



Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının XƏBƏRLƏRİ

HERALD
of the Azerbaijan Engineering Academy

ВЕСТНИК
Азербайджанской Инженерной Академии

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

Cild 9. № 3
Vol. 9. № 3
Том 9. № 3

BAKİ – 2017

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

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

REDAKSİYA HEYƏTİ:

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

REDAKSİYA ŞURASI:

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

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

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

EDITORIAL BOARD:

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

EDITORIAL ADVISORY BOARD:

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

TƏSİSCİ:

“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 namizədlilik və doktorluq dissertasiyalarının nəticələrini dərc olunmaq üçün daxil edilmişdir.

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

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

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

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

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

Abunə indeksi: Hüquqi və fiziki şəxslər üçün – 1156

Redaksiyanın ünvanı: Azərbaycan Respublikası, AZ 1010,
Bakı şəhəri, K.Səfəraliyeva 22.
Tel/Faks: (+99412) 598 24 52
(dax. 6-59)
E-mail: amaxeber@yahoo.com
<http://ama.com.az>

REKLAMALARIN YERLƏŞDİRİLMƏSİ
İLƏ ƏLAQƏDAR REDAKSIYAYA
MÜRACİƏT EDƏ BİLƏRSİNİZ

FOUNDER:

Public union “Azerbaijan Engineering Academy”

Journal published since November, 2009.

Issued 4 times a year.

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

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

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

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

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

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

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

For juristic and for natural persons – 1156

Address of editorial offices:
Azerbaijan Republic, AZ 1010,
Baku, K.Safaraliyeva 22.
Tel/Fax: (+99412) 598 24 52
(inter. 6-59)
E-mail: amaxeber@yahoo.com
<http://ama.com.az>

CONCERNING ADVERTISING
PLACING TO ADDRESS
IN EDITION

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Общественное объединение
«Азербайджанская Инженерная
Академия».

Журнал издается с ноября 2009 года.

Выходит 4 раза в год.

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

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

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

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

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

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

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

Индекс подписки для юридических и физических лиц: 1156.

Адрес редакции: Азербайджан,
AZ1010, г. Баку, ул. К.Сафаралиева, 22.
Тел./Факс: : (+99412) 598 24 52
(внутр. 6-59)
E-mail: amaxeber@yahoo.com
<http://ama.com.az>

ПО ВОПРОСАМ РАЗМЕЩЕНИЯ
РЕКЛАМЫ ОБРАЩАТЬСЯ
В РЕДАКЦИЮ

ISSN 2076-0515

© Azərbaycan Mühəndislik Akademiyası, 2017

© Azerbaijan Engineering Academy, 2017

© Азербайджанская Инженерная Академия, 2017

M Ü N D Ə R İ C A T

M e x a n i k a v e m a s i n q a y i r m a

Sadiqov İ.R.

Qeyri-bircinsli ortotrop çevik yatiq qabıqların qeyri-xətti elastiki deformasiyaları 7

Canəhmədov Ə.X., Volçenko A.İ., Pirverdiyev E.S.,

Volçenko N.A., Vitviskiy V.S., Çufus V.M.

Qazima bucurqadın lentli-kündəli əyləcinin tribosisteminin məcburi soyuması (I hissə) 18

Aslanov Z.Y.

MDB ölkələrinin milli standartlaşdırma sistemlərinin beynəlxalq tələblərə uyğun inkişafı 31

N e f t v e q a z

Salavatov T.Ş., Xürrəm İqbal

Qazkondensat quyularda NKB-nin dağılımasının ehtimal olunan səbəbləri 39

Volçenko D.A., Dumniy A.V.

Qaz quyularının sulaşmasına qarşı mübarizə metodları 49

Quliyev A.S., Qurbanov Ə.N.

Dəniz yataqlarından çıxarılan qazın nəqlə hazırlanması zamanı istifadə edilən reagentlərin sərf normasının tənzimlənməsi 56

Dışın O.A.

Çatlı-məsaməli halqaşəkilli layda mayenin qeyri-stasionar filtrasiya məsələsinin Veyvlet-metod həlli 65

Əliyev M.İ., Şirinov Y.R., Hüseynov Q.S.

Qızılbulaq yatağının geoloji quruluşunun bəzi xüsusiyyətləri və filizinin qızılılığı 82

İskəndərov E.X.

Dəniz yataqlarında multifazalı quyu məhsullarının yiğilması və nəqlinin optimal texnologiyaları 92

N e f t - k i m y a t e x n o l o g i y a s i

Mustafayeva G.R.

Sabit elektrik sahəsində emulsiyanın parçalanması 100

Hüseynova E.Ə.

Vakuum qazoylunun oksikrekinq prosesində (oksidləşdirici krekinq) biseolit katalizatorun aktiv mərkəzlərinin təbiəti haqqında 104

I n f o r m a s i y a t e x n o l o g i y a l a r ı

Abdullabəyli A.Ə.

Memarlıq mühitinin müxtəlif faktorlara görə sistemli xüsusiyyətlərinin analizi 111

I n s a a t

Hacıyev M.Ə., Xəlilov H.A., Alayeva S.M.

Aşağı enən qolu olan sürüngənlik tənliyi və onun əsasında relaksasiya məsələlərinin həlli ... 118

I q t i s a d i y y a t

Süleymanov Q.S., Qarayev R.H., Məmmədova S.A.

Azərbaycanda sahibkarlığın maliyyələşdirilməsinin yeni mənbələri 128

Əliyeva V.S.

Əhali istehlakının statistik və artım modeli 134

E k o l o g i y a

Əliyeva Y.N.

Ekoloji sistemlərdə biomüxtəliflik dərəcəsinin qiymətləndirilməsinin optimal üsulu 138

C O N T E N T S

Mechanics and Mechanical Engineering

Sadigov I.R.

Non-linear elastic deformations of non-homogeneous orthotropic flexible concave shells 7

Janahmadov A.Kh., Volchenko A.I., Pirverdiev E.S.,

Volchenko N.A., Vitvitsky V.S., Chufus V.M.

Forced cooling of tribosystem “band-shoe brake” in drilling drawworks (Part I) 18

Aslanov Z.Y.

The development of national standardization systems of the CIS countries
in accordance with international requirements 31

Oil and Gas

Salavatov T.Sh., Khurram Iqbal

Plausible causes of completion tubing failure in gas condensate wells 39

Volchenko D.A., Dumnii O.V.

Watered-out gas wells: means of solving the problem 49

Quliyev A.S., Qurbanov A.N.

Expenditure control of reagents used in offshore gas transportation 56

Dyshin O.A.

Wavelet method for solving the nonstationary fluid filtration problems
in the fractured and porous annular formation 65

Aliyev M.I., Shirinov Y.R., Guseynov G.S.

Some Features of the geological structure and gold composition of
Gyzylbulag deposit (Lesser Caucasus) 82

Iskandarov E.Kh.

The optimal technologies of collection and transportation multiphase
products of offshore wells 92

Chemical Technology

Mustafayeva G.R.

The destruction of the emulsion in a constant electric field 100

Guseynova E.A.

About the nature of active centers bi-seolit catalysts in the oxy-cracking (oxidation
catalytic cracking) of vacuum gas oil 104

Information Technology

Abdullabayli A.A.

Analysis of systemic features of architectural environment by various factors 111

Building

Hajiyev M.A., Khalilov H.A., Alaeva S.M.

Equation of concrete creep with the descending branch and solving relaxation
problems based on it 118

Economy

Suleymanov Q.S., Qarayev R.H., Mamedova S.A.

New sources of business financing in Azerbaijan 128

Aliyeva V.S.

Models of development and statistics in consumer demands 134

Ecology

Alieva Y.N.

Method for optimal assessment of biodiversity in ecological systems 138

СОДЕРЖАНИЕ

Механика и машиностроение

Садыгов И.Р.

Нелинейно-упругие деформации неоднородных ортотропных гибких пологих оболочек 7

Джанахмедов А.Х., Вольченко А.И., Пирвердиев Э.С.,

Вольченко Н.А., Витвицкий В.С., Чуфус В.М.

Принудительное охлаждение трибосистемы ленточно-колодочного

тормоза буровой лебедки (часть 1) 18

Асланов З.Ю.

Развитие национальных систем стандартизации стран СНГ с учетом

международных требований 31

Нефть и газ

Салаватов Т.Ш., Хуррам Игбал.

Вероятные причины повреждений НКТ в газоконденсатных скважинах 39

Вольченко Д.А., Думний А.В.

Методы борьбы с обводнением газовых скважин 49

Гулиев А.С., Гурбанов А.Н.

Урегулирование нормы расхода реагентов, используемых при
транспортировке добываемого газа из морских месторождений 56

Дышин О.А.

Решение задачи нестационарной фильтрации жидкости в трещиновато-пористом
кольцевом пласте с применением дискретного вейвлет-преобразования 65

Алиев М.И., Ширинов Ю.Р., Гусейнов Г.С.

Особенности геологического строения и золотоносность руд Гызылбулагского
месторождения (Малый Кавказ) 82

Искендеров Э.Х.

Оптимальные технологии сбора и транспорта мультифазных продуктов
скважин на морских месторождениях 92

Нефтехимические технологии

Мустафаева Г.Р.

Разрушение эмульсий в постоянном электрическом поле 100

Гусейнова Э.А.

О природе активных центров бицелитного катализатора в процессе
(окислительного каталитического) оксикрекинга вакуумного газойля 104

Информационные технологии

Абдуллабейли А.А.

Анализ системных особенностей архитектурной среды по различным факторам 111

Строительство

Гаджиев М.А., Халилов Г.А., Алаева С.М.

Уравнение ползучести бетона с нисходящей ветвью и решение
релаксационных задач на его основе 118

Экономика

Сулейманов Г.С., Гараев Р.Г., Мамедова С.А.

Новые источники финансирования предпринимательства в Азербайджане 128

Алиева В.С.

Модели роста и статистики потребления населения 134

Экология

Алиева Е.Н.

Метод оптимальной оценки степени биоразнообразия в экологических системах 138

UOT 539.372

QEYRİ-BİRCİNSLİ ORTOTROP ÇEVİK YATIQ QABIQLARIN QEYRİ-XƏTTİ ELASTİKİ DEFORMASIYALARI

İ.R. SADIQOV *

Məqalədə müasir texnikanın müxtəlif sahələrində geniş istifadə olunan nazikdivarlı optimal konstruksiyaların yüksək keyfiyyətli yeni möhkəmləndirilmiş materiallardan hazırlanğından müvafiq dəqiqləşdirilmiş hesablama üsullarının köməyinən çox böyük ehtiyac duyulur. Bu məqsədlə qeyri-bircinsli və fiziki qeyri-xətti xassələrinə malik yatiq qabıqların böyük deformasiyaları daxilində hesablama metodikası işlənmişdir. Bu metodikaya əsasən yatiq qabığın yuxarıda göstərilən qoyuluşda yerdayışmə komponentləri ilə ifadə olunmuş çox mürəkkəb qeyri-xətti diferensial tənliklər sistemi alınmış və onun həlli üçün elastiklik nəzəriyyəsinin tədricən yaxınlaşma üsulundan istifadə olunmuşdur. Hesablamaların nəticələri göstərmişdir ki, məsələnin alqoritminin konturu üzrə oynaqlı bərkidilmiş və müntəzəm yayılmış yükün təsiri altında olan qabığın üçüncü yaxınlaşmada həlli ilə kifayətlənmək mümkündür.

Açar sözlər: yatiq qabıqlar, fiziki qeyri-xətti materiallar, həndəsi qeyri xəttilik, elastiki-plastiki deformasiyalar, qeyri-bircinsli qabıq, tədricən yaxınlaşma üsulu.

Çevik yatiq qabıqların gərgin deformasiya halının tədqiqi üçün elastiklik nəzəriyyəsinin əsas tənliklərinin x , y , z dekart koordinat sistemində ifadələrindən istifadə edirik.

Müasir, sürətlə inkişafda olan texnikanın tələblərinin ödənilməsi məqsədilə yüksək möhkəmliyə malik xüsusi elastiki xassəli armaturla bərkidilmiş sintetik materiallardan mühəndis konstruksiyalarda geniş istifadə olunur. Belə materialların əksəriyyəti xətti və qeyri-xətti elastiki xassələrə malik olmaqla yanaşı qeyri-bircinsli və anizotrop olurlar. Bu tipli materiallardan olan nazik yatiq çevik qabıqların əsas tənliklərini tərtib edərkən onların bütün deformasiya prosesində Kirxhof-Lyav fərziyyələrinin doğru olduğunu və ortotropluq xassəsinin saxlanması fərz edirik.

Yatiq ikili əyrilikli qabığın müvazinət tənlikləri aşağıdakı kimi yazılır[1]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} &= 0; \\ \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial y} &= 0; \\ \frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} + \frac{N_x}{R_1} + \frac{N_y}{R_2} + 2T \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + q(x, y) &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

* Azərbaycan Mühəndislik Akademiyası

Burada N_x, N_y – normal, \mathbf{T} -sürüsdürücü qüvvələr, $\mathbf{M}_x, \mathbf{M}_y$ - əyici və \mathbf{M}_{xy} - burucu momentlərdir.

