

Əgər təsadüfi kəmiyyət, yalnız son, yaxud hesablanmış qiymətlər çoxluğunu ala bilirsə, diskret, qapalı yaxud açıq (o cümlədən sonsuz) intervalda istənilən qiyməti ala bilirsə, fasiləsiz adlanır.

Eksperimental tədqiqatların nəticələrinin emalı, yəni detalların dəqiqlik və keyfiyyət göstəricilərinin təyin edilməsi aşağıdakı ardıcıllıqla yerinə yetirilir [1–10].

Tədqiqatlar aparılarkən təcrübələrin nəticələri (təsadüfi kəmiyyətlərin qiymətləri) müəyyən artma ardıcıllığı ilə düzülür:

$$x_1 < x_2 < x_3, \dots, < x_n.$$

Sonrakı mərhələdə təsadüfi kəmiyyətlə, onun ehtimalı arasında əlaqəni əks etdirən cədvəl qurulur (cədvəl 1).

Cədvəlin qurulması üçün x_i-nin eyni qiymətlərinin sayı m müəyyənləşdirilir və $P_i = m_i / n$ ehtimalı təyin edilir. Burada n - təcrübə nəticəsində alınan qiymətlərin ümumi sayı, k dərəcələrin sayıdır. Əgər təcrübə zamanı alınan nəticələrin fərqli qiymətlərinin sayı 15-20-dən artıq olarsa, onda onları qruplaşdırmaq və müəyyən sayda dərəcələrə gətirmək lazımdır. Bütün dərəcələrin eni qiymətcə bərabər olmalıdır.

Cədvəl 1 – Eyni və fərqli qiymətlərə malik ölçmə nəticələrinin yerləşməsi ehtimalı
Table 1 – Probability of location of measurement results with the same and different values

x_i	x_1	x_2	x_3	...	x_k	Yoxlama
m_i	m_1	m_2	m_3	...	m_k	$\sum_{i=1}^{k} m_i = n$
$P_i = \frac{m_i}{n}$	P_1	P_2	P_3	...	P_k	Yoxlama $\sum_{i=1}^{k} P_i = 1$

Dərəcələrin sistemləşdirilməsi üçün aşağıdakı ardıcıllıqdan istifadə edilir:

- təsadüfi kəmiyyətin ən böyük (X_{max}) və ən kiçik (X_{min}) qiymətləri təyin edilir. $R = X_{max} - X_{min}$ asılılığından, təsadüfi kəmiyyətin vüsəti (təsadüfi kəmiyyətin paylanma diapazonu) R müəyyənləşdirilir;

- dərəcələrin sayı k müəyyən sayda ölçmələrlə verilir. Onlar, təkrəqəmli olmalıdırlar. Ölçmələrin ümumi sayı $n > 100$ olduqda, $k = 9 - 15$, $n < 100$ olduqda isə $k = 7$ qəbul edilir;

- dərəcənin eni $h = {}^{R}/_{k}$ ilə təyin edilir. Hesabatları sadələşdirmək üçün k-nın alınmış qiymətini istənilən tərəfə yuvarlaqlaşdırmaq olar;

- dərəcələrin sərhədləri təyin edilir və hər bir dərəcə üçün ölçmələrin sayı hesablanır. Dərəcələrin sərhəddində yerləşən X-in qiymətini hesablayarkən, onu həmişə eyni dərəcəyə (məsələn, X-in ilk dəfə rast gəlindiyi, yəni yuxarı sərhəddi olduğu dərəcəyə) aid etmək lazımdır.

- hər bir dərəcə üçün onun ehtimalı təyin olunur va paylanmaların sırası qeyd edilir (cədvəl 2). Burada $x_1 = x_{min}$, $x_{k+1} = x_{max}$, k_i- dərəcədir.

Dərəcələrə gətirilmiş təsadüfi kəmiyyətləri qrafiki formada təqdim etmək üçün qistoqrammalar qurulur.

Qistoqrammaları qurmaq üçün bir sıra əməliyyatları yerinə yetirmək lazımdır. Bunun üçün $y_i = {}^{P_i}/_{h}$ ordinatının qiyməti müəyyənləşdirilməlidir. Burada P_i -təsadüfi kəmiyyətin i dərəcəsində meydana çıxma ehtimalı; h - hər bir dərəcənin enidir.

Cədvəl 2 – Hər bir dərəcə üçün ölçmələrin nəticələrinin yerləşmə ehtimalı və paylanma sırası
Table 2 – Probability of location and order of distribution of measurement results for each degree

k_i	$x_1 \div x_2$	$x_2 \div x_3$	...	$x_k \div x_{k+1}$	Yoxlama
h_i	h_2	h_3	...	h_k	$\sum_{i=1}^{k} m_i = n$
m_i	m_1	m_2	...	m_k	Yoxlama
$P_i = {}^{m_i}/_{n}$	$P_1 = {}^{m_1}/_{n}$	$P_2 = {}^{m_2}/_{n}$	...	$P_k = {}^{m_k}/_{n}$	$\sum_{i=1}^{k} P_i = 1$

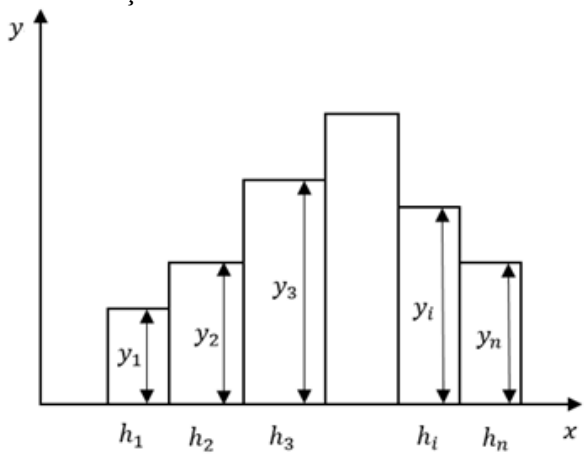
$y = f(x)$ koordinat sistemində h dərəcəsinin eninə uyğun, y_i hündürlüyünün qiyməti yerləşdirilir və elementar düzbucaqlılar qurulur (şəkil 1). Sonra isə hər bir elementar düzbucaqlının sahəsi s_i hesablanır.

$$s_i = hy_i = h\frac{P_i}{h} = P_i. \quad (1)$$

Qistoqrammanın ümumi sahəsinin S, ayrı-ayrı elementar düzbucaqlıların sahələrinin cəmindən ibarət olduğunu nəzərə alsaq, yaza bilərik:

$$S = \sum_{i=1}^{k} s_i = \sum_{i=1}^{k} P_i = 1. \quad (2)$$

(2) ifadəsindən aydın olur ki, qistoqramma ilə məhdudlaşan sahə vahidə bərabərdir.



Şəkil 1 – Paylanmanın qistoqrammı
Figure 1 – Histogram of the distribution

Təcrübələrin nəticələrinin analizində təsadüfi kəmiyyətlərin paylanma funksiyasının tipi, qistoqrammanın xarici görünüşünə və yaxud appoksimasiyaedici (ifadəedici) əyriyə görə təyin edilir.

Əgər X təsadüfi kəmiyyətinin, x_i-nin hər hansı bir qiymətindən kiçik, yaxud ona bərabər olduğu ehtimalını $P\,(X \le x_i)$ ilə işarə etsək, onda $P\,(X \le x)$ ehtimalının x -in qiymətinin yüksəlməsi ilə artmasını göstərən asılılıq, paylanmanın funksiyası olacaqdır. Paylanma funksiyası $F(x) = P(X \le x)$ ilə işarə edilir.

Paylanma funksiyasının:
$F(x)$, $P(X \le x)$ ehtimalına bərabər olduğunu və ehtimalın sıfırdan vahidə qədər dəyişə bilmə mümkünlüyünü nəzərə alsaq, onda paylanma funksiyasının da sıfırdan vahidə qədər dəyişə biləcəyini qəbul edə bilərik.

$$0 \le F(x) \le 1. \quad (3)$$

Yuxarıda göstərilənləri nəzərə alsaq, yaza bilərik:

$$P\,(X \le x) = \sum_{x_i \le x} P(X = x_i) = \sum_{x_i \le x} P_i\,, \quad (4)$$

$$F(x) = \sum_{x_i \le x} P_i\,. \quad (5)$$

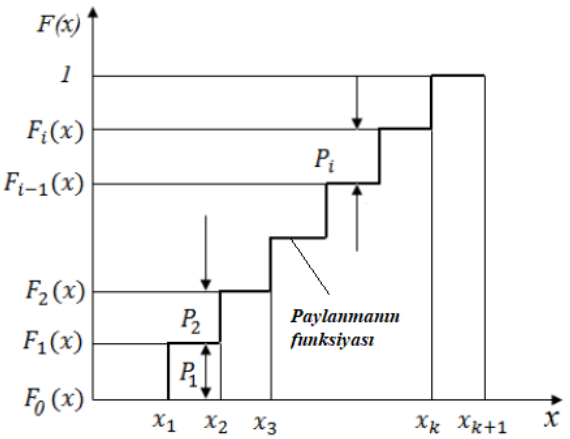
və yaxud:

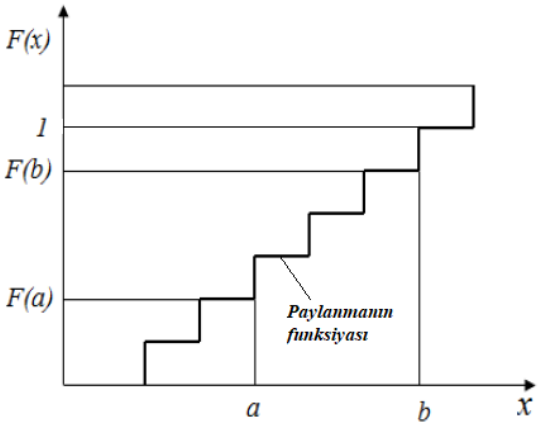
$$F(x) = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_m. \quad (6)$$

Burada m, X-dən sağda yerləşməyən x_i nöqtələrinin sayıdır.

Paylanma funksiyası aşağıdakı qayda üzrə qurulur [3]:

- $F(x)$ və x müstəvi koordinat sistemində x_1 və $F(x_1) = P_1$ nöqtələri qeyd edilir (şəkil 2 a);
- qeyd edilmiş nöqtədən x oxunu kəsənə qədər perpendikulyar düz xətt endirilir və ondan da x_2-dən qalxmış perpendikulyarı kəsənə qədər horizontal xətt çəkilir;
- x_2-dən qalxmış perpendikulyarın üzərinə $F(x_2) = P_1 + P_2$ yerləşdirilir;
- x_2 və $F(x_2)$koordinatlı nöqtədən sağ tərəfə xətt çəkilir və beləliklə proses davam etdirilir.





b)

Şəkil 2 – Paylanma funksiyasının qurulması
Figure 2 – Construction of the distribution function

Qurulmuş qrafik paylanmanın funksiyası adlanır. Qrafikdən görünür ki, səpələnmənin funksiyası sıçrayışlarla dəyişir.

Sıçrayışın x_i nöqtəsindəki qiyməti, bu qiymətin meydana çıxma ehtimalına P_i bərabərdir. Alınmış paylanma funksiyası azalan deyil. Bu funksiya, arta bilən, yaxud öz qiymətini dəyişməyən funksiyadır.

Tutaq ki, $F(x)$ funksiyası verilmişdir və x-in qiymətinin $a < x < b$ intervalında olması ehtimalının müəyyənləşdirilməsi tələb edilir, yəni $P(a < x < b)$ - ni təyin etmək lazımdır.

Qeyd olunduğu kimi $P(x < a) = F(a)$.

Şəkil 2, b-dən aydın görünür ki,

$$P(a < x < b) = P(x < b) - P(x < a) \quad (7)$$

(7) ifadəsini aşağıdakı şəkildə yazmaq olar

$$P(a < x < b) = F(b) - F(a \quad (8)$$

Buradan aydın olur ki, təsadüfi kəmiyyətin verilmiş intervalda meydana çıxma ehtimalı, həmin interval sərhəddində paylanma funksiyasının qiymətlərinin fərqinə bərabərdir.

Paylanma funksiyası ilə qistoqramma arasında əlaqəyə baxaq. Paylanma funksiyasının tərifindən aydındır ki,

$$F_1(x) - F_0(x) = P_1;\ F_2(x) - F_1(x) = P_2;\ F_3(x) - F_2(x) = P_3; \dots;$$

$$F_i(x) - F_{i-1}(x) = P_i.$$

Funksiyaları aşağıdakı kimi də yaza bilərik:

$$F_1(x) - F_0(x) = \Delta F_1(x);\ F_2(x) - F_1(x) = \Delta F_2(x);\ F_3(x) - F_2(x) = = \Delta F_3(x);\ F_i(x) - F_{i-1}(x) = \Delta F_i(x).$$

Burada $\Delta F(x)$ paylanma funksiyasının artımıdır.

Məlum olduğu kimi qistoqrammanın ordinatları aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$y_1 = \frac{P_1}{h_1};\ y_2 = \frac{P_2}{h_2};\ y_3 = \frac{P_3}{h_3}; \dots; y_i = \frac{P_i}{h_i}.$$

Buradan,

$$h_1 = x_2 - x_1 = \Delta x_1;\ h_2 = x_3 - x_2 = \Delta x_2;\ h_3 = x_4 - x_3 = \Delta x_3\ ; \dots;$$

$$h_i = x_{i+1} - x_i = \Delta x_i\ ,$$

Δx_i - təsadüfi kəmiyyətin artımıdır.

Qistoqrammanın ordinatının ifadəsinə P və h üçün alınmış qiymətləri qoysaq, alarıq:

$$y_1 = \frac{\Delta F_1(x)}{\Delta x_1}; \quad y_2 = \frac{\Delta F_2(x)}{\Delta x_2};$$
$$y_3 = \frac{\Delta F_3(x)}{\Delta x_3}; \ \ldots; \ y_i = \frac{\Delta F_i(x)}{\Delta x_i};$$

$$y = \frac{\Delta F(x)}{\Delta x} \tag{9}$$

(9) ifadəsindən aydın olur ki, qistoqrammanın ordinatı, paylanma funksiyasının artımının təsadüfi kəmiyyətin artımına nisbətinə bərabərdir.

Əvvəlki hesabatlardan məlumdur ki, dərəcələrin sayı k, vüsətin R intervalın eninə h nisbətinə bərabərdir.

$$k = \frac{R}{h} = \frac{R}{\Delta x} \tag{10}$$

Δx-in azalması, dərəcələrin sayının artması ilə eyni qiymətlidir.

(9) və (10) ifadələrindən belə nəticəyə gəlmək olar ki, dərəcələrin sayının artması, yaxud Δx-in qiymətinin azalması qistoqrammanın hamarlanması ilə nəticələnir və qistoqrammanın sahəsi dəyişmədikdə paylanma funksiyası $F(x)$ vahidə bərabər olur.

Fasiləsiz təsadüfi kəmiyyətlər üçün $\Delta x \to 0$ olduqda qistoqramma və paylanma funksiyası hamar əyrilər şəklini alınır. Bu halda da hamar əyrilərlə verilmiş qistoqrammanın sahəsi əvəlki kimi vahidə bərabər olur.

Qistoqrammanın ordinatı:
$y = \Delta F(x)/\Delta x$, $\Delta x \to 0$ vəziyyətində aşağıdakı şəkildə yazılır:

$$y = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta F(x)}{\Delta x} = \frac{dF(x)}{dx} \tag{11}$$

və paylanma funksiyasının $F(x)$, x kəmiyyətinə görə törəməsinə çevrilir.

Paylanma funksiyasının x dəyişəninə görə törəməsi paylanmanın sıxlığı, onun qrafiki isə paylanmanın əyrisi adlanır və aşağıdakı kimi yazılır:

$$\frac{dF(x)}{dx} = f(x). \tag{12}$$

İnteqral hesablanmalarından məlumdur ki, $f(x)$ paylanma əyrisi daxilində olan S sahəsi:

$$\int_A^B f(x)dx$$

Burada A və B x-in ən kiçik və ən böyük qiymətləridir.

Digər tərəfdən, məlum olduğu kimi bu sahə vahidə bərabər götürülür. Deməli,

$$\int_A^B f(x)dx = 1. \tag{13}$$

(13) bərabərliyi, paylanma əyrisinin təmin etməli olduğu əsas şərtdir.

Təcrübələrin nəticələrinin analizində təsadüfi kəmiyyətlərin paylanma funksiyasının tipinin, qistoqrammanın xarici görünüşünə və yaxud appaksimasiya edici (ifadə edici) əyriyə görə təyin edilməsinə aşağıdakı misalda baxaq.

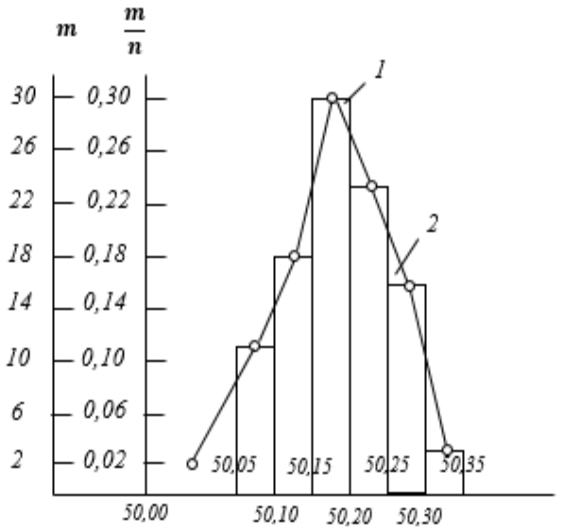
Tutaq ki, gəmi braşpillərinin yük valının faktiki ölçüləri emaldan sonra 50,00 mm-dən 50,35 mm arasında dəyişir. Bu ölçülərin paylanması, intervallarına görə cədvəl 3-ə daxil edilir.

Cədvəl 3-də verilmiş qiymətlərə görə qrafik qurulur (şəkil 3).

Absis oxu üzərində ölçülər, ordinat oxu üzərində isə uyğun tezliklər və tezlik göstəriciləri yerləşdirilir.

Cədvəl 3 – Yük valının ölçülərinin paylanması
Table 3 – Distribution of load shaft dimensions

Ölçülərin intervalı, mm	Tezlik , m	Tezlik göstəricisi m/n
$50{,}00 - 50{,}05$	2	0,02
$50{,}05 - 50{,}10$	12	0,12
$50{,}10 - 50{,}15$	18	0,18
$50{,}15 - 50{,}20$	27	0,27
$50{,}20 - 50{,}25$	24	0,24
$50{,}25 - 50{,}30$	14	0,14
$50{,}30 - 50{,}35$	3	0,03
	$\sum m = 100$	$\sum \frac{m}{n} = 1$



Şəkil 3 – Detalların faktiki ölçülərinin paylanması: 1 - paylanmanın qistoqramı; 2 - paylanmanın poliqonu
Figure 3 – Distribution of actual dimensions of details: 1- histogram of distribution; 2 - polygon of distribution

Detalların dəqiqliyinə bir-birindən asılı olmayan çoxlu sayda müxtəlif faktorlar təsir etdikdə, adətən Normal paylanma qanununda istifadə etmək məqsədə müvafiq olur. Eyni zamanda qurulmuş qrafik xarakterinə görə daha çox Normal paylanma qanununun əyrisinə yaxındır.

Paylanma qrafikləri ilkin olaraq, orta hesabi qiymət l_{or} və orta kvadratik sapma σ ilə xarakterizə oluna bilirlər.

Detalların orta hesabi qiyməti aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$l_{or} = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \cdots + l_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} l_i \,. \quad (14)$$

Burada l_i - ayrı-ayrı detalların ölçüləri, n- ölçülən detalların ümumi sayıdır.

Orta kvadratik sapma σ aşağıdakı ifadədən təyin edilir:

$$\sigma = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \cdots + x_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^2}{n}}\,, \quad (15)$$

$$x_i = l_i - l_{or}\,.$$

Cədvəl 3-də və şəkil 3-də verilmiş qiymətlərdən, həmçinin (14) və (15) düsturlarından istifadə edərək orta hesabi qiyməti l_{or} və orta kvadratik sapma σ təyin edilir.

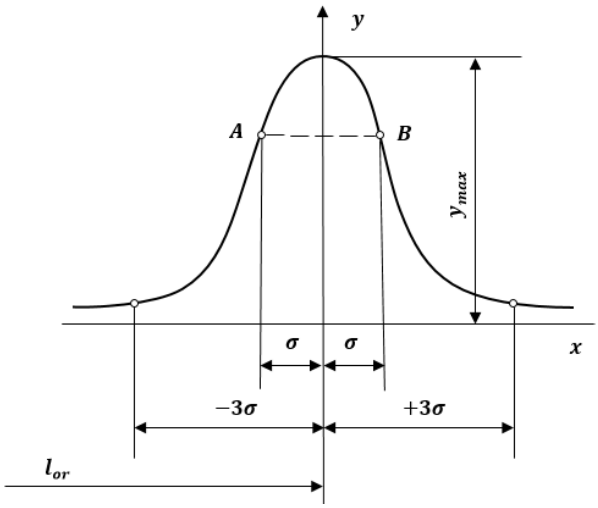
$$l_{or} = 50{,}18; \;\; \sigma = 0{,}12; \;\; 3\sigma = 3 \cdot 0{,}12 = 036\,.$$

l_{or} , X və σ –nın təyin edilmiş parametrlərindən istifadə etməklə R-in, y-in, y_{max}-un, y_A və y_B -nin, həmçinin $\int_{-\infty}^{+\infty} ydx$-in qiymətlərini hesablamaq olar.

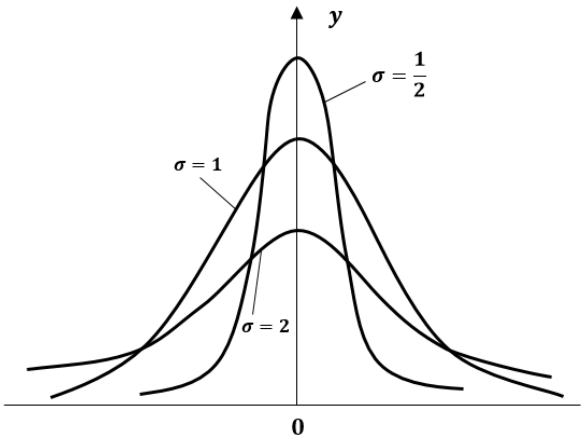
Normal paylanma qanununun nəzəri əyriləri şəkil 4 və 5-də verilmişdir.

Detalların ən böyük və ən kiçik həqiqi ölçülərinin fərqi paylanma diapazonu R adlanır.

$$R = l_{max} - l_{min}\,.$$



Şəkil 4 – Normal paylanma qanununun (Qaus qanununun) əyrisi
Figure 4 – Normal distribution law (Gauss's law) curve



Şəkil 5 – Orta kvadratik sapmanın σ Normal paylanma qanununun əyrisinin formasına təsiri
Figure 5 – The influence of mean square deviation σ on the shape of the curve of the normal distribution law

Qaus əyrisi aşağıdakı ifadə ilə yazılır:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-x^2}{2\sigma^2}}, \qquad (16)$$

burada e- natural loqarifmanın əsasıdır.

$$y_{max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \approx \frac{0{,}4}{\sigma}.$$

Qaus əyrisi A və B nöqtələrində əyilməyə malikdir.

$$y_A = y_B = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi e}} = \frac{y_{max}}{\sqrt{e}} \approx 0{,}6 y_{max} = \\ = \frac{0{,}24}{\sigma}. \qquad (17)$$

Qaus əyrisi ilə əhatə olunmuş sahə aşağıdakı inteqraldan təyin edilir:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} y dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx = \\ = \frac{2}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{0}^{+\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx = 1. \qquad (18)$$

Normal paylanmış təsadüfi kəmiyyət üçün riyazi gözləmədən σ məsafədə olan nöqtələrlə məhdudlaşan intervalın sərhəddinə düşmə ehtimalı 0,6813, $M(x) - 2\sigma$ dan $M(x) + 2\sigma$ intervalına qədər 0,9544, $M(x) - 3\sigma$ dan $M(x) + 3\sigma$ intervalına qədər 0,9973 olur, yəni 99,73% ehtimalı ilə hesab etmək olar ki,

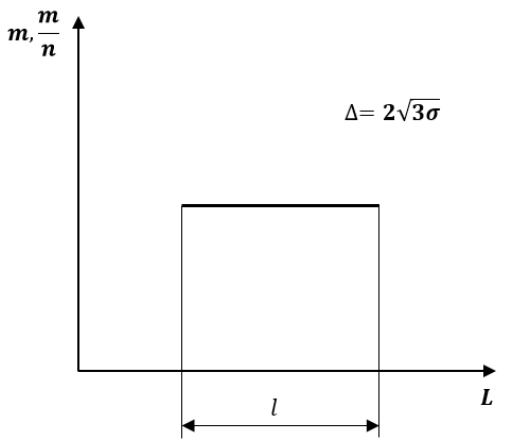
$$M(x) - 3\sigma \le x \le M(x) + 3\sigma.$$

Bu ifadə emal edilmiş yük valının kifayət qədər yüksək dəqiqliklə ($0{,}36\sigma < 3\sigma$-dan) hazırlandığını təsdiq edir.

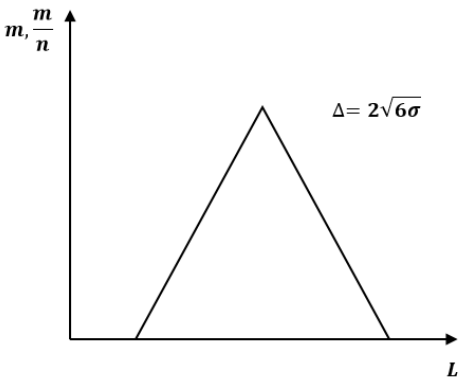
Eksperimental tədqiqatlar apararkən digər paylanma qanunlarından da istifadə etmək olar.

Bunlara misal olaraq, Bərabər ehtimal (şəkil 6), Simpson (şək. 7), Maksvel (şəkil 8), Kəsik normal (şək. 9), Reley (şəkil 10), Veybulla (şək. 11) paylanmalarını göstərmək olar.

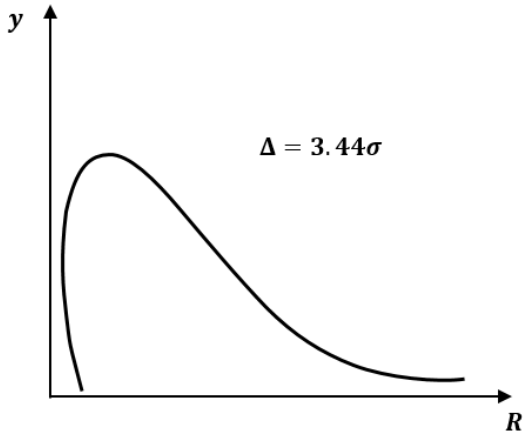
Aşağıda verilmiş paylanma qanunlarının nəzəri əyrilərinin (şəkil 4-11), təcrübələr nəticəsində alınmış əyrilərin (şəkil 12-15), [4] analizində istifadə etmə mümkünlüyünə də baxaq.



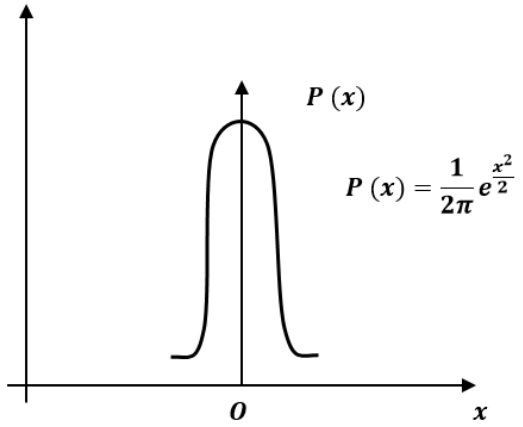
Şəkil 6 – Ölçülərin bərabər ehtimal qanununa görə paylanması
Figure 6 – Distribution of sizes according to the law of equal probability



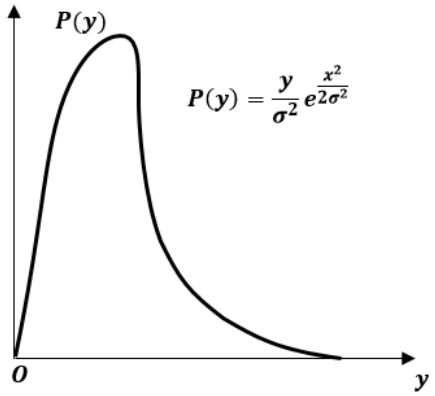
Şəkil 7 – Ölçülərin Simpson qanununa görə paylanması
Figure 7 – Size distribution according to Simpson's law



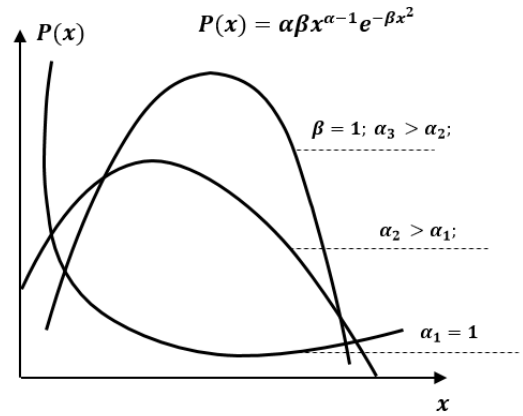
Şəkil 8 – Ölçülərin Maksvel qanununa görə paylanması
Figure 8 – Distribution of sizes according to Maxwell's law



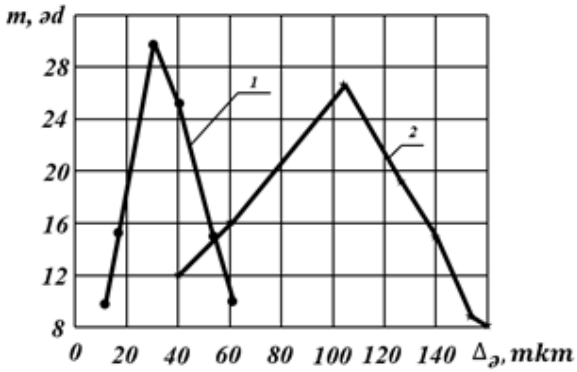
Şəkil 9 – Kəsik normal qanunun qrafiki göstərilməsi
Figure 9 – Graphic representation of the cut normal law



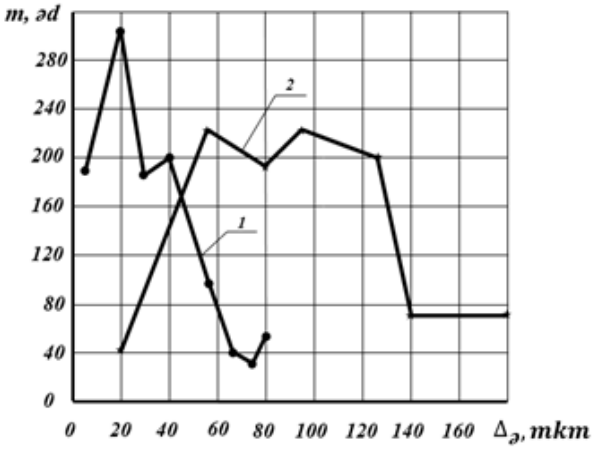
Şəkil 10 – Reley qanununun qrafiki göstərilməsi
Figure 10 – Graphic representation of Rayleigh's law



Şəkil 11 – Veybulla qanununun qrafiki göstərilməsi
Figure 11 – Graphic representation of Weibull's law



Şəkil 12 – Rotasion yonma ilə emal edilmmiş detalların əyilmələrinin $\Delta_ə$ azotlaşdırmadan əvvəl və sonrakı dəyişmələri.
1 – azotlaşdırmadan əvvəlki,
2 – azotlaşdırmadan sonrakı dəyişmələr
Figure 12 – Variations of deflections of parts processed by rotary cutting $\Delta_ə$ before and after nitriding.
1 – before nitrification,
2 – changes after nitrification



Şəkil 13 – Adi kəski ilə emal edilmiş detalların əyilmələrini $\Delta_ə$ azotlaşdırmadan əvvəl və sonrakı dəyişmələri: 1 – azotlaşdırmadan əvvəlki,
2 – azotlaşdırmadan sonrakı dəyişmələr
Figure 13 – Variations of the deflections of parts machined with a conventional chisel before and after nitriding to$\Delta_ə$: 1 – before nitrification,
2 – changes after nitrification

Göründüyü kimi şəkil 12-də verilmiş əyriləri Simpson, şəkil 13-də verilmiş əyriləri Veybulla, şəkil 14-də verilmiş əyriləri Maksvel, şəkil 15-də verilmiş əyriləri Normal paylanma qanunlarının nəzəri əyriləri ilə aproksimasiya (ifadə) etmək olar.

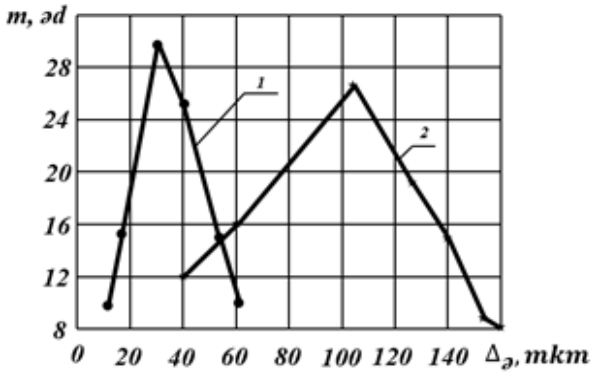
Qeyd olunduğu kimi gəmi maşın və avadanlıqlarının detallarının ölçülən parametrləri təsadüfi kəmiyyətlər kimi xarakterizə olunurlar.

Paylanmanın inteqral funksiyası – elə ehtimala deyilir ki, təsadüfi kəmiyyət, qeyd edilmiş x qiymətindən az qiymətə malik x_i qiymətini qəbul edə bilsin.

$$F(x) = P(x_i < x) \tag{19}$$

Təsadüfi kəmiyyətin paylanma sıxlığı (paylanmanın diferensial funksiyası, yaxud ehtimalın sıxlığı) aşağıdakı kimi yazılır.

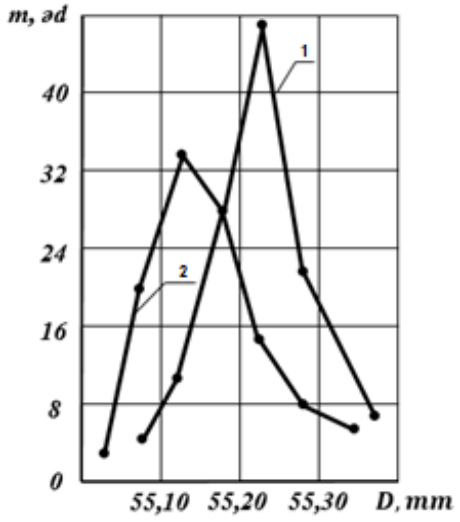
$$f(x) = \lim_{\Delta x \to \infty} \frac{F(x + \Delta x) - F(x)}{\Delta x} = \\ = \frac{dF(x)}{dx} = F'(x). \tag{20}$$



Şəkil 14 – Pardaqlama ilə emal edilmiş detalların əyilmələrinin $\Delta_ə$ azotlaşdırmadan əvvəl və sonrakı dəyişmələri: 1 – azotlaşdırmadan əvvəlki,
2 – azotlaşdırmadan sonrakı dəyişmələr
Figure 14 – Variations of deflections of polished parts before and after nitriding to$\Delta_ə$: 1 – before nitrification,
2 – changes after nitrification

Təsadüfi kəmiyyətin paylanmasının şərti sıxlığı – paylanmanın sıxlığının ehtimala nisbətinə deyilir və təsadüfi kəmiyyətin qiymətinin, qeyd edilmiş qiymətdən artıq olacağı nəzərdə tutulur.

$$\lambda(x) = \frac{f(x)}{p\{x_i > x\}} = \frac{f(x)}{1 - F(x)} \tag{21}$$



Şəkil 15 – Detalların daxili səthlərinin diametrlərinin azotlaşdırmadan əvvəl və sonrakı dəyişmələri:
1 – azotlaşdırmadan əvvəlki,
2 – azotlaşdırmadan sonrakı dəyişmələr
Figure 15 – Changes of the diameters of the internal surfaces of the details before and after nitriding:
1 – before nitrification, 2 – changes after nitrification

Əgər detalın imtinaya qədər işləmə vəziyyətinə təsadüfi kəmiyyət kimi baxsaq, onda paylanmanın inteqral funksiyası-imtina ehtimalına, paylanmanın sıxlığı – işləmənin paylanma sıxlığına, paylanmanın şərti sıxlığı – imtinaların intensivliyinə uyğun olacaqdır.

Təsadüfi kəmiyyətin xarakteristikaları üçün paylanma funksiyaları ilə bərabər, onlar haqqında daha çox məlumat verən ədədi göstəricilərdən də istifadə etmək mümkündür. Təsadüfi kəmiyyətlərin əsas xarakteristikaları *riyazi gözləmə, orta kvadratik sapma, dispersiya, momentlər, mediana və variasiya* əmsalıdır. Riyazi gözləmə – təsadüfi kəmiyyətin orta qiymətinə deyilir.

Diskret təsadüfi kəmiyyətlər üçün riyazi gözləmə:

$$M(x) = x_{or.} = \sum_i x_i p(x_i), \qquad (22)$$

Fasiləsiz təsadüfi kəmiyyətlər üçün:

$$M(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx = \int_{-\infty}^{+\infty} x dF(x), \qquad (23)$$

Qeyri mənfi fasiləsiz təsadüfi kəmiyyətlər üçün isə:

$$M(x) = \int_{0}^{+\infty} [1 - F(x) dx] = \int_{0}^{+\infty} p(x)\, dx \qquad (24)$$

şəkilində ifadə edilir.

Təsadüfi kəmiyyətlərin dispersiyası – onun riyazi gözləmədən sapmasının kvadratının riyazi gözləməsidir.

$$D(x) = M[x - M(x)]^2 = M(x^2) - M^2(x). \qquad (25)$$

Fasiləsiz təsadüfi kəmiyyət üçün dispersiya:

$$D(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} [x - M(x)]^2\, dF(x) \qquad (26)$$

ifadəsi ilə təyin edilir.

Dispersiya təsadüfi kəmiyyətin paylanmasını xarakterizə edir.

Momentlər, təsadüfi kəmiyyətin paylanmasının əsas xüsusiyyətlərinin, bir neçə ədədi xarakteristikalarla ifadə olunması xassəsidir.

Təsadüfi kəmiyyətin variasiya (riyazi təhlil) əmsalı – orta kvadratik sapmanın riyazi gözləməyə nisbətindən təyin olunur

$$v_x = \frac{\sigma_x}{M(x)}. \qquad (27)$$

Mediana (orta qiymət), paylanmanın inteqral funksiyası 0,5-ə bərabər olduqda, fasiləsiz təsadüfi kəmiyyətin qiymətinə deyilir. Mediana – kvantilin xüsusi halıdır.

p səviyyəsinin kvantili, $(p(x \leq u_p) = F(u_P) = p$ olduqda, u_p kəmiyyətidir. *Kvantil* – $F(u_P) = p$ tənliyinin köküdür. Mediana – $p = 0{,}5$ səviyyəsinin kvantilidir. *Kvantil* istənilən paylanma qanununun ədədi xarakteristikasıdır.