Nazik yatiq qabıqların orta səthinin nöqtələrinin yerdəyişmə komponentləri ilə deformasiyaların komponentləri arasında asılılıqlarını yazaq [2]:

$$\begin{aligned}\varepsilon_x^0 &= \frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 - K_1 w; \\ \varepsilon_y^0 &= \frac{\partial v_0}{\partial y} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 - K_2 w; \\ \gamma_{xy}^0 &= \frac{\partial u_0}{\partial y} + \frac{\partial v_0}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} \cdot \frac{\partial w}{\partial y}.\end{aligned}\quad (2)$$

Burada $\varepsilon_x^0, \varepsilon_y^0, \gamma_{xy}^0$ – qabığın orta səthi nöqtələrində deformasiyaların komponentləri, u_0, v_0 və w yerdəyişmə komponentləri, $K_1 = 1/R_1, K_2 = 1/R_2$ ((2) tənliklər sistemindəki üçüncü tənlikdə yatiq qabığın baş əyrilik xətləri arasında əlavə sürüşmə deformasiyası $2K_{12} \cdot w$ nisbətən yüksək tərtibli kiçik kəmiyyət olduğundan nəzərdən atılmışdır) - baş əyrilikləri, R_1 və R_2 - orta səthin baş əyrilik radiusları, $w(x, y)$ - deformasiya nəticəsində qabığın ilkin yüksəkliklərindən əvvəlki vəziyyətinə görə elastiki səthi - əyintilər funksiyasıdır.

Yatiq çevik qabıqların orta səthinə paralel və orta sətdən \mathbf{z} məsafəsində olan hər hansı qatındakı nöqtələrdə deformasiyaların komponentləri aşağıdakı kimi yazılırlar:

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \varepsilon_x^0 - z \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \\ \varepsilon_y &= \varepsilon_y^0 - z \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}; \\ \gamma_{xy} &= \gamma_{xy}^0 - 2z \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}\end{aligned}\quad (3)$$

Qabığın deformasiyalarının kəsilməzliyi tənliyini (2) və ya (3) tənliklər sistemlərindən birincisini y -ə, ikincisini isə x -ə görə iki dəfə diferensiallayıb onları tərəf-tərəf toplamaqla alınan tənlikdən (2) və ya (3)-ün üçüncü tənliyinin x və y -ə görə qarışq törəməsini çıxıb alırıq:

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x^0}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y^0}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \gamma_{xy}^0}{\partial x \partial y} = \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - K_1 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - K_2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (4)$$

(3) tənliklər sistemindən bu tənlik göstərilən qaydada alındıqda onun sol tərəfində $\varepsilon_x^0, \varepsilon_y^0$ və γ_{xy}^0 əvəzinə $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ və γ_{xy} iştirak edəcəklər.

A.A.İlyuşinin kiçik elastiki-plastiki deformasiyalar nəzəriyyəsinə əsaslanaraq qabığın materialının qeyri-elastiki olduğunu, habelə sıxılmazlıq (Puasson əmsalı $\mu = 0,5$) fərziyyəsinin qəbul edildiyini nəzərə alaraq ortotrop (yəni elastiki simmetriya müstəvilərinin baş əyrilik müstəvilərinə paralel olan halda) qabığın gərginliklər komponentləri ilə deformasiyalar komponentləri arasındakı asılılıqlarını yazırıq [3]:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{4}{3} \cdot \left. \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} \right|_x \cdot \left(\varepsilon_x + \frac{1}{2} \varepsilon_y \right); \\ \sigma_y &= \frac{4}{3} \cdot \left. \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} \right|_y \cdot \left(\varepsilon_y + \frac{1}{2} \varepsilon_x \right); \\ \tau_{xy} &= \frac{1}{3} \cdot \left. \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} \right|_{xy} \cdot \gamma_{xy}.\end{aligned}\quad (5)$$

Burada gərginliklər intensivliyi σ_i ilə deformasiyalar intensivliyi ε_i arasındaki asılılığı ikihədli kubik parabola şəklində qəbul edirik [4]:

$$\sigma_i = E \cdot \varepsilon_i - \frac{E}{3\varepsilon_{mh}^2} \varepsilon_i^3 = E \varepsilon_i \left(1 - \frac{1}{3\varepsilon_{mh}^2} \varepsilon_i^2 \right) \quad (6)$$

Sonuncu ifadədən istifadə edib (5)-i aşağıdakı şəklə salırıq [5]:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{4}{3} E_x \left(1 - \frac{1}{3\varepsilon_{mh}^2} \varepsilon_i^2 \right) \left(\varepsilon_x + \frac{1}{2} \varepsilon_y \right); \\ \sigma_y &= \frac{4}{3} E_y \left(1 - \frac{1}{3\varepsilon_{mh}^2} \varepsilon_i^2 \right) \left(\varepsilon_y + \frac{1}{2} \varepsilon_x \right); \\ \tau_{xy} &= \frac{1}{3} E_{xy} \left(1 - \frac{1}{3\varepsilon_{mh}^2} \varepsilon_i^2 \right) \cdot \gamma_{xy},\end{aligned}\quad (7)$$

burada ε_{mh} - qabığın materialının möhkəmlik həddinə uyğun nisbi xətti deformasiyası, E_x , E_y , E_{xy} - qeyri-bircinsliliyini nəzərə alan (x , y - dəyişənlərinin funksiyaları şəklində qəbul edilən) elastiklik modullarıdır.

Qabığın daxili qüvvə amilləri ilə gərginlikləri arasındaki asılılıqlar aşağıdakı kimi yazılır:

$$\begin{aligned}N_x &= \int_{-0,5h}^{+0,5h} \sigma_x dz, \quad N_y = \int_{-0,5h}^{+0,5h} \sigma_y dz, \quad M_x = \int_{-0,5h}^{+0,5h} \sigma_x z dz, \quad M_y = \int_{-0,5h}^{+0,5h} \sigma_y z dz, \\ Q_x &= \int_{-0,5h}^{+0,5h} \tau_{zx} dz, \quad Q_y = \int_{-0,5h}^{+0,5h} \tau_{zy} dz, \quad T_x = T_y = \int_{-0,5h}^{+0,5h} \tau_{xy} dz, \\ M_{xy} &= M_{yx} = \int_{-0,5h}^{+0,5h} \tau_{xy} \cdot z dz.\end{aligned}\quad (8)$$

Burada h – qabığın qalınlığı;

N_x, N_y – normal (dartıcı-sıxıcı) qüvvələri;

M_x, M_y – əyici momentləri;

Q_x, Q_y – kəsici qüvvələri;

$T_x = T_y = T$ – orta səthinə paralel təsir edən sürüsdürəcü qüvvələr;

$M_{xy} = M_{yx} = M_b$ – burucu momentlərdir.

(3) ifadələrini nəzərə almaqla (7)-ni (8)-də yerinə yazıb alırıq:

$$\begin{aligned}
 N_x &= \frac{4}{3} E_x h \left(1 - \frac{1}{3\varepsilon_{mh}^2} \varepsilon_i^2 \right) \left(\varepsilon_x^0 + \frac{1}{2} \varepsilon_y^0 \right); \\
 N_y &= \frac{4}{3} E_y h \left(1 - \frac{1}{3\varepsilon_{mh}^2} \varepsilon_i^2 \right) \left(\varepsilon_y^0 + \frac{1}{2} \varepsilon_x^0 \right); \\
 T &= \frac{1}{3} E_{xy} h \left(1 - \frac{1}{3\varepsilon_{mh}^2} \varepsilon_i^2 \right) \cdot \gamma_{xy}^0; \\
 M_x &= -\frac{E_x h^3}{9} \left(1 - \frac{1}{3\varepsilon_{mh}^2} \varepsilon_i^2 \right) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right); \\
 M_y &= -\frac{E_y h^3}{9} \left(1 - \frac{1}{3\varepsilon_{mh}^2} \varepsilon_i^2 \right) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right); \\
 M_b &= -\frac{E_x h^3}{18} \left(1 - \frac{1}{3\varepsilon_{mh}^2} \varepsilon_i^2 \right) \cdot \gamma_{xy}^0.
 \end{aligned} \tag{9}$$

Burada qabığın materialının qeyri-bircinsliyini ifadə edən E_x , E_y , E_{xy} kəmiyyətlərini $\chi = 1$ simvolik parametri daxil etməklə aşağıdakı funksiyalar şəklində qəbul edirik [6]:

$$\begin{aligned}
 E_x &= E_{x,0} [1 + \chi \cdot f(x, y)]; & E_y &= E_{y,0} [1 + \chi \cdot f(x, y)]; \\
 E_{xy} &= E_{xy,0} [1 + \chi \cdot f(x, y)]. & &
 \end{aligned} \tag{10}$$

(9) ifadələrinə daxil olan $\left(1 - \frac{1}{3\varepsilon_{mh}^2} \cdot \varepsilon_i^2 \right)$ mötərizəsinin ikinci həddi $\varepsilon_i^2 / 3\varepsilon_{mh}^2 \ll 1$ olduğuna onu aşağıdakı şəklə salırıq:

$$1 - \eta \frac{\varepsilon_i^2}{3\varepsilon_{mh}^2}, \tag{11}$$

Burada η – qabığın materialının fiziki qeyri-xəttiliyi ilə bağlı sabit parametrdür.

Baxılan məsələdə eyni zamanda çevik qabıqların həndəsi qeyri-xəttiliyi nəzərə alınır. (2) ifadələrində həndəsi qeyri-xəttiliyi nəzərə alan hədlərə də xüsusi sabit parametr ζ -ni daxil edək:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_x^0 &= \frac{\partial u_0}{\partial x} - K_1 w + \zeta \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2; \\
 \varepsilon_y^0 &= \frac{\partial v_0}{\partial y} - K_2 w + \zeta \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2; \\
 \gamma_{xy}^0 &= \frac{\partial u_0}{\partial y} + \frac{\partial v_0}{\partial x} + \zeta \cdot \frac{\partial w}{\partial x} \cdot \frac{\partial w}{\partial y}.
 \end{aligned} \tag{12}$$

(9) ifadələrini (12)-i nəzərə alınmaqla (1) müvazinət tənliklərində yerinə yazıb məsələnin \mathbf{u}_0 , \mathbf{v}_0 və w yerdəyişmə komponentləri ilə ifadə olunmuş çox mürəkkəb qeyri-xətti diferensial tənliklər sistemini alırıq:

$$\begin{aligned}
 4E_{x,0} \frac{\partial}{\partial x} \left\{ [1 + \nu \chi \cdot f(x, y)] \left(\varepsilon_x^0 + \frac{1}{2} \varepsilon_y^0 \right) (1 - \alpha \nu \eta \varepsilon_i^2) \right\} + E_{xy,0} \frac{\partial}{\partial y} \left\{ (1 - \nu \eta \alpha \varepsilon_i^2) \cdot \right. \\
 \cdot [1 + \nu \chi \cdot f(x, y)] \gamma_{xy}^0 \left. \right\} = 0;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & E_{xy,0} \frac{\partial}{\partial x} \{ [1 + v\chi \cdot f(x, y)] \gamma_{xy}^0 \cdot (1 - v\eta\alpha\varepsilon_i^2) \} + 4E_{y,0} \frac{\partial}{\partial y} \{ [1 + v\chi \cdot f(x, y)] \cdot \\
 & \cdot \left(\varepsilon_y^0 + \frac{1}{2}\varepsilon_x^0 \right) (1 - v\eta\alpha\varepsilon_i^2) \} = 0; \quad (13) \\
 & \alpha_0 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left\{ [1 + v\chi \cdot f(x, y)] (1 - v\eta\alpha\varepsilon_i^2) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \right\} + \\
 & \beta_0 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \cdot \{ [1 + v\chi \cdot f(x, y)] \cdot (1 - v\eta\alpha\varepsilon_i^2) \gamma_{xy}^0 \} + \delta_0 \frac{\partial^2}{\partial y^2} \{ [1 + v\chi \cdot f(x, y)] (1 - v\eta\alpha\varepsilon_i^2) \cdot \\
 & \cdot \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \} - \delta_1 \left\{ [1 + v\chi \cdot f(x, y)] \left(\varepsilon_x^0 + \frac{1}{2}\varepsilon_y^0 \right) (1 - v\eta\alpha\varepsilon_i^2) \right\} - \\
 & - \delta_2 \left\{ [1 + v\chi \cdot f(x, y)] \left(\varepsilon_y^0 + \frac{1}{2}\varepsilon_x^0 \right) (1 - v\eta\alpha\varepsilon_i^2) \right\} - \delta_3 \{ [1 + v\chi \cdot f(x, y)] \cdot \\
 & \cdot (1 - v\eta\alpha\varepsilon_i^2) \} \cdot \gamma_{xy}^0 = 0.
 \end{aligned}$$

(13) tənliklərində aşağıdakı işarələr qəbul olunmuşdur:

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 1/3\varepsilon_{mh}^2, \alpha_0 = E_{x,0} h^3/9, \delta_0 = E_{y,0} h^3/9, \beta_0 = E_{xy,0} h^3/9, \delta_1 = \frac{4}{3}E_{x,0} \frac{h}{R_1}, \\
 \delta_2 &= \frac{4}{3}E_{y,0} \frac{h}{R_2}, \delta_3 = \frac{2}{3}E_{xy,0} \cdot h, \quad (14)
 \end{aligned}$$

(13) diferensial tənliklər sistemində iştirak edən aşağıdakı ifadələrin tərkibində əsas $\mathbf{u}_0, \mathbf{v}_0$ və \mathbf{w} məchullardan asılı olan qeyri-xətti funksiyalar mövcuddur:

$$\begin{aligned}
 a_0 &= \varepsilon_x^0 + \frac{1}{2}\varepsilon_y^0 = \frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{1}{2} \frac{\partial v_0}{\partial x} - \left(K_1 + \frac{K_2}{2} \right) w + v \cdot \zeta \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right]; \\
 b_0 &= \varepsilon_y^0 + \frac{1}{2}\varepsilon_x^0 = \frac{\partial v_0}{\partial y} + \frac{1}{2} \frac{\partial u_0}{\partial x} - \left(K_1 + \frac{K_1}{2} \right) w + v \cdot \zeta \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right]; \\
 c_0 &= \gamma_x^0 = \frac{\partial u_0}{\partial y} + \frac{1}{2} \frac{\partial v_0}{\partial x} + v \cdot \zeta \frac{\partial w}{\partial x} \cdot \frac{\partial w}{\partial y}. \quad (15) \\
 \varepsilon_i^2 &= \frac{4}{3}(P_\varepsilon - 2zP_{\varepsilon x} + z^2P_x),
 \end{aligned}$$

Burada

$$\begin{aligned}
 P_\varepsilon &= (\varepsilon_x^0)^2 + \varepsilon_x^0 \varepsilon_y^0 + (\varepsilon_y^0)^2 + \frac{1}{4}(\gamma_{xy}^0)^2, \\
 P_{\varepsilon x} &= \varepsilon_x^0 \cdot \chi_x + \varepsilon_y^0 \cdot \chi_y + \frac{1}{2}(\varepsilon_x^0 \cdot \chi_y + \varepsilon_y^0 \cdot \chi_x + \gamma_{xy}^0 \cdot \chi_{xy}) \text{ və} \\
 P_x &= \chi_x^2 + \chi_y^2 + \chi_x \chi_y + \chi_{xy}^2 \quad - \text{kvadratik formalardır.}
 \end{aligned}$$

Yuxarıda alınmış (13) qeyri-xətti diferensial tənliklər sisteminə qabığın materialının qeyri-bircinsliliyi ilə bağlı χ parametri, həndəsi qeyri-xəttiliyi ilə bağlı ζ parametri, fiziki qeyri-xəttiliyi ilə bağlı η parametri daxil edilmişdir. Göstərilən parametrlər öz növbəsində ümumi bir \mathbf{v} simvolu

ilə bağlanmışdır. (13) qeyri-xətti tənliklər sisteminin həlli üçün simvolik parametrlər (həyəcan-landırma) üsulundan istifadə edilə bilər. Bu məqsədlə məchul yerdəyişmə komponentləri aşağıdakı sıralar şəklində qəbul edilə bilər:

$$u_0 = \sum_{j=0}^{\infty} \nu^j \cdot u_{o,j}; \quad v_0 = \sum_{j=0}^{\infty} \nu^j \cdot v_{o,j}; \quad w_0 = \sum_{j=0}^{\infty} \nu^j \cdot w_{o,j}. \quad (16)$$

(16) ifadələrini (13)-də yerinə yazıb ν simvolu, habelə χ , η və ζ parametrlərinin eyni dərəcələrinə görə sıralara ayırib aşağıdakı hər biri üç xətti diferensial tənliklərindən ibarət diferensial tənliklər sistemini alırıq:

$$\begin{aligned} & 4E_{x,0} \frac{\partial}{\partial x}(a_{00}) + E_{xy,0} \frac{\partial}{\partial y}(c_{00}) = 0; \\ & E_{xy,0} \frac{\partial}{\partial x}(c_{00}) + 4E_{y,0} \frac{\partial}{\partial y}(b_{00}) = 0; \\ & \alpha_0 \frac{\partial^2}{\partial x^2}(d_0) + \beta_0 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y}(c_{00}) + \delta_0 \frac{\partial^2}{\partial y^2}(e_0) - \delta_1 a_{00} - \delta_2 b_{00} - \delta_3 c_{00} = q(x, y). \\ & 4E_{x,0} \frac{\partial}{\partial x}(a_{01}) + E_{xy,0} \frac{\partial}{\partial y}(c_{01}) = -4E_{x,0} \frac{\partial}{\partial x}(f \cdot a_{00}) - E_{xy,0} \frac{\partial}{\partial y}(f \cdot c_{00}); \\ & E_{xy,0} \frac{\partial}{\partial x}(c_{01}) + 4E_{y,0} \frac{\partial}{\partial y}(b_{01}) = -E_{xy,0} \frac{\partial}{\partial x}(f \cdot c_{00}) - 4E_{y,0} \frac{\partial}{\partial y}(f \cdot b_{00}); \\ & \alpha_0 \frac{\partial^2}{\partial x^2}(d_1) + \beta_0 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y}(c_{01}) + \delta_0 \frac{\partial^2}{\partial y^2}(e_1) - \delta_1 a_{01} - \delta_2 b_{01} - \delta_3 c_{01} = \\ & = -\alpha_0 \frac{\partial^2}{\partial x^2}(d_0 f) - \beta_0 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y}(c_{00} f) - \delta_0 \frac{\partial^2}{\partial y^2}(e_0 f) + \delta_1 a_{00} f + \delta_2 b_{00} f + \delta_3 c_{00} f; \\ & 4E_{x,0} \frac{\partial}{\partial x}(a_{02}) + E_{xy,0} \frac{\partial}{\partial y}(c_{02}) = 4E_{x,0} \frac{\partial}{\partial x}(\alpha \varepsilon_{i,0}^2 \cdot a_{00}) + E_{xy,0} \frac{\partial}{\partial y}(\alpha \varepsilon_{i,0}^2 \cdot c_{00}); \\ & E_{xy,0} \frac{\partial}{\partial x}(c_{02}) + 4E_{y,0} \frac{\partial}{\partial y}(b_{02}) = E_{xy,0} \frac{\partial}{\partial x}(\alpha \varepsilon_{i,0}^2 \cdot c_{00}) + 4E_{y,0} \frac{\partial}{\partial y}(\alpha \varepsilon_{i,0}^2 \cdot b_{00}); \\ & \alpha_0 \frac{\partial^2}{\partial x^2}(d_2) + \beta_0 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y}(c_{02}) + \delta_0 \frac{\partial^2}{\partial y^2}(e_2) - \delta_1 a_{02} - \delta_2 b_{02} - \delta_3 c_{02} = \\ & = \alpha_0 \frac{\partial^2}{\partial x^2}(\alpha d_0 \varepsilon_{i,0}^2) + \beta_0 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y}(c_{00} \alpha \varepsilon_{i,0}^2) + \delta_0 \frac{\partial^2}{\partial y^2}(e_0 \alpha \varepsilon_{i,0}^2) - \delta_1 a_{00} \alpha \varepsilon_{i,0}^2 - \\ & - \delta_2 b_{00} \alpha \cdot \varepsilon_{i,0}^2 - \delta_3 c_{00} \alpha \cdot \varepsilon_{i,0}^2. \quad (17) \\ & 4E_{x,0} \frac{\partial}{\partial x}(a_{03}) + E_{xy,0} \frac{\partial}{\partial y}(c_{03}) = -4E_{x,0} \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial w_0}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\partial w_0}{\partial y} \right)^2 \right] - E_{xy,0} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial w_0}{\partial x} \cdot \frac{\partial w_0}{\partial y} \right); \\ & E_{xy,0} \frac{\partial}{\partial x}(c_{03}) + 4E_{y,0} \frac{\partial}{\partial y}(b_{03}) = -E_{xy,0} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial w_0}{\partial x} \cdot \frac{\partial w_0}{\partial y} \right) - 4E_{y,0} \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial w_0}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\partial w_0}{\partial x} \right)^2 \right]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_0 \frac{\partial^2}{\partial x^2} (d_3) + \beta_0 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} (c_{03}) + \delta_0 \frac{\partial^2}{\partial y^2} (e_3) - \delta_1 a_{03} - \delta_2 b_{03} - \delta_3 c_{03} = \\ = -\beta_0 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left(\frac{\partial w_0}{\partial x} \cdot \frac{\partial w_0}{\partial y} \right) + \delta_1 \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial w_0}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\partial w_0}{\partial y} \right)^2 \right] + \delta_2 \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial w_0}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\partial w_0}{\partial x} \right)^2 \right] - \delta_3 \left(\frac{\partial w_0}{\partial x} \cdot \frac{\partial w_0}{\partial y} \right). \end{aligned}$$

(16) ifadələrini (15)-də nəzərə almaqla onu aşağıdakı şəkilə salırıq:

$$\begin{aligned} a_0 &= a_{00} + v\chi a_{01} + v\eta a_{02} + v\zeta a_{03} + v^2 \chi \eta a_{04} + v^2 \chi \zeta a_{05} + v^2 \eta \zeta a_{06} + \dots \\ b_0 &= b_{00} + v\chi b_{01} + v\eta b_{02} + v\zeta b_{03} + v^2 \chi \eta b_{04} + v^2 \chi \zeta b_{05} + v^2 \eta \zeta b_{06} + \dots \\ c_0 &= c_{00} + v\chi c_{01} + v\eta c_{02} + v\zeta c_{03} + v^2 \chi \eta c_{04} + v^2 \chi \zeta c_{05} + v^2 \eta \zeta c_{06} + \dots \\ \varepsilon_i^2 &= (\varepsilon_i^2)_0 + v\chi (\varepsilon_i^2)_1 + v\eta (\varepsilon_i^2)_2 + v\zeta (\varepsilon_i^2)_3 + v^2 \chi \eta (\varepsilon_i^2)_4 + v^2 \chi \zeta (\varepsilon_i^2)_5 + v^2 \eta \zeta (\varepsilon_i^2)_6 + \dots \end{aligned} \quad (18)$$

(18) ifadələrini nəzərə almaqla (17) diferensial tənliklər sisteminin davamını asanlıqla ala bilərik.

Məsələnin tələb olunan dəqiqliklə həllini almaq üçün (17) xətti tənliklər sistemindən lazımi sayda tənliklər saxlanmalıdır.

Baxılan halda-qeyri bircinsli materialdan hazırlanan qabığın qeyri-xətti elastiki və böyük deformasiya daxilində gərgin halına dair məsələnin həlli üçün daha səmərəli olan tədricən (ardıcıl) yaxınlaşma üsulundan istifadə edək. Bu məqsədlə (13) tənliklər sisteminin bütün tənliklərinin (15) ifadələrini nəzərə almaqla xətti hədlərini sol tərəfdə saxlamaqla qeyri-xəttiliklər ilə bağlı hədlərini sağ tərəfə keçirib alırıq:

$$\begin{aligned} 4E_{x,0} \frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2} + E_{xy,0} \frac{\partial^2 u_0}{\partial y^2} + (2E_{x,0} + E_{xy,0}) \frac{\partial^2 v_0}{\partial x \partial y} - E_{x,0} (4K_1 + 2K_2) \frac{\partial w}{\partial x} = \\ = -4E_{x,0} \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \chi \cdot f(x, y) \left(\varepsilon_x^0 + \frac{1}{2} \varepsilon_y^0 \right) (1 - \alpha \eta \varepsilon_i^2) \right] - \\ - E_{xy,0} \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{\partial w}{\partial x} \cdot \frac{\partial w}{\partial y} + \chi \cdot f(x, y) \cdot \gamma_{xy}^0 (1 - \alpha \eta \varepsilon_i^2) \right]; \\ (2E_{y,0} + E_{xy,0}) \frac{\partial^2 u_0}{\partial x \partial y} + 4E_{y,0} \frac{\partial^2 v_0}{\partial y^2} + E_{xy,0} \frac{\partial^2 v_0}{\partial x^2} - E_{y,0} (4K_2 + 2K_1) \frac{\partial w}{\partial y} = \\ = -4E_{y,0} \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \chi \cdot f(x, y) \left(\varepsilon_y^0 + \frac{1}{2} \varepsilon_x^0 \right) (1 - \alpha \eta \varepsilon_i^2) \right] - \\ - E_{xy,0} \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial w}{\partial x} \cdot \frac{\partial w}{\partial y} + \chi \cdot f(x, y) \cdot \gamma_{xy}^0 \cdot (1 - \alpha \eta \varepsilon_i^2) \right]; \\ \alpha_0 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \frac{\alpha_0 + \delta_0}{2} \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \delta_0 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \beta_0 \left(\frac{\partial^3 u_0}{\partial x \partial y^2} + \frac{\partial^3 v_0}{\partial x^2 \partial y} \right) - \left(\delta_1 + \frac{\delta_2}{2} \right) \frac{\partial u_0}{\partial x} - \\ - \left(\frac{\delta_1}{2} + \delta_2 \right) \frac{\partial v_0}{\partial y} + \left[\delta_1 \left(K_1 + \frac{K_2}{2} \right) + \delta_2 \left(K_2 + \frac{K_1}{2} \right) \right] w - q(x, y) = \\ = -\alpha_0 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left\{ [v\chi \cdot f(x, y) - v\eta \alpha \varepsilon_i^2 - v^2 \chi \eta \alpha \cdot f(x, y)] \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) - \right. \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned}
 & -\beta_0 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left\{ v\zeta \frac{\partial w}{\partial x} \cdot \frac{\partial w}{\partial y} + [v\chi \cdot f(x, y) - v\eta\alpha\varepsilon_i^2 - v^2\chi \cdot f(x, y)\eta\alpha\varepsilon_i^2] \gamma_{xy}^0 \right\} - \\
 & -\delta_0 \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left\{ [v\chi \cdot f(x, y) - v\eta\alpha\varepsilon_i^2 - v^2\chi \cdot f(x, y)\eta\alpha\varepsilon_i^2] \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \right\} + \\
 & +\delta_1 \left\{ \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right] + v\chi \cdot f(x, y) \left(\varepsilon_x^0 + \frac{1}{2} \varepsilon_y^0 \right) (1 - v\eta\alpha\varepsilon_i^2) \right\} + \\
 & +\delta_2 \left\{ \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right] + v\chi \cdot f(x, y) \left(\varepsilon_y^0 + \frac{1}{2} \varepsilon_x^0 \right) (1 - v\eta\alpha\varepsilon_i^2) \right\} + \\
 & +\delta_3 \left\{ v\zeta \cdot \frac{\partial w}{\partial x} \cdot \frac{\partial w}{\partial y} + [v\chi \cdot f(x, y) - v\eta\alpha\varepsilon_i^2 - v^2\chi \cdot f(x, y)\eta\alpha\varepsilon_i^2] \gamma_{xy}^0 \right\}.
 \end{aligned}$$

(19) tənliklər sistemini ardıcıl yaxınlaşma üsulu ilə həll etmək üçün ilk yaxınlaşmada həmin tənliklərin sağ tərəflərini sıfır qəbul etməklə xətti diferensial tənliklər sistemini qabığın mövcud sərhəd şərtlərini ödəyən $\mathbf{u}_{0,0}$, $\mathbf{v}_{0,0}$ və \mathbf{w}_0 yerdəyişmə komponentlərini tapırıq.