Moda – paylanmanın sıxlığı maksimum qiymət aldığı zaman təsadüfi kəmiyyətin qiymətinə deyilir.

Mərkəzləşdirilmiş təsadüfi kəmiyyət x', təsadüfi kəmiyyətin ilkin qiymətindən riyazi gözləməni çıxmaqla alınır:

$$x' = x - M(x). \quad (28)$$

Normalaşdırılmış təsadüfi kəmiyyət $\bar{x}$, təsadüfi kəmiyyətin ilkin qiymətini, orta kvadratik sapmaya bölməklə alınır:

$$\bar{x} = \frac{x}{\sigma_x}. \quad (29)$$

Nəticə

Diskret təsadüfi kəmiyyətlər üçün Binomal, Puasson, Həndəsi və Hiperhəndəsi paylanmalardan, fasiləsiz təsadüfi kəmiyyətlər üçün isə Bərabər ölçülü, Eksponensial, Normal, Kəsik normal, Loqarifmik normal, Simpson, Maksvel, Reley və Veybulla paylanmalarından istifadə etmək daha məqsədə uyğundur.

Maraqlar münaqişəsi

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

REFERENCES

1. **Qafarov A.M.** Metrologiya standartlaşdırma və sertifikatlaşdırma / A.M. Qafarov. – Bakı*: Elm*, 2012. – 525s. *(in Azerbaijani)*
2. **Gafarov A.M.** Tekhnologicheskie sposoby povysheniya iznosostojkosti detalej mashin / A.M. Gafarov. – Baku: *Nauka*, 1998. – 318 s. *(in Russian)*
3. **Kafarov V.V.** Metody kibernetiki v himii i himicheskoj tekhnologii / V.V. Kafarov. – Moskva: *Himiya*, 1976. – 464 s. *(in Russian)*
4. **Gafarov A.M.** Rotacionnoe tochenie / A.M. Gafarov. – Baku: *Nauka*, 2000. – 128 s. *(in Russian)*
5. **Qafarzadə H.V.** Çoxfaktorlu əməliyyatların və mürəkkəb texnoloji proseslərin modelləşdirilməsi, optimallaşdırılması və idarə edilməsi metodlarının analizi. Bakı: *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*, 2021.T.13, №2. – S. 40-47. *(in Azerbaijani)*
6. **Algazin S.D.** Vychislitelnyj eksperiment o zadache o flattere pryamougolnoj plastiny. – Moskva: *Matematicheskoe modelirovanie*, 2021. T.33, №6. – S. 107-116. *(in Russian)*
7. **Agasiev T.A.** Sovremennye tekhniki globalnoj optimizacii. – Penza: *Informacionnye tekhnologii*, 2018. №6. –S. 370-386. *(in Russian)*
8. **Anistratenko V.G.** Matematicheskaya planirovaniya eksperimentov v APK / V.G. Anistratenko, V.G. Fedorov. – Kiev: *Vysshaya shko*la, 1993. – 375 s. *(in Russian)*
9. **Janahmadov A.Kh., Volchenko A.I., Volchenko N.A. [i dr.].** Tribologiya: trenie, iznos, smazka. - Baku, *«Apostrof – A»*, 2019. – 640 s. *(in Russian)*
10. **Pen R.Z.** Staticheskie metody modelirovaniya i optimizacii tekhnologicheskih processov / R.Z. Pen, V.R. Pen. – Moskva: *Mezhdunarodnij zhurnal eksperimentalnogo obrazovaniya*, 2017. №2. – S. 81-83. 83 *(in English)*

Analysis of Reliability and Durability of Machines in Extreme Conditions

P.H. Suleymanov

Azerbaijan State Scientific-Research Institute of Labour Protection and Safety Engineering (Tabriz st., 108, Baku, AZ 1008, Azerbaijan)

For correspondence:
Suleymanov Panah / e-mail: p.suleymanov@azdemtteti.az

Abstract

The article deals with the issues of studying the problems of reliability and durability of machines and equipment according to literary sources. The received data is analyzed. Some patterns related to the reliability and durability of machines and equipment operated in extreme conditions are discussed. Depending on the task at hand, when testing the reliability of machines and equipment, two types of tests are used: identification and control tests. The collection of data to determine the reliability and durability of machines and equipment is carried out using the relevant standards.

Keywords: machines, equipment, reliability, durability, operation, conditions, emergency, analysis.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_42_52

Received *01.03.2023*
Revised *16.06.2023*
Accepted *21.06.2023*

For citation:
Suleymanov P.H.
[Analysis of reliability and durability of machines in extreme conditions]
Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 42-52 *(in Russian)*

Ekstremal vəziyyətlərdə maşınların etibarlılığının və uzunömürlülüyünün analizi

P.H. Süleymanov

Azərbaycan Dövlət Əməyin Mühafizəsi və Təhlükəsizlik Texnikası Elmi-Tədqiqat İnstitutu (Təbriz küç. 108, Bakı, AZ1008, Azərbaycan)

Yazışma üçün:
Süleymanov Pənah / e-mail: p.suleymanov@azdemtteti.az

Xülasə

Məqalədə, maşın və avadanlıqların etibarlılıq və uzunömürlülük problemlərinin ədəbi mənbələr əsasında öyrənilməsi məsələlərinə baxılıb. Alınan məlumatlar analiz edilib. Fövqəladə vəziyyətlərdə və ekstremal şəraitlərdə istismar olunan maşın və avadanlıqların etibarlılığı və uzunömürlülüyü ilə bağlı bəzi qanunauyğunluqlar müzakirə olunub. Maşın və avadanlıqların etibarlılığını yoxlayarkən qarşıya qoyulan vəzifədən asılı olaraq, iki növ sınaqdan istifadə olunur: təyinetmə və nəzarət sınaqları. Maşın və avadanlıqların etibarlılığını və dayanıqlığını müəyyən etmək üçün məlumatların toplanması müvafiq standartlardan istifadə etməklə həyata keçirilir.

Açar sözlər: maşınlar, avadanlıqlar, etibarlılıq, uzunömürlülük, istismar, şərait, fövqəladəlik, analiz.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_42_52

УДК 621-192; 621.81-192

Анализ надёжности и долговечности машин в экстремальных условиях

П.Г. Сулейманов

Азербайджанский государственный научно-исследовательский институт по охране труда и техники безопасности (ул. Тебриз, 108, Баку, AZ1008, Азербайджан)

Для переписки:
Сулейманов Панах / e-mail: p.suleymanov@azdemtteti.az

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы изучения проблем надёжности и долговечности машин и оборудований по литературным источникам. Полученные данные анализируются. Обсуждаются некоторые закономерности, связанные с надёжностью и долговечностью машин и оборудований, эксплуатируемых в экстремальных условиях. В зависимости от поставленной задачи при испытаниях на надежность машин и оборудований применяют два вида испытаний: определительные и контрольные испытания. Сбор данных для определения надежности и долговечности машин и оборудований осуществляется с применением соответствующих стандартов.

Ключевые слова: машины, оборудования, надёжность, долговечность, эксплуатация, условия, чрезвычайность, анализ.

Введение

Современная техника, применяемая при ликвидации результатов землетрясений, при тушении пожаров различного характера, при выполнении аварийно-спасательных работ на суше и на воде, на транспорте, в строительстве, на нефтяных скважинах, а также используемая при ликвидации последствий других многочисленных природных и техногенных процессов, характеризуется многообразием различных машин и оборудований, механизмов, агрегатов, приспособлений и инструментов, надежность которых является определяющим фактором при обеспечении безопасности людей и их имущества и имеет большое экономическое и социальное значение.

Технологии, применяемые при ликвидации результатов чрезвычайных и экстремальных ситуаций, имеют свою специфику. В состав оборудования, эксплуатируемого в чрезвычайных и экстремальных ситуациях, входят все известные виды механических соединений, электро-, гидро- и пневмосистемы, трансмиссии, двигатели различного вида, узлы и механизмы общего назначения, различные электрооборудования и т.д. Безусловно, машины и оборудования, эксплуатируемые в чрезвычайных ситуациях и экстремальных условиях, первым долгом относятся к объектам, функционирование которых связано с обеспечением безопасности.

К оборудованию, предназначенному для эксплуатации в экстремальных ситуациях, относятся: автомобили, тракторы, краны различных типов, насосы, компрессоры, режущие и деформирующие устройства, телескопические соединения и многие другие различные механизмы и устройства. К оборудованию, рабо-тающему в экстремальных условиях, можно отнести также и буровое и нефтепромысловое оборудование. К буровому оборудованию относятся роторы и вертлюги, насосы, талевая система, привод ротора и др. К оборудованию, предназначенному для добычи нефти и газа, относятся: колонные головки и фонтанные арматуры различных типов, которыми оснащаются устья фонтанирующих и газлифтных скважин; подземные и наземные устройства для насосного метода добычи; специальные оборудования для комбинированной и раздельной добычи в различных пластах и др.

Анализ условий эксплуатации многочисленных машин и оборудований показывает, что их надежность и долговечность во многом связаны со сложностью взаимодействия отдельных их узлов и соединений с окружающей средой, в которой они работают, с несовершенством их конструкций, нестабильностью свойств материалов их деталей [1-8] и др.

Цель работы – определить закономерности, связанные с надёжностью и долговечностью машин и оборудований, эксплуатируемых в экстремальных условиях.

Надежность и долговечность машин и оборудований, работающих в чрезвычайных и экстремальных ситуациях, зависят от многочисленных связанных между собой и не связанных факторов, которые определяют их безотказность в условиях эксплуатации.

Теория надежности имеет два основных направления: вероятностно статистическое и детерминированное.

В рамках первого направления разработаны математические методы оценки

надежности высоконадежных структур технических систем [9].

Второе направление рассматривает механизмы процессов, оказывающих основное влияние на надежность, разрабатываются новые методы расчета и технологические методы повышения надежности материалов, элементов и объектов. В настоящее время объединяются эти направления, при этом методы и результаты из одной области используются в другой и на этой основе возникает единая общая наука о надежности технических объектов [9].

Установлено, что современная теория надежности основывается на фундаментальных законах математики и физики. Практически, принимая различные методы математики, можно решать любые задачи, связанные с надежностью машин и оборудований. Учитывая и принимая во внимание физические основы разрушения материалов, можно прогнозировать изменение характеристик и основных свойств элементов машин и оборудований за определенный промежуток времени эксплуатации. Кроме того, при помощи математических методов статистики можно определить оптимальные условия эксплуатации машин и оборудований, выполняющих различные технологические процессы [10-12] и др.

Причины, снижающие работоспособность машин и оборудований

Результаты анализа отказов машин и оборудований, работающих в чрезвычайных и экстремальных ситуациях, показывают, что их возникновение непосредственно связано с различными причинами. Можно условно разделить их на механические, электрические, акустические, гидравлические, пневматические, кинематические, электромагнитные, химические и др. Каждый класс машин и оборудований имеет свою специфическую причину отказов. Указанные причины можно отнести также и к отдельным узлам и механизмам машин и оборудований, работающих в чрезвычайных ситуациях и экстремальных условиях. Например, для пожарных автомобилей характерен отказ двигателей, связанный с механическими, гидравлическими, тепловыми и электрическими воздействиями: для коробки передач, картера заднего моста и ходовой части – с механическими, кинематическими и химическими; для тормозных систем – с механическими, гидравлическими и пневматическими; для электрооборудования – с электрическими, электромагнитными; для насосного отсека – с механическими (наличие трещин и деформаций, следы коррозии и др.); для вакуумной системы – с механическими и пневматическими; для пожарно-механического вооружения – с механическими (наличие вмятин, потёртостей, внутренних отслоений высасывающих рукавов, повреждений, деформаций и смятой тетивы и ступени лестниц) и гидравлическими воздействиями – (необеспечение шиберами герметичности, несмыкание соединительных головок напорных штуцеров с высасывающими и напорно-высасывающими рукавами, необеспечение герметичности клапанов и уплотнителей) и т.д. Анализ причин и видов отказов обычно проводится с целью их предупреждения [13-15].

Количество показателей надежности для многих видов машин и оборудований приведены в государственных и отраслевых стандартах, технических условиях и другой нормативно-технической документации.

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

Количественные характеристики надежности машин и механизмов, в том числе машин и оборудований, эксплуатируемых в чрезвычайных ситуациях и экстремальных условиях, оцениваются по результатам испытаний с учетом основных положений теории вероятностей.

Математический аппарат теории надежности базируется на основных положениях и теоремах теории вероятностей [16-18].

В процессе эксплуатации машин и механизмов, работающих в чрезвычайных ситуациях и экстремальных условиях, иногда из-за изменения нагрузок и условий эксплуатации происходят непредвиденные, случайные процессы.

Большинство физических процессов и явлений, происходящих в материалах, имеет физико-статистическую природу. Следовательно, подход к анализу состояния технических объектов должен быть, как правило, структурно-вероятностным: следует рассмотреть как физическую структуру объектов и материалов, так и статистические, кинематические закономерности процессов.

Характер процессов, вызывающих отказ машин и оборудования, можно изучать на субмикроскопическом, микроскопическом и макроскопическом уровнях.

Как известно, классификация возникновения отказов может быть проведена по типу применяемых материалов, по виду энергии, по виду условий эксплуатации и др. Материалы деталей машин и механизмов обычно представляют собой твердые тела, такие как металлы, сплавы, кристаллы, полимеры и т.д.

В зависимости от места протекания процессы бывают объемные, поверхностные и протекающие в подвижных и неподвижных соединениях деталей.

Согласно [16], эксплуатационные воздействия, влияющие на процессы возникновения отказов, можно классифицировать по следующим показателям: по воздействию окружающей среды (температура, давление, влажность, химический состав, электромагнитные излучения и т.д.) и воздействиям, возникающим только при работе элементов (трение, электрический ток, нагрев при работе и т.д.), влияние которых, как правило, зависит от режима эксплуатации (интенсивности, цикличности, стабильности и т.д.).

По воздействию окружающей или рабочих сред различаются адсорбционные, диффузионные, химические, коррозионные, радиационные, кавитационные, эрозионные процессы. По характеру изменения во времени эксплуатационные воздействия можно разделить на возмущения и случайные влияния (стационарные, квазистационарные или нестационарные) [17].

По виду изменений, происходящих в материале, различаются обратимые (например, физическая адсорбция газов) и необратимые (коррозия, растворение и т.д.) процессы [19].

Как известно, функциональные зависимости, описывающие статистические законы состояния, не включают фактор времени в явном виде. Они могут быть использованы для прогнозирования надежности в случаях, когда известны закономерности изменения параметров и характери-

стик объектов во времени в процессе эксплуатации [17].

При оценке надёжности машин и механизмов, работающих в чрезвычайных ситуациях и экстремальных условиях, наряду с конструктивными и функциональными характеристиками, необходимо учитывать и влияние механических воздействий: температуры, давления, влажности, холода, света, пыли песка, радиации и других, изменяющих как физико-механические характеристики отдельных деталей, так и эксплуатационные показатели машин и оборудований в целом.

Скорость изменения параметров машин и механизмов характерна для многих процессов изменения свойств материала и старения. Идентичными зависимостями можно описать процессы, связанные с текучестью, ползучестью, усталостью, пластическим течением и разрушением твёрдых материалов трением и износом полимеров и др.

Образование активных частиц, помимо нагрева материала, может происходить также за счёт ионизации, диссоциации, образования радикалов, под действием электромагнитного поля, электрического разряда, ультразвукового излучения и других факторов [17].

Кроме того, изменение параметров деталей машин и механизмов, эксплуатируемых в чрезвычайных ситуациях и экстремальных условиях, часто происходит под воздействием химических процессов: переход атомов, молекул, ионов, дислокаций, дисперсных частиц и т.д. из одного состояния в другое.

Дефекты состояния материалов деталей оказывают определяющее влияние на их свойства и состояние. Исследователи дефектов состояния материалов разделяют их на точечные, двумерные, поверхностные, трехмерные и обычные.

При пластической деформации, облучении или закалке в материале происходит большое число неравновесных процессов, приводящих к развитию или отсутствию дефектов различного характера [17].

Как известно, прочность и износостойкость деталей машин характеризуются в основном одномерными дефектами состояния материала.

Дислокация в кристалле образует изолированные замкнутые петли. Дислокация имеет два вида: краевая и винтовая. Повышение твердости материалов при дислокации в первую очередь связано с возникновением препятствий движению дислокаций [20].

Многие структурные изменения в материалах деталей машин, ухудшающих их износостойкость, могут происходить и в результате диффузий. Для деталей, помимо объёмной диффузии, существенное значение имеет поверхностная диффузия, которая приводит к изменению формы деталей, наращиванию, сглаживанию неровностей, возникновению выступов и впадин на поверхности и др.

Выявлено, что усталостное разрушение в основном является результатом пластической деформации материалов [21-22].

Многочисленными исследованиями установлено, что усталостное разрушение можно разделить на четыре этапа. На первом этапе происходит накопление пластической деформации, второй этап отличается образованием микротрещин, третий этап – развитием микротрещин до критических размеров, четвертый – хрупким разрушением.

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy
2023, vol. 15, no.2, pp. 42-52
Süleymanov P.H.

Известно, что усталостное разрушение начинается с поверхности деталей. В связи с этим методы и способы обработки, которые формируют состояние поверхностей деталей, таких как шероховатость поверхности, остаточное напряжение, микротвёрдость поверхностного слоя, оказывают существенное влияние на усталостное разрушение материала поверхности деталей машин.

Следует отметить, что на износостойкость деталей машин положительное влияние оказывают оптимальные величины шероховатости поверхности, сжимающие остаточные напряжения, величина и глубина распространения микротвёрдости поверхностного слоя.

Существует два основных вида адсорбции: внешняя и внутренняя. Внешняя адсорбция влияет на наружные поверхности деталей и вызывает снижение предела текучести. Внутренняя адсорбция возникает на поверхности деталей, приводит к появлению дефектов внутри материала деталей, в результате чего снижается прочность и увеличивается хрупкость материала.

Разрушение поверхностей деталей вследствие коррозий происходит в результате воздействия на них жидкой или газообразной среды, что приводит к термодинамической неустойчивости их материалов.

Суть химической коррозии основывается на взаимодействии материалов с агрессивными средами различного типа. Электрохимическая коррозия непосредственно связана с коррозионной средой. Существенными элементами коррозионной среды могут быть вода, различные виды растворов веществ и другие химические и нехимические соединения.

Электрохимическая коррозия характеризуется взаимодействием металла с электролитом.

Газовая коррозия является частичным случаем химической и проявляется в активных газовых средах при повышенных температурах (например, в атмосфере водорода при давлении 150 атмосфер и температуре 560°C предел прочности стали через сутки уменьшается в 2 раза) [17].

Атмосферная коррозия является одной из основных причин разрушения металлов. Известны три основных вида атмосферной коррозии: сухая коррозия, которая при отсутствии влаги проявляется на поверхности деталей, скорость коррозии мала; влажная коррозия, которая происходит под тонким слоем влаги, скорость коррозии очень велика; мокрая коррозия, которая проявляется под воздействием капельной конденсации влаги на поверхностях деталей, скорость коррозии при этом виде небольшая.

Коррозия в неэлектриках происходит под воздействием агрессивных органических и неорганических соединений.

Контактная коррозия происходит при контакте разнородных материалов в среде электролита. Щелевая коррозия происходит в присутствии электролита между разнородными металлами. Коррозия под напряжением проявляется при одновременном воздействии деформации и коррозионной среды.

Разрушение материалов поверхностей деталей в результате эрозии очень редко происходит по одной причине, что усложняет оценку природы эрозии. Наиболее исследованными видами эрозии являются: механохимическая, микроударная, термическая, гидроэрозия, газовая, абразивная,

гидроабразивная эрозия и т.д.

Когда для пластической деформации недостаточна энергия потока жидкости, газа или твердых частиц, происходит механохимическая эрозия. Когда материал поверхности в потоке газа, жидкости или твердых частиц получает удары и энергия этих ударов достаточна для пластической деформации, структурных или фазовых превращений, наблюдается микроударная эрозия.

Процесс гидроэрозии происходит в механохимическом механизме или в результате микроударного разрушения.

В результате кавитации часто проявляются локальные гидравлические удары из-за гидродинамических флуктуаций давления.

Газовая эрозия является результатом контакта поверхности материалов с высокотемпературными и химически активными газовыми струями. Как известно, газовой эрозии способствуют термическая усталость, поглощение газов твёрдыми материалами, вторичные закалки и отпуск, цементация, азотирование и т.д.

Разрушение поверхностей деталей в среде раскаленных газов называется абляцией. Для процесса абляции характерны пиролиз, испарения, сублимация и др.

Гидро- и газообразивная эрозия происходит в потоке жидкостей или газов под действием твёрдых частиц. Основными факторами, оказывающими влияние на гидро- и газообразивную эрозию, являются твёрдость, прочность, размер, форма частиц, скорость и угол их атаки, характер их перемещение и др.

Гидроабразивная эрозия при кавитации наблюдается при одновременном воздействии на материал динамических потоков жидкости, абразивных частиц и локальных кавитационных гидроударов.

Иногда при быстром нагреве происходит испарение (сублимация) материала деталей. Процесс сублимации обычно не характерен для деталей оборудований, эксплуатируемых в чрезвычайных и экстремальных ситуациях. Однако некоторые материалы, применяемые для покрытий (например, кадмий и цинк), в вакууме при температурах выше 120-180^0 С могут испарятся с довольно значительными скоростями (порядка 1 мм/год), что заставляет учитывать процесс сублимации при расчёте работоспособности деталей.

Одной из основных причин, снижающих работоспособность машин и оборудований, является процесс старения материалов деталей.

Результаты многочисленных наблюдений показывают, что при старении может происходить как улучшение, так и ухудшение физико-механических показателей материалов деталей, а также и других характеристик машин и механизмов.

Для деталей машин, изготовленных из металлов, в процессе старения существенное значение имеет мартенситное превращение и изменение мартенситной структуры.

К мартенситным превращениям относятся также аллотропические превращения в безуглеродистых сплавах. Аллотропические превращения происходят в результате формирования кристаллических решеток, имеющих разные системы и число атомов. Аллотропическим превращениям подвержены также некоторые чистые материалы.

Одним из материалов, для которых характерно более интенсивное старение по сравнению с металлами, являются полиме-

ры. Для них характерен процесс деструкции. Процессы деструкции происходят под влиянием тепла, света, кислорода, воды и других факторов. Деструкция происходит в результате распада основных макромолекул. Наиболее часто встречается термическая деструкция под действием тепла, фотохимическая деструкция под воздействием ультрафиолетового излучения, окислительная деструкция под действием химических агентов.

Кроме вышеуказанных видов старения, также различают электрическое старение под влиянием приложенного напряжения.

К вышеуказанным причинам можно прибавить беспрерывность работы машин и оборудований, сверхперегрузку при эксплуатации, различные климатические условия и др.

В зависимости от места протекания все указанные процессы делятся на объемные и поверхностные, и, соответственно, их интенсивность определяется объемными или поверхностными характеристиками.

Для повышения безотказности машин и оборудований необходимо разработать такие конструктивные и технологические мероприятия, которые направлены на снятие указанных недостатков.

Однако случайный характер происходящих процессов при эксплуатации машин и механизмов, некорректность, нелинейность, дискретность показателей надежности затрудняет решение поставленной задачи.

Наиболее точные данные о надежности машин и оборудований можно получить в результате проведения экспериментально-исследовательских работ. В связи с этим при определении параметров надежности применяются различные *методы моделирования*.

Основной задачей оценки надежности является определение оптимальных параметров машин и механизмов, обеспечивающих наиболее эффективные условия эксплуатации, оптимальные характеристики, способы обслуживания и восстановления [5, 17].

Оценка критериев надежности машин и оборудований обычно производится с применением методов системного анализа. В многофункциональных системах из-за увеличения числа возможных состояний трудоемкость ее применения становится нецелесообразной. Для этих условий лучше применять логико-вероятностный метод [17].

Для сложных технических систем возможны различные методы системного анализа.

Часто для увеличения надежности машин и оборудований, ликвидации недостатков, связанных с конструктивными, технологическими, эксплуатационными, организационными и другими причинами, используются различные методы резервирования: временное, структурное, информационное, функциональное, нагрузочное, оптимальное и др.

Наличие ограничений усложняет задачу оптимизации при резервировании, и для ее решения применяются различные способы и методы, такие как метод простого перебора, метод неопределенных множителей Лагранжа, градиентные методы (метод наискорейшего покоординатного спуска), метод максимального элемента, метод динамического программирования, метод ветвей и границ [23].

Зачастую при резервировании для расчета надежности машин и оборудований с восстановлением используются топологические методы с построением графа состояний [17].

Восстановление отказавшего элемента – процесс его перевода из неработоспособного состояния в работоспособное. Поэтому в графе состояний систем с восстановлением наряду с переходами из предыдущих состояний в последующие должны быть указаны и обратные переходы из последующих состояний в предыдущие с интенсивностями восстановления μ [17].

Задача проектирования технических объектов предусматривается стандартами. Иногда оценка надежности при проектировании не соответствует общетехническим нормам стандартов, и тогда разрабатываются различные методы и способы.

Для существенного повышения надежности машин и оборудований необходимо обеспечить достаточно высокий уровень техобслуживания, подготовленность обслуживающего персонала, квалифицированное проведение диагностики, совершенствование методики обработки полученных данных.

Направления восстановительных работ и ремонта непосредственно связаны с основными типами отказов, условиями эксплуатации и др. В настоящее время наиболее рациональным способом повышения качества техобслуживания и ремонта является система предварительного планирования [17]. При техобслуживании и ремонте необходимо учитывать назначение и тип отказов машин и оборудований. В зависимости от типа повреждений различают текущий, средний и капитальный ремонт.

Для построения различных моделей эксплуатации машин и оборудований применяются методы теории массового обслуживания. С точки зрения практического применения наиболее часто используется стационарный режим функционирования систем массового обслуживания.

Для машин и оборудований, применяемых в чрезвычайных ситуациях и экстремальных условиях, основной задачей является получение информации об их работоспособности в конкретных условиях эксплуатации. Используя результаты функциональных испытаний, можно в целом оценить и надежность оборудования, работающего в экстремальных условиях.

Следует учитывать, что время испытания должно быть идентичным со средней наработкой машин и механизмов на отказ.

Заключение

В зависимости от поставленной задачи при испытаниях на надежность машин и оборудований необходимо применять два вида испытаний: определительные и контрольные испытания.

Сбор данных для определения надежности и долговечности машин и оборудований осуществляется с применением соответствующих стандартов.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

REFERENCES

1. **Babaev S.G.** Nadyozhnosti dolgovechnost burovogo oborudovaniya / Babaev S.G.: – Moskva: Nedra, – 1974. – s. 184. *(in Russian)*
2. **Tyurin S.F.** Obespechenie nadezhnosti tekhnicheskih sredstv putem ih troiro-vaniya i raschetvereniya. / Tyurin S.F.// Nadyozhnost, – Moskva: –2019. N.1, – c. 4-9. *(in Russian)*
3. **Shebe H.,** Predelnaya nadyozhnost strukturnogo rezervirovaniya / H. Shebe, Shubinskij I.B.// Nadyozhnost, – Moskva: – 2016- s. 3-13. *(in Russian)*
4. **Ancupov A.V.** Metodologiya prognozirovaniya nadyozhnosti elementov mashin po razlichnym kriteriyam / Ancupov A.V., Ancupov A.V. (ml.), Ancupov V.P. // Moskva: – 2014. N.1, – c. 5-14. *(in Russian)*
5. **Bajkov I.R.** Kompleks pokazatelej dlya ocenki nadyozhnosti gazoperekachiva-yushchih agregatov / Bajkov I.R., Kitaev S.V., Smorodova O.V.// Nadyozhnost, – Moskva: – 2018. – N.4, – s. 16-21. *(in Russian)*
6. **Viktorova V.S.** O pokazatelyah nadyozhnosti tipa srednyaya narabotka / Viktorova V.S.// Nadyozhnost, – Moskva: – 2014. N.4, – s. 27-29. *(in Russian)*
7. **Pohabov Yu.P.** Obespechenie nadyozhnosti unikalnyh vysokootvetstvennyh sistem / Pohabov Yu.P.// Nadyozhnost, – Moskva: – 2017. – N.3, – s. 17-23. *(in Russian)*
8. **Repin D.S.** Algoritm operativnogo obnaruzheniya izmeneniya harakteristik nadyozhnosti / Repin D.S., Filaterov G.F.// Nadyozhnost, – Moskva: – 2019. N.4, – s. 8-11. *(in Russian)*
9. **Nechiperenko V.I.** Strukturnyj analiz i metody postroeniya nadyozhnyh sistem / Nechiperenko V.I. – Moskva: Sovetskoe radio, – 1968. – s. 256. *(in Russian)*
10. **Ermolenko V.A.** Osobennosti rascheta pokazatelej nadyozhnosti gruzopodyomnyh mashin / Ermolenko V.A., Vitchik P.V.// Nadyozhnost, – Moskva: – 2016. N.2, – s. 20-25. *(in Russian)*
11. **Pereguda A.I.** Matematicheskaya model nadyozhnosti izdeliya podverzhennogo udarnym nagruzkam / Pereguda A.I.// Nadyozhnost, – Moskva: – 2014. N.2, – s. 43-52. *(in Russian)*
12. **Fillipov B.I.** Obrabotka dannyh, poluchennyh pri ispytaniyah na nadyozhnost / Fillipov B.I., Trush T.B.// Nadyozhnost, – Moskva: – 2017. – N.2, – s. 24-30. *(in Russian)*
13. **Glebovich S.A.** Upravlenie otkazoustojchivosti pri ocenke tekhnicheskogo so-stoyaniya kompensatorov truboprovodov / Glebovich S.A.// Izvestiya TulGu, – Tula: – 2019. N.10, – s. 58-63. *(in Russian)*
14. **Dolganov A.I.** O naznachenii urovnya nadyozhnosti / Dolganov A.I., Saharov A.V.// Nadyozhnost, – Moskva: – 2018. N.3, – s. 18-21. *(in Russian)*
15. **Mihajlov V.S.** Uluchshenie effektivnosti ocenok pokazatelej nadyozhnosti razlichnyh planov ispytanij odnorodnoj produkcii / Mihajlov V.S.// Nadyozhnost, – Moskva: – 2022. – N.2, – s. 30-37. *(in Russian)*
16. **Qafarov A.M.** Etibarlılığın və uzunömürlülüyün əsasları / Qafarov A.M., Şərifov Z.Z., Y.A. Xankişiyev. – Bakı: ADA – 2020. 358 c. *(in Azerbaijani)*
17. **Nevzorov V.N.** Nadyozhnost mashin i oborudovanij (v 2-h tomah) / Nevzorov V.N., Sugak E.V. – Krasnoyarsk: SGTU, T.1, – 1998. – 240 s. *(in Russian)*
18. **Osincev K.V.** Metodologiya eksperimentalnogo opredeleniya pokazatelej nadyozhnosti pri provedenii staticheskih ispytanij sharovyh kranov na izgib / Osincev K.V., Kuznecov N.A.// Nadyozhnost, – Moskva: – 2020. – N.3, – s. 15-20. *(in Russian)*
19. **Buyanovskij I.A.** Vliyanie dvuhslojnogo pokrytiya – orientanta na smazochnuyu sposobnost masel / Buyanovskij I.A., Ignatev Z.V., Bolshakov A.N. i dr. // Trenie i smazka v mashinah i mekhanizmah, – Moskva: – 2015. N.4, – s. 11-15. *(in Russian)*
20. **Ivanova V.S.** Ustalostnoe razrushenie materialov / Ivanova V.S. – Moskva: – MIR – 1980 – 272 s. *(in Russian)*
21. **Baranov L.A.** Nadyozhnost obektov s nestacionarnoj intensivnostyu otkazov / Baranov L.A., Ermolin E.A.// Nadyozhnost, – Moskva: – 2017. – N.4, – s. 15-20. *(in Russian)*
22. **Gafarov A.M.** Progressivnye metody mekhanicheskoj obrabotki (v 2-h tomah) / Gafarov A.M. – Baku: Nauka, T.1, – 2001. 286 s. *(in Russian)*
23. **Sulejmanov P.G.** Povyshenie nadyozhnosti mashin i oborudovanij, eksplua-tiruemyh v ekstremalnyh usloviyah / Sulejmanov P.G. – Baku: Nauka, 2018. 308 s. *(in Russian)*

Influence of Gas Bubbles on the Operation of a Centrifugal Pump

A.S. Ahmadov, A.R. Dadash-zada
Azerbaijan State University of Oil and Industry (Azadlig ave, 16/21, Baku, AZ 1010, Azerbaijan)

For correspondence:
Dadash-zada Ahmad /e-mail: ahmad.dadashzada@gmail.com

Abstract

Analysis shows that many liquids contain soluble gas in them. Such fluids have low viscosity and density. However, when pumping liquids, a number of problems arise, one of which is the appearance of bubbles in the mixture. Such liquids with gas do not obey the law of homogeneous liquid and gas. Therefore, in recent years, special attention has been paid to the hydromechanics of two-phase systems, such as oil-gas, water-steam, etc. the appearance of gas bubbles also affects the operation of centrifugal pumps, which manifests itself during pumping. The basic equations of a centrifugal pump are obtained taking into account the gas in the mixture.

Keywords: centrifugal pump, gas-liquid system, gas bubbles, torque on the shaft, power, mass of liquid.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_53_58

Accepted *30.11.2021*
Received *19.06.2023*
Revised *21.06.2023*

For citation:
Ahmadov A.S., Dadash-zada A.R.
[Influence of gas bubbles on the operation of a centrifugal pump]
Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 53-58 *(in Russian)*

Qaz qabarcıqlarının mərkəzdənqaçma nasosunun işinə təsiri

Ə.S. Əhmədov, Ə.R. Dadaş-zadə

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)

Yazışma üçün:
Dadaş-zadə Əhməd / e-mail: ahmad.dadashzada@gmail.com

Xülasə

Təhlil göstərir ki, bir çox mayenin tərkibində həll olunan qaz var. Belə mayelər aşağı özlülük və sıxlığa malikdir. Bununla belə, mayelərin vurulması zamanı bir sıra problemlər yaranır, bunlardan biri maye qarışığında qabarcıqların görünüşüdür. Belə qazlı mayelər homogen maye və qaz qanununa tabe olmur. Ona görə də son illərdə ikifazalı sistemlərin, məsələn, neft-qaz, su-buxar və s., qaz qabarcıqlarının görünüşü də mərkəzdənqaçma nasoslarının işinə təsir göstərir ki, bu da nasosun çəkilməsi zamanı özünü göstərir. Mərkəzdənqaçma nasosunun əsas tənlikləri qarışıqdakı qaz nəzərə alınmaqla alınır.

Açar sözlər: mərkəzdənqaçma nasosu, qaz-maye sistemi, qaz qabarcıqları, valdakı fırlanma momenti, güc, mayenin kütləsi.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_53_58

УДК 622.246

Влияние газовых пузырей на работу центробежного насоса

А.С. Ахмедов, А.Р. Дадаш-заде

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг, 16/21, Баку, AZ1010, Азербайджан)

Для переписки:
Дадаш-заде Ахмед /e-mail: ahmad.dadashzada@gmail.com

Аннотация

Анализ показывает, что многие жидкости содержат в себе растворимый газ. Такие жидкости обладают малой вязкостью и плотностью. Однако при перекачке жидкостей возникает ряд проблем, одной из которых является возникновение пузырьков в составе смеси. Такие жидкости с газом не подчиняются законам однородной жидкости и газа. Поэтому особое внимание в последние годы обращают на гидромеханику двухфазных систем типа нефть-газ, вода-пар и т.д. Появление газовых пузырей влияет и на работу центробежных насосов, что проявляется при перекачке. В статье получены основные уравнения центробежного насоса с учетом газа, находящегося в смеси.

Ключевые слова: центробежный насос, газо-жидкостная система, пузырьки газа, крутящий момент на валу, мощность, масса жидкости.

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy
2023, vol. 15, no. 2, p. 53-58
Ahmadov A.S., Dadash-zada A.R.

Введение

В последнее время основная масса нефти перекачивается центробежными насосами. Многолетний опыт перекачки показывает, что многие добываемые нефти являются жидкостями с насыщенным газом. Отметим, что на последней стадии эксплуатации крупнейших месторождений в продукции скважин в значительных количествах появляется газ – сероводород. Такое проявление ухудшает качество нефти, осложняет их перекачку и переработку, создает трудности при транспортировке. Сероводород опасен и в коррозионном отношении.

От коррозии разрушаются трубопроводы и насосы, в разветвлённых трубопроводах нарушается герметичность этих объектов. В результате происходят аварийные многотонные разливы нефти и смесей в окружающую среду и ее необратимое загрязнение. Поэтому защита от коррозии всего оборудования, насоса, трубопровода является важной технико-экономической и экологической задачей [1-5]. Насосы должны быть способны не только защищать от различных видов аварий, но и одновременно замедлять появление пузырьков газа, т.е. количества сероводорода в продукции. Надежный защитой от коррозии является учет газовых частиц, которые возникают при перекачке жидкости при помощи центробежного насоса.

Целью работы является исследование действия пузырьков газа на работу центробежного насоса и трубопровода.

Постановка задачи

В рамках новой альтернативной концепции рассматривается методика расчета насоса и трубопровода с учетом двухфазной системы «газ – жидкость», что особую актуальность приобретает при перекачке двухфазных систем из нефтяных и газовых месторождений. Рассматривается влияние газа на работу трубопроводов в случае перекачки нефтегазовой системы.

Практика показывает, что из лопастных насосов наиболее широкое применение получили центробежные насосы. Этими насосами пользуются практически во всех областях нефтяной промышленности – водоснабжении, строительстве, при транспортировке нефти по трубопроводам и особенно часто в химической и нефтехимической промышленности. Отметим, что дополнительная энергия дает возможность увеличить начальное давление.

Решение задачи

Известно, что передача энергии потоку жидкости от электродвигателя осуществляется при помощи рабочего колеса. При вращении рабочего колеса смесь газожидкости, заполняющей пространство между лопастями, приходит во вращение. Под влиянием сил, развивающихся при этом, смесь перекачивается к периферии колеса. При этом одновременно увеличивается окружная скорость. Под действием переноса давления смесь поднимается по всасывающему трубопроводу. Приращение энергии смеси в рабочем колесе происходит в основном за счет увеличения окружной скорости.

В различных отраслях промышленности, таких как атомная физика, химическая

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy
2023, vol. 15, no. 2, p. 53-58
Ahmadov A.S., Dadash-zada A.R.

технология, нефтепромысловое дело, большое значение имеет транспортировка углеродов по трубопроводам. Особое значение при транспортировке имеет значение в нефти и газодобывающих отраслях. Когда по трубе на многие 1000 километров перемещаются миллионы кубометров жидкости и газа, возникает перемещение жидкости по горизонтальным поверхностям. Для перекачки с низкого уровня на высший надо применять: 1. насосы; 2. компрессоры; 3. газлифты. Из курса гидравлики мы знаем, что насосы – это гидромашины, которые преобразуют механическую энергию перекачивающей жидкости, повышая ее давление (рис.).

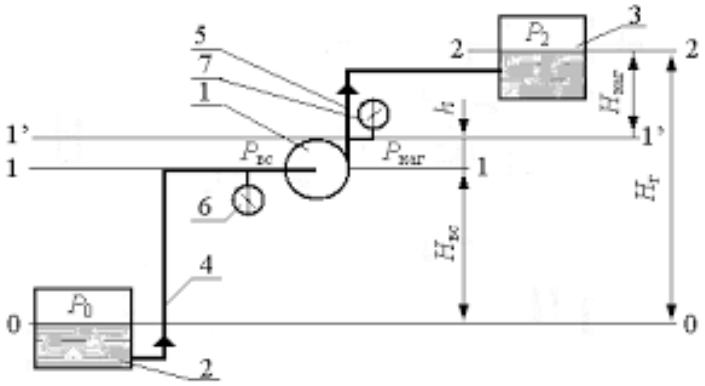


Рисунок – Схема насосной установки: 1 – насос; 2 – расходная емкость; 3 – приемная емкость; 4 – всасывающий трубопровод; 5 – нагнетательный трубопровод; 6 – вакуумметр; 7 – манометр
Figure – Pumping unit diagram: 1 – pump; 2 – consumable capacity; 3 – receiving tank; 4 – suction pipeline; 5 – delivery pipeline; 6 – vacuum gauge; 7 – manometer

В данном случае при перемещении жидкостей и газов в насосе трубопровода является *разность давлений*. Однако существуют аппараты, где движущей силой является природный газ или воздух. Как отмечается в [6-7], перемещение жидкости в газлифтах происходит с разностью плотностей и вязкостей жидкостей и газов в газожидкостной смеси.

В настоящее время известно достаточно много методов по конструкции насосов, которые отличаются по назначению, по конструкции и по перекачиваемой жидкости. Известно много классификационных схем насосов и трубопроводов. Для однородных систем этот процесс изучен [6-7]. Как указано в [6-7], наиболее распространенными схемами является классификация насосов по назначению; по принципу действия; по конструкционным особенностям.

В нашу задачу входит вопрос: современная работа насоса и трубопровода с учетом возникновения новой фазы – газа. Отметим, что во всех случаях возникновения новой фазы резко изменяются основные показатели системы.

Приведённый нами литературный анализ показал, что наиболее распространенными стали центробежные и осевые насосы. Структурный план насоса представляет собой насосную установку, которая имеет *электродвигатель, передаточный механизм и насос.* Данные насосы могут комплектоваться электродвигателем любого исполнения и мощности.

За рубежом в последние годы широкое распространение получили *мотор-*

редуктор и электродвигатель с передаточным механизмом, выполненным в цельном корпусе. На практике, в зависимости от необходимости они могут комплектоваться с преобразователем для главного регулирования скорости вращения, при котором повышается стоимость насоса. Для решения данной задачи мы приняли, что смесь движется между лопастями рабочего колеса параллельными струйками и что вихревое движение и потери напора при движении смеси каналах отсутствуют. Учитывая известную в механике теорему об изменении момента количества движения:

$$\frac{m_2c_2l_2-m_1c_1l_1}{\Delta t}=M_{кр} \qquad (1)$$

где m_1 и m_2 – масса жидкости, прошедшей через рабочее колесо за время от начала до конца; l – плечо момента количества движения;

$$m=\rho Q\Delta t \qquad (2)$$

$$l_2=r_2cos\alpha_2 \text{ и } l_1=r_1cos\alpha_1 \qquad (3)$$

C_1 и C_2 – векторы абсолютной скорости;
α_1 и α_2 – углы схода смеси.

Так как мы имеем дело со смесью, то масса смеси состоит из:

$$m=m_г+m_ж \qquad (4)$$

С учетом плотности и объёма жидкости и газа можно записать как:

$$\rho V=\rho_г V_г+\rho_ж V_ж \qquad (5)$$

где $\rho_ж$ и $\rho_г$ – плотности жидкости и газа; $V_ж$ и $V_г$ – объёмы жидкости и газа; ρ – плотность газо-жидкостной смеси; V – общий объём газо-жидкостной смеси.

Решая относительно времени:

$$\rho Q=\rho_г Q_г+\rho_ж Q_ж \qquad (6)$$

где $Q_ж$ и $Q_г$ – объёмный расход жидкости и газа.

$$m=\rho Q\Delta t=\rho_г Q_г\Delta t+\rho_ж Q_ж\Delta t \qquad (7)$$

С другой стороны:

$$\frac{m_2c_2l_2-m_1c_1l_1}{\Delta t}=M_{кр} \qquad (8)$$

где N_T – теоретическая мощность на валу рабочего колеса с бесконечно большим числом лопаток, w – угловая скорость вращения рабочего колеса, H – напор, создаваемый насосом.

Решая совместно уравнения (8) и (1), имеем:

$$\frac{m_2c_2l_2-m_1c_1l_1}{\Delta t}=\frac{\rho gQH}{\omega} \qquad (9)$$

Работа центробежного насоса характеризуется его подачей, напором, потребляемой мощностью, коэффициентом полезного действия и частотой вращения. Известно, что подачей насоса называется расход жидкости через напорный патрубок. Так же, как и расход, подача может быть объёмной и массовой. Напор представляет собой разность энергий единицы веса жидкости в сечении насоса после насоса.

$$H=Z_1-Z_2+\frac{P_1-P_2}{\rho g}+\frac{v_1^2-v_2^2}{2g}+h_T \qquad (10)$$

где H – полный напор, создаваемый насосом; Z_1, Z_2 – геометрический напор в начале и в конце установки; P_1, P_2 – давление в начале и в конце насоса; v_1 v_2 – скорость потока в начале и конце насоса; ρ – плотность жидкости; g – ускорение свободного падения; h_T – потери напора на трение.

Если система состоит из двух фаз, т.е. газ и жидкость, тогда плотность определяется как:

$$\rho=\rho_ж(1-\varphi)+\rho_ж\varphi \qquad (11)$$

где $\rho_ж$ и $\rho_г$ – плотности жидкости и газа, φ – истинное газосодержание.

Проведенный анализ показал, что истинное газосодержание можно определить от объёмного газосодержания:

$$\varphi = 0{,}83 \cdot \beta \qquad (12)$$

где β – объёмное газосодержание.

$$\beta = \frac{Q_г}{Q_г + Q_ж} \qquad (13)$$

где $Q_г$ и $Q_ж$ – объёмный расход газа и жидкости.

Учитывая, что в системе существует газ, имеем:

$$h_т = \frac{\Delta P}{\rho_ж g} = \frac{\Delta P_ж}{\rho_ж g} \frac{1}{(1-\varphi)^{1,5}} \qquad (14)$$

где ΔP – потери давления в смеси системы газ-жидкость; где $\Delta P_ж$ потери давления для однородной жидкости.

Как видно, возникновение газа в потоке жидкости влияет на работу насоса, т.е. в зависимости от объёмного газосодержания общий напор, созданным насосом, меняется.

В данном случае и мощность насоса тоже меняется:

$$N = Q_g H_p \qquad (15)$$

где Q – общий расход смеси: $Q = Q_г + Q_ж$.

Таким образом, мы получили уравнения напора и мощности центробежного насоса с учетом расхода газа, в составе смеси перекачивающегося через насос.

Заключение

Получены основные уравнения центробежного насоса с учетом газа, находящегося в смеси. Газ в составе смеси изменяет показатели насоса, что необходимо учитывать при проектировании и постройке трубопроводов и насоса. Увеличение / уменьшение параметров насоса зависят от расхода газа в системе, что является актуальной проблемой в проектировании трубопроводов с центробежными насосами.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

REFERENCES

1. **Lovkin Z.V.** Hydraulics. Izhevsk, 2012, 439 p. *(in Russian)*
2. **Gorokhovsky D.V.** Fundamentals of hydraulics and hydraulic drives. Izhevsk, 2012, 319 p. *(in Russian)*
3. **Gusev A.A.** Hydraulics. Moscow. 2013, 285 p. *(in Russian)*
4. **Gusev V.P., Gusev Zh.A.** Fundamentals of hydraulics, Izhevsk, 2014, 222 p. *(in Russian)*
5. **Sukhanov P.P., Razinov Yu.I.** Hydraulics and hydraulic machines, Kazan: *KSTU*, 2010, 159 p. *(in Russian)*
6. **Kasatkin A.G.** Basic processes and apparatuses of chemical technology, *Chemistry*, 2010, 750 p. *(in Russian)*
7. **Kogan V.B.** Theoretical foundations of typical processes and apparats of chemical technology. *Chemistry*, 1977, 592 p. *(in Russian)*
8. **Sultanov E.F., Ismailov S.S., Shikhiyev A.S.** The study of the start-up of the electric transmission of the load pump by means of soft starters, Baku, *Hearald of the Azerbaijan Engineering Academy*. 2020, 97p. *(in Azerbaijani)*

Calculation of the Flow Rate of a Gas Dynamically Imperfect Production Well According to the Degree of Formation Penetration in Underground Gas Storages (UGS)

O.A. Aliyeva[1], A.S. Aliyev[2]

[1]*Azerbaijan State Oil and Industry University (Azadlig ave, 16/21, Baku, AZ 1010, Azerbaijan)*
[2]*Research institute "Geotechnological Problems of oil, gas and Chemistry" (D. Aliyeva str., 227, Baku, AZ1010, Azerbaijan)*

For correspondence:
Aliyeva Afeliya / e-mail: aliyeva.afeliya@inbox.ru

Abstract

The exact debit formula for the gas-dynamic unfinished flatbed production well drilled in the underground gas storage has been derived. The reservoir layer is horizontal and homogeneous; gas wells were not completed according to the degree of opening of the storage layer, and were completed due to the nature of the opening. The infiltration flow from the open upper part of the formation to the production well is simple flat-radial. The flow from the unopened part to the production well is complex, if the curve is radial. A new method was proposed to solve the problem, where a flat-bottomed production gas well was replaced by a production gas well with a hollow hemispherical surface, all other parameters were accepted as equal in price. Using the theory of gas filtration, a formula was derived for the gas flow rate of the second production well with a hollow hemispherical surface, which will be the exact flow rate formula for a flat-bottomed well.

Keywords: underground gas storage, flat-bottomed well, reservoir penetration degree, gas dynamic imperfect well, debit formula, cone bit, capital the attachment, hemispherical-radial flow, curvilinear radial flow, flat radial flow.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_59_63

Received: *25.02.2022*
Revised: *19.06.2023*
Accepted: *21.06.2023*

For citation:
Əliyeva O.Ə., Əliyev Ə.S.
[Calculation of the flow rate of a gas dynamically imperfect production well according to the degree of formation penetration in underground gas storages (UGS)]
Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 59-63 *(in Azerbaijani)*

Yeraltı qaz anbarında (YQA) layın açılma dərəcəsinə görə qazodinamik tamamlanmamış yastıdibli hasiledici quyunun debitinin hesablanması

O.Ə. Əliyeva[1], Ə.S. Əliyev[2]
[1]*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı ş., AZ1010, Azərbaycan)*
[2]*Neftin, qazın geotexnoloji problemləri və kimya ETİ (D. Əliyeva küç., 227, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)*
Yazışma üçün:
Əliyeva Afeliya / e-mail: aliyeva.afeliya@inbox.ru

Xülasə

Məqalədə yeraltı qaz anbarında qazılmış, layın açılma dərəcəsinə görə qazodinamik tamamlanmamış yastıdibli hasiledici quyunun dəqiq debit düsturu çıxarılmışdır. Qaz anbarının layı horizontaldır və bircinslidir; qaz quyuları anbar layının açılma dərəcəsinə görə tamamlanmamışdır, açılma xarakterinə görə isə tamamlanmışdır. Layın açılmış yuxarı hissəsindən hasiledici quyuya süzülmə axını sadə yastı-radialdır; aşağı açılmamış hissəsindən hasiledici quyuya axın isə mürəkkəbdir, yəni əyri xətli radialdır. Qoyulmuş məsələni həll etmək üçün yeni metod təklif edilmişdir, burada yastı dibli hasiledici qaz quyusu dibi çökək yarımsfera səthi şəklində olan hasiledici qaz quyusu ilə əvəz edilmişdir, bütün digər parametrlər uyğun olaraq, qiymətcə bir-birinə bərabər qəbul edilmişdir. Qazın süzülməsi nəzəriyyəsindən istifadə edərək, dibi çökək yarımsfera səthi olan hasiledici ikinci quyunun qaz debiti üçün düstur çıxarılmışdır ki, bu da yastı dibli verilmiş quyunun dəqiq debit düsturu olacaqdır.

Açar sözlər: yeraltı qaz anbarı (YQA), qazın aktiv və bufer həcmləri, kəşfiyyat, qaz kəməri, sənaye istismarı, geoloji strukturlar, qaz boşluğu, maksimal və minimal təzyiqlər, keçiricilik, məsaməlik.
DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_59_63

УДК 622.27.621.52

Расчет дебита газодинамической несовершенной эксплуатационной плоскодонной скважины по степени вскрытия пласта в подземных хранилищах газа (ПХГ)

О.А. Алиева[1], А.С. Алиев[2]
[1]*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг, 16/21, Баку, AZ1010, Азербайджан)*
[2]*НИИ Геотехнологические проблемы нефти, газа и химии (ул. Д. Алиевой, 227, Баку, AZ1010, Азербайджан)*
Для переписки:
Алиева Афелия / e-mail: aliyeva.afeliya@inbox.ru

Аннотация

В статье впервые выведена точная формула дебита газа плоскодонной скважины, газодинамически несовершенной по степени вскрытия пласта подземного хранилища газа. Пласт газового амбара горизонтально однороден, газовые скважины газодинамически несовершенны по степени вскрытия пласта амбара и совершенны по характеру вскрытия пласта. Во вскрытой верхней части пласта фильтрационный поток газа из амбара к скважине плоско-радиальный, а в нижней, невскрытой части пласта к скважине проходит сложный, криволинейно-радиальный поток. Для решения поставленной задачи предложен новый метод: здесь плоскодонная добывающая газовая скважина заменена скважиной, забой которой имеет вогнутую полусферическую поверхность, все другие соответствующие параметры приняты равными друг другу. Используя теорию фильтраций газа, выведена формула дебита газа второй скважины, которая является формулой точного дебита газа заданной плоскодонной скважины.

Ключевые слова: подземное хранилище газа (ПХГ), плоскодонная скважина, степень вскрытия пласта, газодинамическая несовершенная скважина, формула дебита, шарошечное долото, капиталь, вложение, полусферический радиальный поток, криволинейно-радиальный поток, плоско-радиальный поток.

Giriş

Təbii qaz yataqlarında olduğu kimi, yeraltı qaz anbarlarında (YQA) da karbohidrogen qazının özlülüyü lay şəraitlərində olan digər flüidlərin, yəni lay neftinin və lay suyunun özlülüklərindən dəfələrlə aşağı olur. Ona görə də təbii qazın süzülmə qabiliyyəti (süzülmə sürəti) onlara nisbətən çox yüksək olur. Bu səbəbdən, qaz quyuları arasındakı məsafəni neft yata-ğındakından çox götürürlər.

Həm də onların layın açılma dərəcəsinə görə qazodinamik tamamlanmış deyil, tamamlanmamış olmaları məsləhətdir.

İşin məqsədi

Məlumdur ki, quyular şaroşkalı baltalarla qazılırlar və onlar yastıdibli olurlar.

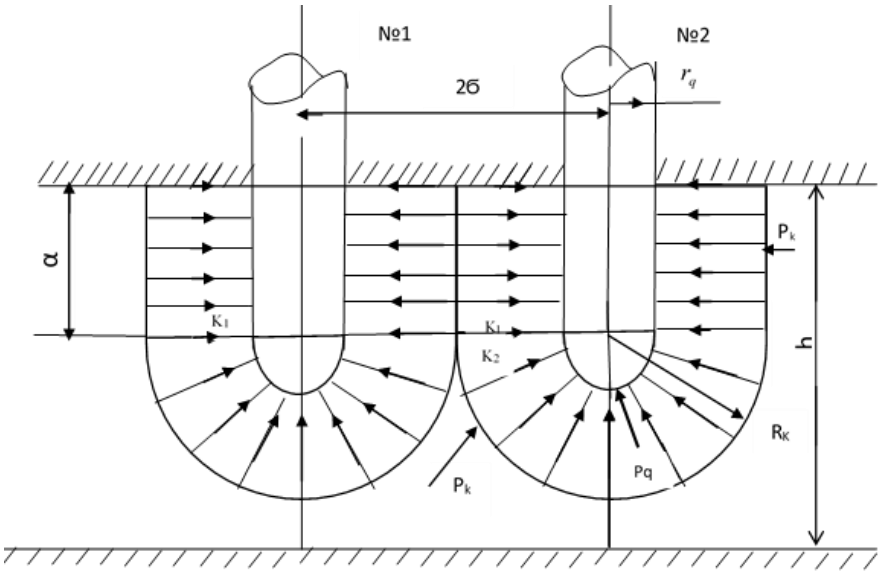
Yastıdibli quyunu işə salanda, orda iki müxtəlif süzülmə axınları baş verir (şəkil):

1. Layın açılmış yuxarı hissəsində - yastıradial sadə;
2. Layın açılmamış aşağı hissəsində - mürəkkəb (yəni əyri xətli radial axın).

Qeyd etmək lazımdır ki, neft yataqlarında layın açılma dərəcəsinə görə natamam yastıdibli quyunun dəqiq debit düsturu hələ indiyədək çıxarılmamışdır. Lakin hesablamalarda bundan fərqli olaraq, təxmini düsturlar çıxarılmışdır [1, 2].

Lakin təbii qaz yataqlarında yaxud yeraltı qaz anbarlarında (YQA) indiyədək bunun üçün heç cəhd də edilməmişdir və ədəbiyyatda bu məsələ ilə bağlı heç bir məlumat yoxdur.

Bu məqalədə, qeyd edilmiş məsələnin həlli üçün çox maraqlı bir üsul təklif edilmişdir.



Şəkil – Qaz anbarında hasiledici qaz quyusunun sxemləri: 1 - yastıdibli; 2 - çökək yarımsfera dibli
Figure – Schemes of production gas well in gas storage: 1 - flat bottom; 2 - concave hemisphere bottom

Şəkildə aşağıdakı şərti işarələr qəbul edilmişdir: R_k - qidalanma konturunun radiusu; r_q - quyunun radiusu; h - layın qalınlığı; α - layın açılmış hissəsinin qalınlığı; 2σ - iki qonşu quyular arasındakı məsafə; P_k - lay təzyiqi; P_q - quyudibi dinamik təzyiq; K_1 - layın yuxarı hissəsində qaza görə keçiricilik əmsalı; K_2 - quyu №2 üzrə layın aşağı hissəsinin qaza görə keçiricilik əmsalı.

İşin yerinə yetirilməsi

Təklif edilmiş üsulda yastıdibli hasiledici qaz quyusu, dibi çökək yarımsfera şəklində olan hasiledici qaz quyusu ilə əvəz edilmişdir, özü də bu quyuların bütün digər geoloji-fiziki xassələri (parametrləri) qiymətcə bərabər qəbul edilmişdir [3].

Yeraltı qaz anbarının (YQA) açılmış yuxarı hissəsində hər iki quyular (№1 və №2) üzrə cari süzülmə sürəti aşağıdakı düsturla ifadə olunur, çünki burada yastı radial sadə axın baş verir:

$$\upsilon_1 = \frac{K_{q1}}{\mu_q}\frac{dp}{dr} = \frac{K_{q1}\left(P_k^2 \neg P_q^2\right)}{2\mu_q P(r)\ln\frac{R_k}{r_q}} \bullet \frac{1}{r} \qquad (1)$$

Hasiledici qaz №2 quyusu üzrə layın açılmamış aşağı hissəsində yarım-sferik sadə axın baş verir və cari süzülmə sürəti aşağıdakı düsturla təyin olunur [4-6]:

$$\upsilon_2 = \frac{K_{q2}}{\mu_q}\frac{dp}{dr} = \frac{K_{q2}\left(P_k^2 \neg P_q^2\right)}{2p(r)\mu_1\left(\frac{1}{r_q} \neg \frac{1}{R_k}\right.} \bullet \frac{1}{r^2} \qquad (2)$$

Qaz anbarının yuxarı açılmış hissəsində cari süzülmə səthinin sahəsi

$$F_1 = 2\pi rh \qquad (3)$$

olacaq.

Hasiledici qaz quyusu №2 üzrə layın aşağı açılmamış hissəsində cari süzülmə səthinin sahəsi isə:

$$F_2 = 2\pi r^2 \qquad (4)$$

olacaqdır.

Yeraltı qaz anbarının yuxarı açılmış hissəsindən hasiledici quyu №2-nin qaz debiti aşağıdakı şəkildə olacaq:

$$Q_1 = F_1\upsilon_1 = \frac{2\pi K_1 h(P_k^2 \neg P_q^2)}{P_0\mu_q \ln\frac{R_k}{r_q}} \qquad (5)$$

Anbarın aşağı açılmamış hissəsindən hasiledici qaz quyusu №2-nin qaz debiti isə

$$Q_2 = F_2\upsilon_2 = \frac{K_2\left(P_k^2 \neg P_q^2\right)}{2p(r)\mu_q\left(\frac{1}{r_q} \neg \frac{1}{R_k}\right)} \qquad (6)$$

olacaq.

Qaz anbarının hasiledici qaz quyusu №2-nin tam qazın debiti isə aşağıdakı kimi olacaq:

$$Q = Q_1 + Q_2 = \frac{2\pi K_1 h\left(P_k^2 \neg P_q^2\right)}{P_0\mu_q \ln\frac{R_k}{r_q}} + \frac{K_2\left(P_k^2 \neg P_q^2\right)}{2p(r)\mu_q\left(\frac{1}{r_q} \neg \frac{1}{R_k}\right)} = \left[\left[\frac{2\pi K_1 h}{p_0 ln\frac{R_k}{r_q}}\right] + \frac{K_2}{2p(r)\left(\frac{1}{r_q} \neg \frac{1}{R_k}\right)}\right] \bullet \frac{P_k^2 \neg P_2^2}{\mu_q} \qquad (7)$$

Düstur (7) ilə hasiledici yastıdibli quyu №1-in dəqiq tam qaz debiti təyin edilir. Beləliklə, məqalədə qoyulmuş məsələ tamamilə həll edilmiş olur [5, 7].

Nəticə

Məqalədə, yeraltı qaz anbarında (YQA) qazılmış layın açılma dərəcəsinə görə qazodinamik tamamlanmamış yastıdibli hasiledici qaz quyusunun dəqiq debit düsturu çıxarılmışdır.

Qaz anbarının layı horizontal vəziyyətdə yatmışdır və bircinslidir; qaz quyuları anbar layının açılma dərəcəsinə görə tamamlanmamışdır, açılma xarakterinə görə isə tamamlanmışdır.

Layın açılmış yuxarı hissəsindən hasiledici quyuya süzülmə axını sadə yastı-radialdır;

aşağı açılmamış hissəsindən hasiledici quyuya axın isə mürəkkəbdir, yəni əyri xətli radialdır.

Qoyulmuş məsələni həll etmək üçün yeni metod təklif edilmişdir, burada yastıdibli hasiledici qaz quyusu dibi çökək yarımsfera səthi şəklində olan hasiledici qaz quyusu ilə əvəz edilmişdir, bütün digər parametrlər uyğun olaraq, qiymətcə bərabər götürülmüşdür.

Qazın süzülməsi nəzəriyyəsindən istifadə edilərək, dibi çökək yarımsfera səthi olan hasiledici ikinci quyunun qaz debiti üçün düstur çıxarılmışdır ki, bu da yastı dibli verilmiş quyunun debit düsturu olacaq.

Məsələni bu cür həll etdikdə xeyli uzunluqda quyuların qazılması ixtisar olunur və kapital qoyuluşuna qənaət edilir.

Maraqlar münaqişəsi

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

REFERENCES

1. **Shchelkachev V.N., Lapuk B.B.** Podzemnaya gidravlika. Moskva-Leningrad: *Gostoptekhizdat,* 1949, s.126-128; s.523 *(in Russian)*
2. **Charnyj I.A.** Podzemnaya gidrogazodinamika. Moskva*: Gostoptekhizdat,*, 1963, s.145-149; s. 396 *(in Russian)*
3. **Mustafaev S.D., Alieva M.G.** Vliyanie profilya buryashchijsya skvazhiny na reshenie teoreticheskih zadach razrabotki neftyanyh mestorozhdenij, *ANH*, №9, 2015, s.14-17 *(in Russian)*
4. **Mirzəcanzadə A.X., Əhmədov Z.M.** Yeraltı hidroqazodinamika. Bakı, 1986, s.33-35; s.100 *(in Azerbaijani)*
5. **Mirzəcanzadə A.X.** və başq. Neft-qaz yataqlarının işlənməsi və istismarının nəzəri əsasları. // *Azərbaycan Dövlət Neft və Elmi-texniki ədəbiyyat nəşriyyatı.* Bakı, 1960, 412 s. *(in Azerbaijani)*
6. **Aliyeva O.A., Aliyev A.S.** Stationary filtration of natural gas in the underground gas storage by spherical-radial flow// DEUTSCHE international Zeitschrift, für zeitgenössische Wissenschaft, №17, s. 5-7, 2021 *(in Germany)*
7. **Əliyeva O.Ə., Əliyev Ə.S.** Yeraltı qaz anbarlarının yaradılması və kəşfiyyat-sənaye istismarı zamanı qazın vurulması və çıxarılması. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*, 2021, cild 13, № 3, s. 61-66 *(in Azerbaijani)*

Dynamic Viscosity of Gases at Temperature and Pressure

E.R. Hajibalayev

Azerbaijan State Marine Academy (Zarifa Aliyeva st. 18, Baku, AZ1000, Azerbaijan)

For correspondence:

Hajibalayev Elvin / e-mail: ehacibalayev@inbox.ru

Abstract

The following issues are considered in the article: the concept of viscosity in liquids and gases; the effect of pressure and temperature changes on the process. Dependence of viscosity of natural gas on pressure and temperature. Based on laboratory studies, the analysis was performed using the small squares method and an empirical equation was obtained. Determining the error in a given value of the correlation coefficient.

Keywords: gas, viscosity, pressure, temperature, laboratory researches.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_64_68

Accepted *24.02.2022*
Received *19.06.2023*
Revised *21.06.2023*

For citation:
Hajibalayev E.R.
[Dynamic viscosity of gases at temperature and pressure]
Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 64-68 *(in Azerbaijani)*

Qazların təzyiq və temperaturda dinamiki özlülüyü

E.R. Hacıbalayev

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası (Zərifə Əliyeva küç.18, Bakı, AZ1000, Azərbaycan)

Yazışma üçün:
Hacıbalayev Elvin / e-mail: ehacibalayev@inbox.ru

Xülasə

Məqalədə aşağıdakı məsələlərə baxılıb: maye və qazlarda özlülük anlayışı; təzyiq və temperaturun dəyişməsinin prosesə təsiri. Təbii qazın özlülüyünün təzyiq və temperaturdan aılılığı. laboratoriya tədqiqatlarını əsas götürərək, kiçik kvadratlar metodu vasitəsilə analiz aparılmış və empirik tənlik əldə edilmişdir. Korrelyasiya əmsalının verilmiş qiymətində xəta təyin olunmuşdur.

Açar sözlər: qaz, özlülük, təzyiq, temperatur, laboratoriya tədqiqatları.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_64_68

УДК 533.16

Динамическая вязкость газов при давлении и температуре

Э.Р. Гаджибалаев

Азербайджанская государственная морская академия (ул. Зарифы Алиевой, 18, Баку, AZ1000, Азербайджан)

Для переписки:
Гаджибалаев Эльвин / e-mail: ehacibalayev@inbox.ru

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы применительно к понятию вязкости в жидкостях и газах, а также влияние изменения давления и температуры на процесс. Получены зависимости вязкости природного газа от давления и температуры. На основании лабораторных исследований выполнен анализ методом малых квадратов и получено эмпирическое уравнение. Определены погрешности заданного значения коэффициента корреляции.

Ключевые слова: газ, вязкость, давление, температура, лабораторные исследования.

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy
2023, vol. 15, no. 2, pp. 64-68
Hajibalayev E.R.

Giriş

Özlülük təbii qaza və mayeyə xarakterik olan amillərdən biridir. Özlülük maye və qazların layda, nasos və kompressor boru-kəmərlərində nəql edilməsində, süxurların məsamələrində hərəkəti zamanı xüsusi əhəmiyyətli olan parametrlərdən biridir. Özlülük, yaxud qazlarda yaranan daxili sürtünmə qüvvəsi molekulların hərəkəti zamanı bir-birinə müqavimət göstərməsindən meydana çıxan parametrdir.

Ədəbiyyatda qazların bu xassələri göstərilmişdir. Lakin bildiyimiz kimi layda qazın təzyiqi və temperaturu böyük olur. Ona görə də bir çox parametrlərin təzyiqi və temperaturdan asılılığı praktikada özünü göstərir.

Laboratoriya tədqiqatları göstərir ki, bir çox hallarda təzyiq və temperaturun dəyişməsi, bir çox parametrlərin dəyişməsi həm prosesə, həm də texniki hesabatlara təsir göstərir. Bu hesabatlara əsasən qazın sərfi, təzyiqlər fərqi kəskin dəyişir [1-3].

Aparılan hesabatlar göstərir ki, özlülüyün təzyiq və temperaturdan asılı olaraq dəyişməsi qaza, dinamiki proseslərə təsir göstərir. Hesabatı asanlaşdırmaq məqsədi ilə gətirilmiş təzyiq və gətirilmiş temperatur anlayışından istifadə edilmişdir.

İşin məqsədi

Ədəbiyyatda külli miqdarda laboratoriya tədqiqatları var. Bu məlumatları toplayıb, riyazi üsullarla analiz edib, təbii qazın dinamiki özlülüyünün temperatur və təzyiqdən aslılığı verilmişdir. Mayelərdə olduğu kimi, qazlarda da özlülük anlayışına malikdirlər. Fərz edək ki, bir-birindən müəyyən məsafədə yerləşən iki müstəvi lövhələrin arasında qaz yerləşir. Qəbul edək ki, çox böyük olmayan qüvvənin təsiri altında lövhələrin biri hərəkət edir. Bu zaman lövhələr müəyyən sürətdə hərəkət edir. Lövhəyə toxunan qaz qatı başqa sürət ilə hərəkət edir.

Qaz təbəqələri arasında molekulların xaotik hərəkəti və qarşılıqlı cazibə qüvvəsinin təsiri ilə yaranan daxili sürtünmə nəticəsində üst təbəqə ilə birlikdə hərəkətə qoşulur. Lakin təbəqələr arasında sürətlər arası fərq yaranır, yəni alt təbəqə üst təbəqənin hərəkətini dayandırmağa cəhd edir. Bunun nəticəsində üst təbəqənin sürəti alt təbəqnin sürətindən çox olur.

Belə təbəqələr arasında laminar hərəkət yaranır. Göstərilən hərəkət zamanı əks istiqamətə yönəlmiş sürtünmə qüvvəsi nəticəsində hərəkət edən lövhədən uzaqlaşdıqca qaz molekullarının sürəti azalır və tərpənməz lövhədə olan qazın sürəti sıfır olur.

Məsələnin qoyuluşu

Qaz dairəvi boruda axarkən laminar rejimdə hərəkət edən qaz molekulların en kəsik boyunca radiusdan asılı olaraq sürətin paylanması parabolik qanunla verilir. Göstərilən halda boru divarında toxunan qaz molekullarının sürəti sıfıra bərabər olur, borunun mərkəzində isə sürət maksimum olur.

Bir-birinə çox yaxın olan qaz təbəqələrinin arasında məsafəni (dx) u (dr) işarə etsək, onda təbəqələr arasında sürətin azalmasını (du) ifadə edək. Onda hesabata sürət qradienti anlayışını daxil etmək olar. Onda göstərmək olar ki, qaz təbəqələrinin hərəkətində sürət qradienti sürüşmə deformasiyasının sürətinə bərabər olur.

Hesabatı aparmaq üçün hər hansı bir nöqtələr arasında qazın həcmini nəzərdən keçirək. Təbəqələrin müxtəlif sürətlə hərəkət etdiyini nəzərə almaqla qazlar həcmi

deformasiyaya uğrayır. Onda kiçik bucaq üçün yazmaq olur ki, $d\varphi = tg(d\varphi) = \frac{du \cdot dt}{dx}$

Sonuncu tənliyi başqa şəkildə də ifadə etmək olur.

$$d\varphi = tg(d\varphi) = \frac{du \cdot dt}{dr} \quad (1)$$

Tənliyi aşağıdakı, kimidə ifadə etmək olar.

$$\frac{du}{dx} = \frac{d\varphi}{dt} \text{ və ya } \frac{du}{dr} = \frac{d\varphi}{dt} \quad (2)$$

Qeyd etmək olar ki, Nyuton qanununa görə, qaz molekullarının hərəkət zamanı daxili sürtünmə qüvvəsi bu qüvvənin tətbiq olunduğu təbəqələrin sahəsi və təbəqələr arasındakı sürət qeadientinin modulu ilə düz mütanasibdir.

$$F = \pm \mu s \frac{du}{dx} \text{ və ya } F = \pm \mu s \frac{du}{dr} \quad (3)$$

Burada μ-mütənasiblik əmsalı olub, qazın dinamiki özlülüyü adlanır.

Sonuncu tənlikdən qazın dinamiki özlülüyünü tapmaq olur. Nyuton qanununa tabe olan qazlar üçün özlülük invariant xassəsi sayılır. Özlülüyün tərs qiyməti isə axıcılıq adlanır. Bu özü xarici qüvvələrin təsiri altında qazın axma qabliyyətini xarakerizə edir.

Məsələnin həlli

Qazların özlülüyü temperaturdan aslı olaraq dəyişir. Lakin qazın dinamik özlülüyünün həm temperaturdan, həm də təzyiqdən aslılığını ifadə edən düstur yoxdur. Baxılan işdə aparılan təcrübələr əsasında verilmiş materiala əsasən özlülüyün təzyiq və temperaturdan aslılığını göstərməkdədir [1-5].

İndiki zamanda qazların dinamiki özlülüyünün təyin etmək üçün xüsusi nəzəriyyə yoxdur. Ona görədə nəzəri hesabat nəticəsində özlülüyü təzyiq və temperaturdan aslılığı yoxdur. Bunu nəzərə alaraq labaratoriya tədqiqatlarına müraciət edilir. Xarici ədəbiyyatda korrelyasiya metodu kimi təbii qazın temperaturdan aslılığı verilmişdir. Lakin burda labaratoriya tədqiqatları yalnız atmosfer təzyiqində aparılmışdır [1].

Digər metodlarla yanaşı [3-5] ədəbiyyatdada külli miqdarda laboratoriya tədqiqatlarını verilmişdir. Bu labaratoriya tədqiqatlarını əsas götürərək, kiçik kvadratlar metodu vasitəsi ilə analiz aparılmış və aşağıdakı emprik tənlik anlınmışdır.

$$\frac{M_{P,T}}{M_o} = (1{,}85 \cdot p_g - 0{,}29 \cdot P_g^2 + 1{,}51)(\frac{1}{T_g})^8 + (1{,}81 P_g - 0{,}02 \cdot P_g^2 + 1{,}82)(\frac{1}{T_g})^4 + \left(0{,}01 \cdot P_g^2 - 0{,}17 \cdot P_g + 1{,}49\right) \quad (4)$$

Burada $M_{p,T}$ – gətirilmiş təzyiq və temperaturda təbii qazın dinamiki özlüzlüyü; M_o – atmosfer şəraitində, yəni normal təzyiq və temperaturda qazın dinamik özlülyü; P_g – gətirilmiş təzyiq; T_g –gətirilmiş temperatur.

Burda gətirilmiş temperatur və təzyiq aşağıdakı tənliklərdə tapılır.

$$P_g = \frac{P}{P_b} T_g = \frac{T}{T_g} \quad (5)$$

Burda P_b və T_b - verilmiş qazın böhran təzyiqi və temperaturdur.

Aparılan analiz zamanı müxtəlif tərkibli qazların dinamiki özüllükləri nəzirə alınmışdır [6]. Bunu nəzərə alaraq hesabatda təbii qazın mol tərkibində qəbul olunmuşdur.

$$P_b = \sum_{i=1}^{n} y_i \, p_{b,i} \text{ və } T_b = \sum_{i=1}^{n} y_i \, T_{b,i} \quad (6)$$

Burada $p_{b,i}T_{b,i}$ - ayrı-ayrı komponentlərin böhran təzyiq və y_i - qarışığın mol komponentidir.

Aparılan hesabatlar göstərir ki, verilmiş metod əsasında hesabatlarda xətta korrelyasiya əmsalının 0,9 qiymətində 3-5 % təşkil edir.

Nəticə

Müxtəlifin tədqiqatları əsasında laboratoriya nəticələri analiz olunmuşdur.

Verilmiş laboratoriya tədqiqatları əsasında hesabat metodu təklif olunur.

Maraqlar münaqişəsi

Müəllif bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edir.

REFERENCES

1. **Carr N.Z., Kobayash R., Burrows D.B.** $Trans\ A$.1.M.E. 1984, pp. 201-264. *(in English)*
2. **Lee A.L., Consaler M.H., Eakin B.E.** Journal. Petrol. Teach, no. 8, 1966, 997 p. *(in English)*
3. Natural gas production, transport and processing guide. Under the direction of J.M. Korotayeva, 2005, 365 p. *(in Russian)*
4. **Amix D., Base D., Whiting R.** Oil reservoir physics. *State Scientific and Technical Publishing House of Oil and Mining and Fuel Literature*. 1962, 402 p. *(in English)*
5. Oilfield development handbook. Part II. Izhevsk, 2015, 278 p. *(in Russian)*
6. http://www.ama.com.az/wp-content/uploads/2022/01/Volume13-N4-2021.pdf

Application of Nanotechnological Devices in Mobile Phones

B.H. Aliyev[1], Kh.M. Gashimov[2], A.E. Mamedova[3], J.R. Sultanova[1]

[1]*MAKA-Institute of Ecology (S.S. Akhundov str.1, Baku, AZ 1115, Azerbaijan)*
[2]*Azerbaijan State Economic University (Istiglaliyyat str. 6, Baku, AZ1001, Azerbaijan)*
[3]*Aghdam State College of Social Economy (Aghdam dist., Baku, AZ1122, Azerbaijan)*

For correspondence:
Sultanova Jeyran / e-mail: ceyranrehmetova@mail.ru

Abstract

The purpose of the work is to acquire a new type of PowerBank by applying a device obtained using nanotechnology to an existing PowerBank. For this, a Chinese-made PowerBank was purchased in China, and a new type of PowerBank (YPB) was developed by adding a solar battery made on the basis of palladium silicide using nanotechnology. YPB is powered by both battery and solar panels. On the other hand, the YPB battery can also be charged via a solar panel. The advantage of YPB is that it can work in places where there is no mains power. When charging YPB, it can be left in the network from night to morning, as the solar panel is automatically disconnected from the network after charging the battery.