Bu funksiyaların ifadələrini (19) tənliklərinin sağ tərəflərində \mathbf{u}_0 , \mathbf{v}_0 və \mathbf{w} -nin yerinə yazaraq alınan diferensial tənliklərin sağ tərəflərinə uyğun xüsusi həllərini ($\mathbf{u}_{0,1}$, $\mathbf{v}_{0,1}$ və \mathbf{w}_1) təyin edirik. Eyni qayda ilə məsələnin növbəti yaxınlaşmaların nəticələri alınır. Bu proses o vaxta qədər davam etdirilir ki, iki sonuncu yaxınlaşmaların nəticələri arasındaki fərq çox kiçik alınsın.

Misal olaraq ölçüləri planda $\mathbf{a}x\mathbf{b}$ olan və müntəzəm yayılmış intensivliyi $\mathbf{q} = \text{const}$ olan yükün yatiq qabiq panelinə təsirini nəzərdən keçirək. Tutaq ki, qabiq panelinin konturu üzrə yerdəyişmə komponentləri sıfıra bərabərdir, yəni onun kontur şərtləri aşağıdakı şəkildə ifadə olunur:

$$\mathbf{x} = \pm \mathbf{a}/2 \text{ olduqda } \mathbf{u}_0 = \mathbf{0}, \mathbf{w} = \mathbf{0};$$

$$\mathbf{y} = \pm \mathbf{b}/2 \text{ olduqda } \mathbf{v}_0 = \mathbf{0}, \mathbf{w} = \mathbf{0}. \quad (a)$$

(a) sərhəd şərtlərini ödəyən yerdəyişmə komponentlərini aşağıdakı ifadələr şəklində qəbul edirik [7,8]:

$$\begin{aligned}
 u_0 &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} C_{u,mn} \cos \frac{m\pi x}{a} \cdot \sin \frac{n\pi y}{b}; \\
 v_0 &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} C_{v,mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \cdot \cos \frac{n\pi y}{b}; \\
 w &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} C_{w,mn} \cos \frac{m\pi x}{a} \cdot \cos \frac{n\pi y}{b}.
 \end{aligned} \quad (20)$$

$\mathbf{q} = \mathbf{q}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ yayılmış yükün intensivliyini ikiqat triqonometrik sıra şəklində qəbul edək:

$$q = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} C_{q,mn} \cos \frac{m\pi x}{a} \cdot \cos \frac{n\pi y}{b}, \quad (21)$$

burada m və $n = 1, 3, 5, \dots$, $C_{q,mn}$ sıranın ixtiyarı həddinin əmsalıdır. Bu əmsali təyin etmək üçün aşağıdakı düsturdan istifadə edirik:

$$C_{q,mn} = \frac{L}{ab} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} q(x,y) \cos \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} dx dy \quad (22)$$

Qabığın panelinə təsir edən yüksək müntəzəm yayılmış olduqda, yəni $\mathbf{q}(x,y) = \mathbf{q} = \text{const}$ olduqda (20)-dən alırıq:

$$C_{q,mn} = \frac{Lq}{ab} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \cos \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} dx dy = \frac{16q}{\pi^2 mn} \sin \frac{m\pi}{2} \sin \frac{n\pi}{2}, \quad (23)$$

burada $m = 1, 3, 5, \dots$, olduğundan $\sin \frac{m\pi}{2} = \pm 1$; $\sin \frac{n\pi}{2} = \pm 1$.

(23) ifadəsini (21)-də yerinə yazıb alırıq:

$$q = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{16q}{\pi^2 mn} \sin \frac{m\pi}{2} \sin \frac{n\pi}{2} \cos \frac{m\pi x}{a} \cdot \cos \frac{n\pi y}{b} \quad (24)$$

(20) və (24) ifadələrini (19) tənliklər sistemində (bu tənliklərin sağ tərəfinin sıfır qəbul edilmiş halı üçün) yerinə yazıb alırıq:

$$\begin{aligned} C_{u,mn} \left(4E_{x,0} \frac{m^2 \pi^2}{a^2} + E_{xy,0} \frac{n^2 \pi^2}{b^2} \right) + C_{v,mn} (2E_{x,0} + E_{xy,0}) \frac{m \cdot n \cdot \pi^2}{a \cdot b} + C_{w,mn} E_{x,0} (4K_1 + 2K_2) \frac{m \cdot \pi}{a} &= 0; \\ C_{u,mn} (2E_{y,0} + E_{xy,0}) \frac{mn \pi^2}{ab} + C_{v,mn} \left(4E_{y,0} \frac{n^2 \pi^2}{b^2} + E_{xy,0} \frac{m^2 \pi^2}{a^2} \right) + C_{w,mn} E_{y,0} (4K_2 + 2K_1) \frac{n\pi}{b} &= 0; \\ C_{w,mn} \left[\alpha_0 \frac{m^4 \pi^4}{a^4} + \frac{\alpha_0 + \delta_0}{2} \frac{m^2 n^2 \pi^4}{a^2 b^2} + \delta_0 \frac{n^4 \pi^4}{b^4} + \delta_1 \left(K_1 + \frac{K_2}{2} \right) + \delta_2 \left(K_2 + \frac{K_1}{2} \right) \right] - \\ - C_{u,mn} \left[\beta_0 \frac{\pi^3 mn^2}{ab^2} - \left(\delta_1 + \frac{\delta_2}{2} \right) \frac{m\pi}{a} \right] - C_{v,mn} \left[\beta_0 \frac{\pi^2 m^2 n}{a^2 b} + \left(\delta_2 + \frac{\delta_1}{2} \right) \frac{\pi n}{b} \right] - \\ - \frac{16q}{\pi^2 mn} \cdot \sin \frac{m\pi}{2} \sin \frac{n\pi}{2} &= 0. \end{aligned} \quad (25)$$

Alınmış cəbri tənliklər sistemini həll edib $C_{u,mn}$, $C_{v,mn}$ və $C_{w,mn}$ əmsallarının ifadələrini alırıq:

$$\begin{aligned} C_{w,mn} &= \frac{da_2}{e_2 - d_2 e_1 / d_1}; \quad C_{v,mn} = - \frac{da_2 d_2}{d_1 e_2 - d_2 e_1}; \\ C_{u,mn} &= C_{v,mn} \frac{b_1}{a_1} - C_{w,mn} \frac{c_1}{a_1}, \end{aligned} \quad (26)$$

burada $d_1 = b_1 a_2 - b_2 a_1$; $d_2 = c_1 a_2 - c_2 a_1$;

$$e_1 = b_2 a_3 - b_3 a_2; \quad e_2 = c_2 a_3 - c_3 a_2 \quad (b)$$

(26) ifadələrinə daxil olan kəmiyyətlər aşağıdakı şəkildə işarə olunublar:

$$a_1 = 4E_{x,0} \frac{m^2 \pi^2}{a^2} + E_{xy,0} \frac{n^2 \pi^2}{b^2}; \quad a_2 = (2E_{y,0} + E_{xy,0}) \frac{mn \pi^2}{ab};$$

$$\begin{aligned}
 a_3 &= -\beta_0 \frac{mn^2\pi^3}{ab^2} + \left(\delta_1 + \frac{\delta_2}{2} \right) \frac{m\pi}{a}; \quad b_1 = (2E_{x,0} + E_{xy,0}) \frac{mn\pi^2}{ab}; \\
 b_2 &= 4E_{y,0} \frac{n^2\pi^2}{b^2} + E_{xy,0} \frac{m^2\pi^2}{a^2}; \quad b_3 = -\beta_0 \frac{m^2n\pi^2}{a^2b} - \left(\delta_2 + \frac{\delta_1}{2} \right) \frac{n\pi}{b}; \\
 c_1 &= E_{x,0}(4K_1 + 2K_2) \frac{m\pi}{a}; \quad c_2 = E_{y,0}(4K_2 + 2K_1) \frac{n\pi}{b}; \\
 c_3 &= \alpha_0 \frac{m^4\pi^4}{a^4} + \frac{\alpha_0 + \delta_0}{2} \frac{m^2n^2\pi^4}{a^2b^2} + \delta_0 \frac{n^4\pi^4}{b^4} + \delta_1 \left(K_1 + \frac{K_2}{2} \right) + \delta_2 \left(K_2 + \frac{K_1}{2} \right); \\
 d &= \frac{16q}{mn\pi^2} \cdot \sin \frac{m\pi}{2} \sin \frac{n\pi}{2}.
 \end{aligned} \tag{27}$$

(26) və (27) ifadələrindən istifadə etməklə $\mathbf{C}_{u,mn}$, $\mathbf{C}_{v,mn}$ və $\mathbf{C}_{w,mn}$ əmsallarını \mathbf{m} və \mathbf{n} -in istənilən qiymətləri üçün yerdəyişmə komponentlərini, (3) və (12) asılılıqlarından deformasiya komponentlərini, (9) düsturlarından isə daxili qüvvə amillərinin komponentlərini birinci yaxınlaşmada təyin edə bilərik.

Məsələnin növbəti yaxınlaşmada həllini almaq məqsədilə (19) qeyri-xətti diferensial tənliklər sisteminin sağ tərəfində \mathbf{u}_0 , \mathbf{v}_0 və \mathbf{w} yerdəyişmə komponentlərinin yerinə (20) sıralarının birinci hədlərini ($m = 1, n = 1$ qəbul etməklə) $\mathbf{u}_{0,0}$, $\mathbf{v}_{0,0}$ və \mathbf{w}_0 yazılıq. Bundan əlavə yatiq qabığın materialının qeyri-bircinsliliyini xarakterizə edən kəmiyyətlərin parametrlərini aşağıdakı kimi qəbul edirik:

$$\begin{aligned}
 E_{x,0} &= 1,5 \cdot 10^4 \text{ MPa}, \quad E_{y,0} = 1,3 \cdot 10^4 \text{ MPa}, \quad E_{xy,0} = G_0 = 0,2 \cdot 10^4 \text{ MPa}, \\
 f(x,y) &= ax^2 + by^2 \quad (a = 1,0, \quad b = 0,7).
 \end{aligned}$$

İkinci yaxınlaşmada məsələnin həlli aşağıdakı şəkildə qəbul olunur:

$$\mathbf{u}_{0,1} = \bar{\mathbf{u}}_{0,1} + \bar{\bar{\mathbf{u}}}_{0,1}; \quad \mathbf{v}_{0,1} = \bar{\mathbf{v}}_{0,1} + \bar{\bar{\mathbf{v}}}_{0,1}; \quad \mathbf{w}_{0,1} = \bar{\mathbf{w}}_{0,1} + \bar{\bar{\mathbf{w}}}_{0,1}. \tag{28}$$

Burada $\bar{\mathbf{u}}_{0,1}$, $\bar{\mathbf{v}}_{0,1}$, $\bar{\mathbf{w}}_{0,1}$ – (19) diferensial tənliklər sisteminin ümumi həlli (sağ tərəflərinin sıfır bərabər götürməklə alınan həlli), $\bar{\bar{\mathbf{u}}}_{0,1}$, $\bar{\bar{\mathbf{v}}}_{0,1}$, $\bar{\bar{\mathbf{w}}}_{0,1}$ - (19) tənliklər sisteminin sağ tərəfindəki ifadələrə uyğun xüsusi həllidir.

Göstərilən qayda ilə məsələnin növbəti yaxınlaşmalarnda həlli asanlıqla alınır.

Yuxarıda göstərilən metodikaya uyğun olaraq müvafiq program üzrə hesablamalar aparılmışdır. Bu məqsədlə qabiq panelinin ölçüləri $a/b = 2$, $h = 2 \text{ sm}$, $R_1 = 60 \text{ sm}$, $R_2 = 40 \text{ sm}$, χ , η , ζ , v simvolları isə vahidə bərabər qəbul olunmuşlar.

Aparılmış hesablamaların nəticələri göstərmişdir ki, yerdəyişmələr üçün qəbul olunmuş trigonometrik sıralar kifayət qədər sürətlə yığılırlar və (19) diferensial tənliklər sisteminin həllində artıq üçüncü yaxınlaşmada praktiki cəhətdən lazımi dəqiqlik təmin olunur. Beləliklə, əvvəl yatiq qabığın qeyri-bircinsliyinin və fiziki qeyri-xəttiliyinin nəzərə alınmasına dair hesablama metodikasının səmərəli olduğu təsdiqlənmişdir.