Keywords: nanotechnologe, solar battery, silicide, palladium silicide,battery, powerbank.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_69_73

Received *03.11.2022*
Revised *19.06.2023*
Accepted *21.06.2023*

For citation:
Aliyev B.H., Gashimov Kh.M., Mamedova A.E., Sultanova J.R.
[Application of nanotechnological devices in mobile phones]
Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 69-73 *(in Azerbaijani)*

Nanotexnoloji qurğunun mobil telefonlarda tətbiqi

B.H. Əliyev[1], X.M. Həşimov[2], Ə.E. Məmmədova[3], C.R. Sultanova[1]

[1] *MAKA-nın Ekologiya İnstitutu (S.S. Axundov küçəsi 1, Bakı, AZ1115, Azərbaycan)*
[2] *Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti (İstiqlaliyyət küç. 6, Baku, AZ 1001, Azərbaycan)*
[3] *Ağdam Dövlət Sosial İqtisad Kolleci (Ağdam rayonu, AZ 0200, Azərbaycan)*

Yazışma üçün:
Sultanova Ceyran /e-mail: ceyranrehmetova@mail.ru

Xülasə

İşdə nanotexnologiyanın köməyi ilə alınmış qurğunu mövcud PowerBanka tətbiq etməklə yeni növ PowerBankın alınmasından bəhs olunur. Bunun üçün Çin istehsalı olan PowerBank Çin Xalq Respublikasından alınmışdır və ona nanotexnologiyanın köməyi ilə palladium silisid əsasında hazırlanmış günəş batareyası əlavə edərək yeni növ PowerBank (YPB) hazırlanmışdır. YPB həm akkumulyator batareyası, həm də günəş batareyası ilə işləyir. Digər tərəfdən günəş batareyası vasitəsilə YPB-ın akkumulyator batareyasını da doldurmaq olar. YPB-ın üstünlüyü ondan ibarətdir ki, o elektrik şəbəkəsi olmayan yerlərdə də işləyə bilər. YPB-ı dolduran zaman onu gecədən səhərə qədər də şəbəkədə saxlamaq olar, çünki günəş batareyası akkumulyator batareyasını doldurduqdan sonra avtomatik olaraq şəbəkədən ayrılır.

Açar sözlər: nanotexnologiya, günəş batareyası, silisid, palladium silisid,akkumulyator, powerbaqnk,

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_01_69_73

УДК 539.216.1.

Применение нанотехнологических устройств в мобильных телефонах

Б.Г. Алиев[1], Х.М. Гашимов[2], А.Э. Мамедова[3], Дж.Р. Султанова[1]

[1]*МАКА - Институт экологии (ул. С. Ахундова, AZ 1115, Баку, Азербайджан)*
[2]*Азербайджанский государственный экономический университет (ул. Истиглалият 6, Баку, Азербайджан)*
[3]*Агдамский государственный колледж социальной экономики (Агдамский район, AZ1122,Баку, Азербайджан)*

Для переписки:

Джейран Султанова /e-mail: ceyranrehmetova@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается приобретение PowerBank нового типа путем применения устройства, полученного с помощью нанотехнологий, к существующему PowerBank. Для этого в КНР был закуплен PowerBank китайского производства, а также разработан новый тип PowerBank (YPB) путем добавления солнечной батареи, изготовленной на основе силицида палладия с помощью нанотехнологий. YPB питается как от аккумуляторной батареи, так и от солнечной батареи. С другой стороны, аккумулятор YPB также можно заряжать через солнечную батарею. Преимущество YPB в том, что он может работать в местах, где нет электросети. При зарядке YPB его можно оставлять в сети с ночи до утра, так как солнечная батарея автоматически отключается от сети после зарядки аккумулятора.

Ключевые слова: нанотехнология,солнечная батарея, силицид, силицид палладия, аккумулятор, powerbank.

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy
2023, vol. 15, no. 2, pp. 69-73
Aliyev B.H. et al.

Giriş

Müasir zamanda mobil telefonlardan istifadə gündəlik həyat normasına çevrilib. İnsanların əksəriyyəti səhər evdən çıxarkən hökmən telefonlarını götürüb-götürmədiklərini yoxlayırlar. Onların 90%-dən çoxu son pullarını belə mobil balansı artırmağa xərcləyirlər. Telefonların əksəriyyətinin gündəlik yaxud günaşırı doldurulmağa ehtiyacı olur.

Adətən telefonları şəbəkədən Adapter (doldurucu aparat) ya da PowerBank vasitəsilə doldururlar. Lakin səyahət zamanı və ya şəbəkə olmayan yerlərdə mobil telefonlar doldurulmağa ehtiyac duyulur.

Təklif olunan yeni qurğu (yeni PowerBank - YPB) elektrik şəbəkəsi olmayan yerlərdə mobil telefonları doldurmağa imkan verir. YPB əlavə olaraq silisid palladium – silisium Şottki kontaktı əsasında günəş elementi ilə təchiz olunmuşdur. Günəş elementləri (günəş batareyaları) Şottki kontaktlı fotodiodlardan təşkil olunmuşdur. Şottki fotodiodlarında alüminium kontaktı əvəzinə palladium silisid (PdSi) götürülmüşdür. PdSi "Oratoriya-5" qurğusunda maqnetron çökdürmə üsulu ilə alınmışdır.

İşin məqsədi

Nanotexnologiyanın köməyi ilə alınmış qurğunu mövcud PowerBanka tətbiq etməklə yeni növ PowerBankın alınmasıdır.

Məsələnin qoyuluşu

Günəş elementləri ümumi sahəsi 6 x 10 sm^2 olan silisium lövhə üzərində planar üsulla alınmışdır. Qalınlığı 300 mkm, yükdaşıyıcıların konsentrasiyası 1,5 x 10^{15} sm^{-3} olan standart silisium yarımkeçirici lövhəsi 20 saniyə ərzində kimyəvi aşınmaya məruz qalır və deionizasiya olunmuş suda yuyulur. Sonra lövhə 1000^0C temperaturda su buxarı atmosferində saxlanılır və bu zaman onun üzərində qalınlığı 0,5 mkm olan silisium dioksid təbəqəsi formalaşır. Şablonların köməyi ilə oksid təbəqəsindən fotolitoqrafiya üsulu ilə kiçik pəncərə açılır.

Hər bir pəncərənin sahəsi 1,2 x10^{-6} sm^2 təşkil edir. Növbəti əməliyyatda silisium təbəqəsinin üzərinə vakuum buxarlanma, yaxud maqnetron çökdürmə üsulu ilə 200 A^0 qalınlıqlı palladium təbəqəsi çəkilir. Maqnetron çökdürmə "Oratoriya -5" qurğusunda aşağıda göstərilən rejimdə aparılmışdır: qurğudakı təzyiq P=5 x10^{-5} paskal; hədəfə verilən gərginlik U = 450 V; anoda düşən cərəyan şiddəti J = 0,3 A; çökdürmənin davametmə zamanı T = 200 saniyə; termiki emalın müddəti,termiki t = 30 dəq, 8 saat; termiki emaldakı qaz qarışığı – H_2+O_2.

Məsələnin həlli

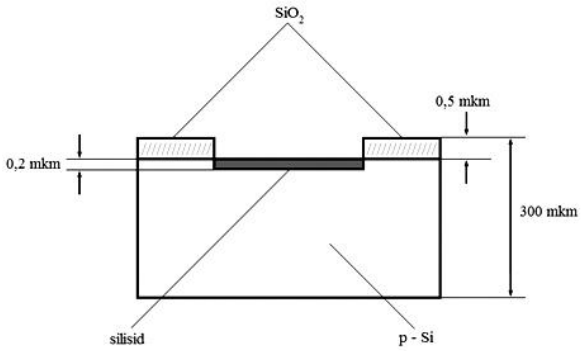
"Oratoriya-5" qurğusunda plazma almaq üçün işçi maddə kimi arqon (Ar) təsirsiz qazı istifadə olunmuşdur.

Termiki emal nəticəsində palladiumla silisium kimyəvi reaksiyaya girərək palladium silisid əmələ gətirir [1].

Reaksiyada iştirak etməyən palladium çar arağı adlanan həlledicinin köməyi ilə kənarlaşdırılır. Çar arağı 3:1 nisbətində xlorid turşusu (HCl) ilə nitrat tuşusunun (HNO_3) qarışığından ibarət məhluldur.

Palladium kontaktının alüminium kontaktından çox böyük üstünlükləri vardır. Belə ki, palladium silisid yaranan zaman texnoloji prosesdə onun üzərində çox nazik (20 A^0) oksid təbəqəsi yaranır ki, bu da onu xarici təsirlərdən qoruyur.

Şək.1-də palladium silisid əsasında yaradılan günəş batareyasının bir elementi göstərilmişdir.



Şəkil 1 – Palladium silisid əsasında günəş elementi
Figure 1 – Solar cell based on palladium silicide

Günəş enerjisi ilə işləyən akkumulyator batareyalarını hazırlayarkən müxtəlif növ mobil telefonlar üçün palladium silisid əsasında günəş elementlərinin sayı müxtəlif olur. Elementlərin sayı NOKİA-BM10 telefonlar üçün ən az, Smartfon telefonlar; HONOR ID, SAMSUNG, XIAOMI və s. tipli telefonlar üçün isə daha çox olur [2].

Tərəfimizdən yaradılan günəş batareyalarının üstün cəhətlərindən biri də odur ki, onlar batareyanı doldurduqdan sonra elektrik dövrəsini açır. Şək. 2-də günəş batareyası ilə doldurulan NOKIA-BM 10 telefonu göstərilmişdir.

Şəkil 2 – Günəş elementinə birləşmiş mobil telefon
Figure 2 – Mobil Phone connected to the solar element

Şək. 2-də yeni PowerBankın (PB) bütün hissələri aydın görünür, belə ki, yeni qurğu Çin istehsalı olan PB-dan, onun qapağından və palladium silisid əsasında hazırlanmış 6 x 10 sm^2 ölçüsü olan günəş panelindən (qara rəngli) ibarətdir.

Çin istehsalı olan bu PB-da günəş elementi olmur, o 3,7 voltluq akkumulyatorla işləyir.

Tərəfimizdə hazırlanan günəş paneli əlavə olaraq həmin akkumulyatora qoşulur. Şəkildə akkumulyator qurğunun içərisinə, qapağı isə qurğunun yanında təsvir olunmuşdur. Sınaq üçün NOKİA-BM 10 telefonundan istifadə olunmuşdur. Sınaq zamanı akkumulyator tam boşaldılmış və ona paralel olaraq günəş batareyası qoşulmuşdur. Günəş energisi ilə panel akkumulyatoru 25 dəqiqə ərzində tam doldurmuşdur. Yeni PB həm akkumulyatrla, həm də ayrılıqda günəş paneli ilə işləyə bilir. Əgər elektrik mənbəyi olmayan yerdə olsaq, günəş enerjisi hesabına mobil telefonlar işləyə bilər.

Yeni PB-da Çin istehsalı olan PB-ın qapağı kəsilərək günəş panelini orada yerləşdirmişik (şək. 3).

Şəkil 3 – Günəş elementli yeni PowerBank
Figure 3 – New PowerBank with solar cell

Məlumdur ki, istehlakçılar çox vaxt mobil telefonlarını doldurmaq üçün axşamdan səhərəcən elektrik şəbəkəsidə qoşulmuş vəziyyətdə saxlayırlar. Nəticədə telefonların akkumulyator batareyaları əlavə enerji toplayaraq qızır, quruyur, şişir və telefon sertifikatlaşmamışdırsa hətta partlaya da biər. Bu isə təkcə te-

lefonların xarab olmasına yox, yanğınlara və müxtəlif bəbəxt hadisələrə səbəb ola bilər. Ümumiyyətlə, telefonların və smartfonların partlama səbəbləri müxtəlifdir [3-7].

Azad istehlakçılar Birliyinin apardığı tədqiqatlar göstərir ki, bəzi telefonlar sertifikatlaşmadan keçməyirlər və ona görə də həmin telefonların təhlükəsizliyi təmin olunmayıb.

Nazirlər kabinetinin 1 yanvar 1994-cü il tarixli 343 saylı qərarı dərc olunmuşdur. Bu qərara əsasən telefonlar və smartfonlar məcburi olaraq sertifikatlaşdırılmalıdırlar. Qərara əsasən, telefon ölkənin əmtəə bazarına daxil olmamışdan əvvəl yoxlamadan keçməlidir. Ona görə də istər telefon, istərsə də akkumulyator batareyasını alarkən orjinalını almaq lazımdır. Telefondan istifadə edərkən uzun müddət fasiləsiz danışmaq olmaz. Telefon şəbəkədə dolan zaman da onunla danışmaq olmaz, yalnız telefon dolduqdan sonra şəbəkədən ayırıb sonra danışmaq olar. Telefonun doldurulması vaxtı yalnız onun akkumulyator batareyasının tutumundan, neçə amper-saat olmasından asılıdır. Ümumiyyətlə telefonları dolduran zaman onları 2 saatdan artıq dövrəyə qoşulmuş vəziyyətdə saxlamaq olmaz, əks halda onların ömrü qısalır.

Nəticə

Palladium silisid əsasında alınmış günəş panelini ənənəvi PowerBanka əlavə edərək, yeni növ PowerBank (YPB) alınmışdır. YPB həm Günəş elementləri, həm də akkumulyator əsasında işləyir. YPB günəş enerjisini həm toplayır, həm də PowerBankın akkumulyatorunu doldurur. Ona görə də YPB elektrik şəbəkəsi olmayan yerlərdə də işləyə bilir.

Maraqlar münaqişəsi

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

REFERENCES

1. **Kərimov Ə.A., Quluzadə B.Ə., Həsənov R.R.** Pd-Si strukturların alınma texnologiyası və fotoelektrik xassələri. *Fizika,* 2012, XV, №4, s.35-37. *(in Azerbaijani)*

2. Cavadov N.H., Əliyev B.H., Kazımov N.F., Qələndərov Q.A. Nanomaterialların, nanogübrələrin alınması və kənd təsərrüfatı bitkilərinə təsirinin tədqiqi. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri,* 2021, cild 13, №3, s.106-112 *(in Azerbaijani)*

3.https:// www.tamindir.com

4. https:// www.sektorumdergisi.com

5. https://gencaile.az

6. https:// news.milli.az

7. https://hafta.az

Awareness and Employment Impact Analysis in Cyber Security

G.A. Abdiyeva-Aliyeva

Institute of Control Systems of Azerbaijan National Academy of Sciences/Bakhtiyar Vahabzadeh street, 68, Baku, Azerbaijan

For correspondence:
Abdiyeva-Aliyeva Gunay / e-mail: gunay.abdiyeva@isi.az

Abstract

The recent cyber wars and their consequences in the world, the available statistical data, lay the foundation for regular awareness raising in the field of cyber security. At the same time, in order to prevent incidents that occur, it should be one of the priority issues for specialists to simulate work impact analysis scenarios. The article gives is to explore the importance of raising awareness of cyber security threats and attacks, as well as the current challenges and solutions.

Keywords: UEBA, Dar Vidar, Trickbot, Nit Ramnit, CVE, xHelper.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_74_83

Received *18.05.2022*
Revised *19.06.2023*
Accepted *21.06.2023*

For citation:
Abdiyeva-Aliyeva G.A.
[Awareness and employment impact analysis in cyber security]
Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 74-83 *(in Azerbaijani)*

Kiber təhlükəsizlikdə məlumatlılıq və işə təsir analizi

G.Ə. Əbdiyeva-Əliyeva

Azərbaycan Milli Elmlər Akademkiyasının İdarəetmə Sistemləri İnstitutu (Bəxtiyar Vahabzadə küçəsi, 68, Bakı, Azərbaycan)

Yazışma üçün:
Əbdiyeva-Əliyeva Günay / e-mail: gunay.abdiyeva@isi.az

Xülasə

Son dövrdə dünyada baş verən kibermüharibələr və onların nəticələri, mövcud statistik məlumatlar kibertəhlükəsizlik sahəsində mütəmadi məlumatlılığın artırılmasına zəmin yaradır. Eyni zamanda, baş verən insidentlərin qarşısının alınması məqsədilə mütəxəssislərin işə təsir analizi ssenariləri üzərində simmulyasiya etməsi prioritet məsələlərdən biri olmalıdır. Məqalədə, kibertəhlükəsizlik təhdidləri və hücumlarına qarşı məlumatlılığın artırılmasının əhəmiyyəti, eyni zamanda mövcud problemlər və onların həlli yolları göstərilmişdir.

Açar sözlər: UEBA, Dar Vidar, Trickbot, Nit Ramnit, CVE, xHelper.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_74_83

УДК 004.056

Осведомленность и анализ воздействия на занятость в области кибербезопасности

Г.А. Абдиева-Алиева

Институт Систем Управления Национальной Академии Наук Азербайджана (ул. Бахтияр Вагабзаде, 68, Баку, Азербайджан)

Для переписки:
Абдиева-Алиева Гюнай / e-mail: gunay.abdiyeva@isi.az

Аннотация

Недавние кибервойны и их последствия в мире, доступные статистические данные закладывают основу для регулярного повышения осведомленности в области кибербезопасности. В то же время для предотвращения возникновения инцидентов одним из приоритетных вопросов для специалистов должно быть моделирование сценариев анализа воздействия на работу. Показана важность повышения осведомленности об угрозах и атаках кибербезопасности, а также о текущих проблемах и решениях.

Ключевые слова: UEBA, Dar Vidar, Trickbot, Nit Ramnit, CVE, xHelper.

Giriş

İnsanlar kiber təhlükəsizlik və işə təsir analizi haqqında düşündükdə, bir şirkətin təhlükəsizlik cəhətdən pisniyyətli şəxslər tərəfindən nəzarəti və idarəetməni öz səlahiyyətlərinə keçirmə riskinin qiymətləndirilməsi kimi qəbul edirlər. İşin davamlılığı üçün qarşıya qoyulan məqsəd olduqda, risklər də dəyişir.

Xüsusilə nəzərə alınacaq məqamlar aşağıda təqdim olunmuşdur: Sertifikatlaşdırılmış İnformasiya Sistemləri Auditorlarının (CISA) mövcudluğu; İşçi heyətin uzaq məsafədən qoşulmalar üçün simsiz təhlükəsizliyi; Virtual Gizli Şəbəkələrin (VPN) istifadəsi; Şifrələmə proseslərinin tətbiqi; Çoxfaktorlu identifikasiya ilə aplikasiya istifadəçilərin girişini idarə etmək; İstifadəçi və aktiv davranışın monitorinqi (UEBA); Ən az imtiyaz prinsipinə əsasən istifadəçi girişinin məhdudlaşdırılması [1].

İstifadəçi giriş proqramının idarə edilməsi. Təşkilat, istifadəçi girişini idarə etməkdə gecikirsə, artıq buna diqqət yetirməyin vaxtıdır. VPN istifadəçilərinin şəbəkə üzərində saytlara giriş-çıxışını nəzarətə almaq mümkündür. Lakin şəbəkə üzərində apardıqları bütün əməliyyatlara fiziki olaraq nəzarət etmək çətindir. Həddən artıq verilmiş səlahiyyətlə işçilər məlumatları səhvən təhlükə altına ata bilərlər.

İstifadəçi girişinin idarə edilməsi baxımından aşağıdakılardan məlumatlı olmaq vacibdir: İstifadəçilərin rol anlayışları; Şifrə siyasəti; İT ekosistemində müxtəlif şəbəkələrə, tətbiqlərə və bulud xidmətlərinə girişin məhdudlaşdırılması; Giriş siyasətinə daxilolma vaxtı və coğrafi yer kimi kontekstlərin daxil edilməsi; Məsafədən qoşulmalar zamanı super istifadəçilərə girişin məhdudlaşdırılması [2]; UEBA-nın Təhlükəsizlik Planına daxil edilməsi.

İstifadəçinin Fərdi Davranışının Təhlili (UEBA). Aktiv olaraq fəaliyyət göstərən bütün şirkətlər təhdid və hücumlara məruz qalırlar. Bu təhdidlər və hücumlar iki hissəyə bölünür: daxili və xarici. Hakerlər tez-tez mənfəət əldə etmək üçün qurumlarda fərdi, eyni zamanda maliyyə məlumatlarına diqqət yetirirlər.

Təhdidlərin qarşısını almaq üçün atılacaq addımlar. Bu tip hücumların olma ehtimalının proqnozlaşdırılmasına ehtiyac var. Hazırda istifadəçi davranışını izləmək və təhlil etmək üçün həll yolları lazımdır. Bu sistem, istifadəçinin davranışı haqqında ümumi məlumat toplamağa köməklik edir. Bu məlumatlar, normal və ya şübhəli davranışları aşkar edir, eyni zamanda, əldə edilən məlumatlarla ətrafdakı təhlükəni asanlıqla müəyyənləşdirir və lazımi qabaqlayıcı tədbirləri vaxtında alır.

UEBA sistemi daxili təhdidləri, hədəfli hücumları, maliyyə saxtakarlığını aşkar etmək üçün istifadə olunur. UEBA həlləri insanın davranışları, cihazları, tətbiqləri, serverləri, məlumatları və ya bütün qurumların IP adresinə nəzər salaraq bütün potensial təhdid edilən anormal halları aşkar etməyə imkan verən maşın öyrənmə alqoritmləri və statistik təhlillər tətbiq edir. UEBA sistemi adətən fərq edilməyəcək sui-istifadənin və zərərli davranışın aşkarlanmasını təmin edir.

UEBA bütün istifadəçiləri və prosesləri izləyir və bu hadisələri özündə cəmləyir [3].

UEBA-nın işləmə mexanizmi. İstənilən istifadəçinin məlumatlarını oğurlamaq asan ola bilər. Ancaq şəbəkədə o insan kimi davranmaq daha çətindir. Bu səbəbdən, pisniyyətli haker fərqli bir şəkildə hərəkət edərkən UEBA həyəcan verəcəkdir.

UEBA proqram təminatı, yeni tətbiqetmələrin (aplikasiya) başlanması, şəbəkədəki

fəaliyyətlər və fayl çıxışı kimi istifadəçi hərəkətlərinə diqqət yetirir. Faylın nə vaxt əldə edildiyini, kimin daxil olduğunu və hansı fəaliyyətdə olduğunu yoxlayır. Texnologiya, şübhəli davranış nümunələri götürərək pisniyyətli hakeri tanımağa kömək edir. Hücumu dayandırmaq üçün heç bir tədbir görməz, əvəzində hücumu aşkar edər və təhdidin vurduğu ziyanı minimuma endirər.

Kiber təhlükəsizlik və gizlilik perspektivləri baxımından bir çox qurumda bu tip yoxlamaların bəzi formaları yerində ola bilər. Bununla birlikdə daha uzaq məsafədə işləyənlərlə yoxlamaların əlçatanlığı ən az imtiyaz prinsipinə görə uyğun şəkildə hüdudlanıb-hüdudlanmadığını təyin etmək lazımdır. Məsələn, uzunmüddətli işləyənlər qurum daxilindən ayrılarkən (və ya işdən çıxarkən) keçmiş səlahiyyətlərə sahib ola bilərlər. Bu, bütün səlahiyyət haqlarını nəzərdən keçirməyə və lazımsız sistem imtiyazlarının aradan qaldırılmasına dair göstəricidir. Qurumlar bunun ən yaxşı qabaqlayıcı tədbir olduğunu bilmələrinə baxmayaraq, çox insan bunu mütəmadi olaraq nəzərdən keçirmirlər. Başqa bir çətinlik də idarəetmə panelinə tətbiq olunan qoşulmaları gözdən keçirmək ola bilər. Bir çox qurum işçiləri yerli korporativ Wi-Fi şəbəkəsindən kritik əhəmiyyətə sahib proqramları əldə etməkdən uzaq tutmağa çalışarkən adətən bu siyasətlər həyata keçirilən müddətdə əksik icra olunur. Virusun yayıldığı müddətdə uzaq məsafədən xidmət göstərənlər bu müddət ərzində karantinə alınmaya bilər, bu da bütün xarici qoşulmaları nəzarət saxlamağın əhəmiyyətini göstərir. Sonda isə fərdi məlumatların ələ keçirilməsi daha da böyük diqqət çəkən məqamlardan birdir. İşçilərin uzaqdan qoşulduqları Wi-Fi təhlükəsiz deyilsə qurumdaxili sistemlər SQL və saytlararası komanda hücumları (XSS) üçün daha böyük bir risk daşıyır. Bütün bunlar uzaq məsafədən qoşulan bir işçinin qurumdaxili bütün İT sistemlərini və ekosistemi məlumatlarının hər növ risklə üz-üzə qalması diqqət mərkəzində olmasının vacibliyini göstərir.

Tamamlanmayan məlumatların təhlükəsizliyinin təmin etmək üçün strategiyanın işlənməsi. Uzaq məsafədən fəaliyətdə istifadə olunan proqram təminatını xüsusilə nəzərdən keçirmək gizlilik və təhlükəsizlik risklərini azaltmaq üçün görüləcək ilkin tədbirlərdəndir.

İşin davamlılığı planını (BCP) hazırlayarkən aşağıdakılara nəzər yetirmək lazımdır: qorunması lazım olan həssas məlumat növləri; həssas olmayan məlumatları özündə saxlayan, ötürən və cəmləyən ünvanlar; e-poçt və məlumatların yüksək keyfiyyətli şifrələməsi; bulud xidmətləri "link ilə paylaşmaq" parametrləri; veb-sayt məlumatlarının idarəedilməsi; birbaşa mesajlaşma tətbiqi proqram məlumatlarının idarəedilməsi.

Uzaq məsafədən fəaliyyət göstərən işçi ilə iş yerində işləyən işçi arasında adətən birbaşa mesajlaşma və e-poçt fəaliyyəti nəzərdən qaçan iki əsas risk mənbəyidir. İki fərqli mühitdə işləyən işçi arasında sürətli şəkildə sual-cavab mexanizmi ilə iş fəaliyyəti keyfiyyətli formada davam etsə də, bu tip fəaliyyət uzaq məsafədən işləyənlər üçün fərqli effekt verəcəkdir. Birbaşa mesajlaşma və e-poçt tətbiqi proqramlarının yenilənməsi zamanı saxlanılan, ötürülən və daxil olan məlumatlara necə təsir edəcəyini nəzərdən keçirmək lazımdır.

Çoxlu sayda istifadəçinin uzaq məsafədən işləməsini nəzərə alaraq, işin davamlılığı və uzaqdan planlaşdırıması üçün aşağıdakı addımların yerinə yetirilməsi lazımdır: işçi cihazları üçün təhlükəsizlik yeniləmələrini tətbiq etmək; video-konfrans proqramlarını yeniləmək; əlavə işçi qüvvəsi tələb edən müraciətlərə baxmaq.

E-poçtlarda və mesajlarda olan məlumatları izləməkdən əlavə, qurumlar bu tətbiqi proqramların nə qədər tez-tez yenilənmələrini də nəzərə almalıdırlar. Bir mesajlaşma platforması işə başlamazdan əvvəl yüksək riskli bir tətbiq proqramı hesab edilməsə də, işçilər ofisdən kənarda olduqda kritik bir tətbiq halına gələ bilər.

Bununla yanaşı, təşkilatlara video-konfrans tətbiqetmələrini izləmək imkanı verilməlidir. Uzaqdan işləyənlər WebEx, Skype və ya Google Hangouts, Teams, Zoom kimi texnologiyalardan istifadə etdikləri üçün bu tətbiqlərin təhlükəsizliyi kibertəhlükəsizlik riskini azaltmaq üçün zəruri hala gəlir.

Fişinq hücumları və əks tədbirlər. Bir linki klikləməyi və ya bir əlavə açmağı tələb edən bir e-poçt və ya qısa mesaj alsanız, özünüzə bu sualı verin: "Şirkətdə hesabım var və ya mənimlə əlaqə quran şəxsi tanıyırammı?" Cavab "Xeyr" olarsa, bu bir fırıldaqçı ola bilər. İşi dayandırın və fişinq fırıldaqçılığını axtarmaq üçün təlimatları nəzərdən keçirin. Daha sonra fişinqə dair şübhə olarsa, mesajı bildirin və həmin mesaji silin. Cavab "Bəli" olarsa, bildiyiniz bir telefon nömrəsi və ya veb saytdan istifadə edərək şirkətlə əlaqə saxlayın. Cihazınıza e-poçtdakı mətn mesajı deyil, əlavələr və bağlantılar (linkə keçid) zərərli proqram təminatını quraşdıra bilər.

Zərərli proqram - cihaza bulaşarsa, müxtəlif növ zərərli dəyişikliklər görməyə davam etməyimiz ehtimal olunur. Bəziləri uzaqdan məsafədən fəaliyyət göstərmək üçün müxtəlif növ proqramlar təklif edən, iş elanı veb saytlarına yönlənən istifadəçiləri hədəfləmiş və s. kimi proqramları təqlid edər.

Məsələnin həlli

Yuxarıda qeyd olunan məsələlərin həlli olaraq daxil olan zərəli keçidlər və ya əlavələrə dair məlumatlı olmaqla yanaşı kiber təhlükəsizlik vasitələrindən də istifadə oluna bilər.

Gəlir cinayətinə çevrilmə. İşsizliyin artması, bəzi insanlara, maliyyə qurumlarına qarşı kiberhücumlar zamanı bankomatlardan oğurlanmış pul vəsaitlərini çıxaran nağd pullar kimi cinayətkar qruplar üçün işləmək kimi yüksək maaşlı, yüksək riskli iş axtarmağa səbəb ola bilər.

İşçiləri və sistemləri qorumaq. İşçinin uzaq məsafədən İT idarəetmə sistemləri qurma qabiliyyətinin, həm təhlükəsiz, həm də effektiv olmasına baxmayaraq, boşluqların və problemlərin yaranacağı qaçılmazdır. Müsbət hal olardı ki, təşkilatlar, öncədən fövqəladə vəziyyətə uyğun olaraq məsafədən fəaliyyət ilə bağlı tədbirlər planını (DRP) hazırlamış olsun. Burada qarşımıza əsas İT avadanlıqları və proqram təminatının mövcudluğu və digər problemlər çıxır.

Təşkilatların şəbəkə sərhədləri və buna görə hücum səthi əvvəlkinə nisbətən daha böyükdür. Artıq təşkilatlarda bir çox məlumatlar öz hüdudlarından kənarda əldə oluna bildiyinə görə bu məlumatlara yönəlmiş hücumların riski yüksək səviyyədədir. Bu məqamda işçilər, xüsusilə sosial mühəndislik hücumlarına və oxşar fırıldaqçılıqlara qarşı daha həssas olmalıdır [4].

Ev şəbəkəsi. İstifadəçinin ev şəraitində bant genişliyi yüksək olan xəttdən istifadə etməsi, zəif Wi-Fi təhlükəsizliyi, sızılabilən paylaşma nöqtələri və başqa köhnə protokollardan istifadə edərək bu tip korporativ şəbəkələrə qoşularaq məlumatlardan istifadə etməsi də əlavə olaraq bu məlumatları riskə atmış olur. Bu səbəbdən də tövsiyyə olunan köhnə metod LAN üzərindən sabit şəbəkə ilə VPN istifadə edərək korporativ şəbəkəyə qoşulmaqdan ibarətdir.

Firewall, VPN və təhlükəsizlik siyasəti. Şəxsiyyət və Giriş İdarəetməsi (IAM) kimi etibarlı bir əlaqə də vacibdir. Əlbəttə ki, bütün işçilər yalnız VPN ilə əlaqə qurmalıdırlar. Ancaq bunun mümkün olmayacağı vəziyyətləri də planlaşdırmaq lazımdır. Məsələn, problemin pik həddi olaraq, zədələnmiş və ya sıradan çıxmış aparat təminatını düşünmək olar. Bu zaman, bir çox təşkilat işçiləri uzaq məsafədən fəaliyyət üçün öz cihazlarından istifadə etmək zərurəti ilə üzləşirlər. Qurumların Mobil Cihaz İdarəetmə (MDM) siyasətindən və həssas istifadəçi, virtual maşın və digər texnologiyaların mövcudluğundan asılı olaraq, bu proqramlar həm üstünlük, həm də riskləri meydana çıxarır. İstismar müddətini bitirmiş, nasaz və lisenziyasız proqram və aparat təminatı təhlükəsizliyi təmin etmək əvəzinə işi daha da mürəkkəbləşdirir.

Zəng edənin şəxsiyyəti. Son zamanlar saxta zəng mərkəzləri tərəfindən gələn zənglərdə dələduzluq halları çoxalıb. Bu tip fövqəladə vəziyyətlərdə həmin fırıldaqçılar üçün yaranan ən uyğun şərait əhalinin stress vəziyyətində belə zənglərə həssas olmasından ibarətdir. Xüsusilə korporativ şəbəkəyə uzaq məsafədən qoşulma zamanı baş verən xətalarda və qoşulmanın mümkün olmaması ilə bağlı gələn zənglərdə qarşı tərəfin kimliyinin təyin olunması çox önəmlidir. Bu tip risklər narahatçılıqlara səbəb olur. Etibarlı rabitə kanallarında fəaliyyət uğursuz və ya nasaz olarsa, təhlükəsizlik işçilərinin nəzarəti altında olmayan kənar şəxslərdən dəstək almaq istifadəçilərə cəzbedici görünə bilər. Bu identifikasiya ilə bağlı ikinci məsələni ortaya çıxarır. Bu problemlərdən bəziləri hər iş stansiyasında (server) monitorinq, telemetriya və aşkaretmə vasitələrindən istifadə edərək problemin başlanğıc nöqtəsində bərpa edilə bilər. Ekspertiza və müdaxilə vasitələrinin yaradılması ilə uzaq məsafədən araşdırıla və lazım gəldikdə cihazları izolə etmək mümkündür.

Şifrəni dəyişdirməyin 3 səbəbi. Şifrələrin daha güclü şifrələrlə əvəz edilməsi üçün mükəmməl zamandır. Şifrələri ad, doğum tarixi, ev ünvanı, telefon nömrəsi və kredit kartı məlumatları kimi vacib şəxsi məlumatları gizlətmək üçün istifadə olunan seyfin açarı kimi təsəvvür etmək lazımdır. Cinayətkarlar fərdi məlumatları şəxsiyyət oğurluğu üçün istifadə edə bilərlər. Şifrə təhlükəsizliyi vacibdir, çünki profillərinizdəki fərdi məlumatlar şifrələrlə qorunur. Ancaq hər kəs şifrə təhlükəsizliyinə əhəmiyyət vermir. Təəccüblüdür ki, bir çox insanlar "admin", "123456", "qwerty" və s. kimi sadə şifrələrdən istifadə edir. Ayrıca, əksər insanlar parolları birdən çox hesabda təkrar istifadə edirlər. Sadə şifrələrdən istifadə etmək və onları təkrar istifadə etmək təhlükəsizlik üçün mənfi xarakter daşıyır. Şifrələri daha güclü formaya gətirmək üçün onu dəyişdirməyin 3 səbəbi aşağıda təqdim olunmuşdur:

1. Şifrələr onlayn yerləşdirilmiş fərdi məlumatlarınızın açarıdır. Bir e-poçt ünvanı və ya istifadəçi hesabınıza giriş üçün istifadə edildikdə, şifrə istifadəçi hesablarınızın açarıdır. O hesablarda heç bir surpriz yoxdur. Ancaq istifadəçi hesablarında çox vacib şəxsi məlumatların olduğunu düşünürdünüzmü? İnternetdəki bir çox xidmət, işləməsi üçün sizdən şəxsi məlumatları doldurmağınızı tələb edir. Əlbəttə ki, hər zaman yalan məlumat verə bilərsiniz. Ancaq məsələn, bir alış-veriş icrası zamanı düzgün məlumat verməlisiniz.

Bir pisniyyətli haker profilinizi əldə etmək üçün istifadə etdiyiniz e-poçt və şifrə kombinasiyalarını öyrənərsə, həmin profildəki bütün şəxsi məlumatlarınızı əldə edə bilər.

2. Şifrələrinizi yoxlayan tək siz deyilsiniz. Şifrənizi yəqin ki, heç kim bilmir. Ancaq istifadə etdiyiniz veb xidmətlərin verilənlər bazasında qeyd olunur. Antivirus və VPN kimi təhlükəsizlik tədbirləri ilə öz cihazınızdakı məlumatlarınızı qoruya bilərsiniz. Ancaq internet xidmətlərindəki istifadəçi hesabları sizin nəzarətinizdən kənarda qalır.

Qeydiyyatda olduğu servislərin sıradan çıxmasının qarşısını almaq üçün heç bir istifadəçinin edə biləcəyi tədbir yoxdur. Nə qədər diqqətli olmağınızdan asılı olmayaraq, istifadə etdiyiniz servis sıradan çıxdıqda məlumatlarınız təhlükə altında qalır. Hər zaman servislərdə sıradan çıxma riski vardır.

3. Təkrar istifadə olunmuş şifrələr digər profillərə təhlükə yarada bilər. Əksər insanlar şifrələri birdən çox profildə təkrar istifadə edirlər. Bir pisniyyətli haker hər hansı bir hesabda istifadə etdiyiniz şifrənizi əldə edərsə, çox güman ki, digər populyar xidmətlərdə də sınayacaq. Hakerlər tez-tez Amazon, eBay, Netflix kimi bank kartı məlumatları olan insanların profillərinə daxil olmağa çalışırlar.

Eyni şifrəni fərqli yerlərdə təkrar istifadə edirsinizsə, əhəmiyyətsiz görünən bir profil şifrəsinin əldə olunması ağır nəticələr verə bilər. Hər bir profildə unikal və güclü təsadüfi şifrələrdən istifadə olunarsa, hesabın ələ keçirilməsi zamanı digər bütün hesablar da deyil, yalnız həmin hesab zərər görər.

Unikal şifrə istifadə etmək, şifrənizi dəyişdirmək lazım olduğunda vaxta qənaət edir. Bir tələb yarandıqda hesabınızı qorumaq üçün şifrənizi dəyişdirməlisiniz. Unikal bir şifrə istifadə edərkən yalnız tələb olunan hesabda onu dəyişdirməlisiniz. Eyni şifrəni digər hesablarda istifadə etmisinizsə, bütün digər hesabların şifrəsini dəyişdirməlisiniz. Bütün şifrələrin dəyişdirilməsi çox vaxt tələb edir. Bu müddət ərzində hesablarınız ələ keçirilə bilər. Cinayətkarlar hər zaman ələ keçirdiyi şəxsi məlumatlardan yararlanmaq üçün onlardan mümkün qədər sürətli şəkildə istifadə etməyə çalışırlar. Bir hücumdan sonra zaman vacib faktordur.

Güclü şifrə ilə təhlükəsizlik tədbirləri. Birinci qayda eyni şifrəni başqa hesabda istifadə etməməkdir. Nə qədər təhlükəsiz şifrəniz olursa olsun, yalnız bir profildə istifadə edin.

Təhlükəsiz bir şifrə tapmaq çətindir. Uzu cümlələr, qeyri-müəyyən xarakter və say sətirlərindən istifadə edərək birini yarada bilərsiniz. Bir çox insan uşaqlarının və ya öz adlarını şifrə kimi istifadə edir. Bəzən bu məlumatlar sosial şəbəkədən gizlədilə bilər. Ən güclü şifrələr xatırlaya bilmədiyiniz şifrələrdir. Şifrə idarəetmə panelləri güclü təsadüfi şifrələrinizi yadda saxlamağa kömək edir. Bir şifrə idarəetmə paneli istifadə edərkən digərlərini görmək üçün yalnız bir şifrəni xatırlamaq lazımdır. Şifrə meneceri ilə şifrələrinizi unutmayacaqsınız.

Ən tanınmış zərərli proqramlar:

Emotet – Emotet inkişaf etmiş, öz-özünə yayıla bilən və modulyar bir troyandır. Emotet əslində bir bank sektoruna hədəflənmiş troyan idi, ancaq son zamanlar digər pisniyyətli kampaniyalarda distrubuter olaraq istifadə olundu. Təyin olunmaqdan yayınmaq üçün qalıcılıq və qaçırma texnikaları üçün çoxlu metodlar istifadə edir. Üstəlik mənfi xarakterli əlavələr və ya keçidlərin olduğu şəxsiyyət oğurluğu spam e-poçtları yolu ilə də yayıla bilir.

XMRig - Monero kriptovalyutasının mayninq (mining) prosesi üçün istifadə olunan və ilk dəfə 2017-ci ilin May ayında meydana çıxan açıq kodlu bir CPU mayninq proqramıdır.

Rick Trickbot - Trickbot, tez-tez yeni qabiliyyətlər, xüsusiyyətlər və paylama vek-

torları ilə yenilənən basqın bir bank sektoru Troyanıdır. Bu, Trickbotun çox məqsədli kampaniyaların bir hissəsi olaraq paylaşıla bilən elastik və özəlləşdiriləbilən bir mənfi xarakterli proqram olmasını təmin edir.

Agent Tesla - Agent Tesla, keylogger və şifrə gəmisi olaraq işləyən geniş bir RAT proqramıdır. Agent Tesla, qurbanın klaviatura daxiletmələrini, sistem panelini izləmə, toplama, ekran görüntüsünü alma və qurbanın brauzerlərdəki (Google Chrome, Mozilla Firefox ve Microsoft Outlook daxil) müxtəlif giriş-çıxış sistemlərinə aid şəxsi məlumatlarını ələ keçirmə qabiliyyətinə sahibdir.

Formbook - Formbook, müxtəlif brauzerlərdən şəxsi məlumatları ələ keçirən, ekran görüntülərini toplayan, klaviş basılmalarını izləyən və yadda saxlayan və faylları C&C sifarişlərinə görə yükləyib istifadə edə bilən bir vəsaitdir.

Nit Ramnit - Ramnit, bank sektoru üzrə FTP şifrələrini, aktiv hesab kukilərini və şəxsi məlumatları oğurlayan bir troyandır.

Dar Vidar - Vidar, Windows əməliyyat sistemlərini hədəfləyən bir məlumat vasitəsidir. İlk dəfə 2018-ci ilin sonunda aşkar olundu. Müxtəlif brauzerlərdən və rəqəmsal pul kisələrindən şifrələri, bank kartı məlumatlarını və digər həssas məlumatları oğurlamaq üçün hazırlanmışdır. Vidar müxtəlif onlayn forumlarda satıldı və GandCrab fidyə proqramını ikinci yük olaraq yükləyən pisniyyətli proqram olaraq istifadə olundu.

Lokibot - Lokibot, təməl olaraq şəxsiyyət oğurluğu e-poçtları ilə yayılan bir Infostealer-dir və e-poçt şəxsi məlumatları kimi məlumatlardan əlavə CryptoCoin pul kisələrinə və FTP serverlərinə qarşı şifrələri oğurlamaq üçün istifadə olunur.

Hawkeye - əvvəlcə virus yoluxmuş Windows platformalarından istifadəçilərin şəxsi məlumatlarını oğurlamaq və bunları C&C serverinə təhvil vermək üçün hazırlanmış bir infostealer mənfi xarakterli proqramdır. Əvvəlki illərdə Hawkeye, e-poçt və veb brauzer şifrələri oğurlama və keyloggingin orginal işlərinə əlavə olaraq ekran görüntüsü alma, USB ilə yayılma və daha artığını edə bilmə qabiliyyəti əldə etdi. Hawkeye adətən MaaS (Xidmət olaraq ziyanlı proqram) olaraq satılmaqdadır.

H xHelper - xHelper, 2019-cu ilin mart ayından bu günə qədər görülən digər mənfi xarakterli proqramları yükləmək və görüntülü reklam yükləmək üçün istifadə olunan pisniyyətli proqramdır. Proqram özünü istifadəçidən gizlədə bilər və silindiyi təqdirdə özüözünü yenidən əməliyyat sisteminə quraşdıra bilər.

Ən çox istismar olunan təhlükəsizlik açıqları:

MVPower DVR uzaq məsafədən kod inyeksiyası - MVPower DVR cihazlarına uzaq məsafədən kod inyeksiya edilə bilən təhlükəsizlik açığıdır. Uzaq məsafə olan bir pisniyyətli haker, təsirlənəcək yönləndiricidə hazırlanmış bir istəklə istənilən kod inyeksiya etmək üçün bu zəiflikdən yararlana bilər.

Web Server Exposed Git bazası məlumat aşkarlanması - Git bazasında göstərilən bir məlumat sızdıran təhlükəsizlik açığıdır. Bu təhlükəsizlik açığını uğurla istismar edərək hesab məlumatlarının icazəsiz şəkildə ifşa edilməsi mümkündür.

PHP DIESCAN məlumatının açığı – Bir informasiyanın açığa çıxmasını təhlükəsizlik PHP səhifələri bildirdi. Uğurlu şəkildə istismar olunması, həssas məlumatların serverdən ifşa olunmasına yol aça bilər.

Dasan GPON routerlərində identifikasiyasını aşma (CVE-2018-10561) - Dasan GPON routerlərində giriş identifikasiyasını aş-

maq üçün istifadə olunan təhlükəsizlik açığıdır. Bu təhlükəsizlik açığının uğurlu şəkildə istismar edilməsi uzaq məsafədən hakerin həssas məlumatları əldə etməsinə və təsirə məruz qalmış sistemdə səlahiyyətsiz şəkildə idarəetmənin ələ alınmasına yol açır.

SS OpenSSL TLS DTLS ürək döyüntüsü məlumatlarının açığa çıxması (CVE-2014-0160; CVE-2014-0346)- OpenSSL-dəki məlumat sızıntısı təhlükəsizlik açığıdır. Təhlükəsizlik açığı TLS / DTLS paketləri istifadə olunarkən yaranan xətadan qaynaqlanır. Pisniyyətli haker qoşulu bir istifadəçinin və ya serverin yaddaşındakı məzmunları açığa çıxartmaq üçün bu təhlükəsizlik açığından faydalana bilir.

Ache Apache Struts2 məzmun tipli uzaq məsafədən kod yeritmə (CVE-2017-5638) - Jakarta çox hissəli incələyici istifadə edən Apache **Struts2**-da uzaq məsafədən kod yeritmə təhlükəsizlik açığıdır. Pisniyyətli haker, yükləmək istədiyiniz bir hissəsi olaraq etibarsız bir məzmun tipi göndərərək bu təhlükəsizlik açığından yararlana bilər. Uğurlu bir şəkildə istismar olunması, təsirlənən bir sistemdə təsadüfi kod inyeksiyasına səbəb ola bilər.

SQL İnyeksiyası (müxtəlif metodlar) – Bir proqramın daxilindəki kodların təhlükəsizlik açığından yararlanarkən, istifadəçi tərəfindən proqrama daxil olmuş bir SQL kod sorğusu inyeksiyası əlavəetmə açığıdır.

HTTP üzərindən komanda inyeksiyası – HTTP təhlükəsizlik açığından bir komanda inyeksiyasını bildirilmişdir. Uzaq məsafədəki bir pisniyyətli haker, qurbana hədəflənmiş xüsusi hazırlanmış bir istək göndərərək bu problemdən yararlana bilər. Uğurlu bir şəkildə yararlanma pisniyyətli hakerin cihazda istənilən kodu işə salmasına səbəb olur.

WordPress portable-phpMyAdmin Əlavəli Kimlik Doğrulama Baypas (CVE-2012-5469) - WordPress portativ-phpMyAdmin Plugin-də autentifikasiya bypass həssaslığı mövcuddur. Bu həssaslığın müvəffəqiyyətlə istifadəsi uzaqdan hücum edənlərə həssas məlumatlar əldə etməyə və təsirlənmiş sistemə icazəsiz giriş əldə etməyə imkan verir.

D-Link DSL-2750B uzaq məsafədən komanda icrası - D-Link DSL-2750B routerlərində uzaq məsafədən kod icrasını həyata keçirəcək təhlükəsizlik açığı bildirilmişdir. Uğurlu bir şəkildə yararlanması, təhlükəsizlik açığı mövcud olan cihazda hədəfə niyyətə olaraq istənilən kodun icrasına səbəb ola bilər.

Ən tanınmış mənfi xarakterli mobil proqram alətləri:

xHelper – 2019-cu ilin mart ayından bu günə qədər və digər mənfi xarakterli proqramları yükləmək üçün, eyni zamanda görüntülü reklamlar yükləmək üçün istifadə olunan mənfi xarakterli proqramdır. Proqram özünü istifadəçidən gizlədə bilər və əgər silinərsə özüözünü sistemə yenidən yükləyə bilər.

Gerilla - Android troyanı, pisniyyətli fayllar yükləyə bilən birdən artıq qanuni proqram daxilində gizlədilmiş olaraq aşkar olunub. Gerilla, proqram hazırlayan mütəxəssislər üçün hiyləli reklam gəliri yaradır.

AndroidBauts - IMEI, IMSI, GPS ünvanını və digər cihaz məlumatlarını genişləndirən və üçüncü şəxs proqramların və qısayolların mobil cihazlara yüklənməsinə icazə verən Android istifadəçilərini hədəfləyən reklam proqramıdır [5].

Nəticə

Azərbaycan kiber orduya sahib dövlətlərin əhatəsindədir. Xüsusilə əksər dövlət və strateji əhəmiyyətli saytlarımızın serverlərinin xarici ölkələrdə yerləşməsi ciddi təhlükə mənbəyidir.

Bunları nəzərə alaraq, kibercinayətkarlıqla mübarizə sahəsində milli potensialın gücləndirilməsi və kiberhücumların işə təsiri analizinin aparılması vacib amillərdəndir.

Maraqlar münaqişəsi

Müəllif bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edir.

REFERENCES

1. **Əbdiyeva-Əliyeva G.** Kibertəhlükəsizliyin əsasları. Dərs vəsaiti. ISBN: 978-9952-468-78-6. Bakı-2022. s.208 *(in Azerbaijani)*
2. **Özkaya E., Sarıca R., Durmaz Ş. Siber Güvenlik.** Saldırı ve Savunma Stratejileri. Ankara, 2019. S.564 *(in Turkish)*
3. **Əbdiyeva-Əliyeva G., Hematyar M., və Bakan S.** Süni intellekt metodlarından istifadə edərək kiberhücumların aşkarlanması və qarşısının alınması sisteminin inkişafı. Texnologiyada İnkişaf II Qlobal Konfrans (IEEE-GCAT), 2021, səh. 1-5 *(in Azerbaijani)*
4. **Əbdiyeva-Əliyeva G., Bakan S., Nəzərov. B.** Kibertəhlükəsizlik strategiyasının işlənməsinin Azərbaycan Respublikası üçün əhəmiyyəti. Azərbaycan və Türkiyə Universitetləri: təhsil, elm, texnologiya" I Beynəlxalq elmi-təcrübi konfransı, 2019, s.323-325 *(in Azerbaijani)*
5. **Əbdiyeva-Əliyeva G.** Binalarda baş verən yanğınların söndürülməsi və məhdudlaşdırılmasının kompüter modelləşdirilməsi. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*, Cild 9, 2018, №2, s. 83-90 *(in Azerbaijani)*

Solution of the Problem of Optimizing the Reactor Block of a Catalytic Cracking Unit

A.A. Safarova
Azerbaijan State Oil and Industry University (Azadlig ave. 16/21, Baku, AZ 1010, Azerbaijan)

For correspondence: Safarova Aygun / e-mail: aygsafa@rambler.ru

Abstract

Effective control of technological systems of complex structure depends on the correct construction of optimal control algorithms based on mathematical models of various classes of technological processes. In process control systems, optimal control or optimization problems are solved depending on the type of technological processes under consideration in order to ensure the selected optimality criteria. In the presented paper, an algorithm for solving an optimization problem based on a mathematical model of the reactor block of a catalytic cracking unit has been developed. This algorithm ensures the conduct of the technological process in the optimal operating mode and the optimal value of the control parameters.

Keywords: catalytic cracking unit, reactor block, regression equation, objective function.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_84_88

Received *27.02.2023*
Revised *19.06.2023*
Accepted *21.06.2023*

For citation:
Safarova A.A.
[Solution of the problem of optimizing the reactor block of a catalytic cracking unit]
Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 84-88 *(in English)*

Katalitik krekinq qurğusunun reaktor bloku üçün optimallaşdırılma məsələsinin həlli

A.A. Səfərova
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı ş., AZ1010, Azərbaycan)

Yazışma üçün: Səfərova Aygün / e-mail: aygsafa@rambler.ru

Xülasə

Mürəkkəb strukturlu texnoloji sistemlərin effektiv idarə olunması müxtəlif sinifdən olan texnoloji proseslərin riyazi modellərin bazası əsasında optimal idarəetmə alqoritmlərinin düzgün qurulmasından asılıdır. Texnoloji proseslərin idarəetmə sistemlərində seçilmiş optimallıq kriteriyalarının təmin edilməsi məqsədi ilə baxılan texnoloji proseslərin tipindən asılı olaraq, optimal idarəetmə və ya optimallaşdırma məsələlərinin həlli yerinə yetirilir. Təqdim olunan məqalədə katalitik krekinq qurğusunun reaktor blokunun riyazi modelinin bazası əsasında optimallaşdırma məsələsinin həlli üçün alqoritm işlənilmişdir. Bu alqoritm texnoloji prosesin optimal iş rejimində aparılmasını, idarəetmə parametrlərinin optimal qiymətini təmin edir.

Açar sözlər: katalitik krekinq qurğusu, reaktor bloku, reqressiya tənliyi, məqsəd funksiyası.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_84_88

УДК 681.372.54

Решение задачи оптимизации реакторного блока установки каталитического крекинга

А.А. Сафарова
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг, 16/21, Баку, AZ1010, Азербайджан)

Для переписки: Сафарова Айгюн / e-mail: aygsafa@rambler.ru

Аннотация

Эффективное управление технологическими системами сложной структуры зависит от правильного построения оптимальных алгоритмов управления на основе математических моделей различных классов технологических процессов. В системах управления технологическими процессами решаются задачи оптимального управления или оптимизации в зависимости от типа рассматриваемых технологических процессов с целью обеспечения выбранных критериев оптимальности. В представленной статье разработан алгоритм решения оптимизационной задачи на основе математической модели реакторного блока установки каталитического крекинга. Этот алгоритм обеспечивает проведение технологического процесса в оптимальном рабочем режиме и оптимальное значение параметров управления.

Ключевые слова: установка каталитического крекинга, реакторный блок, уравнение регрессии, целевая функция.

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy
2023, vol. 15, no. 2, pp. 84-88
Safarova A.A.

Introduction

As we have already mentioned, the experience of operating oil refineries operating in our country has shown that there are sources for increasing their economic performance, depending on the current state of automation and control systems. It is known that crude oil for processing in the technological complex of oil refining has a different fractional composition. In addition, the raw material usually consists of oil fractions from individual fields. It should be noted that in real production conditions this technological complex operates in the presence of many random disturbance influences and factors [1, 2]. At the same time, the presence of a number of specific characteristics of such technological systems makes it difficult to solve the issues of their management. Examples of such characteristics are a wide range of regime parameters, large measurement errors of individual parameters, and in some cases the lack of operational means of monitoring their measurement, uncontrolled change in parameters, changes in process characteristics and non-linearity, as well as other features. It is clear that the composition of the vacuum distillate obtained under such conditions - gas oil will be different. Thus, the raw material supplied to the catalytic cracking unit contains fractions with different potentials.

Taking into account the above, it can be concluded that in order to obtain the maximum amount of reaction products (components of high-octane gasolines and diesel fuel) from various fractional feedstock supplied to the catalytic cracking unit, the cracking process should be carried out in different modes, calculated on the composition of the feedstock. All this indicates that today, in a market economy and at a time when higher and more stringent requirements are imposed on the quality indicators of petroleum products, the determination of the optimal operating modes of individual devices at the operational control level in the reactor block of a catalytic cracking unit is a multilevel control that be able coordinating modes of operation of these devices, which will allow the processing of the system.

The experience of operating a catalytic cracking unit has shown that, depending on the current state of automation and control systems, there are sources to increase their economic performance [3]. One of these ways is the development of optimization and optimal control algorithms that allow these technological complexes to be controlled in more optimal modes compared to the current technological modes [4, 5].

Purpose of the work

In order to ensure the design of an optimal control system for the reactor unit of the catalytic cracking technological complex, the development of an algorithm for optimizing the static modes of the unit and determining the optimal operating mode based on base of a mathematical model that can adequately discribe the current technological state of the main devices of the reactor block.

Problem statement

Taking into account the above, the mathematical formulation of the optimization issue in the catalytic cracking unit can be represented as follows. Objective function:

$$F= B0 + B1X1+ B2 X2 + B3 X3 + \\ + B4 X4+B5 X5+B5 X6 \rightarrow \max \qquad (1)$$

The restriction to the input and control parameters:

$$0.845 \le X_1 \le 0.86$$
$$222 \le X_2 \le 237$$
$$527 \le X_3 \le 542$$
$$1.02 \le X_4 \le 1.17 \qquad (2)$$
$$1.2 \le X_5 \le 1.47$$
$$52 \le X_6 \le 66$$
$$120 \le Y \le 135$$

where X1 – raw material quality indicator (its specific weight); X2 – consumption of raw materials; X3 – temperature in the reactor; X4 – pressure in the reactor; X5 – catalyst circulation number; X6 – level in the reactor; Y – reaction products from the reactor (high-octane gasoline).

The issue of optimal control of the reactor block can be formulated as follows: for given values of raw material consumption and quality indicators in the technological block, it is required to find such values of control parameters in the reactor block from the permissible range (2), which in this case satisfies the maximum value of criterion (1), characterizing the optimization problem [6].

Solving of the problem

For solving of optimization problem we use the mathematical program MathCad taking into account the objective function and the limitation to input and control effects.
Here:

B0 = -263,021
B1 = 212,8566
B2 = -0,41509
B3 = 0,416644
B4 = 46,20876
B5 = 13,27996
B6 = 0,213648

are the coefficients of the mathematical model characterizing the production of reaction products in the reactor block.

```
b0 := −263.0210807
b1 := 212.8565622
b2 := −0.415085582
b3 := 0.416643967
b4 := 46.20875545
b5 := 13.27995681
b6 := 0.213648489
f(x1,x2,x3,x4,x5,x6) := b0 + b1·x1 + b2·x2 + b3·x3 + b4·x4 + b5·x5 + b6·
x1 := 0.847
x2 := 224
x3 := 529
x4 := 1.04
x5 := 1.34
x6 := 54
Given
0.845 < x1 < 0.86
222 < x2 < 237
527 < x3 < 542
1.02 < x4 < 1.17
1.2 < x5 < 1.47
52 < x6 < 66
p := Maximize(f,x1,x2,x3,x4,x5,x6)
```

$$p = \begin{pmatrix} 0.86 \\ 222 \\ 542 \\ 1.17 \\ 1.47 \\ 66 \end{pmatrix}$$

```
f(x1,x2,x3,x4,x5,x6) = 122.083
```

Based on these values, the mathematical model of the reactor block is expressed as follows:

Y= -263,021 + 212,8566 X1 + -0,41509 X2 - 0,41644 X3 + 46,20876 X4 -13,27996 X5 + 0,21348 X6

Optimal base values of parameters:
X1 = 0,86; X2 = 222; X3 = 542; X4 = 1,17; X5= 1,47; X6= 66; Y = 122,083.

The obtaining values are the optimal values of the facility's main mode parameters. The optimal value of the objective function: F = 122.083

The results of solving the optimization problem for the reactor block of the catalytic cracking unit are given in table.

Table - Results of optimal solution for reaction products

№	Technological parameters	The real values of the parameters	Optimal values of parameters
1	X1 - raw material quality indicator (its specific weight)	0.847	0.86
2	X2 – consumption of raw materials	224	222
3	X3 – temperature in the reactor	529	542
4	X4 – pressure in the reactor	1.04	1.17
5	X5 – catalyst circulation number	1.34	1.47
6	X6 – level in the reactor	54	66
7	Y – reaction products from the reactor (high-octane gasoline)	122	122.083

Conclusion

Mathematical formalization of the issue of optimal control of the reactor block of the catalytic cracking is performed. An optimization algorithm is developed that allows to calculate the optimal operating modes of the reactor block. Values obtained as a result of solving the optimization problem for reactor block.

Conflict of Interests

The author declares there is no conflict of interests related to the publication of this article.

REFERENCES

1. **Robinson Paul.** (January 2007). Petroleum Processing Overview. In book: Practical Advances in Petroleum Processing. 78 p. *(in English)* https://www.researchgate.net/publication/226038766_Petroleum_Processing_Overview
2. **Ağayev F.H., Səfərova A.A**. Mürəkkəb texnoloji sistemlərdə işəburaxma prosesinin optimal idarəetmə alqoritmlərinin işlənilməsi. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*, 2020, cild 12. N.3. *(in Azerbaijani)*
3. **Safarova A.A.** The development of an algorithm for optimal distribution of water resources of regional irrigation systems. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*, 2017, cild 9. N.2. *(in English)*
4. **Bukhtoyarov, V & Tynchenko, V & Petrovsky, E & Dokshanin, S & Kukartsev, V.** (2019). Research of methods for design of regression models of oil and gas refinery technological units. IOP Conference Series: Materials Science and Engineerin. 537 p. *(in English)*
5. **Lee D., Wiswall M.** A Parallel Implementation of the Simplex Function Minimization Routine, *Computational Economics*, vol. 30, pp. 171–187, 2007 *(in English)*
6. **Mike J.D. Powell**: The BOBYQA algorithm for bound constraint optimization without derivatives, Report DAMTP 2009/NA06, University of Cambridge, UK, 2009*(in English)*

Investigation of the Voltage Balance Scheme to Protect the Generator from Ground Fault

R.M. Abbasov, E.K. Manafov, F.H. Huseynov

Azerbaijan National Aviation Academy (Mardakan ave. 30, Baku, AZ1045, Azerbaijan)

For correspondence:
Huseynov Farid / e-mail: huseynovferid17525257@gmail.com

Abstract

The article discusses the features of protecting the stator winding of the generator from ground faults using the voltage balance method. It has been established that this scheme can be used regardless of the generator load regime. The regimes of closing the generator winding to the ground for the voltage balance circuit at various R_f are considered. The simulation results carried out using the MATLAB SIMULINK software showed that the circuit is highly sensitive with ground fault resistances up to R_f = 3 kΩ. It was found that the voltage balance circuit provides protection for 70% of the generator stator winding.

Keywords: synchronous generator, ground fault, third voltage harmonic, relay protection, generator operation regime, voltage balance circuit.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_89_96

Received *30.12.2022*
Revised *19.06.2023*
Accepted *21.06.2023*

For citation:

Abbasov R.M., Manafov E.K., Huseynov F.H.
[Investigation of the voltage balance scheme to protect the generator from ground fault]
Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 89-96 *(in English)*

Generatoru yerlə qapanmalardan mühafizə edən gərginliklər balansı sxeminin tədqiqi

R.M. Abbasov, E.K. Manafov, F.H. Hüseynov

Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası (Mərdəkan pr. 30, Bakı, AZ1045, Azərbaycan)

Yazışma üçün:
Hüseynov Fərid / e-mail: huseynovferid17525257@gmail.com

Xülasə

Məqalədə generatorun stator dolağının gərginliklər balansı sxemi əsasında işləyən mühafizəsinin xüsusiyyətlərinə baxılır. Müəyyən edilmişdir ki, bu sxemin səmərəliliyi generatorun yük rejimindən asılı deyil. Müxtəlif R_f – müqavimətləri üçün generator dolağının yerlə qapanmalar zamanı gərginliklər balansı rejimlərinə baxılmışdır. MATLAB SIMULINK proqram təminatı ilə aparılmış simulyasiya göstərdi ki, R_f = 3 kΩ-a qədər yerlə qapanma müqavimətlər üçün bu sxem yüksək həssaslığa malikdir. Gərginliklər balansı sxemi generatorun stator dolağının 70%-nin mühafizəsini təmin edir.

Açar sözlər: sinxron generator, yerlə qapanma, gərginliyin üçüncü harmonikası, rele mühafizəsi, generatorun iş rejimi, gərginliklər balansı sxemi.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_89_96

УДК 621. 316

Исследование схемы баланса напряжений для защиты генератора от замыканий на землю

Р.М. Аббасов, Э.К. Манафов, Ф.Х. Гусейнов

Азербайджанская Национальная академия авиации (Мардакянский пр. 30, Баку, AZ1045, Азербайджан)

Для переписки:
Гусейнов Фарид / e-mail: huseynovferid17525257@gmail.com

Аннотация

В статье рассматриваются особенности защиты статорной обмотки генератора от замыканий на землю с помощью метода баланса напряжений. Установлено, что эта схема может быть использована вне зависимости от режима нагрузки генератора. Рассмотрены режимы замыкания обмотки генератора на землю для схемы баланса напряжений при различных R_f. Результаты моделирования, проведенного с помощью программного обеспечения MATLAB SIMULINK, показали, что схема обладает высокой чувствительностью при сопротивлениях замыкания на землю вплоть до R_f = 3 kΩ. Выявлено, что схема баланса напряжений обеспечивает защиту 70 % статорной обмотки генератора.

Ключевые слова: синхронный генератор,замыкание на землю, третья гармоника напряжения, релейная защита, режим работы генератора, схема баланса напряжений.

Introduction

As you know, single-phase short circuits of the stator winding to ground are one of the most common types of damage to a synchronous generator. This requires the installation of reliable protections that provide disconnection of the damaged phase of the generator.

The main disadvantage of the circuits used to protect the stator winding of the generator from ground faults is the presence of a "dead" zone. If a fault occurs near the neutral of the generator, the protection trip current may be less than the ground fault current, as a result of which the protection sensitivity will be insufficient to disconnect the damaged phase. Therefore, to ensure the protection of the generator, special circuits are used that respond to changes in the third harmonics of the zero sequence voltage.

According to the above method, the third harmonics of the zero sequence voltage are measured near the neutral and at the terminals of the stator winding of the generator. When a short circuit occurs near the neutral, as it approaches the zero point, the third harmonic decreases to zero, and sharply increases at the terminals. When a short circuit occurs at the winding terminals, the situation is reversed - the third harmonic increases near the neutral and sharply decreases as it approaches the winding terminals. Thus, the ratio of the third voltage harmonics at the terminals and near the neutral $\frac{V_{3t}}{V_{3n}}$ can be used to protect the generator windings from ground faults [1-5, 6-8].

The purpose of the work

The aim of the work is to study the effectiveness of the voltage balance circuit for protecting the stator winding of the generator in case of single-phase ground faults near the neutral. Table 1 shows the nominal parameters of the considered generator.

Table 1 – Generator Ratings

Power (S_n)	**850 MVA**
Contact resistance (X'_d)	0.43
Supertransient resistance (X''_d)	0.25
Zero sequence inductive reactance (X_0)	0.13
Zero sequence active resistance (R_0)	0.0025
Generator winding capacitance to ground (C_g)	0.128 mkF
Ground resistance (R_n)	1212 Ω
Tire capacity (C_t)	0.1 mkrF
Capacitance between circuit breaker and transformer (C_{cb})	0.25 mkrF
Transformer capacitance (C_{tr})	0.2 mkrF

The voltage balance diagram of the generator-transformer unit is shown in Fig.1.

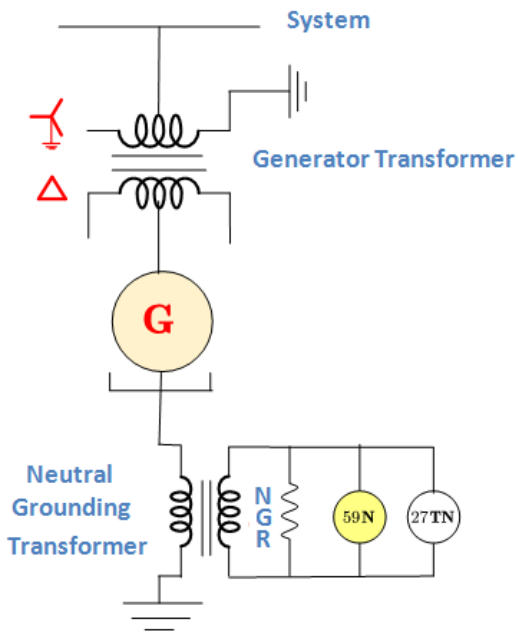


Figure 1 – Scheme of voltage balance

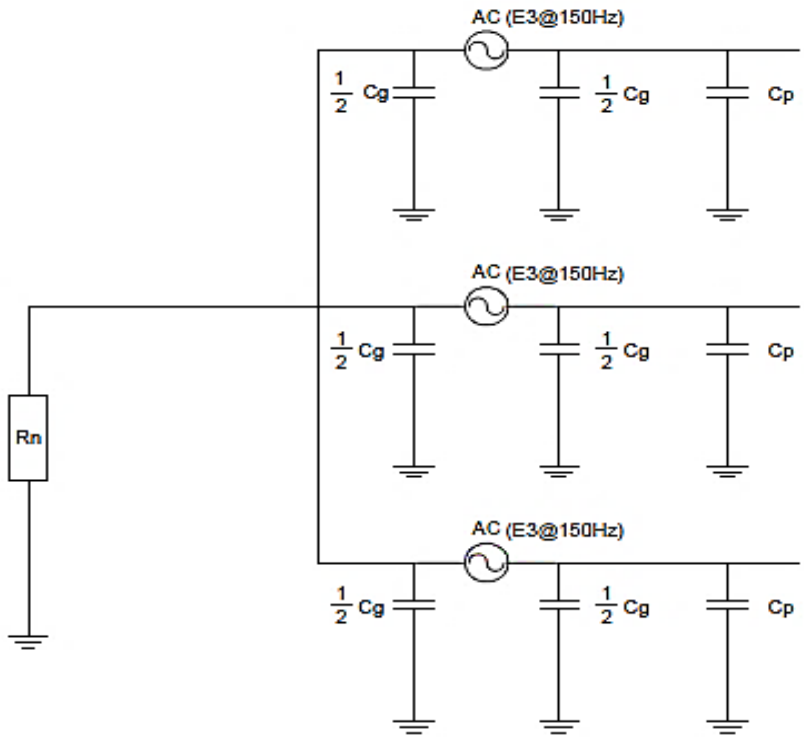


Figure 2 – Generator equivalent circuit in normal regime Consider the circuit for the third harmonics of the zero sequence voltage (Fig. 3).

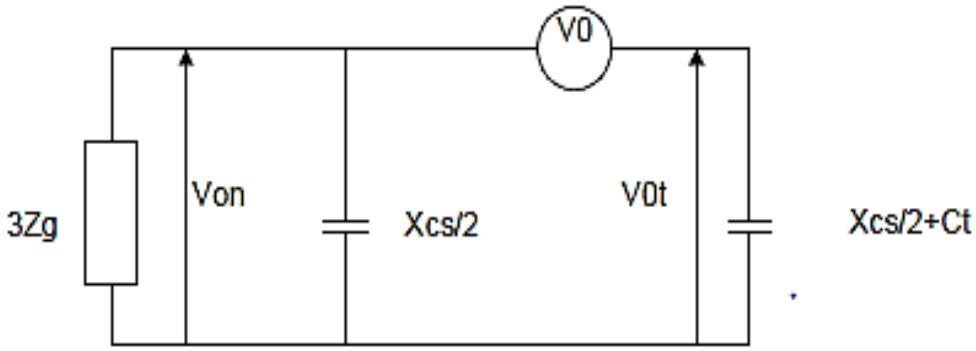


Figure 3 – Zero sequence voltage diagram

A simplified equivalent equivalent circuit of a generator in normal regime is shown in Fig.2. Here C_{ekv} is the equivalent capacitance of the tires, circuit breaker and transformer.

The calculation is made for the values given in Table 1.

$$C_{0n} = \frac{1}{2} C_g = 0.5 \cdot 0.128 \cdot 10^{-6} = 0.642 \cdot 10^{-7} F$$

$$C_{0t} = \frac{1}{2} C_g + C_t + C_{cb} + C_{tr} =$$
$$= 0.642 \cdot 10^{-7} + 0.55 \cdot 10^{-6} =$$
$$= 0.614 \cdot 10^{-6} F$$

Capacitances on the neutral and winding terminals.

$$X_{0n} = -j \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_3 \cdot C_{0n}} = -j16526\Omega$$

$$X_{0t} = -j \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_3 \cdot C_{0t}} = -j1728\Omega$$

Here f_3 = 150 Hz is the frequency of the third harmonic.

After solving these equations, the impedance near the neutral is calculated.

$$z_{0n} = \frac{-jX_{0n} \cdot 3 \cdot R_n}{3R_n - jX_{0n}} = 3469.18 - j763.48\Omega$$

Typical values of the third voltage harmonics in normal regime at various loads of the generator are given in Table 2 [3-6, 11-13].

Table 2 – Values of the third voltage harmonics in normal regime

Load regime	V_0 (V)
No load	210
Full load	420
Light load	121

Near the neutral, the third harmonic of the voltage:

$$V_{0n} = V_0 \frac{Z_{0n}}{Z_{0n} - jX_{0t}} =$$

$$= 210 \frac{3469.18 - j763.48}{(3469.18 - j763.48) - j1728} = 174.65V$$

At the generator outputs:

$$V_{0t} = V_0 \frac{X_{0t}}{Z_{0n} - jX_{0t}} =$$

$$= 210 \frac{-j1728}{(3469.18 - j763.48) - j1728} = 84.96V$$

The calculation of voltage third harmonics for full load and light load regime is performed in a similar way. The calculation results are shown in Table 3.

Table 3 – Values of the third voltage harmonics in various load regimes

Load regime	V_0 (V)	V_{0n} (V)	V_{0t} (V)
Full load	420	349	169
Light load	121	100	49
No load	210	174	84

The calculation shows that under all load conditions the ratio $\frac{V_{0t}}{V_{0n}}$ = 0.48. Therefore, the voltage balance circuit can be applied regardless of the generator operating regime [5-7, 9,10].To analyze the short circuit regime, the third harmonics of the voltage are modeled as 2 sources of alternating voltage (Fig. 4)

Third voltage harmonics near the neutral and at the generator terminals.

$$E_{3n} = kE_3 \qquad (1)$$
$$E_{3t} = (1-k)E_3$$

Here k=0 - 1 is the distance from the neutral to the closing point.

Capacitances C_n and C_t depend on the location of the fault:

$$C_n = k\, C_g \qquad (2)$$

$$C_t = (1-k)\, C_g$$

Consider the short circuit of one phase to ground (Fig. 5).

$$V_n + E_{3n} = (I_1 - I_2)R_f \qquad (3)$$
$$V_t = (I_1 - I_2)R_f + E_{3t}$$

Here R_f - is the ground fault resistance.

$$I_1 = -\frac{V_n}{Z_n} \qquad (4)$$

$$Z_n = \frac{-jX_{cn}R_n}{R_n - jX_{cn}}$$

$$V_n = k \cdot E_3 \cdot \left(1 - \frac{R_f}{Z_n}\right) = \qquad (5)$$

$$= k \cdot E_3 \cdot \left(1 - \frac{R_f}{R_n - j\dfrac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_3 \cdot k \cdot C_g}}\right)$$

Solving equations (1), (2), (3) and (4) together, we determine the value of the third voltage harmonic near the neutral.

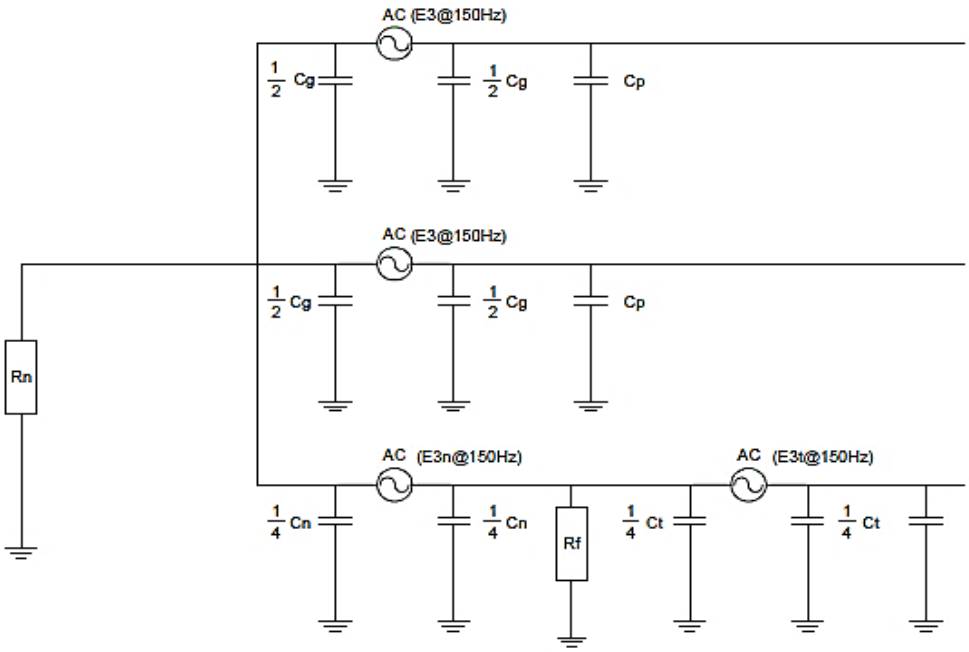


Figure 4 – Ground fault equivalent circuit

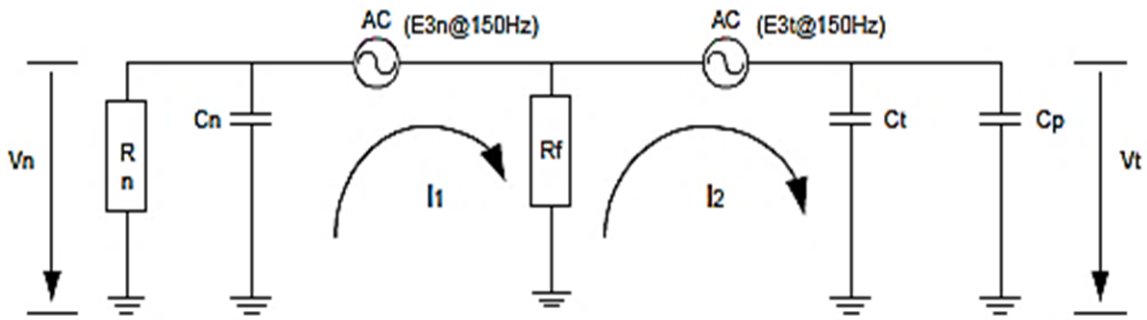


Figure 5 – Equivalent circuit for ground fault regime

Modeling

Let us consider the regime of closing the generator winding to the ground for the voltage balance circuit at various R_f.