REFERENCE

1. **Goldenvejzer A.L.** Teoriya tonkih uprugih obolochek. – M., GITTL, 1963. – 544 s.
Гольденвейзер А.Л. Теория тонких упругих оболочек. – М., ГИТТЛ, 1963. – 544 с.
2. **Kurdjumov A.A., Lokshin A.Z., Iosifov R.A., Kozlyakov V.V.** Stroitel'naya mehanika korablya i teoriya uprugosti. T.2. – L.: «Sudostroenie». 1969. – 419 s.
Курдюмов А.А., Локшин А.З., Иосифов Р.А., Козляков В.В. Строительная механика корабля и теория упругости. Т.2. – Л.: «Судостроение». 1969. – 419 с.
3. **Iljushin A.A.** Plastichnost. – M.: Gostehizdat, 1948.
Ильюшин А.А. Пластичность. – М.: Гостехиздат, 1948.
4. **Lukash P.A.** Osnovy nelineynoy stroitelnoy mehaniki. M.: Stroyizdat, 1978. – 204 s.
Лукаш П.А. Основы нелинейной строительной механики. М.: Стройиздат, 1978. – 204 с.
5. **Sadiqov İ.R.** İkiqat silindrik qabırqalı tavanların fiziki qeyri-xətti simmetrik deformasiyaları. // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri. 2009, T.1, №1, s. 114-122.
6. **Lomakin V.A.** Teorija uprugosti neodnorodnyh tel. – M.: MGU, 1976. – 368 s.
Ломакин В.А. Теория упругости неоднородных тел. – М.: МГУ, 1976. – 368 с.
7. **Bojarshinov S.V.** Osnovy stroitel'noy mehaniki mashin. – M.: «Mashinostroenie». 1973. – 456 s.
Бояршинов С.В. Основы строительной механики машин. – М.: «Машиностроение». 1973. – 456 с.
8. **Sadiqov İ.R.** Dəyişən qalınlıqlı torlu düzbucaqlı lövhələrin əyilmədə qeyri-xətti elastiki deformasiyaları. // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri. 2015, C.7, №4, s. 41-49.

NON-LINEAR ELASTIC DEFORMATIONS OF NON-HOMOGENEOUS ORTHOTROPIC FLEXIBLE CONCAVE SHELLS

I.R. SADIGOV

The wide application of the optimal thin-walled structures, made of new reinforced materials, in all different fields of modern technology requires a creation of more accurate calculation methods.

Hence, a new method is developed for calculating the flexible shallow shells made of non-homogenous and physically non-linear materials. The obtained complexed system of non-linear differential equations, expressed through displacements, can be solved through the method of successive approximations. The results of these approximation calculations demonstrate that the algorithm for the hinged-and-flush concave shell under the uniformly distributed force is accurate with the third order.

Key words: concave shell, physically non-linear materials, geometric non-linearity, elastic-plastic deformations, non-homogeneous shell, gradual approximation method.

НЕЛИНЕЙНО-УПРУГИЕ ДЕФОРМАЦИИ НЕОДНОРОДНЫХ ОРТОТРОПНЫХ ГИБКИХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК

И.Р. САДЫГОВ

Широкое использование в различных отраслях современной техники оптимальных тонкостенных конструкций, изготовленных из новых упрочненных материалов, вызывает необходимость создания соответствующих уточненных методов расчёта.

В этих целях разработана методика расчёта гибких пологих оболочек из неоднородных физически-нелинейных материалов. Согласно этой методике, получена сложная система нелинейных дифференциальных уравнений, выраженных через перемещения, для решения которой предложено использовать метод последовательных приближений. Результаты расчётов показали, что алгоритм задачи для шарниро-опёртой по всему контуру пологой оболочки от действия равномерно распределённой нагрузки позволяет ограничиться решением в третьем приближении.

Ключевые слова: пологие оболочки, физически нелинейные материалы, геометрическая нелинейность, упруго-пластические деформации, неоднородная оболочка, метод последовательных приближений.

УДК 622.24

ПРИНУДИТЕЛЬНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ ТРИБОСИСТЕМЫ ЛЕНТОЧНО-КОЛОДОЧНОГО ТОРМОЗА БУРОВОЙ ЛЕБЕДКИ (часть I)

А.Х. ДЖАНАХМЕДОВ*, А.И. ВОЛЬЧЕНКО**, Э.С. ПИРВЕРДИЕВ*,
Н.А. ВОЛЬЧЕНКО***, В.С. ВИТВИЦКИЙ**, В.М. ЧУФУС**

В статье приведена конструкция системы охлаждения пар трения ленточно-колодочного тормоза и ее особенность, тепловой баланс элементов конструкции и градиентная теория охлаждения трибосистемы.

Ключевые слова: ленточно-колодочный тормоз, трибосистема, пары трения, обод шкива, камера с жидкостью, конвективный, кондуктивный, радиационный теплообмен.

Введение. В соответствии термодинамикой необратимых процессов неравномерное температурное поле, возникающее на рабочей поверхности обода тормозного шкива в результате трения взаимодействия пар трения ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки при спуске колонны бурильных труб в скважину, приводит к возникновению деформаций и напряжений. При этом, в свою очередь, процесс деформирования обода шкива вызывает изменение в нем поверхностных и глубинных градиентов температуры. Таким образом, в ободе тормозного шкива поля перемещений и температуры взаимосвязаны, что требует совместного решения уравнений теплопроводности и движения. Вопросам решения задач связанной термоупругости посвящена монография [1]. Однако влияние эффекта термомеханического взаимодействия для металлов невелико (около 2 ... 3%), поэтому с достаточной для инженерных расчетов точностью можно решать несвязанную задачу, вначале определяя температурное поле обода тормозного шкива, а затем – напряженно-деформированное состояние его конструкции.

В указанных условиях немаловажную роль играет воздушно-жидкостное охлаждение обода тормозного шкива, являющегося своего рода аккумулятором тепловой энергии, поскольку одна из важнейших задач тормозостроителей – снижение энергонагруженности, и как следствие, напряженно-деформированного состояния обода тормозного шкива.

Состояние проблемы. Эффективная и надежная работа трения ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок возможна в диапазоне поверхностных температур, не превышающих допустимые для материалов трения накладок, что позволит

* Азербайджанская Инженерная академия

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

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

всегда формировать в поверхностных слоях их пар трения двойные электрические слои. Из последних образуются микротермоэлектробатареи, работающие в режимах микротермоэлектрогенераторов и микротермоэлектрохолодильников короткий период времени, тем самым локально повышая или понижая энергонагруженность микровыступов [2].

Снижение энергонагруженности пар трения ленточно-колодочного тормоза должно происходить как при режиме фрикционного взаимодействий трибосопряжений, так и при свободном вращении тормозного шкива. Таким средством является принудительное воздушно-жидкостное охлаждение трибосистемы с оценкой ее эффективности на основе тепловой модели с привлечением градиентов коэффициентов теплопередачи.

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

- особенности конструкции воздушно-жидкостной системы охлаждения трибосопряжений ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки;
- тепловой баланс трибосистемы с охлаждением и его условия теплообмена;
- градиентная теория охлаждения трибосистемы ленточно-колодочного тормоза.

Цель работы - разработка конструкции принудительного охлаждения трибосистемы ленточно-колодочного тормоза с последующей оценкой ее энергонагруженности и напряженно-деформированного состояния.

Особенности конструкции воздушно-жидкостной системы охлаждения трибосопряжений ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки.

В основу принципа воздушно-жидкостного охлаждения пар трения ленточно-колодочного тормоза заложены следующие эффекты: вихревой, кондуктивный, лучистый и испарительно-конденсатный.

На рис. 1 *a*, *b* показан ленточно-колодочный тормоз, продольный разрез (*a*); на рис. *b* – разрез по А-А рис. *a* (без воздухозаборников и системы отверстий в средний части обода шкива и в реборде).

На рис. 2 *a*, *b* использованы следующие условные обозначения: C_L – коэффициент излучения; T_1 , T_2 – температуры полированных поверхностей: рабочих и нерабочих поверхностей обода шкива; T_J , T_C – температуры: жидкости и омывающей воздушной среды; α_J , α_C – коэффициенты теплоотдачи от: жидкости к стенке камеры; стенки камеры к окружающему воздуху; h – толщина обода тормозного шкива; D – кольцевой диаметр камеры; рассматриваются два варианта: а – жидкость омывает внутреннюю стенку камеры; б – жидкость омывает полированную нерабочую поверхность обода шкива и внутреннюю стенку камеры.

Ленточно-колодочный тормоз с принудительной системой воздушно-жидкостного охлаждения состоит из подъемного вала 1, барабана 2 с фланцем 3, который крепится с помощью болтового соединения 4 к теплоизолированному выступу 5 тормозного шкива 6. Последний имеет реборды 7, рабочую 8 и нерабочую 9 поверхности. Рабочая поверхность 8 шкива в процессе торможения фрикционно взаимодействует с рабочими поверхностями 10 полимерных накладок 11, прикрепленных с помощью усиков 12 к тормозной ленте 13, имеющей набегающую (а) и сбегающую (б) ветви. Набегающая ветвь (а) ленты 13 с помощью резьбовой стяжки 14 крепится к опоре 15, а ее сбегающая ветвь (б) – к рычагу 16 управления тормозом.

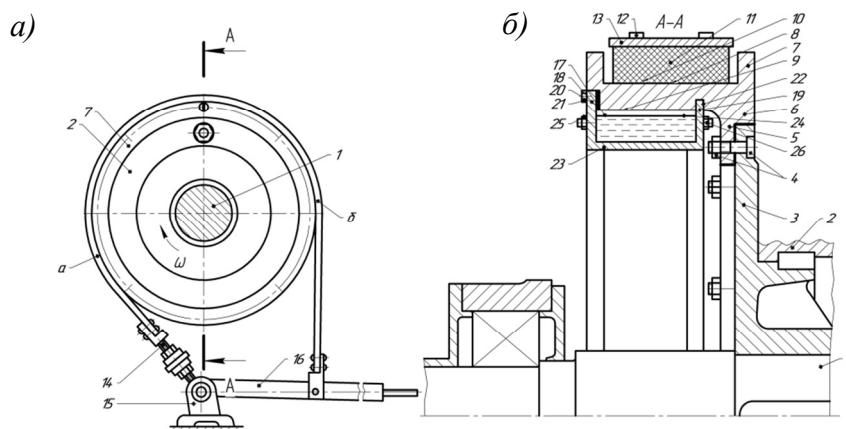


Рисунок 1 а, б. Ленточно-колодочный тормоз с принудительной системой воздушно-жидкостного охлаждения:

а – общий вид; б – поперечный разрез по А-А рис. а; 1 – подъемный вал; 2, 3 – барабана с фланцем; 4 – болтовое соединение; 5-9 – теплоизолированный выступ тормозного шкива, имеющий реборды, рабочую и нерабочую поверхности; 10-12 – рабочие поверхности накладок с усиками; 13 – тормозная лента, имеющей набегающую (а) и сбегающую (б) ветви; 14 – резьбовая стяжка; 15 – опора; 16 – рычаг управления тормозом; 17-19 – камера и ее боковые стенки; 20 – герметизационная прокладка; 21 – крепежные болты; 22 – круговой паз; 23 – цилиндрическое кольцо; 24 – жидкость; 25, 26 – выпускной и выпускной клапаны.

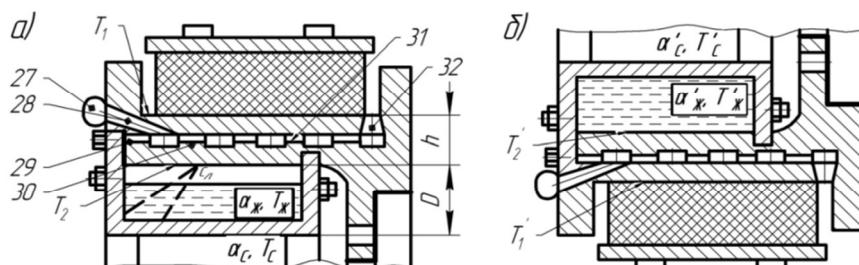


Рисунок 2 а, б. Фрикционное взаимодействие в узлах трения в их верхнем (а) и нижнем (б) положении:

27 – воздухозаборники; 28, 32 – отверстия в ободе шкива; 29 – цилиндрические кольцевые объемы; 30 – перегородки с отверстиями между частями обода шкива

Под нерабочей поверхностью 9 обода шкива 6 расположена камера 17, занимающая объем от первой радиальной боковой стенки 18, расположенной со стороны свободного края обода шкива 6 и до второй радиальной боковой стенки 19, находящейся возле выступа 5 шкива 6. Сверху первая радиальная боковая стенка 18 находится в пазе 19 торца реборды 7 и через герметизационную прокладку 20 с помощью болтов 21 крепится по ее периметру к ободу шкива 6. Вторая радиальная боковая стенка 19 заведена с натягом в круговой паз 22. Снизу стенки 18 и 19 соединены между собой цилиндрическим кольцом 23. Заправка камеры 17 производится жидкостью 24 через выпускной клапан 25, а стравливается в атмосферу образовавшийся пар в камере 17 через выпускной клапан 26.

Камера 17 заполнена жидкостью 24 на 2/3 ее объема и над ней нерабочая поверхность 9 обода шкива 6 выполнена полированной. К левой реборде 7 по ее периметру подключены

воздухозаборники 27, расположенные с постоянным шагом, которые соединены с отверстиями 28 в реборде 7. Отверстия 28 выполнены под углом в реборде 7 в виде сопел Лаваля. Последние связаны с первым цилиндрическим кольцевым объемом 29, расположенным в середине толщины обода шкива 6. Количество цилиндрических кольцевых объемов 29 в ободе шкива 6 зависит от его ширины. Между цилиндрическими кольцевыми объемами 29 находятся кольцевые перегородки 30, в которых выполнены горизонтальные отверстия 31. Последние по периметру перегородок 30 смешены на величину их диаметра. Последний цилиндрический кольцевой объем 29 подключен к отверстиям 32, выполненным в виде конфузоров по периметру рабочей поверхности обода шкива 6 его защемленного края.

Ленточно-колодочный тормоз с принудительной воздушной системой охлаждения работает следующим образом. При вращении тормозного шкива 6 с большой скоростью в направлении стрелки при спуске колонны бурильных труб в скважину (не показаны) до включения механического ленточно-колодочного тормоза воздухозаборники 27 способствуют образованию следующих воздушных потоков: на входе – сопла Лаваля – первый цилиндрический кольцевой объем 29 – горизонтальные отверстия 31 в кольцевой перегородке 30; на выходе – последний цилиндрический кольцевой объем 29 – перпендикулярные отверстия 31 (конфузоры) к рабочей поверхности 8 обода шкива 6. Интенсификация воздушного конвективного теплообмена происходит в остальных цилиндрических кольцевых объемах 29 за счет того, что горизонтальные отверстия 31 по периметру перегородок 30 смешены на величину их диаметра. Такое конструктивное решение способствует большому количеству скоростных воздушных потоков, которые, ударяясь об поверхности очередной перегородки 29, завихряются и тем самым увеличивают воздухообмен, и как следствие, их охлаждают, а затем уже они попадают в очередные отверстия 31 перегородок 30, в которых происходит ускорение воздушных потоков.

Таким образом, осуществляется отвод теплоты от верхней части тормозного шкива 6 за счет циркуляции в нем множества воздушных потоков, омывающих кольцевые перегородки 30, являющихся тепловыми мостиками между верхней и нижней частью тормозного шкива 6, что способствует снижению в них глубинного температурного градиента. Кроме того, имеет место кондуктивный теплообмен между нижней частью обода тормозного шкива 6 и стенками камеры 17.

Остановимся на предложенном конструктивном решении применительно к тормозному шкиву, касающегося полированной нерабочей поверхности его обода, расположенной над жидкостью камеры (рис. 2 а).

Анализ интенсивности теплообмена от металлических элементов трения фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза указывает на то, что коэффициенты теплоотдачи отличаются по модулю и закону изменения и зависят от линейной скорости обода тормозного шкива. Кроме того, матовые и полированные поверхности металлического элемента трения омываются различными по химическому составу и термодинамическим параметрам средами. С указанных поверхностей металлического элемента трения осуществляется теплоотдача лучеиспусканием омывающему их воздуху. Согласно закону Стефана-Больцмана коэффициент теплоотдачи лучеиспусканем определяется из выражения

$$\alpha_{\text{п}} = \frac{C_{\text{п}} \left[\left(\frac{T_H}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_B}{100} \right)^4 \right]}{T_H - T_B}, \quad (1)$$

где T_H – температура нагревания поверхностей металлического элемента трения, К; T_B – температура окружающей среды, К; $C_{\text{п}}$ – коэффициент излучения, Вт/(м² К⁴).

Результаты расчета по формуле (1) представлены на рис. 3 а, б, из которых следует, что коэффициент $\alpha_{\text{п}}$ увеличивается с повышением температуры.

Установлено, что величина отношения коэффициентов излучения матовой поверхности к полированной должна быть равна отношению площадей охлаждаемой поверхности к нагреваемой поверхности металлического элемента трения. По ее значению можно судить о наступлении его установившегося теплового состояния.

В виде соотношений получаем: для ленточно-колодочного тормоза без учета (2) и с учетом (3) нерабочей полированной поверхности обода тормозного шкива (тормозной шкив изготовлен из стали):

$$\frac{C_{\text{п}_M}}{C_{\text{п}_N}} = \frac{5,0}{1,512} = 3,31; \quad \frac{A_{\text{окл}}}{A_{\text{нагр}}} = \frac{2,767}{1,048} = 2,64 \quad (2)$$

$$\frac{C_{\text{п}_M}}{C_{\text{п}_N}} = \frac{5,0}{1,512} = 3,31; \quad \frac{A_{\text{окл}}}{A_{\text{нагр}}} = \frac{3,467}{1,139} = 3,04 \quad (3)$$

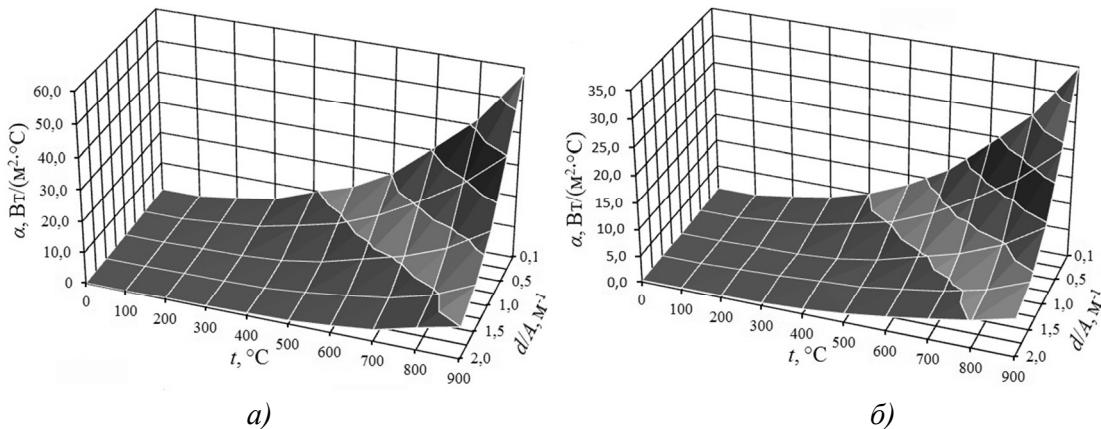


Рис. 3 а, б Зависимость коэффициентов теплоотдачи α лучеиспусканием матовых (а) и полированных (б) поверхностей металлических элементов трения от температуры нагревания t при различных значениях отношения диаметров поверхностей трения к площадям поверхностей d/A

В табл. 1 приведены площади поверхностей теплообмена серийного тормозного шкива ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки У2-5-2.

Процентное расхождение между величинами отношений для первого случая составило 23,0% и 8,15% – для второго.

Ленточно-колодочный тормоз с принудительной жидкостной системой охлаждения работает следующим образом.

Таблица 1

**Площади поверхностей теплообмена серийного тормозного шкива
ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки**

Площади поверхности, принимающих участие в различных видах теплообмена с окружающей средой, и боковая стенка фланца барабана лебедки, м ²			Масса (кг) элементов тормозного шкива			
Площади поверхности (м ²) тормозного шкива:		Площадь поверхности (м ²) выступа обода шкива, которая стыкуется с фланцем барабана	обода	выступа	боковой стенки	
полированная	матовая					
1,048 * /0,091	1,405	0,73	0,541	324,48	31,98	72,54

*Примечание: Площадь рабочей поверхности тормозного шкива: в числителе – перекрываемой накладками, в знаменателе – не перекрываемой накладками.

При нажатии на рычаг 16 управления тормозом происходит затягивание тормозной ленты 13, и рабочие поверхности 10 полимерных накладок 11 взаимодействуют с рабочей поверхностью 8 тормозного шкива 6, что способствует генерированию теплоты на их поверхностях. При этом значительная часть теплоты поглощается шкивом 6, который является аккумулятором тепловой энергии. В свою очередь, тормозной шкив 6 состоит из верхней и нижней части, которые между собой соединены кольцевыми перегородками 30. Последние играют роль тепловых мостиков по выравниванию энергонагруженности верхней и нижней части тормозного шкива. Передача теплоты в кондуктивном теплообмене от нижней части обода тормозного шкива к элементам камеры способствует ее отводу в жидкость.

Рассмотрим два случая взаимодействия полированной нерабочей поверхности 9 обода шкива 6 с жидкостью 24 камеры 17.

Первый случай проиллюстрирован на рис. 3, а, когда жидкость 24 не омывает полированную нерабочую поверхность 9 обода тормозного шкива 6 и между их поверхностями образовался зазор. Из полированной нерабочей поверхности 9 обода тормозного шкива 6 осуществляется лучистый теплообмен: подводится лучистый поток q_L от полированной рабочей поверхности 8 обода тормозного шкива 6 и в соответствии с законом Стефана-Больцмана отводится поток собственного излучения плотностью $C_L T_n^4$ непосредственно к поверхности абсолютного черного тела, т.е. жидкости 24. В этом случае также имеет место слабый конвективный теплообмен, поскольку при вращении шкива 6 за счет центробежных сил капли жидкости все-таки попадают на полированную нерабочую поверхность 9 обода шкива 6, на которой сразу превращаются в пар. Таким образом, в данном случае имеет слабый конвективный и сильный лучистый теплообмены, которые снижают энергонагруженность обода тормозного шкива.

Второй случай показан на рис. 3, б, когда жидкость 24 находится на полированной нерабочей поверхности 9 обода тормозного шкива 6. В этом случае сильным является конвективный теплообмен при взаимодействии слоев жидкости 24 с полированной нерабочей поверхностью 9 обода шкива 6 при слабом их лучистом теплообмене.

Из рис. 3 а, б следует, что тепловое состояние частей тормозного шкива, находящихся на разных полюсах в вертикальной плоскости, является неодинаковым из-за изменения термодинамических параметров жидкости и омывающего воздуха, что и способствует изменению их градиентов, и как следствие, интенсификации кондуктивного, конвективного и радиационного теплообмена в предложенной системе охлаждения.

Таким образом, при работе в режимах вращения тормозного шкива или фрикционного взаимодействия пар трения ленточно-колодочного тормоза имеют место следующие виды теплообмена:

– в первом режиме – конвективный воздушный и жидкостной, кондуктивный, а также лучистый с рабочей и нерабочей поверхностью (полированной) обода тормозного шкива;

– во втором режиме – конвективный воздушный и жидкостной, кондуктивный, а также лучистый с полированной нерабочей поверхности обода тормозного шкива.

Перечисленные виды теплообмена в неодинаковой степени влияют на энергонагруженность пар трения ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки, а в конечном итоге, снижают их энергонагруженность, и как следствие, долговечность рабочих поверхностей.

Тепловой баланс трибосистемы с охлаждением и его условия теплообмена.

Распределение тепловых потоков и его условия теплообмена при фрикционном взаимодействии пар трения тормоза происходит между: рабочими поверхностями фрикционных накладок и тормозной лентой (конвективный теплообмен – 1); верхней частью обода тормозного шкива (лучисто-конвективный теплообмен – 2), омываемых в двух случаях теплообмена скоростными токами воздушных потоков среды; верхней и нижней частью обода тормозного шкива, омываемых в их середине циркулирующими скоростными токами воздушных потоков, проходящие с завихрениями через ширину обода шкива (конструктивно-конвективный теплообмен – 3); нижней частью обода шкива и телом стенок камеры, омываемых жидкостной и воздушной средой (кондуктивно-конвективный теплообмен – 4); полированной частью внутренней поверхности обода шкива, расположенной в камере, и ее жидкостью (лучисто-конвективный теплообмен – 5); цилиндрическим кольцом камеры, омываемым жидкостью с внутренней поверхности, а с наружной стороны – скоростными токами воздушных потоков (жидкостно-воздушный конвективный теплообмен – 6).

При свободном вращении тормозного шкива происходит заметное усиление лучистого теплообмена его полированной рабочей поверхности со скоростными токами воздушных потоков и ослабление их конвективного взаимодействия (лучисто-конвективный теплообмен). Остальные виды теплообмена будут такими же, как и при фрикционном взаимодействии пар трения тормоза, только с меньшей интенсивностью теплообмена [3].

Тепловой баланс трибосистемы с охлаждением в режимах:

– фрикционного взаимодействия пар трения тормоза

$$q(t) = q_1(t_1) + q_2(t_2) + q_3(t_3) + q_4(t_4) + q_5(t_5) + q_6(t_6); \quad (4)$$

– свободного вращения тормозного шкива

$$q'(t') = q'_1(t'_1) + q'_2(t'_2) + q'_3(t'_3) + q'_4(t'_4) + q'_5(t'_5) + q'_6(t'_6); \quad (5)$$

где q_i – плотность теплового потока при температуре t , отвечающая видам теплообмена, которые выше обозначены арабскими цифрами.

При оценке теплового баланса трибосистемы с охлаждением важную роль играет полированная рабочая и нерабочая поверхности обода тормозного шкива в режимах торможения и свободного его вращения. Так, в режиме торможения при угле обхвата 270° лентой с накладками рабочей (полированной) поверхности обода тормозного шкива считаем, что каждый четвертый оборот шкива будет якобы происходить при «открытой» рабочей поверхности обода шкива. При этом полированная нерабочая поверхность обода тормозного шкива, составляющая $2/3$ ширины его обода, будет полностью принимать участие в лучистом теплообмене за полтора оборота обода шкива. Что касается свободного вращения тормозного шкива, то эффект полированной рабочей поверхности его обода нивелируется в связи с омыванием жидкостью нерабочей поверхности обода шкива.

Исходя из вышеизложенного, опишем условия теплообмена в трибосистеме с различными видами охлаждения. При фрикционном взаимодействии пар трения ленточно-колодочного тормоза по поверхностям A_{12} с температурами $T_1(x, y, z, t)$ и $T_2(x, y, z, t)$ ставятся условия сопряжения

$$\begin{aligned} T_1|_{A_{12}} &= T_2|_{A_{12}} - \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial n} \Big|_{A_{12}} R; \\ \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial n} \Big|_{A_{12}} &= \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial n} \Big|_{A_{12}}, \end{aligned} \quad (6)$$

где R – термическое контактное сопротивление; n – нормаль; λ_1, λ_2 – коэффициенты теплопроводности приповерхностных слоев материалов накладки и обода шкива.