The results of the simulation carried out using the MATLAB SIMULINK software are shown in Fig. 6.

The value of the third voltage harmonic at the generator terminals

$$V_t = \left((1-k)\cdot E_3\right) - \left(V_n \cdot \frac{R_f}{Z_n}\right) \quad (6)$$

E_3 is the third harmonic of the generator voltage.

As can be seen, the voltage third harmonics depend on the fault point (k) and the ground fault resistance (R_f).

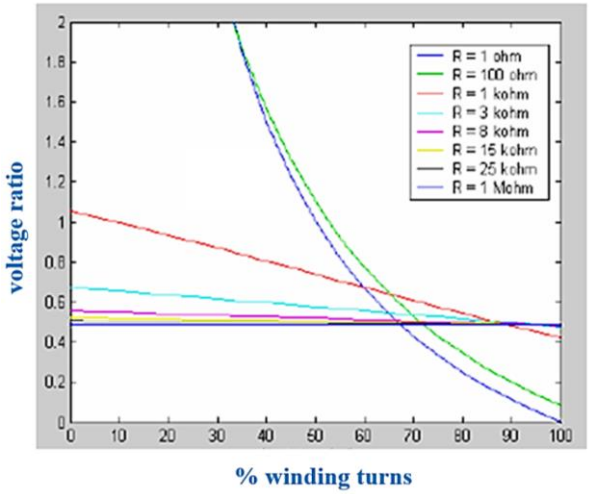


Figure 6 – Dependence of the $\frac{V_{0t}}{V_{0n}}$ ratio on the location of the winding damage

As can be seen, the circuit is highly sensitive for ground fault resistances up to R_f = 3 kΩ. The setting for the voltage relay operation is detuned from the ratio of the third harmonics of the voltage in normal regime.

$$\frac{V_{3t}}{V_{3n}} > k_s V_0 \quad (7)$$

Here k_s=1.2 is the safety factor.

Considering that in normal regime:

$$V_0=0.48,\ \frac{V_{3t}}{V_{3n}} > 0.58.$$

Fig. 7 shows the dependence of the short circuit resistance on the location of the winding damage. As you can see, the voltage balance circuit provides protection for approximately 70% of the stator winding on the neutral side.

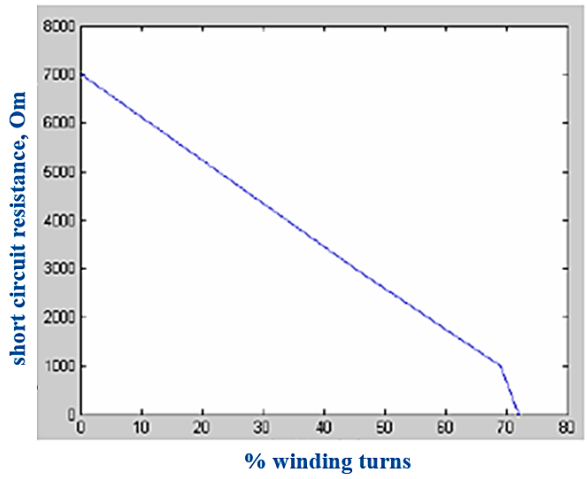


Figure 7 – The dependence of the circuit resistance on the location of the winding damage

Conclusion

The results of the research are shown below. The voltage balance circuit is universal and can be used to protect the stator winding under any generator load conditions. The circuit is highly sensitive with ground fault resistances up to R_f = 3 kΩ. The voltage balance circuit provides ground fault protection for 70% of the stator winding on the neutral side.

Conflict of Interests

The authors declare there is no conflict of interests related to the publication of this article.

REFERENCES

1. **Pillai P., Bailey B.G., Bowen J., Dalke G., Douglas B.G., Fischer J., Jones J.R., Love D.J., Mozina C. J., Nichols N., Normand C., Padden L., Pierce A., Powell L.J., Shipp D.D., Stringer N.T., Young R.H.** "Grounding and Ground Fault Protection of Multiple Generator Installations on Medium-Voltage Industrial and Commercial Systems – Part 2: Grounding Methods Working Group Report," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 40, Issue 1, 2004, pp. 17–23. *(in English)*
2. **Sirota I.M., Shapoval A.P., Bogachenko A.E., Dovbnya G.N.** Zashchita ot zamykanij na zemlyu obmotki statora blochnyh generatorov. Elektricheskie stancii, 2009, №4. s.62-65. *(in Russian)*
3. **Pope J.W.** A comparison of 100% stator ground fault protection schemes for generator stator windings, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No.4, April 2004, pp. 832-840. *(in English)*
4. **Badri Ram and Vishwakarma D.N.** Power System Protection and Switchgear, 2nd edition, Tata McGraw Hill Education Pvt. Ltd., New Delhi. 2017, 684 p. *(in English)*
5. **Balametov A.B., Halilov E.D.** Primenenie kombinirovannyh uravnenij ustanovivshegosya rezhima i teplovogo balansa dlya modelirovaniya rezhimov elektricheskih setej. *Vestnik Azerbajdzhanskoj Inzhenernoj Akademii*, Tom 11. № 2, 2019, c. 93-103. *(in Russian)*
6. **Tavner P., Ran L., Penman J., and Sedding H.** Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines. 2nd ed. The Institution of Engineering and Technology, London, UK, 2008. *(in English)*
7. **Tierney D., Kasztenny B., Finney D., Haas D., and Lee B.**, "Performance of Generator Protection Relays During Off-Nominal Frequency Operation," proceedings of the 67th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, March 2014. *(in English)*
8. **Soñez P., Vicentini F., Skendzic V., Donolo M., Patel S., Xia Y., and Scharlach R.C.** "Injection-Based Generator Stator Ground Protection Advancements," proceedings of the 41st Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, October 2014. *(in English)*
9. **Koeppl G. and Braun D.** "New Aspects for Neutral Grounding of Generators Considering Intermittent Faults", CIDEL 2010, Sept. 2010. *(in English)*
10. **Klingerman N., Wright L., Cockerham B.** "Field Experience with Detecting an Arcing Ground Fault on a Generator Neutral Point", 42nd Annual Western Protective Relay Conference, October 2015. *(in English)*
11. **Safari-Shad N. and Franklin R.**, "Adaptive 100% Stator Ground Fault Protection Based on Third-Harmonic Differential Voltage Scheme," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 31, no. 4, Aug. 2016, pp. 1429-1436. *(in English)*
12. **IEEE** Guide for Generator Ground Protection, IEEE Standard C37.101, 1993. *(in English)*
13. http://www.ama.com.az/wp-content/uploads/2023/04/0-15-N1-2023.pdf

Aplication of Controlled FACTS an Effective Way to Increase Stability and Optimize Voltage Levels in the Power System

A.B. Balametov

"Azerenerji" OJSC "Azerbaijan Scientific-Research and Project-Research Energy Institute" LLC (A.Alizade.10, Baku, AZ 1005, Azerbaijan)

For correspondence:
Balametov Ashraf / e-mail: elmira_qadashova@hotmail.com

Abstract

The article discusses the use of managed FACTS to solve the problem of voltage stability of the power system and the application of optimization methods for the optimal location, installed power of devices and minimization of losses. To increase the static stability of the Azerbaijan EES, it is proposed to improve the damping of low-frequency oscillations by placing a unified regulator of power flows in the power system.

Keywords: electric power system, voltage stability, controlled by FACTS, optimization algorithms, location determination, unified power flow controller, damping of low-frequency oscillations.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_97_109

Received *26.10.2022*
Revised *16.06.2023*
Accepted *21.06.2023*

For citation:
Balametov A.B.
[Aplication of controlled facts an effective way to increase stability and optimize voltage levels in the power system]
Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 97-109 *(in Russian)*

Enerji sistemində dayanıqlığın yüksəldilməsi və gərginlik səviyyələrinin optimallaşdırılmasının tənzimlənməsi üçün idarə olunan FACTS-qurğularının tətbiqi

Ə.B. Balametov

"Azərenerji" ASC "Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış Energetika İnstitutu" MMC (Ə. Əlizadə küç. 10, Bakı, AZ 1005, Azərbaycan)

Yazışma üçün:
Balametov Əşrəf / e-mail: balametov.azniie@gmail.com

Xülasə

Məqalədə enerji sisteminin gərginlik dayanıqlığı probleminin həlli üçün idarə olunan FACTS istifadəsi və optimal yerləşdirmə, cihazların quraşdırılmış gücü və itkilərin minimuma endirilməsi üçün optimallaşdırma üsullarının tətbiqi müzakirə olunur. Azərbaycan Respublikasının statik sabitliyini artırmaq üçün enerji sistemində güc axınlarının birləşdirilmiş tənzimləyicisinin yerləşdirilməsi ilə aşağı tezlikli dalğalanmaların dempfinin yaxşılaşdırılması təklif olunur.

Açar sözlər: elektrik enerjisi sistemi, FACTS, idarə olunan gərginliyin dayanıqlığı, optimallaşdırma alqoritmləri, vahid enerji axını tənzimləyicisi, aşağı tezlikli rəqslərin sönümlənməsi.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_97_109

УДК 621.311

Применение управляемых FACTS для повышения устойчивости и оптимизации уровней напряжений в энергосистеме

А.Б. Баламетов

ОАО "Азерэнержи" ООО "Азербайджанский научно-исследовательский и проектно-исследовательский энергетический институт" (ул. А. Ализаде 10, Баку, AZ1005, Азербайджан)

Для переписки:
Баламетов Ашраф / e-mail: balametov.azniie@gmail.com

Аннотация

В статье рассматривается применение управляемых FACTS для решения проблемы устойчивости напряжения энергосистемы и применения методов оптимизации для оптимального места размещения, установленной мощности устройств и минимизации потерь. Для повышения статической устойчивости Азербайджанской ЭЭС предлагается улучшение демпфирования низкочастотных колебаний размещением унифицированного регулятора потоков мощностей в энергосистеме.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, устойчивость напряжения, управляемый FACTS, алгоритмы оптимизации, унифицированный регулятор потоков мощности, демпфирование низкочастотных колебаний.

Введение

Устойчивость работы энергосистемы является одним из основных направлений в последние время из-за несоответствия между спросом и генерацией активной мощности. Поддержание уровней напряжений в узлах является сложной задачей планирования и обеспечения надежности и оценки энергосистем. Устойчивость по напряжению - это способность энергосистемы поддерживать устойчивость и приемлемое напряжения на всех шинах энергосистемы в нормальных условиях эксплуатации и после воздействия нарушения. Проблемы с долговременной нестабильностью напряжения могут возникать в сильно нагруженных системах, где большое расстояние между генератором и нагрузкой. Своевременное применение компенсации реактивной мощности или сброс нагрузки может предотвратить этот тип нестабильности напряжения. Возможности обработки реактивной мощности системы могут быть улучшены с устройствами гибкой системы передачи переменного тока (FACTS). Применение соответствующего контроллера FACTS повышает устойчивость энергосистемы. В статье рассматривается применение управляемых FACTS для решения проблемы устойчивости напряжения энергосистемы и применения методов оптимизации для оптимального места размещения, установленной мощности устройств и минимизации потерь.

Структура электроэнергетической системы (ЭЭС) Азербайджана характеризуется существенной неоднородностью, в большом количестве электроэнергетических режимов наблюдается неравномерная загрузка линии электропередачи (ЛЭП), режим работы шунтирующей электрической сети может ограничивать возможность транзитной передачи электроэнергии по системообразующим связям. Применение устройств Flexible AC Transmission System (гибкие линии передачи переменного тока) (FACTS) позволяет придать пассивной электрической сети активные свойства и за счет этого осуществлять гибкое управление режимами работы энергосистемы. Устройства FACTS позволяют повысить пропускную способность электрической сети. Демпфирование может быть достигнуто за счет использования других устройств, установленных специально для повышения устойчивости. Наущение устойчивости электроэнергетической системы, является результатом потери синхронности ротора генератора в результате недостаточного демпфирующего момента низкочастотных колебаний частоты (обычно 0,1–1,0 Гц), локальные колебания частоты 1–3 Гц. Предлагается улучшение демпфирования низкочастотных колебаний размещением унифицированного регулятора потоков мощностей в энергосистеме. Эффективность применения продемонстрирована на тестовом примере неоднородной сети напряжением 220-330-500 кВ.

Устройства FACTS в основном использовались для решения различных задач управления энергосистемой в установившемся режиме, таких как регулирование напряжения, управление потоком мощности и повышение пропускной способности.

Как правило, установка устройств FACTS с единственной целью повышения статической устойчивости энергосистемы нерентабельна.

Целью статьи является распределение реактивной мощности размещением

FACTS второго поколения с электронными устройствами, улучшение демпфирования низкочастотных колебаний с помощью унифицированного регулятора потоков мощностей в энергосистеме.

Анализируется проблема устойчивости энергосистемы за счет использования статического синхронного компенсатора (STATCOM) для увеличения демпфирования электромеханических колебаний энергосистемы и регулирования напряжения системы. Предлагаемое комбинированное управление STATCOM и Unified Power Flow Controllers (UPFC) путем оперативного согласованного регулирования для демпфирования колебаний позволяет улучшить статическую устойчивость энергосистемы. Эти устройства должны быть дополнены вспомогательным контроллером для демпфирования низкочастотных колебаний.

Структура электрической сети Азербайджана характеризуется существенной неоднородностью, в связи с чем в большом количестве электроэнергетических режимов наблюдается неравномерная загрузка ЛЭП, в связи с чем режим работы шунтирующей электрической сети может ограничивать возможность транзитной передачи электроэнергии по системообразующим связям.

Применение устройств FACTS позволяет придать пассивной электрической сети активные свойства и за счет этого осуществлять гибкое управление режимами работы энергосистемы [1-4].

Метод обобщенных показателей чувствительности ЭЭС для размещения устройств FACTS. Применение устройств FACTS в электрических сетях требует определения мест размещения, настройки параметров управления и оптимизации путем управления параметрами устройств. Анализ неоднородностей можно произвести на основе обобщенных показателей электрической сети выявлением наиболее чувствительных элементов и использованием этой информации для улучшения свойств электроэнергетической системы. Места расположения устройств FACTS в Азербайджанской ЭЭС определены на основе использования индекса стабильности напряжения, чувствительности потерь активной и реактивной мощности по реактивному сопротивлению для каждой линии.

Неоднородность схемы привела к существованию различных свойств чувствительности и слабости в разных местах ЭЭС. Поэтому такие подходы могут рассматриваться как методы анализа неоднородности и ее проявлений.

При функционировании ЭЭС подвергается различным воздействиям: изменения нагрузок, коммутация элементов схемы, изменения генераций мощности, воздействия автоматики, короткие замыкания, большие сбросы (набросы) нагрузок, отключения оборудования, работа защит и противоаварийной автоматики.

Возмущения, прикладываемые в разные места ЭЭС, вызывают заметную реакцию одних и тех же параметров режима: при разной локализации возмущений больше всего изменяются модули напряжения в одних и тех же узлах, перегружаются одни и те же элементы [5, 6].

В [5] приведены результаты исследования влияния ветвей на неоднородность Азербайджанской энергосистемы на основе обобщенного показателя неоднородности электрической сети (ЭС) [5].

Современные мощные энергосистемы характеризуются применением устройств FACTS для повышения пропускной способности линий и уменьшения потерь в них [6-7].

Целью данной статьи является анализ мест расположения устройств FACTS на основе использования показателей, как индекс статической устойчивости напряжения, чувствительность потерь активной и реактивной мощности для каждой линии.

Использование обратной матрицы Якоби и обратной матрицы Z. Для выявления сенсорных узлов, параметры режима которых наиболее чувствительны к таким внешним возмущениям, как изменения активных и реактивных нагрузок, можно использовать линеаризованное выражение [5]:

$$\begin{pmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial U} \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial U} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta \delta \\ \Delta U \end{pmatrix} \qquad (1)$$

Известно, что элементы обратной матрицы Якоби характеризуют степень влияния изменения активных и реактивных нагрузок в узле j на изменения фаз и модулей напряжений в узле i. При этом если значения диагональных элементов матрицы Якоби значительно больше над недиагональными, то изменения фаз напряжений в узле i в большей мере определяются изменениями активных нагрузок, а изменения модулей напряжений -изменениями реактивных нагрузок в этом узле.

Идентификация чувствительных узлов с целью наилучшего размещения устройств для компенсации реактивной мощности. Для этой цели в [5] предлагается использовать показатель, который называется показателем статической устойчивости по напряжению (Static Voltage Stability Index - SVSI). Этот показатель можно использовать для определения местоположения FACTS в ЭС. Показатель статической устойчивости по напряжению для простой модели линии с двумя узлами имеет вид:

$$k_{\text{èó}} = \frac{2 \cdot \sqrt{\left(X_{ji}^2 + R_{ji}^2\right) \cdot \left(P_{ji}^2 + Q_{ji}^2\right)}}{\left|V_i^2 - 2X_{ji}Q_{ji} - 2R_{ji}P_{ji}\right|} \qquad (2)$$

Используется также, ускоренный показатель статической устойчивости по напряжению (Fast Voltage Stability Index - FVSI). Рассчитанный для всех ветвей этот показатель может быть использован для определения чувствительных узлов. Определение таких узлов основано на максимальной реактивной нагрузке.

Известно, что если узел i является началом линии, то напряжение конца линии определяется из уравнения баланса реактивной мощности:

$$V_j^2 - \left(\frac{R}{X}\sin\delta + \cos\delta\right)V_i V_j + \left(X + \frac{R^2}{X}\right)Q_j = 0$$

Условием, при котором данное уравнение имеет положительное решение, является:

$$\frac{4Z^2 Q_j X}{V_i^2 (R\sin\delta + X\cos\delta)} \le 1$$

При учете условия $\delta \approx 0$ имеем:

$$k_{\text{óñê}} = \frac{4Z^2 Q_j}{V_i^2 X} \le 1 \qquad (3)$$

где Z полное сопротивление линии, X реактивное сопротивление, V_i напряжение в начале, Q_j реактивная мощность в конце линии.

Наиболее чувствительные узлы соответствуют узлам с меньшими максимальными реактивными нагрузками. Для устой-

чивого состояния ЭС $k_{уск}$ принимает значения от 0 до 1. $k_{уск}$=1 представляет собой неустойчивое состояние. Для устойчивой системы $k_{уск}$ должен поддерживаться на уровне значительно ниже чем 1.

Чувствительность потерь реактивной мощности по регулируемому параметру тиристорно-управляемого продольного компенсатора (ТУПК). Для ТУПК, установленного на линии между узлами i и j реактивное сопротивление линии можно рассматривать в качестве регулируемого параметра. Тогда чувствительность потерь реактивной мощности по регулируемому параметру ТУПК можно представить в виде

$$a_{ij} = \frac{\partial Q_L}{\partial x_{ij}} = \left[V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos\delta_{ij}\right] \cdot \frac{r_{ij}^2 - x_{ij}^2}{\left(r_{ij}^2 + x_{ij}^2\right)^2} \quad (4)$$

Последнее уравнение показывает, что чем больше коэффициент чувствительности, тем больше передающая способность линии возрастает после установки ТУПК.

Для всех линий определяются индексы чувствительности, и для размещения ТУПК выбирается линия с наибольшим положительным индексом чувствительности потерь реактивной мощности.

Чувствительность потерь активной мощности. Чувствительность потерь активной мощности при передаче по продольному реактивному сопротивлению определяется следующим образом

$$b_{ij} = \frac{\partial P_L}{\partial X_{ij}} = -2\left[V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos\delta_{ij}\right] \cdot G_{ij} B_{ij} \quad (5)$$

В общем случае, чем больше коэффициент чувствительности, тем больше передающая способность линии возрастает после установки ТУПК.

Исследования по выявлению сенсорных элементов Азербайджанской энергосистемы были проведены на примере эквивалентной схемы, состоящей из 24 узлов и 26 ветвей. Для определения показателей чувствительности были проведены РУРЭС. Наиболее чувствительными являются подстанции Аз-ЭЭС22: 1 - ТЭС-Аз, 3 - Мин-ГЭС, 5 - Абшерон, 7 - Хырдалан, 10 - Сумгайыт-ТЭС, 18 - Говсаны, 23 - Агджабеди.

Анализ элементов матрицы Якоби показывает значительное преобладание диагональных элементов. Диаграмма ускоренного показателя статической устойчивости по напряжению для ветвей 24-х узловой схемы приведена на рис. 1.

Из рис.1 следует, что наиболее чувствительны к изменениям активных нагрузок фазы напряжений в узлах 4, 5, 6.

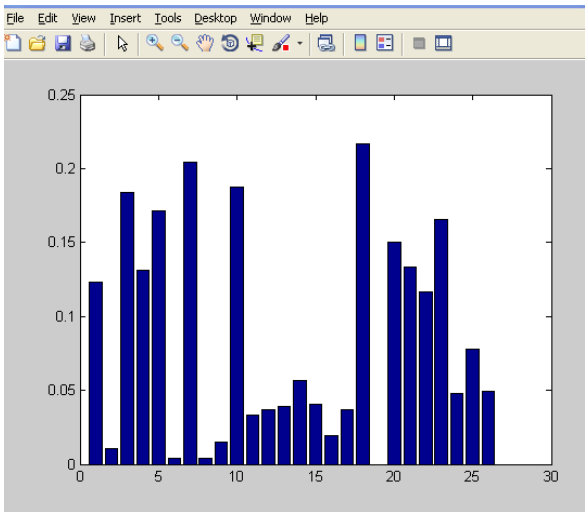


Рисунок 1 – Диаграмма чувствительных ветвей на основе ускоренного индекса устойчивости
Figure 1 – Diagram of sensitive branches based on the accelerated stability index

К изменениям реактивных нагрузок наиболее чувствительны узлы 2, 3, 6. Максимальные элементы матрицы *Z* (диагональные элементы) характеризующие

наиболее сенсорные узлы соответствуют узлам 5-7.

Для нахождения лучшего места для размещения ТУПК также может быть использован анализ чувствительности. Существуют несколько индексов для использования при нахождении оптимального места установки ТУПК.

Методы оптимизации энергетической системы с устройствами FACTS. Устройство FACTS на линии электропередачи играет важную роль в поддержании устойчивости энергосистемы. За последние время были предложены и реализованы различные методы оптимизации с устройствами FACTS. Последние достижения в компьютерной инженерии и сложность, связанная с оптимизацией энергосистемы, привели к необходимости разработки методов программирования, которые можно использовать для поиска оптимального места для размещения устройств FACTS. К ним относятся динамическое программирование, методы множителей Лагранжа, эвристические методы и эволюционные методы, такие как генетические алгоритмы. Эти методы часто используются в комбинации многими другими методами интеллектуальных систем, включая искусственные нейронные сети (ИНС), экспертные системы (ЭС), алгоритмы табу-поиска (ТС) и нечеткую логику (НЛ) [7]. Проблема размещения устройств FACTS решается также с использованием эвристических методов оптимизации, которые разнообразны и постоянно совершенствуются.

Современные устройства FACTS требуют современных подходов испытаний и тестирования. Эти компенсаторы также можно использовать для уменьшения колебаний напряжения.

Кратковременные проблемы с устойчивостью напряжения обычно связаны с быстрой реакцией регуляторов напряжения (АРВ генераторов) и силовых электронных преобразователей, таких как те, которые встречаются в гибкой системе передачи переменного тока. В случае регуляторов напряжения неустойчивость напряжения обычно связана с неправильной настройкой системных контроллеров.

Применение устройств FACTS для гашения низкочастотных колебаний в энергосистемах. Основным преимуществом СТАТКОМ-а и унифицированного регулятора потока мощности (УРПМ) является быстродействие. Время перехода из режима максимальной выработки реактивной мощности в режим максимального потребления составляет менее 0.01 сек.

Устойчивость энергосистем вызвана сложными взаимосвязями и является главной проблемой энергосистемы.

В ЭЭС может перестать обеспечивать адекватное демпфирование для межзональных колебаний и вариации профиля напряжения. Применение устройств FACTS может обеспечивать эффективное демпфирование низкочастотных колебаний и улучшить уровни напряжений в узлах.

Унифицированный регулятор потока мощности является наиболее перспективным устройством в концепции FACTS. Он имеет возможность регулировать три параметра управления, то есть напряжение на шине, реактивное сопротивление линии передачи и фазовый угол между двумя шинами одновременно или независимо. UPFC выполняет это посредством управления

синфазным напряжением, квадратурным напряжением и компенсацией шунта.

UPFC может управлять тремя параметрами управления либо по отдельности, либо в соответствующих комбинациях на своем последовательно соединенном выходе, сохраняя при этом поддержку реактивной мощности на своем параллельном входе.

Общепризнано, что добавление дополнительного контроллера к UPFC может значительно улучшить демпфирование энергосистемы. Поэтому было предложено несколько схем управления для выполнения задачи демпфирования колебаний.

Имеется попытки размещения UPFC для энергосистемы на линии электропередачи с двумя зонами для демпфирования режима колебаний между участками.

Был предложен ПИ-контроллер с несколькими входами и несколькими выходами. Показано что, если более одного контроллера UPFC, такого как контроллер потока мощности, контроллер напряжения переменного тока и контроллер напряжения постоянного тока, были разработаны отдельно, динамическое взаимодействие между различными каналами управления может нарушать устойчивость системы.

Разработаны различные интеллектуальные контроллеры демпфирования для UPFC для демпфирования как локальных, так и межзональных мод колебаний для многомашинной системы. Эффективность таких контроллеров была продемонстрирована и описана с удовлетворительным успехом.

Устройства FACTS позволяют решать широкий комплекс задач – от регулирования напряжения в узлах электрической сети и перераспределения потоков активной и реактивной мощности между сетями различного класса напряжения до повышения степени использования пропускной способности электрической сети.

Эффективность применения UPFC и STATCOM только для гашения колебаний частоты ЭЭС может быть экономически неоправданной. Использование также для управления оптимальными установившимися режимами дает большую экономическую эффект.

Управляемые и неуправляемые устройства продольной компенсации (УПК). Применение устройств УПК позволяет увеличить пропускную способность ЛЭП и контролируемых сечений, осуществить перераспределение потоков активной мощности по ЛЭП, в том числе разных классов напряжения, а также демпфирование низкочастотных колебаний мощности (при наличии в составе УПК управляемой части).

Применение фазоповоротных устройств (ФПУ) позволяет обеспечить регулирование напряжения на объекте установки не только по величине, но и по фазе, изменяя при этом как активную, так и реактивную мощность по соответствующему электросетевому элементу.

Глобальное управление демпфированием (WADC) - это класс систем автоматического управления, используемых для повышения устойчивости современных электроэнергетических систем, известных как интеллектуальные сети. Приведение в действие контроллера обеспечивается посредством модуляции способных устройств активной или реактивной мощности по

всей сети. Такие исполнительные механизмы чаще всего представляют собой ранее существовавшие устройства энергосистемы, такие как статические компенсаторы реактивной мощности, которые служат основным целям, не связанным напрямую с применением WADC. Неустойчивость крупной электрической сети, не оборудованной WADC, является результатом потери синхронности ротора генератора и обычно рассматривается как генератор (или группа генераторов), колеблющийся по незатухающей экспоненциальной траектории в результате недостаточного демпфирующего момента.

Добавление к энергосистеме с двумя зонами комбинации СТАТКОМ и UPFC приводит к значительному увеличению демпфирования колебаний и повышению устойчивости энергосистемы (рис 2).

Предусматривается координация между контроллером STATCOM и UPFC, принимается во внимание для улучшения стабильности системы при переходных процессах, а также для регулирования напряжения в системе.

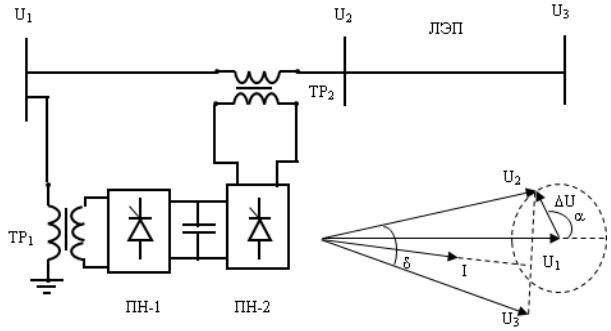


Рисунок 2 – Модель системы УРПМ для гашения колебаний ЭС
Figure 2 – System model UPFC for damping oscillations ES

Статический синхронный последовательный компенсатор (ССПК) (static synchronous series compensators SSSC) является гибкой системой передачи переменного тока, которая состоит из инвертора источника напряжения, соединенного с трансформатором, который последовательно соединен с линией передачи.

Это устройство может подавать почти синусоидальное напряжение последовательно с линией. Введенное напряжение можно рассматривать как индуктивное или емкостное реактивное сопротивление, которое последовательно подключается к линии передачи. Эта функция может обеспечить управляемую компенсацию напряжения. Кроме того, SSSC может реверсировать поток мощности, вводя достаточно большое последовательное реактивное компенсирующее напряжение.

UPFC использует твердотельные устройства, которые обеспечивают функциональную гибкость, обычно недостижимую с помощью обычной тиристорно управляемой системы. UPFC представляет собой комбинацию статического синхронного компенсатора и статического синхронного последовательного компенсатора которые связаны через общую линию постоянного напряжения.

Устройства FACTS, на основе STATCOM и универсального регулятора потока мощности.

Устойчивость ЭС - это способность электроэнергетической системы при заданных начальных рабочих условиях восстанавливать состояние рабочего равновесия после воздействия физического возмущения, при этом большинство системных переменных ограничено таким образом, что практически вся система остается нетронутой.

Статический компенсатор реактивной мощности (SVC) является одним из шунтирующих устройств FACTS, который повышает устойчивость сети, ограничивая низкочастотные колебания и др. Стабилизатор (PSS) также играет эффективную роль в демпфирование колебаний.

СТАТКОМ имеет контроллер обратной связи по выходу, а PSS имеет ПИ-регулятор. Эти устройства СТАТКОМ и PSS используются совместно для улучшения демпфирования колебания энергосистемы [6-8].

Системы возбуждения с высоким коэффициентом усиления и малым временем отклика значительно улучшают устойчивость переходных процессов, но также могут снижать устойчивость малых сигналов (демпфирующий момент). Управление стабилизатором энергосистемы вносит положительный вклад за счет гашения колебаний угла ротора генератора, которые находятся в широком диапазоне частот в энергосистеме.

Слабые связи в работе линий и больших нагрузок на систему могут привести к плохо демпфированным режимам. Управление PSS, как правило, может обеспечить значительные улучшения в демпфировании режима за счет применения стабилизаторов к большинству блоков, которые участвуют в режимах качания мощности.

PSS обеспечивает модуляцию напряжения возбуждения, которая гасит колебания мощности и скорости за счет обычного управления регулированием напряжения. Исследование настройки определяет оптимальные настройки PSS на основе конкретного генератора, настроек автоматических регуляторов напряжения и характеристик системы.

Решение задачи

Эквивалентная электрическая схема участка 220-330-500 кВ Азербайджанской ЭЭС объединяющая две зоны приведена на рис.3.

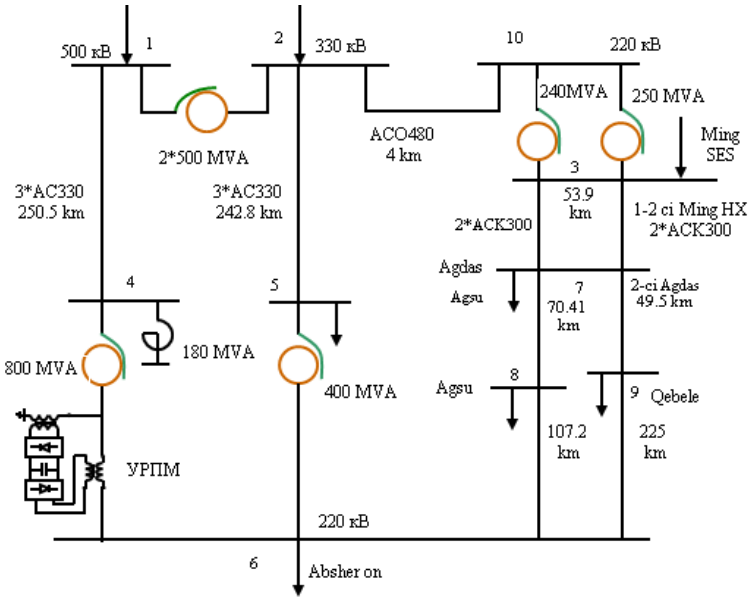


Рисунок 3 – Эквивалентная электрическая схема участка 220-330-500 кВ
Figure 3 – Equivalent electrical circuit of the section 220-330-500 kV

Рассматривается установка на шинах узла 220 кВ подстанции Абшеронская STATCOM куда подходит ЛЭП 220, 330 и 500 кВ и УРПМ на линии 500 кВ. Генерация электрических станций северо-западной зоны ЭЭС Азербайджана составляет около 3400 МВт. Генерация электрических станций Абшеронской зоны составляет около 3000 МВт. Место установки STATCOM и УРПМ на конце ВЛ 500 кВ со стороны АТР 800 МВА (500/220 кВ) 220 кВ ПСТ Абшерон.

Рассмотрены режимы потребления активной мощности в зоне Абшерон (в узле №6) 1600 МВт при отборах активной мощности на подстанциях 220 кВ Агдаш, Агсу, Габала по 50 МВт. Расчеты произведены на основе программного комплекса Аз НИ и ПИ ИЭ [9, 10]. При моделировании режимов предусмотрено использование адекватных математических моделей FACTS. Пропускная способность в системе передачи ограничена из-за различных факторов, таких как предел устойчивости установившегося состояния, термическое ограничение, предел переходной устойчивости и демпфирование системы.

Неоднородность в схеме сети (рис. 3) приводит к перегрузке ВЛ 220 кВ и росту потерь активной мощности. Потоки активной мощности при установке УРПМ по ВЛ 500 кВ растут с 888.3 МВт до 971.4 МВт, по ВЛ 220 кВ снижаются с 482 МВт до 433 МВт. Потери мощности с учетом УРПМ уменьшаются на 11.46 МВт.

Напряжения в узлах схемы с учетом и без учета УРПМ приведены на рис 4.

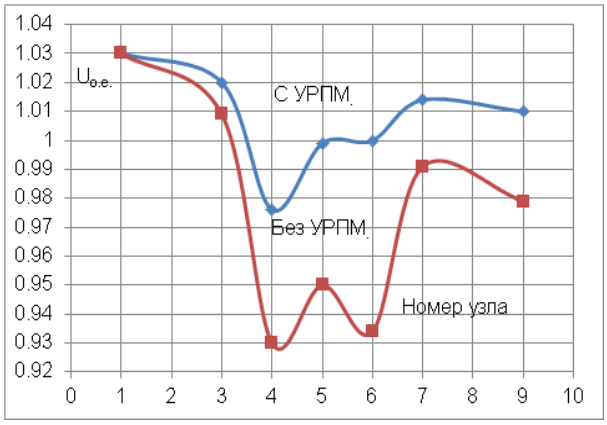


Рисунок 4 – Профили напряжения по узлам схемы
Figure 4 – Voltage profiles by circuit nodes

Таблица – Результаты расчета режимов с учетом и без учета УРПМ
Table – Voltage profiles by circuit nodes

УРПМ в ветви 4-6	Потоки активной мощности ВЛ, МВт			Потери активной мощности ВЛ, МВт				δ_6, градус
	P_{500}	P_{330}	P_{220}	ΔP_{sum}	ΔP_{500}	ΔP_{330}	ΔP_{220}	
С	971.4	403.1	433.0	57.81	30.7	12.3	14.4	-21.09
Без	888.3	449.0	482.0	69.27	30.5	17.6	21.2	-25.95

Потери мощности с учетом УРПМ уменьшаются на 11.46 МВт. (см. таблицу). Установка на шинах 220 кВ в зоне Абшеронская энергоузла (узел №6) СТАТКОМ в нормальных режимах позволяет снизить потери активной мощности на более чем 10 МВт.

Одновременная установка в узле №6 СТАТКОМ и УРПМ, в установившихся режимах позволяет снизить потери активной мощности на более чем 12 МВт [9-11].

Зависимость потерь активной мощности от поперечного составляющего ком-

плексного коэффициента трансформации показана на рис. 5.

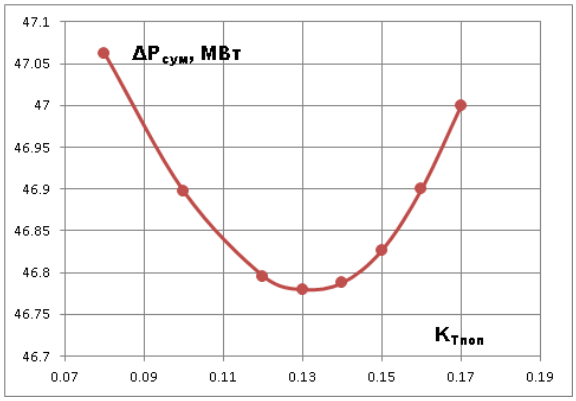


Рисунок 5 – Зависимость потерь активной мощности от поперечного составляющего комплексного коэффициента трансформации

Figure 5 – Dependence of active power losses on the transverse component of the complex transformation ratio

При режиме передачи мощности 1600 МВт необходимая генерация реактивной мощности в узле Абшерон составляет 320 МВАр. Основной эффект достигается за счет установки в узле №6 УРПМ.