Распределение температуры на поверхности обода тормозного шкива как функции координат и времени (условие Дирихле):

$$T(x, y, z, t)|_{A_T} = \bar{T}. \quad (7)$$

Нормальная компонента градиента температуры, соответствующая потоку теплоты q_1 через верхнюю часть обода шкива (условие Неймана):

$$-\lambda_2 \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{A_q} = q_2(x, y, z, t)|_{A_q}. \quad (8)$$

Конвективный теплообмен от матовых поверхностей:

– тормозного шкива

$$-\lambda_2 \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{A_H} = \alpha_{III} [T_{III}|_{A_H} - T_B]; \quad (9)$$

– стенок камеры шкива

$$-\lambda_K \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{A_K} = \alpha_K \left[T_K \Big|_{A_K} - T_B \right], \quad (10)$$

где λ_K – коэффициент теплопроводности материала стенок камеры; A_P, A_K – площади матовых поверхностей, омываемых воздухом: шкива, стенок камеры; $\alpha_{ш}, \alpha_K$ – коэффициенты теплоотдачи от матовых поверхностей шкива и стенок камеры; T_B – температура омывающего воздуха.

Лучистый теплообмен от полированных поверхностей обода шкива:

– рабочей

$$-\lambda_2 \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{A_{n.o.}} = C_L \left(T_{p.o.}^4 - T_\infty^4 \right); \quad (11)$$

– нерабочей

$$-\lambda_2 \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{A_{n.o.}} = C_L \left(T_{n.o.}^4 - T_\infty^4 \right); \quad (12)$$

где $A_{n.o.}, A_{n.o.}$ – полированные площади поверхностей обода тормозного шкива: рабочая, нерабочая; $T_{n.o.}, T_{n.o.}, T_\infty$ – температуры: рабочей и нерабочей поверхностей обода шкива, в бесконечности.

Кондуктивный и совместно с конвективным теплообменом при взаимодействии нижней части обода шкива с радиальными стенками его камеры:

$$\alpha_K \left[T_K \Big|_{A_K} - T_{Ж} \right] - \alpha_B \left[T_{n.ч.о.} - T_p \right] = \frac{\lambda_{np}}{A_K} l (T_B - T_H), \quad (13)$$

где α_K, α_B – коэффициенты теплоотдачи от внутренней и внешней стенок камеры; $T_{n.ч.о.}, T_p, T_{Ж}, T_B, T_H$ – температуры: нижней части обода шкива; радиальной стенки камеры; жидкости; нижней и верхней точки поверхности камеры; A_k – площадь взаимодействия нижней части обода шкива с радиальными стенками камеры; l – длина радиальной стенки камеры; λ_{np} – приведенный коэффициент теплопроводности материалов нижней части обода шкива и радиальных стенок камеры.

На основании вышесказанного перейдем к рассмотрению градиентной теории оценки коэффициентов теплопередачи различных видов охлаждения в трибосистеме ленточно-колодочного тормоза.

Градиентная теория охлаждения трибосистемы ленточно-колодочного тормоза

Известно, что градиентная теория распространяется на тормозные моменты, удельные нагрузки, механические и температурные напряжения, поверхностные и объемные температуры, и т.д. [4]. Однако до сего времени в технической литературе не встречалось понятие «градиент коэффициента теплопередачи многослойного объекта».

Оценим интенсивность теплопередачи через элементы пары трения с учетом физико-химического состояния приповерхностного слоя фрикционной накладки и термодинамических параметров воздуха и жидкости.

Коэффициент теплопередачи в теплообменном процессе через такой многослойный объект как «среда межконтактной зоны – металлический элемент (верхняя часть обода шкива) – омывающий воздух» определяется зависимостью вида

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1^{-1}}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (14)$$

где α_1, α_2 – коэффициенты теплопередачи от: межконтактной среды к рабочей (полированной) поверхности металлического элемента трения; внешней (матовой) его поверхности к омывающему воздуху; δ_1, λ_1 – толщина верхней части обода шкива и коэффициента теплопроводности его материала.

Коэффициент теплопередачи в теплообменном процессе через «среду межконтактной зоны – противоповерхностный слой фрикционной накладки – тело фрикционной накладки – тормозная лента – омывающий ее воздух» определяется зависимостью вида:

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \left(\frac{\delta_n^{-1}}{\lambda_n} + \frac{\delta_i^{-1}}{\lambda_i} + \frac{\delta_z^{-1}}{\lambda_z} \right) + \frac{1}{\alpha_3}}, \quad (15)$$

где α_3 – коэффициент теплоотдачи матовой поверхности тормозной ленты к омывающему воздуху; $\delta_n, \delta_i, \delta_z$ – толщина: приповерхностного слоя фрикционной накладки, собственно накладки и тормозной ленты; $\lambda_n, \lambda_i, \lambda_z$ – коэффициенты теплопроводности: приповерхностного слоя накладки и тормозной ленты.

Коэффициент теплопередачи в теплообменном процессе через «низ верхней части обода шкива – циркулирующий воздух в кольцевых цилиндрических объемах и в отверстиях перегородок – верх нижней части обода шкива» определяется зависимостью вида:

$$K_3 = \frac{1}{\frac{\delta_1^{-1}}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_4} + \frac{\delta_2^{-1}}{\lambda_1}}, \quad (16)$$

где α_4 – коэффициент теплоотдачи от низа и верха частей обода шкива омывающему их воздуху.

Коэффициент теплопередачи в теплообменном процессе через «омывающий циркулирующий воздух в кольцевых цилиндрических объемах и в отверстиях перегородок – низ нижней части обода шкива – омывающий воздух» определяется зависимостью вида

$$K_4 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_4} + \frac{\delta_1^{-1}}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_5}}, \quad (17)$$

где α_5 – коэффициент теплоотдачи от матовой нерабочей поверхности обода шкива к омывающему воздуху.

Коэффициент теплопередачи в теплообменном процессе через «низ нижней части обода полированного шкива – воздушный зазор в камере – жидкость в различном фазовом состоянии» определяется зависимостью вида:

$$K_5 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1^{-1}}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_7}}, \quad (18)$$

где α_6 , α_7 – коэффициенты теплоотдачи от низа нижней части обода шкива к воздуху и от него к жидкости камеры шкива.

Коэффициент теплопередачи в теплообменном процессе через «слой жидкости, находящейся в различном фазовом состоянии – кольцевая стенка камеры – омывающий воздух» определяется зависимостью вида:

$$K_6 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_8} + \frac{\delta_c^{-1}}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_9}}, \quad (19)$$

где α_8 , α_9 – коэффициенты теплоотдачи от жидкости, находящейся в различном фазовом состоянии. К внутренней поверхности стенки и от ее наружной поверхности к омывающему воздуху; δ_c , λ_c – толщина цилиндрической кольцевой стенки и коэффициент теплопроводности ее материала.

По значениям коэффициентов теплопередачи в парах трения определим коэффициенты распределения теплоты между их элементами в процессе торможения:

$$K = \frac{K_1}{K_1 + K_2}, \quad (20)$$

где K_1 – средняя величина коэффициентов теплопередачи в теплообменном процессе «среда межконтактной зоны – металлический элемент трения – омывающий воздух» за период времени от начала до конца торможения; K_2 – средняя величина коэффициентов теплопередачи в теплообменном процессе многослойного объекта “среда межконтактной зоны – приповерхностный слой фрикционной накладки – тормозная лента – омывающий воздух» за период времени от начала до конца торможения.

На рис. 4 проиллюстрирована схематическая тепловая модель воздушно-жидкостной системы охлаждения фрикционных узлов тормоза. В работах академика А.Х. Джанахмедова неоднократно отмечалось, что необходимо пользоваться в исследованиях обобщенными параметрами. В данном случае таким параметром являются коэффициенты теплопередачи в теплообменных процессах через многослойные объекты при воздушно-жидкостном охлаждении трибосистемы тормоза.

На основании вышеизложенного перейдем к градиентам коэффициентов теплопередачи в теплообменных процессах через многослойные объекты трибосистемы тормоза. Градиенты коэффициентов теплопередачи определяются по зависимостям вида:

$$\Delta K_1 = \frac{K_1 - K_2}{0,5(l_1 + l_2)}; \quad (18)$$

$$\Delta K_2 = \frac{K_1 - K_3}{0,5(l_1 + l_3)}; \quad (19)$$

$$\Delta K_3 = \frac{K_3 - K_4}{0,5(l_3 + l_4)}; \quad (20)$$

$$\Delta K_4 = \frac{K_5 - K_6}{0,5(l_5 + l_6)}; \quad (21)$$

где $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6$ – длина зон действия каждого из рассмотренных коэффициентов тепло-передачи.



Рисунок 4. Схематическая тепловая модель воздушно-жидкостной системы охлаждения фрикционных узлов тормоза: 1, 2 – полированные поверхности обода шкива: рабочая; нерабочая; K_i – коэффициент теплопередачи в теплообменных процессах через многослойные объекты

Согласно схематической тепловой модели воздушно-жидкостной системы охлаждения фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза, между коэффициентами теплопередачи должно соблюдаться условие $K_2 < K_1 > K_3; K_4 < K_5 > K_6$. При этом свойством возбуждающего фактора обладает коэффициент теплопередачи K_5 . Объясняется это тем, что жидкость, находящаяся в камере, может быть в разных фазовых состояниях. Градиенты коэффициентов теплопередачи в многослойном объекте трибосистемы будут определены после проведения экспериментальных исследований.

Вывод. Предложена система воздушно-жидкостного охлаждения фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза и обоснована концепция ее теплового расчета.

REFERENCE

1. Прочность, устойчивость и колебания тяжелонагруженных оболочечных конструкций / В.Ф. Грибанов, И.А. Крохин, Н.Г. Пиничкин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1990. – 368 с.
Prochnost, ustoichivost i kolebaniya tiazhelonagruzhennyh obolochchennyh konstrukcii / V.F. Gribanov, I.A. Krohin, N.G. Pinichkin [i dr.]. – M.: Mashinostroenie, 1990. – 368 s.
2. Трибология / А.И. Вольченко, М.В. Киндрачук, Д.А. Вольченко [и др.] // Киев-Краснодар: «Плай», 2015. – 371 с.
Tribologija / A.I. Vol'chenko, M.V. Kindrachuk, D.A. Volchenko [i dr.] // Kiev-Krasnodar: «Play», 2015. – 371 s.
3. Проектный и проверочный расчет фрикционных узлов ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок / А.Х. Джанахмедов, Д.А. Вольченко, Д.Ю. Журавлев [и др.]; под общ. редакцией академика А.Х. Джанахмедова. Стандарт. – Баку: «Апострофф», 2016. – 312 с.
Proektny i proverochny raschet frikcionnyh uzlov lentochno-kolodochnyh tormozov burovyyh lebedok / A.Kh. Janahmadov, D.A. Volchenko, D.Ju. Zhuravlev [i dr.]; pod obshh. redakciej akademika A.Kh. Janahmadova. Standart. – Baku: «Apostroff», 2016. – 312 s.
4. **Джанахмедов А.Х.** Физико-стохастическое трибомоделирование. – Баку: Элм, 1988. – 152 с.
Janahmadov A.Kh. Fiziko-stohasticheskoe tribomodelirovaniye. – Baku: Elm, 1988. – 152 s.
5. **Джанахмедов А.Х., Вольченко А.И., Криштопа С.И., Стадник О.Б.** Энергонагруженность фрикционных узлов тормозных устройств при различных режимах их испытаний. // Вестник Азербайджанской Инженерной академии. Т.7, №4, 2015, с. 18-35.
Janahmadov A.Kh., Volchenko A.I., Krishtopa S.I., Stadnik O.B. Energonagruzhennost frikcionnyh uzlov tormoznyh ustroystv pri razlichnyh rezhimah ih ispytaniy. // Vestnik Azerbaydzhanskoy Injenernoy akademii. T.7, №4, 2015, s. 18-35.

QAZIMA BUCURQADIN LENTLİ - KÜNDƏLİ ƏYLƏCİNİN TRİBOSİSTEMİNİN MƏCBURİ SOYUMASI (I hissə)

Ə.X. CANƏHMƏDOV, A.İ. VOLÇENKO, E.S. PİRVERDİYEV,
N.A. VOLÇENKO, V.S. VİTVİSKİY, V.M. ÇUFUS

Məqalədə lentli-kündəli əyləc sürtünmə cütünün soyutma sistemin konstruksiyası və onun xüsusiyyətləri, konstruksiya elementlərinin istilik balansı və tribosistemin soyudulma qradient nəzəriyyəsi göstərilmişdir.

Açar sözlər: lentli-kündəli əyləc, tribosistem, qasnaq çənbərinin sürtünmə cütü, mayelə dolu kamera, konveksiya, konduktiv, radiasiya istilik mübadiləsi.

FORCED COOLING OF TRIBOSYSTEM “BAND-SHOE BRAKE” IN DRILLING DRAWWORKS (Part I)

A.Kh. JANAHMADOV, A.I. VOLCHENKO, E.S. PIRVERDIEV,
N.A. VOLCHENKO, V.S. VITVITSKY, V.M. CHUFUS

The article examines specifics of the frictional pair of the band-shoe brake, their thermal balance within the balancing elements of design, the gradient of cooling theory for this tribosystem.