Заключение

Определены места размещения устройств FACTS в Азербайджанской энергосистеме на основе использования индекса устойчивости напряжения, чувствительности потерь активной и реактивной мощностей. Для повышения статической устойчивости Азербайджанской ЭЭС предлагается улучшение демпфирования низкочастотных колебаний размещением унифицированного регулятора потоков мощностей в энергосистеме. Установлено, что рациональное размещение УРПМ позволяет улучшение технико-экономических показателей Азербайджанской ЭЭС при всех режимах; перераспределение потоков активной мощности по ВЛ в неоднородной сети 220, 330, 500 кВ; загрузка ВЛ 500 кВ на более чем 100 МВт и разгрузка ВЛ 220 кВ; снижение потерь активной мощности на более чем 12 МВт; улучшение уровней напряжений до 10% в узлах энергосистемы.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

REFERENCES

1. **Voropaj N.I., Etingov P.V., Udalov A.S., Zhermon A, Sherkavi R.** Koordinirovannoe protivoavarijnoe upravlenie nagruzkoj i ustrojstvami FACTS. *«Elektrichestvo»,* 2005, № 10, s. 25-37 *(in Russian)*

2. **Koshcheev L. A., Shlajfshtejn V.A.** 0b effektivnosti primeneniya upravlyayushchih ustrojstv v elektricheskoj seti. *Elektricheskie stancii*, 2005, № 12, s. 30-38 *(in Russian)*

3. **Kochkin V.I.** Novye tekhnologii povysheniya propusknoj sposobnosti LEP. Upravlyaemaya peredacha moshchnosti. Novosti Elektrotekhniki. 2007. T. 46, № 4. S. 2-6 *(in Russian)*

4. **Balametov A.B., Halilov E.D.** Primenenie gibkih peredayushchih sistem peremennogo toka kak effektivnyj sposob resheniya problem v EES. - Baku: *Problemy energetiki,* «ELM», - 2010. № 4, - s. 20-28 *(in Russian)*

5. Balametov A.B., Halilov E.D. Ob ispolzovanii obobshchennyh pokazatelej chuvstvitel'nosti dlya razmeshcheniya ustrojstv FACTS v energosistemah. Problemy energetiki, 2013, № 4, str. 18-27 (*in Russian)*

6. Kundur P., Klein M., Rogers G.J., and **Zywno M.S.** Application of Power System Stabilizer for Enhancement of Overall System Stability, IEEE Trans., PWRS-4, May 1989, 614–626 *(in English)*

7. Madhuranthak T.A., Gowri Manohar T. A Review on Power System Voltage Stability and Optimization Techniques. *Int. Journal of Enginering Research and Application* ISSN 2248, Vol. 6, Issue 11, (Part-4) November 2016, pp 06-14 *(in English)*

8. Balametov A.B., Halilov E.D., Isaeva T.M. Simulation of STATCOM for voltage quality improvement in power system. International Journal on *"Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE)*. Issue 22, Volume 7, Number 1, March 2015 *(in English)*

9. Balametov A.B., Khalilov E.D., Isayeva T.M. Research of optimal control of shunt reactors of ultra-high voltage power transmissions lines. The 16th International Conference on Technical and Physical Problems of Engineering 12 - 13 October 2020 ISTANBUL, TURKEY, p.p. 27-31 *(in English)*

9. Balametov A.B., Halilov E.D., Isaeva T.M. Simulation of STATCOM for voltage quality improvement in power system. International Journal on *"Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE)*. Issue 22, Volume 7, Number 1, March 2015 *(in English)*

10. Balametov A.B., Khalilov E.D., Isayeva T.M. Research of optimal control of shunt reactors of ultra-high voltage power transmissions lines. The 16th International Conference on Technical and Physical Problems of Engineering, 12-13 October, 2020, ISTANBUL, TURKEY, p.p. 27-31 *(in English)*

11. Balametov A.B., Halilov E.D. Primenenie ustrojstv FACTS dlya gasheniya nizkochastotnyh kolebanij v Azerbajdzhanskoj energosisteme. *Metodicheskie voprosy issledovaniya nadezhnosti bolshih sistem energetiki*: Vyp. 73. Irkutsk: ISEM SO RAN. 2022. 667 c. *(in Russian)*

Strategy for Optimizing the Functioning of the Vacuum Block at the Technolohical Equipments

E.A. Melikov, T.M. Magerramova

Azerbaijan State Oil and Industry University (Azadlig ave. 16/21, Baku, AZ 1010, Azerbaijan)

For correspondence:
Melikov Elchin / e-mail: elchin03@mail.ru

Abstract

In the submitted article, on the basis of a comprehensive analysis and study of the peculiarities for the complex processes occurring at the oil primary processing installation, (electro-desalting plant of atmospheric-vacuum tube type) the issues of developing a mathematical statement of the optimization problem for one of the important technological blocks of the investigated technological complex - the vacuum block are considered. The experience of operating a process installation in recent years shows that changes in both the quality and consumption of processed oil over a wide range are random in time. The main reason for this is that oil, as a raw material, supplied for processing to the installation from different wells, has different quality indicators. Therefore, the necessity of using, in this case, the approach and method of stochastic programming to the problem for the optimizing the functioning of the object under study with probabilistic constraints is substantiated.

Keywords: primary processing, optimization problem, mathematical statement, technological process, probabilistic nature, mathematical model.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_110_115

Accepted: *10.02.2022*
Revised *19.06.2023*
Accepted *21.06.2023*

For citation:
Melikov E.A., Magerramova T.M.
[Strategy for optimizing the functioning of the vacuum block at the technolohical equipments]
Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 110-115 *(in English)*

Texnoloji qurğuların vakuum blokunun fəaliyyətinin optimallaşdırılması strategiyası

E.A. Məlikov, T.M. Məhərrəmova
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı ş., AZ1010, Azərbaycan)

Yazışma üçün: Məlikov Elçin / e-mail: elchin03@rambler.ru

Xülasə

Təqdim edilən məqalə ELOU-AVT neftin ilkin emalı qurğusunda baş verən mürəkkəb proseslərin xüsusiyyətlərinin hərtərəfli təhlili və tədqiqi əsasında texnoloji kompleksin mühüm texnoloji aparatlarından biri olan vakuum bloku üçün optimallaşdırılma məsələsinin riyazi qoyuluşunun işlənib hazırlanmasına həsr edilmişdir. Texnoloji qurğunun son illərdə istismar təcrübəsi göstərir ki, emala verilən xam neftin istər keyfiyyət göstəricilərinin və istərsə də sərfinin dəyişməsi geniş diapazonda olmaqla bərabər müəyyən zaman kəsiyində təsadüfi xarakter daşıyır. Bunun da əsas səbəbi xammal kimi qurğuya emala verilən neftin müxtəlif mədələnlərdən müxtəlif keyfiyyət göstəricilərinə malik olmasıdır. Buna görə, tədqiq olunan obyektin işlənməsinin ehtimal məhdudiyyətləri ilə optimallaşdırılması məsələsinə və stoxastik proqramlaşdırma metodundan istifadə zərurəti əsaslandırılmışdır.

Açar sözlər: ilkin emal, optimallaşdırılma məsələsi, riyazi qoyuluşu, texnoloji proses, ehtimal xarakteri, riyazi model, vakuum bloku.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_110_115

УДК 681.513.2

Стратегия оптимизации функционирования вакуумного блока технологических установок

Э.А. Меликов, Т.М. Магеррамова
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг, 16/21, Баку, AZ1010, Азербайджан)

Для переписки:
Меликов Эльчин / e-mail: elchin03@mail.ru

Аннотация

В статье на основе всестороннего анализа и исследования особенностей сложных процессов, протекающих на установке первичной переработки ЭЛОУ-АВТ, рассматриваются вопросы разработки математической постановки задачи оптимизации одного из важных технологических аппаратов исследуемого технологического комплекса – вакуумного блока. Опыт эксплуатации технологической установки в последние годы показывает, что изменения качества и расхода перерабатываемой нефти в широком диапазоне носят случайный во времени характер. Основная причина этого состоит в том, что нефть, подаваемая в качестве сырья для переработки на установку с разных скважин, имеет различные показатели качества. Поэтому в данном случае обосновывается необходимость использования подхода и метода стохастического программирования к задаче оптимизации функционирования исследуемого объекта с вероятностными ограничениями.

Ключевые слова: первичная переработка, задача оптимизации, математическая постановка, технологический процесс, вероятностный характер, математическая модель, вакуумный блок.

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy
2023, vol. 15, no. 2, pp. 110-115
Melikov E.A., Magerramova T.M.

Intoduction

It is known that the process installation for primary oil refining is greatly influenced by the mode of each process apparatus operation for the system under study, both in terms of productivity and in ensuring the quality indicators of each final product.

Therefore, it would be more correct in the matter of developing a mathematical statement for the optimization problem, mathematical modeling of the vacuum block and developing an optimal control system, to consider it as a whole as an electro-desalting plant of atmospheric-vacuum tube type installation, consisting of a large number of different apparatus interconnected by various technological and complex interconnections, and also as a complex and mixed technological system [1, 2].

Already all over the world, due to the lack of technical conditions and methods of operational control in industrial conditions, the quality indicators of light oil products are determined by traditional methods, i.e. only in the factory.

The purpose of the work

For technological complexes with probabilistic characteristics of output target products, develop a universal physically justified statement of the problem in order to develop an optimal strategy for the functioning of the object under study.

However, an analysis of this type installation, one of the large-scale techno-logical processes of primary oil refining operated at an oil refinery, shows that even after its modernization, the amount of crude oil supplied to these units for processing and its quality indicators vary over a very wide range according to random patterns.

In connection with the above circumstances, the existing local systems for monitoring and stabilizing the regime parameters of the main apparatus, built on a single-loop principle, cannot provide the necessary technical and economic indicators. Therefore, as a result of real operation experience under production conditions of the electro-desalting plant of atmospheric-vacuum tube technological complex, which performs primary oil processing, we can conclude that a more correct and appropriate approach is to research and study complex technological systems of this type as control objects operating under conditions uncertainty [3-5]. Therefore, the development of complex mathematical models, the mathematical statement of the optimization problem taking into account the stochastic properties of state coordinates, the development of an algorithm for the numerical solution of the stochastic programming problem and the synthesis of controller regime coordinates of amultilevel control system for a technological complex of primary oil refining at the level of automatic control is an urgent task both scientifically and and from an economic point of view [6].

Taking into account the indicated specific features, a number of mathematical models and a method for optimizing the stochastic regime at the level of operational management are proposed.

For a physically justified mathematical formulation of optimal control problem for the vacuum block of this technological installation, we directly use the general simplified basic structural diagram of the primary oil refining processing plant (fig.).

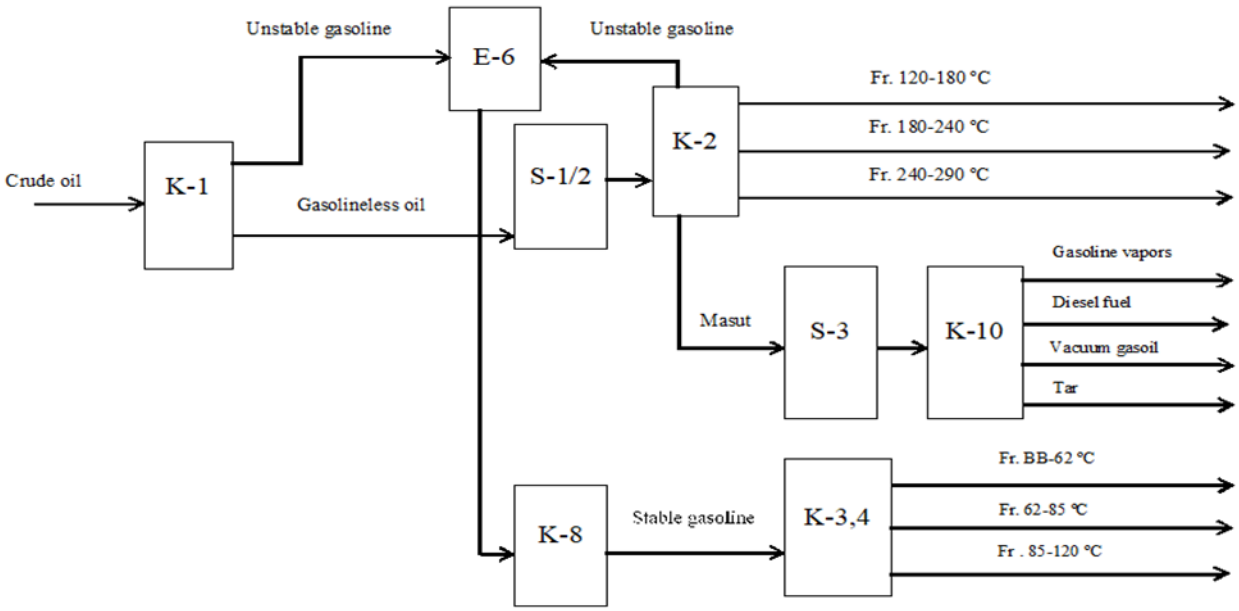


Figure – Schematic diagram for the technological installation of the electro-desalting plant of atmospheric-vacuum tube

This structure consists of four main blocks listed below:

- I block - distillation column K-1;
- II block - distillation (atmospheric) column K-2;
- III block - distillation (vacuum) column K-10;
- IV block - stabilization column K-8 and distillation columns K-3 and K-4.

Before giving a mathematical statement of optimizing problem considered technological complex (electro-desalting plant of atmospheric-vacuum tube), we present mathematical models that characterize the quantitative and qualitative parameters of the output fractions in the form:

$$y_k = \bar{f}_k(x, \rho, u_q) + \xi_k, q = \overline{1,r}, k = \overline{1,l} \quad (1)$$

$$v_k = \bar{g}_k(x, \rho, u_q) + \xi'_k, i = \overline{1,m}, k = \overline{1,l} \quad (2)$$

Here y_k and v_k are respectively the flow rate and quality indicators in accordance with the fractions of oil, x is the flow rate of crude oil fed to the processing plant, ρ is the quality indicator (specific gravity) of crude oil, u_q are the control parameters in the distillation columns (temperature, pressure, level, etc. at different points), and ξ_k and ξ'_k are random variables characterizing errors, the average estimates of which are equal to zero.

Problem solution

It can be seen from expressions (1) and (2) that the functions are also determined with certain errors, and therefore, $\bar{f}_k(x, \rho, u_q)$ and $\bar{g}_k(x, \rho, u_q)$ the average values of the functions are calculated using the regression dependence. In this regard, the solution of the optimization problem based on the average indicators of target oil products cannot be considered correct, such an approach can lead to significant losses.

Restrictions on quality indicators for any fraction of oil produced at the technological

facility of primary oil refining (based on specific technical conditions and standards) can be written in the following mathematical form:

$$\underline{b}_{ik} \le \nu_{ik} = \bar{g}_{ik}(x, \rho, u_q, \xi'_k) \le \overline{b}_{ik},$$
$$i = \overline{1,m}, 1 \le q \le r, k = \overline{1,l} \qquad (3)$$

Here $\underline{b}_{ik}$ and $\overline{b}_{ik}$ are indicators of light oil products quality characterizing the permissible extreme values. All this determines the probabilistic nature for the functional restrictions imposed on the quality indicators of light petroleum products for the intended purpose. Then one can write that

$$P(\nu_{ik}) \ge \alpha_i, \ i = \overline{1,m} \qquad (4)$$
$$0 \le \alpha_i \le 1$$

The values of restrictions on the quantity and quality for the light oil products and the possibility of their implementation are determined by the process operator in accordance with the regulations of the process under consideration.

Each light oil fraction produced at the process facility under study must be no less than the potential value of the thick crude oil included, i.e.:

$$y_k = \bar{f}_k(x, \rho, u_k, \xi_k) \ge Q_k,$$
$$q = \overline{1,r}, k = \overline{1,l} \qquad (5)$$

Due to the presence in expressions (3) and (5) of random variables ξ_k, changes in the x and ρ parameters will also be random variables. And this means that the provision of the above conditions for the restriction can be provided with a certain probability.

Thus, in the matter of optimizing the modes for the primary oil refining plant within the framework of the regulation that characterizes any technological mode of operation for the plant under study and is installed at any value of its parameters x and ρ, it is required to calculate the values of the controls u_k so that the qualitative parameters of the resulting target oil product are provided with a predetermined probability P_0, but their number should not be close to the minimum amount (limit) of the potential value Q_k for crude oil entering the installation:

$$P(y_k \ge Q_k, \nu_{ik} \in B_{ik},$$
$$i = \overline{1,m}, k = \overline{1,l}) \ge P_0 \qquad (6)$$

$$y_k \ge Q_k, k = \overline{1,l}, \qquad P(\nu_{ik} \in B_{ik},$$
$$i = \overline{1,m}, k = \overline{1,l}, \underline{b}_{ik}, \overline{b}_{ik} \in B_{ik}) \ge 0.94 \qquad (7)$$

Here, B_{ik} is a set of performance ratings for oil fractions, $P_0 = 0.94$ - probability of fulfilling restrictive conditions.

In this case, as a criterion in the optimization problem, you can use the maximization of the mathematical expectation of the profit received from the target light fractions:

$$\Phi = \max_{u_q \in \overline{U}} E\left\{\sum_{k=1}^{l} c_k y_k - s(x)\right\}, \qquad (8)$$

where $E(\cdot)$ is the mathematical expectation, $s(x)$ is a function that characterizes the cost of raw energy, raw materials and etc. to an oil refinery, $s(x)$ – linear in variables function, c_k is the price per unit of the k-th type for the light oil product for its intended purpose.

Conclusion

From the above, we can conclude that the optimization problem (1)÷(8) by its nature can be considered a non-linear stochastic programming problem. To solve this problem, a preliminary decision was made that the restrictive conditions of the flows are determined, and the restrictions characterizing

the qualitative parameters for the resulting target oil products are of a probabilistic nature. In addition, the analysis of the obtained experimental results shows that y_k, $k = \overline{1, l}$, v_{ik}, $i = \overline{1, m}$ participating in the process under consideration, obey the normal distribution law.

Conflict of Interests

The authors declare there is no conflict of interests related to the publication of this article.

REFERENCES

1. **Səfərova A.A.** Neftin ilkin email texnoloji kompleksinin əsas aparatları üçün eksperimentlərin təşkili. Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, Bakı, 2019, cild 11, №2, səh. 104-107 *(in Azerbaijan).*
2. **Parks P.S., Scaufelberger W., Schimid Chr., Unbenhauen H.** Application of adaptive control systems. Methods and application in adaptive control, berl. Heudelb., N.Y.: Spring – Verlag, 2005, pp. 181-193 *(in Germany).*
3. **Kumar P.R.** A survey of some results on Stochastic adaptive control. SIAM J. Control and Optimal, 2010. V. 23. №3, pp. 329-380 (in USA). *(in English)*
4. **Liu W.K., Besterfield G., Mani A.** Probabilistic finite element methods in nonlinear structural dynamics // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1986. Vol. 56 (1). P. 61-81 *(in Netherlands).*
5. **Arsenjev D.G., Ivanov V.M., Kulchitsky O.Yu.** Adaptive calculating mathematics based on the stochastic programming methods // VII International Conference on Stochastic Programming, Naharia, Israel, 1995, pp.159-164 *(in Russian).*
6. **Melikov E.A.** The problem of optimal control for the technological process of primary oil refining. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Oil and Gas Processing-2011", Ufa-2011, pp. 261-*262 (in Russian)*

Study of the Geological Structure of the Jabrayil Foothills

S.B. Mammadova, E.N. Jafarova

Azerbaijan State University of Oil and Industry (Azadlig Ave., 16/21, AZ1010, Baku, Azerbaijan)

For correspondence:
Jafarova Emilia / e-mail: cafarova.emiliya@mail.ru

Abstract

The article is devoted to the study of the geological structure of the Jabrayil foothills. The Jabrayil foothill plain is located in the southern part of the Republic of Azerbaijan. Climatic conditions are very different in the area. The average annual temperature varies from 10° to 13° C. The amount of atmospheric sediments is unevenly distributed throughout the area. Most sediments occur in the form of rain. The soil cover in the study area is mountain chestnut. Mesacaine sediments are involved in the structure of the study area. The lithological area consists of river stones-gravel, clay and clays.

Keywords: climate, weather, mezakaynazoy, sediments, clay, structure, area, clays.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_116_121

Received *18.03.2022*
Revised *16.06.2023*
Accepted *21.06.2023*

For citation:
Mammadova S.B., Jafarova E.N.
[Study of the geological structure of the Jabrayil foothills]
Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 116-121 *(in Azerbaijani)*

Cəbrayıl dağətəyi düzənliyinin geoloji quruluşunun öyrənilməsi

S.B. Məmmədova, E.N. Cəfərova

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr., 16/21, AZ1010 Bakı, Azərbaycan)

Yazışma üçün:
Cəfərova Emiliya / e-mail: cafarova.emiliya@mail.ru

Xülasə

Məqalə Cəbrayıl dağətəyi düzənliyinin geoloji qurluşunun öyrənməsinə həsr olunub. Cəbrayıl dağətəyi düzənliyi Azərbayean Respublikasının cənub hissəsində yerləşir. İqlim şəraiti ərazidə olduqca müxtəlifdir. Havanın orta illik temperaturası 10°-13°C-qədər dəyişir. Atmosfer çöküntülərinin miqdarı ərazi üzrə qeyri-bərabər yayılır. Ən çox çöküntülər yağış halında olur. Tədqiqat ərazisində torpaq örtüyü dağ şabalıdı rəngində yayılır. Tədqiqat ərazisinin quruluşunda mezakaynazoy çöküntüləri iştirak edir. Litoloji ərazi çay daşları-çaqıllardan, gilli və gilcələrdən ibarətdir.

Acar sözlər: iqlim, hava, mezakaynazoy, çöküntülər, quruluş, ərazi, gilcələr.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_116_121

УДК 551.79

Изучение геологического строения Джебраильского предгорья

С.Б. Мамедова, Э.Н. Джафарова

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр.Азадлыг, 16/21, AZ1010, Баку, Азербайджан)

Для переписки:
Джафарова Эмилия / e-mail: cafarova.emiliya@mail.ru

Аннотация

В статье исследуется геологическое строение Джебраильского предгорья (южная часть Азербайджанской Республики) и климатические условия региона. Определено, что климатические условия в этом районе различны. Среднегодовая температура колеблется от 10° до 13°C. Количество атмосферных отложений распределено по территории неравномерно, большинство отложений происходит в виде дождя. Почвенный покров на исследуемой территории каштановый горный. В строении изучаемой территории наблюдаются месакаиновые отложения. Литологический район состоит из речных камней - гравия, глины и глин.

Ключевые слова: климат, погода, мезо-кайнозой, отложения, строение, площадь, глины.

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy
2023, vol. 15, no. 2, pp. 116-121
Mammadova S.B., Jafarova E.N.

Giriş

Cəbrayıl dağətəyi düzənlik Azərbaycan Respublikasının cənub hissəsində Araz çayının vadisində yerləşir və cənubi-şərq sərhədlərindən ibarətdir [1–6].

İqlim xüsusiyyətlərinə görə tədqiqat ərazisi olduqca müxtəlifdir-yumşaq isti və quru qış iqlimindən yumşaq isti yay iqlimi mövcuddur. Havanın orta illik temperaturau dağətəyi zonadan Araz çayına doğru qərbdən şərqə doğru 10°-13°C-qədər dəyişir.

Atmosfer çöküntülərinin miqdarı ərazi üzrə qeyri-bərabər yayılır və cənubi-şərqdən şimali-qərbə doğru 284 mm-dən 595 mm-ə qədər dəyişir. Ən çox çöküntülər yağış halında olur. Tədqiqat ərazisində ən çox iştirak edən torpaq örtüyü kiçik dağ yamaclarında dağ şabalıdı rəngində yayılır. Tədqiqat ərazisinin quruluşunda mezakaynazoy çöküntüləri iştirak edir. Qarşıya qoyulmuş məqsədi həll etmək üçün dördüncü dövr çöküntüləri - Əkərə lay dəstəsidir. Əkərə lay dəstəsi Cəbrayıl dağətəyi düzənliyinin ərazisinin xeyli hissəsində yayılır. Bu lay dəstəsi ərazi üzrə çayların çay dərələri ilə ayrılır və allüvial, allüvial-prolüvial əmələgəlmələrdən ibarətdir. Litoloji tərkibcə bu lay dəstəsi çay daşları-çaqıllardan, gilli və gilcələrdən ibarətdir və onların qalınlığı 500-750 m-ə çatır. Dördüncü dövr çöküntüləri vulkanogen qırıntı və kontinental əmələgəlmələrdən ibarətdir. Bu çöküntülərin qalınlığı 200 m-ə çatır.

İşin məqsədi tədqiq olunan rayonun geoloji qurluşunun oyrənilməsidir. Tədqiq olunan rayonun sahəsi 2012 km^2-dir. O, kiçik Qafqazın cənub-şərq hissəsində Araz çayı vadisi boyu yerləşmişdir ki, bu da onun cənub-şərq sərhəddi sayılır. Cəbrayıl Qafqazın dağətəkləri ilə birləşir. Cəbrayıl dağətəyi düzənliyi adminstrativ cəhətdən Azərbaycan Respublikası Füzuli, Cəbrayıl, Qubadlı və Zəngilan rayonlarının tərkibinə daxıldir.

Burada əkinçilik, maldarlıq, üzümçülük və ipək emalı inkişaf etmişdir. Rayonun hidroqrafiyası çoxlu miqdarda çaylardan ibarətdir, bunların da ən sulular Araz, Xaçınçay, Oxçuçay, Həkərə və Köndələnçaydır. Dağətəyi düzənliyinin iqlim xüsusiyyətləri çox dəyişkəndir. Oxçuçay və Həkərə çaylarının yuxarı hissələrində iqlim sabit-isti, qışı quru keçir, şimal-şərq tərəflərdə köndələn çayrın başlanğıcında isə iqlim sabit isti, yayı isə quru keçir. Havanın orta illik temperaturu 11^{0}C ilə 14,1^{0}C arasında dəyişir, havanın temperaturu dağ ətəklərindən Araz çayına və qərbdən şimala tərəf getdikcə artır.

Havanın minimal orta aylıq temperaturu yanvar ayında (-l^{0}C) , maksimal isə (25^{0}C və ondan yuxarı) iyul-avqust aylarında müşahidə edilir. Bəzi günlərdə havanın mütləq maksimal temperaturu 40°C-dən çox olur.

İl ərzində atmosfer çöküntülərinin miqdarı 272 mm-dən 632 mm kimi dəyişir və cənub-şərqdən şimal-qərbə tərəf artır. Onların çox hissəsi intensivli yağışlarla düşür. Leysanlar nadir hallarda və az müddətli olur.

Havanın nisbi rütubəti 45-82 %-dir. Yay aylarında havanın nisbi rütubəti 45-60%, qış aylarında 68-82 % təşkil edir. Düzənlikdə şimal-qərb və cənub küləkləri əsir. Küləklərin orta aylıq surəti 1,7-3,1 m/s.

Buxarlanmanın miqdarı 800-1400 mm il təşkil edir. Dağlıq zonaya yaxınlaşdıqca buxarlanmanın miqdarı azalır.

Rayonda ən çox inkişaf etmiş şabalıdı torpaqlardır ki, onlarda alçaq dağ yamaclarında müşahidə edilir. Quru çay vadisində və Araz çayı boyu açıq-şabalıdı torpaqlara rast gəlinir. Araz çayı boyu bataqlıq-karbonatlı torpaqlar inkişaf etmişlər, Araz çayının qolları boyu isə boz torpaqlar yayılmışlar.

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy
2023, vol. 15, no. 2, pp. 116-121
Mammadova S.B., Jafarova E.N.

Relyefin nisbətən yüksək hissələrində kifayət dərəcədə az yayılmış dağlıq - kserofil bitkilərini müşahidə etmək olar. Çay vadilərinin yataqlarında kol bitkiləri nəzərə çarpır. Araz çayı sahələri boyu isə bataqlıq bitkilərini görmək olar.

Düzənliyin geoloji qurluşunda Yura, Təbaşir, Üçüncü və Dördüncü dövr çöküntüləri iştirak edirlər.

Ən qədim süxurlar, öyrənilən ərazinin şimal-qərb hissəsində Orta Yura yaşlı çöküntülərdən təşkil olunmuşdur ki, onlar da iri çatlı vulkanogen süxurlardan-torflu konqlomeratlardan, tuflu brekçiyalardan, tuflu qravelitlərdən, tuflu qumdaşlarından, porfiritlərdən ibarətdir. Bu çat traneqressiv olaraq və kimmeric çöküntüləri ilə örtülmüşdür. Titon çöküntüləri uyğun olaraq kimmericli vulkanogen çöküntüləri üzərində yatırlar və transqressiv olaraq hoteriv-barrem karbonatlı çöküntiiləri ilə örtülürlər. Yura çöküntülərinin görünən qalınlığı 250-1000 m-dir.

Təbaşir çöküntüləri əhəngdaşları ilə verilmişdir. Onların qalınlığı 1250 m kimi çatır. Təbaşir sistemi çöküntüləri Eosen (Pg_2) şöbəsinin gilli, mergelli və qumdaşlı çöküntüləri ilə görünməz örtülmüşlər. Onlar Həkərə və Oxçuçay çayarası sahələrində inkişaf tapmış və Horadiz rayonunun quyular vasitəsilə açılmışdır. Xudafərin rayonunda Darı dağ qalxımı Maykop lay dəstəsi çöküntüləri ilə örtülmüşlər. Düzənliyin qalan hissələrində onlar ayrı-ayrı quyular vasitəsi ilə açılmışlar.

Orta və üst Miosen də Xudafərin rayonunda iştirak edir və antiklinal və onunla qarışıq sinklinal təbəqələr əmələ gətirirlər. Onlar qumdaşlı və qumlu alevrolitli gillərlə verilmişlər və onların qalınlığı 882 m-ə çatır.

Alt və orta Pliosen Həkərə çayı hövzəsinin dağətəyi zonasında yerləşmişdir.

Abşeron vaxtından başlayaraq burada kontinental çöküntülərin iri çatları yatmışlar. Abşeron çöküntülərinin aşağı hissəsinin kəsilişində boz çaqıllar, ovuq konqlomeratlar, qonur və gilcələr görürük ki, bunlar da vulkan tozları ilə qarışmışlar. Həkərə lay dəstəsi çay daşları və çaqıllarla, gilcələrlə, müxtəlif rəngli gillərdən ibarətdir ki, konqlomeratlar və vulkan tozları ilə növbələşmişdir.

Həkərə lay dəstəsinin qalınlığı böyük dəyişmələrlə xarakterizə olunur ki, bu da rayonun mürəkkəb geoloji qurluşu və geomorfoloji xüsusiyyətləri ilə əlaqədardır.

Elektrik kəşfıyyat işləri qazılmış quyular vasitəsi ilə Cəbrayıl dağətəyi düzənliyində müəyyən olunmuşdur ki, antiklinal struktur daxilində kontinental çöküntülərinin qalınlığı 500-650 m-ə çatır.

Belə ki, Xaçınçay-Həkərə çayarası sahələrində kontinental çöküntülərinin qalınlığı 150 m-dən 200 m-ə kimi dəyişir. Litoloji tərkibcə əsasən qumcalarla dolmuş çay daşları və çınqıllarla və çaqıllı-çınqıllı çöküntülərdən ibarətdir. Bura həmçinin gil və gilcəli nazik lay təbəqələri də rast gəlir. Həkərə-İncəçay çayarası sahələrinin kontinental çöküntülərinin qalınlığı 300 m çatır, İncəçay-Çaxmaxçay çayarası sahələrində isə bu qalınlıq Araz çayına yaxınlaşdıqca 250-300 m-ə çatır.

İncəçay-Çaxmaxçay çayarası sahələrinin kontinental qatının xarakter cəhəti ondan ibarətdir ki, bu qat çox da böyük olmayan sahələrə birdən-birə dəyişir və əmələ gəlmiş qalxıntılar enmələrlə növbələşir. Qalxmış sahələr antiklinal qırışıqlığa yaxınlaşır.

İncəçay-Cəbrayılçay çayarası sahələrdə kontinental qatlı çöküntülər sakit yatmalarla xarakterizə olunur. Onların qalınlığı 50 m-ə, yuxarı hissələrə qalxdıqca 300 m-ə kimi dəyişir. Cəbrayıl rayonunda qazılmış quyularda kontinental çöküntülərə 50-70 m dərinliyində

rast gəlir. Cənub-şərqə getdikcə onların qalınlığı artır və 250 m və daha çox olur. Közlüçay-Şarakyançay çayarası sahələrində isə kontinental çöküntülərin qalınlığı 70-150 m-ə çatır. Kontinental çöküntülərinin maksimal qalınlığı (600-650 m) Köndələnçayın orta axımı boyu müəyyən edilmişdi. Kontinental qatın böyük qalınlıqlarda dəyişilməsi İncəçay-Çaxmaxçay çayarası sahələrdə olduğu kimi Köndələnçayın orta axımı boyu da müşahidə edilir. Məs: Füzuli rayonunda onlar 130-150 m-ə, Alxanlıda isə 600 m-ə kimi çatır. Araz çayına yaxınlaşdıqca bu qat azalır və 150-200 m-ə çatır.

Bunlardan başqa demək lazımdır ki, əgər lay dəstəsinin kəsilişinə fıkir versək, görərik ki, burada sulu süxurlar əlverişli şəraitdə yatırlar. Düzənliyin mərkəzi hissəsində onlar (80-100%) təşkil edir.

Dördüncü dövr çöküntüləri vulkanik və kontinental çatlı çöküntülərdən təşkil olunmuşdur. Vulkanogen çöküntülər düzənliyin qərb və cənub qərb hissələrində tullardan, tuflu brekçiyalardan, vulkanit tozlardan və lavalardan ibarətdir. Kontinental çöküntülərə çay vadilərində rast gəlinir və Orta və Üst Dördüncü dövrdə müasir yaşlı allüvial, allüvial-prolüvial və delüvial-prolüvial çöküntülərdə təşkil olunmuşdur.

Tədqiqat rayonu minik dağətəyini təşkil edir. Dağətəyi düzənliyi 500-800 m hündürlükdən azalaraq Araz çayı vadisi boyu 100-200 m-ə çatır. Burada üç çay terrası ayrılır ki, bunlar da biri digərini uyğun olaraq, 5-2, 4-5 və 18-20 m hündürlüyündə ayırırlar. Xaçınçay vadisində terraslar az yayılmışlar. Düzənliyin səthi çoxlu miqdarda dərələrə və təpələrə ayrılmışdır. Dərələrin yamacları pilləvaridir.

Relyefin ümumi səthi Araz çayı vadisi boyu intensiv parçalanmalarla, monoklinal qrabenlərin təsiri ilə pozulur və onlar dislokasiya olunmuş, Maykop lay dəstəsi süxurlarından təşkil olunmuşlar.

Həkərə çayı mənsəbində və ondan şərqdə tədqiq olunan düzənlik əsasən Həkərə lay dəstəsinin gilcələrlə örtülmüş allüvial-prolüvial çöküntüləri ilə verilmişdir. Düzənliyin səthində və ona birləşmiş vadilərin yamaclarında andezit və bazaltdan təşkil olunmuş çay daşlarını görmək olar. Cəbrayıl dağətəyi düzənliyini geomorfoloji baxımdan beş zonaya ayırmaq olar. 1-ci zona Maykop lay dəstəsinin gilli fasiyadan təşkil olunmuş Darıdağ qalxımını əhatə edir. Bu zona arid-denudasiyon struktur dağlarında inkişaf zonasıdır. 2-ci zona şərqi Qarabağ sıra dağlarının kənar hissələrini əhatə edir. Bu zona arid-denudasiyon dağların inkişaf oblastıdır. 3-cü əsas zona öyrənilən ərazinin böyük hissələrini əhatə edir və akkumulyativ-denudasiyon plato və düzənliklərdən ibarətdir. 4-cü zona düzənlikdəki Araz və Həkərə çay vadilərinin allüvial-terraslı holosenli sahələrini əhatə edir. 5-ci zona çay vadilərinin dərə və terrasları ilə birlikdə Araz çayına düşən hissələrini əhatə edir. Oxçuçay, Həkərə, İncəçay, Çaxmaxçay, Cəbrayılçay, Gözlüçay, Şaraxyanıçay, Köndələnçay çay vadilərinin Cəbrayıl dağətəyi düzənliyi ilə qarşılaşması nəticəsində düzənlik güclü parçalanmalara məruz qalmışdır. Əsasən düzənliyin səthində güclü parçalanma Həkərə və Cəbrayıl çayarası sahələrində müşahidə olunur.

Nəticə

Aparılan işdə belə nəticəyə gəlmək olur ki, relyefin xarakterinə görə tədqiq olunan rayon tipik dağətəyi düzənliyidir.

Rayonun hidroqrafıyası çoxlu miqdarda çaylardan ibarətdir ki, bunlardan da ən suluları Araz, Xaçınçay, Oxçuçay, Həkərə və Köndələnçay çayları və bir sıra azsulu çayları göstərmək olar.

Cəbrayıl dağətəyi düzənliyinin iqlim xüsusiyyətləri çox dəyişkəndir. Oxçuçay və Həkərə çaylarının yuxarı hissələrində iqlim sabit-isti, qışı quru keçir, şimal-şərq tərəflərdə Köndələnçayın başlanğıcında isə iqlim sabit-isti, qışı quru keçir. İl ərzində atmosfer çöküntülərinin miqdarı 272 mm-dən 632 mm-ə kimi dəyişir və cənub-şərqə tərəfə doğru artır.

Cəbrayıl dağətəyi düzənliyı Mezazoy və Kaynazoy çöküntülərindən təşkil olunmuşdur. Birinci dağlıq zonada üzə çıxırlar. İkinci isə dağətəyi düzənliyində ayrılırlar. Mezazoy çöküntüləri yura yaşlı iri çatlı vulkanagen süxurlarından - tuflu konqlomeratlardan, tuflu brekçiyalardan, tuflu qum daşlarından və porofiritlərdən və müxtəlif növ təbaşir yaşlı əhəng daşlarından ibarətdir.

Kaynazoy çöküntüləri Neogen və Dördüncü dövr çöküntüləri ilə verilmişdir. Alt Neogen çöküntüləri əsasən qumdaşları və qumlu gillərlə verilmişdir. Onlar əsasən Xudafərin dərəsi ərazisində üzə çıxırlar.

Maraqlar münaqişəsi

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

REFERENCES

1. Gusejnov G.A. Otchet o gidrogeologicheskih usloviyah Dzhebrail'skoj predgornoj ravniny (svodnyj otchet Prikaspijskoj GGG1D 1966-1968 gg.). Baku: *Azgeofond,* 1968. *(in Russian)*

2. Israfilov D.G. Perspektivy ispol'zovaniya podzemnyh vod Dzhebrailskoj predgornoj ravniny. Uchenye zapiski AGU, №1, 1977. *(in Russian)*

3. Tagiev I.I. Otchet o gidrogeologicheskih issledovaniyah Geyan stepi. Po rabotam 1962-1963 gg. Baku: *Azgeofond,* 1964. *(in Russian)*

4. Tagiev I.I. Harakteristika vodonosnyh gorizontov i kompleksov geologicheskih struktur Dzhebrailskoj predgornoj ravniny v KN «Gidrogeologiya» SSSR, T. XII, Azerbajdzhanskaya SSR. M.: *Nedra,* 1969. *(in Russian)*

5. Halilov Sh.Z. Rezultaty razvedki podzemnyh vod na territorii yugo-zapadnoj chasti Dzhebrailskoj predgornoj ravniny i ocenka ekspluatacionnyh zapasov. Baku, *Azgeofond,* 1972 *(in Russian)*

6. http://www.ama.com.az/wp-content/uploads/2022/12/N14-N14-N14-4.pdf

Environmental Risks Associated with the Exploitation of Oil Fields

A.A. Bagirov, M.M. Shirinov, V.N. Samedov, V.O. Bogopolsky

Azerbaijan State University of Oil and Industry (Azadlig ave., 16/21 Baku, AZ1010, Azerbaijan)

For correspondence:
Baghirov Azad / e-mail: azad.baqirov@mail.ru

Abstract

The article is devoted to the study of the causes of environmental risks in the oil and gas industry in the context of environmental protection. Environmental risk - the risk associated with the normal operation of the industry; operational, chemical, industrial wastewater, emergency discharges and discharges. It mainly provides information on the risks that may arise when drilling and operating oil and gas wells in offshore conditions. The concept of environmental risk is accepted not only as a criterion of environmental cleanliness, but also as a key indicator of human health.

Keywords: environmental risks; potential risk; real risk; quantitative indicators of risk; risk assessment.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_122_130

Received *29.06.2022*
Revised *19.06.2023*
Accepted *21.06.2023*

For citation:
Bagirov A.A., Shirinov M.M., Samedov V.N., Bogopolsky V.O.
[Environmental risks associated with the exploitation of oil fields]
Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 122-130 *(in Azerbaijani)*

Neft yataqlarının istismarı ilə bağlı ekoloji risklər

A.Ə. Bağırov., M.M. Şirinov., V.N. Səmədov., V.O. Boqopolskiy

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)

Yazışma üçün:
Bağırov Azad / e-mail: azad.baqirov@mail.ru

Xülasə

Məqalə neftqaz çıxarma sənayesində ətraf mühitin qorunması şəraitində ekoloji risklərin yaranma səbəblərinin araşdırılmasına həsr olunmuşdur. Ekoloji risk dedikdə sənayenin normal işləməsi ilə bağlı risk; istismar, kimyəvi, sənaye çirkab sular, qəza zamanı atqılar və tullantılar aid edilir. Burada əsasən dəniz şəraitində neft və qaz quyularının qazılması və istismarı dövründə yarana biləcək risklər haqqında məlumat verilir. Ekoloji risk anlayışı ətraf mühitin təmizliyinin meyarı kimi qəbul olunmaqla yanaşı eyni zamanda, insan sağlamlığının əsas göstəricisi kimi qəbul edilir.

Açar sözlər: ekoloji risklər; potensial risk; real risk; riskin kəmiyyət göstəriciləri; riskin qiymətləndirilməsi.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_02_122_130

УДК 622.276.52

Экологические риски, связанные с эксплуатацией нефтяных месторождений

Багиров А.А., Ширинов М.М., Самедов В.Н., Богопольский В.О.

Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности (пр. Азадлыг 16/21, Баку, AZ1010, Азербайджан)

Для переписки:
Багиров Азад / e-mail: azad.baqirov@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена изучению причин возникновения экологических рисков в нефтегазовой отрасли в контексте охраны окружающей среды. Экологический риск – риск, связанный с нормальной работой отрасли; эксплуатационные, химические, промышленные сточные воды, аварийные сбросы и сбросы. В основном представлена информация о рисках, которые могут возникнуть при бурении и эксплуатации нефтяных и газовых скважин в морских условиях. Понятие экологического риска принято не только как критерий экологической чистоты, но и как ключевой показатель здоровья человека.

Ключевые слова: экологические риски; потенциальный риск; реальный риск; количественные показатели риска; оценка рисков.

Giriş

Təhlükəli istehsalat obyektlərində qəzaların baş verməsi neft-qaz sənayesi üçün istisna deyil. Qəzalar olduqca tez-tez baş verir, buna görə təhlükəli istehsal obyektlərinin təhlükəsizliyinin təmin edilməsinin bir hissəsi qəza riskinin qiymətləndirilməsidir. Qəzalar tez-tez gözlənilməz nəticələrə gətirib çıxarır, buna görə də onların riskinin qiymətləndirilməsi prosesi onların sayını və nəticələrini əhəmiyyətli dərəcədə azalda biləcək [1].

Bu məqalədə neft-qaz sənayesində qəza riskinin qiymətləndirilməsi məsələləri müzakirə olunur. Bu sənaye sahəsi üçün risklərin qiymətləndirilməsinin əsas üsulları verilmişdir. Bu məqalədə göstərilən risklərin qiymətləndirilməsi üsullarının ətraflı istifadəsi qəzaların baş verəcəyi təqdirdə nəticələrini əhəmiyyətli dərəcədə azaldacaqdır.

İşin məqsədi

Müasir şəraitdə insan fəaliyyəti təbiətin ekoloji mühitinə böyük ziyan vurur. Bir tərəfdən, neft və qaz quyularının mənimsənilmə sayının artması çox aktualdır, çünki ölkəni iqtisadi və siyasi cəhətdən yanacaq-enerji resursu ilə təmin edir. Digər tərəfdən, xüsusi təhlükəli sənaye sahələri üçün ekoloji tələblərin sərtləşdirilməsi əsas məsələlərdən biridir. Bu məsələ ilə məşğul olan şirkətlər yenidən qurulma, modernləşdirilmə, daha səmərəli yeniliklərin tətbiqi neft və qaz quyularının tikintisi zamanı qəza ehtimalını azaldır.

Məsələnin qoyuluşu

Hal-hazırda istehsal fəaliyyətinin mövcud zərərli və təhlükəli amillərindən asılı olaraq, peşə riskinin qiymətləndirilməsi üsulları işlənib hazırlanmalıdır.

Neft-qaz sənayesində ekoloji risklərə obyektin normal fəaliyyəti ilə bağlı risk, (istismar, lisenziyalı atqılar və kimyəvi tullantılar, sənaye çirkab suları və s.) və qəza atqıları və tullantılar riski daxildir [4].

Ekoloji risk dedikdə, təbii obyektlərdə və amillərdə hər hansı dəyişikliyin ətraf mühit üçün mənfi nəticələrinin baş vermə ehtimalı başa düşülür. Risk kəmiyyət parametrləri ilə ifadə edilir, müəyyən zaman müddətində fövqəladə hadisələrin baş vermə ehtimalı kimi qəbul edilir. Ekoloji riskin texnogen aspekti daha çox nəzərə alınır - ətraf mühitə və ya insan sağlamlığına əhəmiyyətli zərər verə biləcək texnogen qəzaların ehtimalı. Bəzi risklər spesifikdir, digərləri isə konkret olaraq müəyyən edilə bilməz. Peşə riskləri var ki, peşə xəstəlikləri təhlükəsi yaradır.

Ekoloji risk çox vaxt iki aspektdə nəzərdən keçirilir – potensial risk və real risk. Potensial ekoloji risk təbii və ya antropogen amillərin təsiri nəticəsində canlı orqanizmlərin ətraf mühitlə əlaqəsinin pozulma təhlükəsi hadisəsidir. Həqiqi ekoloji risk onun həyata keçirilməsinin mümkün tezliyi nəzərə alınmaqla potensial risk tərəfindən formalaşır. Təzahür xarakterinə görə ekoloji risk qəfil (texnogen qəza, zəlzələ və s.) və yavaş (yerdəyişmə, sel, eroziya və s.) ola bilər. Riskin qiymətləndirilməsi onun baş vermə səbəblərinin və müəyyən bir vəziyyətdə təzahür dərəcəsinin təhlilidir. Nəticələri baxımından əhəmiyyətli olan texnogen qəzaların təhlükəsi daha çox kimya və neft-kimya müəssisələri, atom və istilik elektrik stansiyaları, şaxtalar və kanalizasiya ilə bağlıdır [2].

Texnogen qəzaların baş vermə ehtimalı əsasən ətraf mühitin mühafizəsi tədbirlərinin effektivliyi ilə müəyyən edilir. Ekoloji risklər hasilat müəssisələrinin yerli təsirlərindən ibarətdir [6].

Ekoloji riskləri üç sahədə qruplaşdırmaq olar: təşkilati və iqtisadi; texnoloji; təbii resurs.

Dənizdə neftqaz quyularının qazılması zamanı ekoloji risklər. Dəniz canlı orqanizmlərinə və ekosistemlərinə təsirlər artıq dəniz dibinin (şelfində) neft və qaz yataqlarını təyin etmək məqsədilə geoloji və geofiziki tədqiqatlarından başlayır. Ən çox seysmik kəşfiyyatlardan istifadə edilir. Dəniz seysmik kəşfiyyatı seysmik dalğaların aşkarlanması və titrəmələrin qeydiyyatı, dəniz dibinin səthindən qayıdan və çöküntü süxurlarda neft və qazın strukturu haqqında mühakimə yürütməyə imkan verir [5].

Suyun zərbə effekti 15 Pa qədər olduqda, böyük və kiçik balıqların və canlıların ölümünə və ya orqan və toxumalarının məhvinə gətirib çıxarır. Seysmik tədqiqatlar aparılan sahələrdə lasos, nərə və s. tipli qiymətli cinsi balıqların miqrasiya yollarını dəyişməyə məcbur edir. Seysmik tədqiqatlar nəticəsində yaranan səs-küy dəniz orqanizmlərinin digər səsləri tanımasını, bir-biri ilə əlaqə saxlamasını və qida axtarışını çətinləşdirir. Bu, xüsusilə, nərə və siyənək balıqları üçün doğrudur.

Böyük dəniz neft-qaz layihələrinin təcrübəsi göstərir ki, bu fəaliyyət növü böyük miqdarda emissiyalarla müşayiət olunur: atmosferə, dəniz mühitinə və s. [3]. Yataqda neft və ya qaz hasilatı dayandırıldıqdan sonra da ekoloji risklər hələ də qalmaqdadır (şək.1). Seysmik tədqiqatların neft və qazdaşıyan strukturların mövcudluğunu göstərdiyi ərazilərdə quyuların qazılması artıq geoloji və geofiziki tədqiqatlar mərhələsində başlayır. Karbohidrogenlərin kəşfiyyatı, quyuların qazılması və neft qazın hasilatının demək olar ki, bütün mərhələləri və əməliyyatları maye və bərk tullantıların atılması ilə müşayiət olunur. Bu atqıların həcmi tullantı qazma məhlulları və quyuda qazılmış süxurlarda olan şlamlar şəklində hər istismara verilən quyu üçün 5000 m^3-ə çatır.

Maye tullantılarda qazma zamanı istifadə olunan təmizləyici avadanlığının düzgün işləməsi vacibdir. Qazma zamanı lazım olan çoxlu sayda kimyəvi reagentlər, zəhərli maddələr, qazma işlərindən yığılan ağır metallar, habelə atqı yerlərində suyun bulanıqlığını artıran gil süspansiyonları daxildir.

Neft, polimer və s. əsaslı qazma məhlullarının istifadəsi böyük təhlükə yaradır. Belə məhlularla yer səhtinə qaldırılan hopdurulmuş şlamlar qazma işləri zamanı neftlə çirklənmənin əsas mənbəyidir. Digər mühüm çirklənmə mənbəyi quyulardan gələn lay sularının axıdılmasıdır. Onların tərkibi təkcə neft karbohidrogenlərinin və ağır metalların yüksək tərkibi ilə deyil, həm də adətən dəniz suyunun duzluluğundan yüksək olan anormal minerallaşma ilə seçilir (şək.1). Bu, lay sularının axıdılması sahəsində hidrokimyəvi rejimin pozulmasının səbəbi ola bilər. Bundan əlavə, onların tərkibində təbii radionuklidlər var ki, onlar dəniz suyu ilə təmasda olduqda çökür və yerli mikroklasterlər əmələ gətirir. Lay suları ilkin təmizlənmə ilə və ya təmizlənmədən dənizə qaytarıla və ya yenidən təbii su anbarlarına (quyulara) vurula bilər.

Ekoloji qanunvericiliyinə görə, işlənmiş qazma məhlulu və digər tullantılar yığılmalı və sonrakı emal üçün daşınmalı və atılmadan əvvəl xüsusi emaldan keçirilməlidir. Çox vaxt bu ehtiyat tədbirləri qaçırılır. Hazırda neft məhsullarının emalı üçün effektiv texnologiyalar mövcud deyil, ixtisaslaşdırılmış anbarlar həddindən artıq dolur. Bir quyudan tullantıların yerli təsiri 3-5 km radiusda qeyd olunur, lakin quyuların sayı kifayət qədər böyükdürsə, onların mənfi təsiri bütün balıqçılıq sahilini

"örtə" bilər. Məsələn, Norveç Dəniz Tədqiqatları İnstitutunun məlumatına görə, Şimal dənizi ekosisteminin qıtlığı neft və qaz fəaliyyətinin nəticəsidir.

Neftin qəzalı dağılması. Neft və qaz yataqlarının işlənməsi, eləcə də karbohidrogenlərin daşınması neft və ya kimyəvi maddələrin təsadüfən dağılması ilə müşayiət olunur. Qəzaların ən çox yayılmış səbəbləri arasında avadanlıqların nasazlığı, insan səhvi (faktoru) və ekstremal ekoloji şərait daxildir. Təsadüfi tullantıların ekoloji nəticələri xüsusilə sahil yaxınlığında və ya su mübadiləsinin yavaş olduğu ərazilərdə baş verdikdə ağırlaşır.

Şəkil 1 – Dəniz qazımasında ekoloji risklərin qalması
Figure 1 – Remaining environmental risks in offshore drilling

Qazma qəzaları lay təzyiqinin anomal yüksək olduğu zonaların açılması zamanı quyudan maye və qaz halında olan karbohidrogenlərin gözlənilməz dağılmasıdır (şək. 2). Nadir hallarda, çox böyük təzyiq düşməsi ilə qəza uzunmüddətli fəlakətli xarakter daşıyacaq və partlayışları dayandırmaq üçün kənara çıxmış quyular qazılmalıdır.

Digər qəzalar qrupuna əlavə qazma olmadan bir neçə saat ərzində dayandırıla bilən müntəzəm "normal" partlayışlar daxildir. Bu cür buraxılışların təhlükəsi onların müntəzəmliyindədir ki, bu da son nəticədə dəniz mühitinə xroniki təsirlərə gətirib çıxarır.

Şəkil 2 – Neftin qəzalı dağılması
Figure 2 – Accidental oil spill

Birdəfəlik və ya sistematik neft dağılmaları dəniz ekosisteminin fəaliyyətinin ciddi şəkildə pozulmasına səbəb ola bilər:

- suyun kimyəvi tərkibinin və onun fiziki göstəricilərinin (şəffaflıq, temperatur və s.) pisləşməsi;
- dərinin və tükün səth qatına neft məhsullarının daxil olması nəticəsində canlı orqanizmlərin ölümü;
- miqrasiya yollarının məcburi dəyişdirilməsi, ərimə, yuva və kürü tökmə və s.

Hava emissiyaları. Atmosferə çirkləndiricilərin atılması həmişə istənilən neft yataqlarını müşayiət edir. Belə emissiyaların ən çox yayılmış mənbəyi quyuların sınağı və istismarı zamanı səmt qazının və artıq karbohidrogenlərin məşəldə yandırılmasıdır. Bəzi hesablamalara görə, məşəldə yandırılan karbohidrogenlərin 30%-ə qədəri atmosferə buraxılır və sonra dəniz səthinə düşür və qazma platformalarının ətrafında nisbətən qeyri-sabit nazik təbəqələr əmələ gətirir.

"İstixana" qazlarının emissiyaları. Neft və qaz sənayesi CO_2 və CH_4 kimi böyük miqdarda istixana qazlarının buraxılması vasitəsilə iqlim dəyişikliyinə əhəmiyyətli töhfə verir. Bu emissiyaların əksəriyyəti yataqda quraşdırılmış hasilat platformasının istismarı üçün lazım olan enerjinin yaradılması üçün

neft və ya qazın yandırılması, həmçinin səmt qazının məşəldə yandırılması nəticəsində yaranır.

Neftqaz yataqlarının istismarı ilə bağlı ekoloji risklərin qiymətləndirilməsi və onların qarşısının alınması. İnkişaf etmiş sənaye və infrastruktur, nəqliyyat vasitələrinin sayının artması, çoxlu sayda sənaye obyektlərinin kiçik bir ərazidə yerləşdirilməsi ətraf mühitə texnogen yükün artmasına səbəb olur, onun dəyişməsinə və çevrilməsinə səbəb olur. Təbiətdən istifadənin iqtisadi mexanizminin formalaşması, yaranmasına antropogen fəaliyyət prosesləri ilə başlayan mümkün ekoloji və iqtisadi risklərin nəticələrinin nəzərə alınmasını nəzərdə tutur. Texnogen yükü qiymətləndirmək üçün texnogen obyektlərin təbii mühitin komponentlərinə həddi təsirinin konsepsiyası təklif olunur. Ümumi mənada texnogen yükün qiymətləndirilməsi əhali üçün təhlükə yarada bilən sənaye və digər sənaye və obyektlərin istismarı nəticəsində ətraf mühitə və/və ya insan sağlamlığına mənfi təsirin müəyyən edilməsi, qiymətləndirilməsi və proqnozlaşdırılması prosesini əhatə edir. Risklərin qiymətləndirilməsi ekoloji təhlükəsizliyin idarə edilməsinin vasitəsidir. Ekoloji risklərin qiymətləndirilməsi ətraf mühitə mənfi təsirlərin baş vermə ehtimalını qiymətləndirən bir proses kimi müəyyən edilir.

Ümumiləşdirilmiş risk qiymətləndirməsi təhlükə amillərinin müəyyən edilməsini və insan sağlamlığına və ətraf mühitin vəziyyətinə təsir səviyyəsi baxımından bu mənfi təsirin dərəcəsinin müəyyən edilməsini əhatə edir. Risklərin idarə edilməsində insanlara və ətraf mühitə təsirin tənzimlənməsi vəzifələri həll edilir, onun iqtisadi bloku təsirlərin miqyasını müəyyən bir səviyyəyə endirmək üçün tədbirlərin effektivliyinin təhlilinə əsaslanır. Məqsəd və işin həcmindən, məlumat və vasitələrdən asılı olaraq, fərdi addımlar (skrininq təhlili) və ya tam risk qiymətləndirilməsi həyata keçirilə bilər. Məsələn, bir və ya bir neçə zərərli ekoloji faktorun yaratdığı təhlükənin ölçüsünü müəyyən etmək lazımdırsa, bu amillərin təsirinə görə risk qiymətləndirməsi tətbiq edilir. Əgər vəzifə hər hansı mənbədən emissiyalardan yaranan riski azalda bilən müxtəlif məsrəflərin texniki həllərini seçməkdirsə, iqtisadi risklərin idarə edilməsi yanaşmalarından istifadə etmək lazımdır. Müqayisəli risk təhlili istifadəçilərə məhdud vəsaitlər nəzərə alınmaqla, bütün mümkün olanlar arasından prioritet və həlli asan problemi necə seçmək barədə təlimat verir.

Daimi texnogen yük və ya mənfi ekoloji və iqtisadi nəticələrə səbəb olan fövqəladə hallar səbəbindən ekoloji risklərin qiymətləndirilməsi və təhlili kəmiyyət risk göstəricilərini aşağıdakı formada qiymətləndirməyə imkan verir:

1) təbii ekosistemlərin zədələnməsi;

2) aqreqatların, konstruksiyaların, qurğuların sürətlənmiş aşınması şəklində iqtisadi itkilər;

3) ətraf mühitin çirklənməsinin artması nəticəsində əhalinin sağlamlığına dəymiş sosial-iqtisadi zərər;

4) qəzaların və fəlakətlərin nəticələrinin aradan qaldırılması üçün əlavə xərclər.

İstifadə olunan iqtisadi meyarların kəmiyyət dəyəri ekoloji risk faktorlarından asılıdır. Ümumiyyətlə, ekoloji riskin iqtisadi qiymətləndirilməsi texnogen yüklə əlaqədar ətraf mühitin vəziyyətində potensial və ya real dəyişikliklərdən zərər və faydanın hesablanmasına əsaslanır. Bu qiymətləndirmə iki əsas aspektin - təsirin alıcılarının vəziyyətinin və texnogen təsirin xüsusiyyətlərinin təhlilinə əsaslanır [5]. Ətraf mühitin pozulmasından iqtisadi zərər dedikdə, ətraf mühitə dağıdıcı təsir nə-

ticəsində təsərrüfat subyektlərinə dəyən faktiki və mümkün itkilərin dəyəri başa düşülməlidir. Müxtəlif ölkələr milli xüsusiyyətlərdən, ekoloji qanunvericiliyindən, mövcud resurslardan və digər amillərdən asılı olaraq müxtəlif mexanizmlərdən istifadə etməklə ekoloji və iqtisadi riskləri qiymətləndirirlər. Məsələn, Hollandiyada, ABŞ-da və bir sıra digər ölkələrdə prinsipdən istifadə olunur ki, bunun mahiyyəti regionun müəyyən bir çirkləndirici üçün ümumi icazə verilən emissiya dərəcəsini müəyyən etməsidir. Belə bir norma çərçivəsində ümumi yol verilən emissiya həcminin müəssisələr arasında bölüşdürülməsi, eləcə də hər bir müəssisənin emissiya həcminin ayrı-ayrı çirklənmə mənbələri arasında bölüşdürülməsi tənzimlənməlidir.

Ekoloji risk anlayışı ətraf mühitin mühafizəsi xərclərinin artımını müəyyən edilmiş emissiya standartı ilə deyil, ətraf mühitdə çirkləndiricinin daimi mövcudluğu və ona uyğun gələn risk səviyyəsi ilə müəyyən edilən itkilərin azaldılmasının gözlənilən dəyəri ilə əlaqələndirir. Eyni zamanda, insan sağlamlığı itkilərin əsas göstəricisi kimi qəbul edilir. Ətraf mühitin təmizliyinin meyarı çirklənmənin normativ səviyyələri deyil, ekoloji amillərin yaratdığı xəstəliklərin olmamasıdır. Normativ yanaşma ilə müqayisədə ekoloji risk nəzəriyyəsinə əsaslanan ekoloji zərərin iqtisadi qiymətləndirilməsinin hesablanmasının üstünlüyü ətraf mühitin çirklənməsindən itkilərin daha tam (hərtərəfli) uçotu hesabına maksimum effekt əldə etmək istəyidir, insan və ya ekosistemin qorunması və onun mühafizəsi və bərpası üçün fəaliyyətlərdə rasional investisiya strukturunun seçilməsidir.

Risk nəzəriyyəsinə əsaslanan ətraf mühitin çirklənməsindən dəymiş zərərin iqtisadi qiymətləndirilməsi mexanizmi normativ yanaşma ilə müqayisədə çirkləndiricilərə və onların mənbələrinə antropogen amillərin təsirinin nəticələrini pul baxımından daha dolğun nəzərə almağa imkan verir. Bu halda, ekosistemin vəziyyəti və insan sağlamlığı üçün potensial təhlükəli olan ətraf mühitin çirklənməsi faktorlarını proqnozlaşdırmaq mümkün olur. Texnogen sferada təhlükəsizlik nəzəriyyəsində təhdidlərə çevrilən və müxtəlif risklər yaradan onlarla potensial təhlükələr mövcuddur.

Riskin kəmiyyət təhlili müəyyən bir təhlükəsizlik səviyyəsinə və ya konkret məqsədə nisbətən əməliyyat imkanlarını müəyyən etmək üçün istifadə olunur. Çox nadir hallarda rast gəlinən və buna görə də onların tezliyini və nəticələrini təkcə statistik üsullarla müəyyən etmək mümkün olmayan irimiqyaslı qəzaları qiymətləndirmək üçün hazırlanmışdır.

Hazırda ABŞ və Avropada bu üsul nüvə və kimya sənayesində geniş istifadə olunur, çünki o, təhlükəsizliyin qiymətləndirilməsi üçün ən çox yönlü və əhatəli üsuldur.

Riskin kəmiyyət təhlili metodu hər hansı bir fəaliyyətlə əlaqədar bütün mümkün fövqəladə halları nəzərdən keçirir və hər bir hadisənin baş vermə ehtimalını (tezliyini) və onlarla bağlı nəticələri təxmin edir.

Fərdi risk – tədqiq olunan qəza təhlükəsi amillərinə məruz qalma nəticəsində bir şəxsə dəyən zərərin tezliyidir. Kollektiv risk müəyyən müddət ərzində mümkün qəzalar nəticəsində xəsarət alan insanların gözlənilən sayıdır. Sosial risk, ən azı N nəfərin müəyyən səviyyədə əziyyət çəkdiyi F hadisələrinin baş vermə tezliyinin bu N sayından asılılığıdır. Fərdi risk səviyyəsini müəyyən etmək üçün qəzanın xarakteri, “risk zonası”-nda qalma vaxtına nisbəti və “riskli şəxsin” yeri nəzərə alınmalıdır.

Bununla əlaqədar olaraq, fərdi risk aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$R_{ind} = \sum_{1}^{n} Q_{n(i)} \cdot Q_i \cdot P_{pr(i)},$$

burada R_{ind} – fərdi riskdir, *1/il*; $Q_{n(i)}$ – í-ci qəza ssenarisinin həyata keçirilməsi zamanı insan xəsarətinin şərti ehtimalıdır; Q_i - il ərzində i-ci qəza ssenarisinin həyata keçirilməsi ehtimalı; $P_{pr(i)}$ - í-ci qəza ssenarisinin zədələyici amillərinin təsir zonasında şəxsin olma ehtimalı; *n* - qəza ssenarilərinin sayıdır.

Episentrdən müəyyən məsafədə buxar-hava qarışıqlarının yanması zamanı yaranan həddindən artıq təzyiqdən, eləcə də boğazda yanğın zamanı istilik radiasiyasından insanın zədələnməsinin şərti ehtimalı istifadə etməklə hesablanır.

Fərdi risk, neftqaz sənayesində müxtəlif işçi kateqoriyaları üçün hesablanır, orada müəyyən bir ixtisasın işçilərinin (operatorlar, çilingərlər, mühəndislər – sex müdiri, növbə ustası, texnoloq və s.) qalma müddəti nəzərə alınır. Mümkün qəzanın zərərverici amillərinin təsir zonasında personalın olma ehtimalı aşağıdakı düsturla müəyyən edilir:

$$P_{pr(i)} = \frac{\tau_i \cdot n_i}{T},$$

burada τ_i – işçinin bir növbədə zədələyici amillər zonalarında keçirdiyi vaxtdır, s; T - bir ildəki saatların sayıdır; n_i - illik iş növbələrinin sayıdır.

Kollektiv risk aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$R_{kol} = \sum_{i-1}^{n} Q_i \cdot N_i$$

burada R_{kol} – kollektiv riskdir, adam/il; Q_i - il ərzində i-ci qəza ssenarisinin həyata keçirilməsi ehtimalı; N_i, - í-ci qəza ssenarisinin həyata keçirilməsi zamanı ölənlərin sayıdır.

Orta fərdi risk aşağıdakı kimi hesablanır:

$$R_{ort} = \frac{R_{kol}}{N_i}$$

burada R_{ort} - orta fərdi riskdir, *1/il*; N_i – risk altında olan personal, adam.

Dövrümüzdə istehsalın texnoloji səviyyəsi çevik texnologiyalardan istifadə dərəcəsi nəzərə alınmaqla qiymətləndirilməlidir, texniki nasazlıqların və çoxlu sayda insan səhvlərinin öhdəsindən gələ bilməli və ya əks tədbirlərin görülməsi üçün kifayət qədər vaxt təmin edə bilməlidir. Riskin qiymətləndirilməsi texnologiyanın və ya konkret problemin hərtərəfli, inteqrasiya olunmuş qiymətləndirilməsinə elə inteqrasiya edilməlidir ki, alınan nəticələr qərar qəbulu prosesində istifadə olunsun.

Riskin azaldılması üzrə iş çox məhsuldar ola bilər, çünki bu, prinsipcə, yeni texnologiyaların, materialların, strukturların yaradılmasını təmin edir, materialları, strukturları, insanları öz ehtiyaclarına və imkanlarına, təbiətdəki yeri və roluna tənqidi yanaşmağa məcbur edir, Çünki "müasir texnologiyalar insanı bu günə qədər öz hərəkətlərinə görə məsuliyyətə layiq olmayan tələblərə məruz qoyub". Hal-hazırda risk nəzəriyyəsi neft-qaz və kimya sənayesinin müxtəlif sahələrində geniş istifadə olunur, potensial təhlükəli obyektlərin layihələndirilməsində və onların istismarının icazə verilən təhlükəsizlik səviyyəsinin yenidən nəzərdən keçirilməsində, yerləşdirilməsində, rəsmi təsdiqində istifadə olunur.

Bu gün risk nəzəriyyəsi neft-qaz və kimya sənayesinin müxtəlif sahələrində geniş istifadə olunur, potensial təhlükəli obyektlərin layihələndirilməsində və onların istismarının icazə verilən təhlükəsizlik səviyyəsinin yenidən nəzərdən keçirilməsində, yerləşdirilməsində, rəsmi təsdiqində istifadə olunur.

Nəticə

Təhlil göstərdi ki, yerli və regional miqyasda formalaşan real ekoloji riskin qiymətləndirilməsi meyarı kimi sənaye istehsalının texnogen amilləri ilə kəmiyyətcə əlaqəli iqtisadi itkilərin potensial xarakteristikası istifadə edilə bilər.

Risk nəzəriyyəsinə əsaslanan ətraf mühitin çirklənməsindən dəymiş zərərin iqtisadi qiymətləndirilməsi mexanizmi normativ yanaşma ilə müqayisədə çirkləndiricilər və onların mənbələri tərəfindən antropogen amillərin təsirinin nəticələrini pul ifadəsində daha dolğun nəzərə almağa imkan verir.

Bu halda, ekosistemin vəziyyəti və insan sağlamlığı üçün potensial təhlükəli olan ətraf mühitin çirklənməsi faktorlarını proqnozlaşdırmaq mümkün olur. Texnogen sferada təhlükəsizlik nəzəriyyəsində təhdidlərə çevrilən və müxtəlif risklər yaradan onlarla potensial təhlükələr mövcuddur. Ümumiyyətlə, texnogen sferanın təhlükəsizliyini iki aspektə bölmək olar:

1) texnogen təhlükəsizlik fövqəladə və fəlakətli vəziyyətlərin baş verməsi və inkişafı zamanı insanın, obyektlərin və ətraf mühitin yaradılmış və fəaliyyət göstərən mürəkkəb texniki sistemlərdən yaranan təhlükələrdən mühafizə dərəcəsini müəyyən edir;

2) texnoloji təhlükəsizlik insanın, cəmiyyətin, obyektlərin və ətraf mühitin ölkənin əsas milli maraqlarına nail olunmasını təmin edən texniki sistemlərin, texnoloji proseslərin və materialların əsassız yaradılması və ya yaradılmaması ilə bağlı təhlükələrdən qorunması dərəcəsini müəyyən edir.

Texnogen sferada potensial və real təhlükələrin artması texnogen və texnoloji təhlükəsizlik problemlərinin həllində dövlətin rolunun gücləndirilməsini tələb edir.

Gələcəkdə texnogen sferada risklər kəskin şəkildə dəyişə bilər: texnogen risklər texnoloji riskləri əvəz edəcək və milli texnoloji bazanın məhv edilməsi nəticəsində zərərlər yaranacaq.

Maraqlar münaqişəsi

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

REFERENCES

1. **Bulatov A.I., Voloshchenko E.Yu., Kusov G.V., Savenok O.V.** Ekologiya pri stroitelstve neftyanyh i gazovyh skvazhin: uchebnoe posobie dlya studentov vuzov. – Krasnodar: OOO «Prosveshchenie-Yug», 2011. – 603 s. *(in Russian)*
2. **Menshikov V.V., Shvyryaev A.A.** Opasnye himicheskie obyekty i tehnogennyj risk: uchebnoe posobie. – M.: Izdatelstvo himicheskogo fakulteta MGU, 2003. – 254 s. *(in Russian)*
3. Ekologicheskie riski, svyazannye s ekspluataciej neftyanyh mestorozhdenij.

   URL: http://knowledge.allbest.ru/ecology/3c0b65625a2ad79a5d43a89521316d37_0.html
4. **Murvatov F.E., Usubaliev B.T., Rzaeva A.K., Gasanova M.M., Kerimova A.G.** Vozmozhnosti ispolzovaniya zhidkih othodov neftyanoj promyshlennosti dlya prigotovleniya kompozitov. “Vestnik Azerbaijanskoj inzhenernoj akademii”, 2021. cild 13, №1. *(in Russian)*
5. ARDNŞ-nin risklərin idarə edilməsi üzrə normativ sənədlər toplusu. ARDNŞ 2012, ARDNŞ kitabxanası *(in Azerbaijani)*
6. **Stepanov I.S.** «Gornaya kniga» Metody analiza i ocenki riskov v sistemah upravleniya ohranoj truda i promyshlennoj bezopasnosti. - Moskva, 2016 *(in Russian)*

MƏQALƏLƏRİN TƏRTİBATI QAYDALARI

Jurnalın redaksiya heyəti jurnalın elmi istiqamətinə uyğun gələn, heç bir yerdə nəşr olunmayan, digər jurnallara verilməyən məqalələrin əlyazmalarına baxır.

Hazır məqalə redaksiyaya, **amaxeber@yahoo.com** elektron ünvanına göndərilməlidir.

Məqalə azərbaycan, ingilis və ya rus dillərində 10 səhifədən çox olmamaq şərtilə yazıla bilər və aşağıdakıları özündə əks etdirməlidir:

1. Məqalənin adı, müəlliflərin A.A. Soyadı, hər bir müəllifin çalışdığı müəssisənin adı və ünvanı;
2. Müəlliflərdən birinin E-maili;
3. Annotasiya, 1000 simvol;
4. Açar sözlər, 6 sözdən çox olmayaraq;

Bütün bu məlumatlar hər üç dildə təqdim olunmalıdır.

5. *Giriş, İşin məqsədi, Məsələnin qoyuluşu, Məsələnin həlli, Nəticə* - bölmələri ilə məqalənin mətni;
6. UOT kodu;
7. İstifadə olunmuş mənbələrin latın dilində transliterasiya edilmiş mətninin siyahısı (7-10 aralığında), mənbə haqqında tam məlumat. Həmçinin *"Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri"* jurnalına istinad. Siyahı təsadüfi yolla deyil, mətndəki istinadların sırasına əsasən (1, 2, 3...) tərtib olunur.
8. Şəkil və cədvəllərin məqalənin yazıldığı dildə adları, həmçinin, onların ingilis dilinə tərcüməsi. Şəkil və cədvəllər birbaşa məqalənin mətnində onlara istinadların yanında yerləşdirilməlidir.

Redaksiyaya daxil olmuş məqalələr plagiat yoxlama prosedurundan keçir. Orijinallıq indeksi azı 75% olmalıdır.

Məqalələrə redaksiya heyəti tərəfindən təyin olunmuş elmlər doktorları və ya namizədləri rəy verir. Məqalələrə rəy vermək üçün redaksiya heyəti və şurası üzvləri, eləcə də aparıcı mütəxəssislər cəlb edilir. Rəyin verilmə müddəti 3 aya qədərdir. Məqaləyə mənfi rəy verildiyi halda redaksiya bu barədə müəllifə məlumat verir. Müəlliflərin təkrar düzəlişlərindən sonra məqalə yenidən rəyçilərə göndərilir, sonra isə rəyçinin son rəyinə əsasən redaksiya heyəti məqaləni nəşr üçün təsdiqləyir və ya imtina edir. Redaksiya mətni redaktə etmək hüququna malikdir.

Mətnin yenidən yığılması zamanı yarana biləcək nöqsanları aradan qaldırmaq məqsədi ilə məqalə mətni Word for Windows formatında, Times New Roman 12 şrifti, 1,15 interval ilə elektron şəklində də redaksiyaya təqdim edilməlidir.

Əlyazmanın nəşri üçün müəlliflərdən ödəniş alınmır.

Daha çox məlumat və məqalənin tərtibatı nümunəsi saytda: **ama.com.az**

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Редколлегия журнала рассматривает статьи, которые соответствуют научному профилю журнала, нигде ранее не опубликованы и не переданы в редакции других журналов.

Готовую статью следует направить в редакцию на e-mail: **amaxeber@yahoo.com.**

Статья может быть написана на азербайджанском, английском либо русском языке общим объемом не более 10 страниц и должна включать в себя:

1. Название статьи, И.О. Фамилию авторов, наименования и адреса организаций, где работают авторы;
2. E-mail одного из авторов для переписки;
3. Аннотацию (около 1000 символов);
4. Ключевые слова (до 6 слов).

Вся вышеперечисленная информация должна быть переведена на три языка.

5. Текст статьи с разбивкой на *Введение, Цель работы, Постановка задачи, Решение задачи, Заключение;*
6. Код УДК;
7. Транслитерированный на латинице список использованной литературы (в пределах 7–10) с указанием полных библиографических данных об источнике. В том числе ссылка на журнал *«Вестник Азербайджанской Инженерной Академии».* Список составляется в порядке указания ссылок в тексте по возрастающей: 1, 2, 3…, а не вразброс.

8 Названия рисунков и таблиц на языке написания статьи плюс их перевод на английский язык. Рисунки и таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи рядом со ссылками на них.

Поступившие в редакцию рукописи проходят процедуру проверки на плагиат. Индекс оригинальности должен составлять не менее 75%.

Статьи рецензируются докторами и кандидатами наук, назначаемыми редакционной коллегией. К рецензированию статей привлекаются: члены редколлегии, редсовет и ведущие специалисты. Срок рецензирования составляет до 3 месяцев. В случае замечаний к статье редакция свяжется с автором. После повторного авторского редактирования статья направляется для повторной рецензии, а затем на основании окончательного заключения рецензента редколлегия утверждает статью для публикации либо отклоняет. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения.

С целью исключения опечатки при верстке статьи просьба прислать текст и рисунки в электронном виде в формате Word for Windows, шрифт Times New Roman 12, интервал 1,15.

Плата с авторов за публикацию рукописи не взымается.

Более подробная информация и образец оформления статьи – на сайте: **ama.com.az**

ARTICLE SUBMISSION GUIDELINES

The editorial board of the journal reviews articles that correspond to the scientific profile of the journal, have not been published anywhere and have not been submitted to the editors of other journals.

The finished article should be sent to the editorial office by e-mail: **amaxeber@yahoo.com**

The article can be written in any of three languages: Azerbaijani, English or Russian (max 10 pp.) and must include:

1. Title of the article, Name, Middle Name (if applicable), Surname of authors, names of organizations of each author and addresses of organizations;
2. E-mail of one of the authors;
3. Annotation (about 1000 characters);
4. Key words (up to 6 words).

All of the above information must be translated into three languages.

5. The text of the article with a breakdown into *Introduction, Purpose of work, Problem statement, Problem solution, Conclusion.*
6. Universal Decimal Classification code, also known as УДК.
7. The transliterated in the Latin alphabet the list of used References (min 7 – max 10) with full bibliographic data on the source, including a link to journal *"Herald of the Azerbaijan Engineering Academy"*. The list is compiled in the order of the references in the text (1, 2, 3 ...), and not randomly.
8. Titles of figures and tables in the language of writing the article plus their translation into English. Figures and tables are located directly in the text of the article next to the mandatory links to them.

The submitted manuscripts undergo a plagiarism check procedure. The originality index must be at least 75%.

Articles are reviewed by doctors or candidates of sciences appointed by the editorial board. The following are involved in reviewing articles: members of the editorial board, editorial board and leading experts. The review period is up to 3 months. In case of comments on the article, the editors will contact the author. After repeated author's editing, the article is sent for re-review, and then, based on the final opinion of the reviewer, the editorial board approves the article for publication or rejects it. The editors reserve the right to make editorial changes.

In order to avoid typing errors in the layout of the article, please send the text and figures in electronic form using format .docx of Microsoft Word, and font Times New Roman 12, interval 1,15.

No fee is charged from the authors for the publication of the manuscript.

More detailed information and a sample article formatting can be found on the website: **ama.com.az**

Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının
XƏBƏRLƏRİ
Beynəlxalq elmi-texniki jurnal

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

ВЕСТНИК
Азербайджанской Инженерной Академии
Международный научно-технический журнал

Cild 15. № 2
Vol. 15. № 2
Том 15. № 2

BAKI – 2023

İnformasiya şöbəsinin müdiri
Naila Əskərova

Nəşriyyat və yayım şöbəsinin müdiri
Akif Dənziyev

Korrektor
Pərvin Süleymanova

"Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının XƏBƏRLƏRİ"
jurnalı redaksiyanın kompyüterlərində yığılmış və
hazır diapozitivlərdən **"Apostrof-A"**
mətbəəsində ofset üsulu ilə çap olunmuşdur.

Çapa imzalanıb 24.06.2023,
formatı 60x84 1/8,
kağız ofset, f.ç.v. 16.5
Tirajı 1105 əd.