Key words: band-shoe brake, tribosystem, frictional pairs, rim of pulley, chamber with liquid, convective, conductive, radiative heat transfer.

UDC 006.03

THE DEVELOPMENT OF NATIONAL STANDARDIZATION SYSTEMS OF THE CIS COUNTRIES IN ACCORDANCE WITH INTERNATIONAL REQUIREMENTS

Z.Y. ASLANOV*

The national standardization system of the Republic of Azerbaijan has been undergoing the significant reforms to meet the requirements of accession to the World Trade Organization and the process of integration into the European Union. In accordance with these reforms, existing national regulations are being replaced by strict international standards. In this process, it is necessary to bring the private sector in line with the new principles of standardization system, which is not easy and requires large investments.

In the paper, the authors analyses the changes applied to the existing national system of standardization, as well as aspects related to such a reform.

Key words: *national standardization system, private sector, World Trade Organization, European Union, international requirements.*

As known, in relation to the membership of the World Trade Organization (WTO) and integration to the European Union (EU) the national standardization system of Azerbaijan has to be adapted to the requirements of those organizations. This will result in significant changes to the current system. Thus, unlike the current system, in the market economy system only the safety of products is regulated by the state. The quality of the products is regulated by the market itself. Therefore, the requirements on the safety of products, called technical regulations, are mandatory for implementation. The product quality requirements are reflected in standards and application of the standard is voluntary. Enterprises that want to improve the quality of products and thus get ahead of the competition are voluntarily applying these standards. At the same time the government limits its control by security of products. Another important change is taking foodstuffs control out of the national standardization system. In order to fulfill all these requirements the thousands of the existing Azerbaijan standards will be renewed as mentioned to meet international standards.

The aspects of adaptation of the national standardization system to meet international requirements. In general, the adaptation of the national standardization system to the international requirements will be implemented according to the following aspects:

* „Standardization and Certification“ department, UNEC

- Adapting of the system itself to the principles of the market economy. Thus, in accordance with the market economy the standardization as technical regulation providing and applying of the mandatory requirements to the safety of the products and standardization defining voluntary requirements to the quality of products should be divided into two parts. This, according to the state control over the economy and the quality of the products safety regulation limiting the market makes it necessary to release the law of supply and demand;
- standards that form the basis of the system requirements for the products to adapt to the requirements of international standards. It is redesigning the existing standards to meet international standards. This is the most difficult element of the adaptation of the standardization system. Because of the fact that standards in former Soviet republics do not meet international requirements the tens of thousands of the existing standards have to be redesigned;
- product safety requirements for each product, product group and its overall safety record for technical regulations is to be developed. The former GOST standards include safety and quality requirements for each product, and this requires the development of standard for each product. But in international practice the security requirements of the product are defined in terms of security parameters, not in terms of product. So, whatever product has a security parameter this product is applied to the relevant technical regulations;
- identification of general requirements to the products in the technical regulations and liberalization of methods to meet these requirements. Along with determination of the requirements for products in the former soviet republics' standards, there a single mechanism to meet these requirements is also reflected. In international practice technical regulations specifies the security requirements only, but how they've met is carried out according to the rules shown in referenced standards or defined by the manufacturers itself. The manufacturers shall be deemed to satisfy the requirements of the technical regulations in case of at least one of the standards or the self-defined method is applied;
- institutional reforms in the management of standardization system. One of the major changes brought by adaptation is change of the structure and authority in government agencies responsible for the management of the national standardization system. So that, is required to carry out the necessary reforms to identify requirements of state bodies' authorities for security of products and limitation of these requirements by ensuring, preparation of standards and liberalization of the authority use, conformity assessment carried out by the private sector, in order to ensure one-sidedness, transparency and public participation;
- improving the safety and quality performance of products in conformity assessment system. According to the former soviet standardization system almost all products are mandatory certified and certification is carried out by state authorities. In addition, compliance with both the production and the market is under state control. But compliance with international standards requires that only high-risk products must be mandatory certified, compliance assessment of low-risk and mid-risk products shall be carried out by the manufacturers themselves, conformity assessment activities shall be carried out not by the state, but by the conformity assessment bodies accredited in accordance with international standards [1].

Apparently, it is necessary to carry out the significant changes in the current system to adapt to international standards.

One of the key elements of harmonization of national standardization system with international requirements is taking into consideration the interests and potential of the private sector in Azerbaijan. Thus, the producers are the object of standardization. Those are parties who use the new norms. Therefore, changes made will affect manufacturers in the first place. Therefore, coordination should focus the private sector as well. Thus, the adaptation of the private sector should be kept in the center of attention as well.

Private sector related issues in the process of harmonization of national standards with international requirements. There are the following private sector related issues in the process of harmonization of national standards with international requirements:

- to involve the private sector to the development of new technical regulations and standards;
- to educate the private sector about the new technical regulations and standards;
- to provide transitional period for adaptation to the new requirements, technical support, concessional loans and assistance to the private sector;
- to support of the establishment of private enterprises which will carry out activities on the national standardization system;
- to adjust the consumer market to the new products.

Now, let's comment each of these issues separately:

1. The involvement of the private sector to the preparation of new technical regulations and standards to the possible extent. As mentioned above, involvement of the private sector to the development of technical regulations and standards gives it a lot of benefits. So, by this participation they fully adopt the applied requirements, achieve taking into account its interests in these documents, learn other manufacturers' views and suggestions on this standard, get without investigation expenses scientific and technical progress achievements included in the standard etc. Therefore, according to the international experience it is considered appropriate that a most effective mechanism to adapt the private sector to the new rules is to involve it to the preparation of these rules. Although relative progress has been made in this area in recent years in our country, there are still problems in terms of unformed mechanism and lack of understanding of the importance of this issue by the private sector. In order to involve the private sector in this process the sectors or technical committees for products should be established. In the first phase it must be involved to develop mandatory subsequently applied technical regulations.

As known, the aim of the development of technical regulations is to ensure safety of products for people, animals and plants. While scientific achievements and innovations, best practices and higher requirements on the quality of the products are considered when processing standards, whereas product safety indicators have taken as a basis when processing technical regulations. Therefore, accordingly the aim of participation of the private sector in processing of technical regulations should be development of safety requirements determined for its own products and while study of mechanisms to ensure it, the aim of participating in the

development of standards should be in obtaining of the scientific achievements and new technologies and thus in improvement of the quality and competitiveness of their products. However, fulfillment of the safety requirements in technical regulations leads to safe and competitive manufacturers' products, and this in turn leads to increased confidence in their products and being more competitive. That is, in both cases the private sector achieves economic benefit when participated in the preparation of these documents [2, 3].

In addition to the participation of the private sector in the national technical committees, its participation in the development of international standards and national standards of foreign countries should be encouraged. This is important either being a requirement of the WTO or taking into account the interests of the national economy in international standards and facilitate subsequent application of international standards in the country. On the other hand, the most important aspect which makes necessary the participation of the private sector in the development of regulatory documents is their contribution to how the provisions of the international standards, taken as a basis, complies with the interests of the national economy, and which adaptations should be made in the national technical regulations and standards adopted on the basis of this international standard in terms of local climate, geographical, technological, environmental and economic factors. Because, there might be such requirements of international standards, direct application of which, due to the above factors, is not appropriate in our country. In this regard, what adaptations should be justified by the private sector to substantiate its position [5,6]. So, involvement of the private sector in both technical committees, either created under the State Committee on Standardization, Metrology and Patents of Azerbaijan for development of the technical regulations, or under Azerbaijan Institute of Standardization and Certification for preparation of national standards, is a very important issue.

To ensure the participation of the private sector in the development of regulations the extensive educational work should be carried out first and then the benefits provided by such participation should be delivered to them. Some countries practiced to use premium payments and awards as promotional tools to motivate the participation of the private sector. Although it is advisable to carry it out for the development of technical regulations in our country, but it can be difficult to apply for the development of standards. In many countries, however, private sector pays the membership fee for participation in the development of standards.

In addition to the participation of the private sector in the national technical committees their participation in the development of international standards and national standards of foreign countries should be encouraged. This, in addition to being a requirement of the WTO, is either important in terms of taking into account the interests of the national economy in international standards and further easier application of international standards in the country [7].

For this purpose, in accordance with the relevant technical committees of international standardization organizations an appropriate "mirror" committees should be established and discussion of international standards by these committees should be provided through the participation of local experts and the private sector. For this purpose, it is necessary to allocate funds from the state budget. At the same time, using the center of the inquiry and notification established on the basis of the WTO request the technical regulations of the WTO member

states, the obtained projects of conformity assessment procedures passed to the private sector and review of these documents during the given period from the national interests point of view by the private sector must be provided.

2. To educate the private sector about the new standardization system. In our country, the representatives of the private sector are misinformed about the new approach due to operation based on the national standardization system requirements stand on Soviet era. While the national standardization system is in line with international requirements based on the proposed mechanism the private sector should be also well-informed about the nature of the new system. Thus, they must be tanned that the safety is the subject of regulation, but the quality is the subject of the market and they must be explained that implementation of either safety or quality requirements is the subject of competition and customer satisfaction in the market economy. It could be considered as a new approach for producers forced by the state to carry out such requirements for a long time. Therefore, the action plan to educate the private sector to be developed and the essence of the new system to be delivered to them through the followings:

- by organization of public events, conferences and seminars;
- by setting up the Training and Consulting Center under Standardization, Metrology and Patents Committee and by providing through it a free training to the representatives of the private sector on the nature and requirements of the new system;
- by giving free consulting to the manufacturers on new technical regulations and standards for their products, as well as on their application using the established center;
- by creating an information portal on technical regulations and standards;
- by preparation of the guidance on the application of any adopted technical regulation and by placing it on the website;
- by creating a system of national awards for safe and quality products production;
- by preparing of training and printed materials on the new standardization system and distributing to the private sector through the Institute for Standardization, universities and research institutes;
- by organizing regular activities and events in the press to raise awareness about the new system;
- by implementing joint events and projects along with public and business associations and other non-government organisations (NGO) etc.

3. Providing the transitional period, technical support, soft loans and aids for the private sector to adapt to the new requirements. We've noted that one of the most difficult moments in adaptation of national standardization system to international requirements and in ensuring the transition to the new system is namely application of the new technical regulations and standards to the private sector. So, for a long time the producers operating in Azerbaijan have established their production process in accordance with the current standards of their products. Being tougher and different than in QOST standards the requirements of the new technical regulations and standards must satisfy the requirements of the new regulatory documents based on international standards by making a significant investments. This first of all includes the

means of production, in particular, the equipment, raw materials, renewing of the production environment, training for updating knowledges of professionals for new requirements, the assessment of compliance with the new requirements and other operating expenses.

In international practice the transition period is given for the application of new technical regulations by the private sector. In our country within the process of WTO accession both for national standardization system to meet international requirements, as well as for the provision of new requirements by the private sector 7-year transition period has requested. After Ukraine has adopted the new technical regulations, except for the necessary safety measures, 1-3 year transition period has allowed for its' mandatory application. During this period the manufacturers are gradually applying the new requirements to their production processes. During this period, the current standards also remain in force [4]. It is considered appropriate to apply this experience in our country. During the voluntary implementation period it's important for the government to help manufacturers to understand requirements and application of new technical regulations by constant education, as well as by providing of free training and consultancy services.

Another important point is provision of grants and soft loans to the producers, applying new technical regulations. For example, in this regard, the special state's financial aid program is carried out in Slovakia. So, within this program the government is covering the 65% of the expenses required to meet the guidelines of the European Union by producers [4]. This experience could be applied in our country in regard to manufacturers of the products which have a priority for the economy and export potential. Primarily, it would be advisable the fulfillment of the general requirements of technical regulations and compliance assessment to be met by these manufacturers. On the other hand, to apply technical regulations the preferential loans can be applied to the producers who guaranteed the safety of products and interested in the export of products. Thus, producers will be able to get preferential credit when they applied for it by noting that it aimed to apply the new technical regulations and standards. One of the main advantages of giving either soft loans or grants is safe and quality manufacturing of own products by manufacturers having such a support and by this to promote the government to manufacture the safe products in the local market. Therefore, it is necessary to use these experiences within the financial opportunities of our country. This should be done in close cooperation with international organizations and financial institutions. Because, some of those agencies are carrying out these types of activities. For example, there is the program of the European Bank for Reconstruction and Development related to the covering of the 40-60% of the costs incurred for the implementation of international standards by the manufacturers of our country. The program is being implemented successfully [10].

4. Encourage the establishment of private conformity assessment bodies. Mandatory conformity assessment activities in the country for a long time carried out by the government prevented the establishment of private enterprises in this field. However, passing to the private sector this type of activity in our country as well paved the way for the creation of this type of enterprises. Most of the private certification companies operating in Azerbaijan are foreign and international companies. Local companies have shown little interest in this area. On the other

hand, despite the fact that this area is liberalized, the provision of those services by state enterprises prevents the creation of private enterprises. Therefore, the expansion of this field is very important both from obtaining by manufacturers more competitive conformity assessment services and from the development of the business areas related to conformity assessment activities point of view. There are hundreds of private enterprises in this field in Europe. Competition among them leads to service quality improvement and price reduction for the services provided to the manufacturers.

In our country, to encourage the industry the awareness and promotion activities should be taken in the first place. As well as technical support to fulfill the necessary requirements of local businesses and their accreditation should be conducted. Because, the lack of accreditation of local businesses means absence of international recognition of their compliance documents, which in turn discourages manufacturers from using their services. The accredited local companies should be registered and those companies should be recommended to the manufacturers [8,9, 10].

One more issue should be noted that some even international certification companies operating in our country deceive manufacturers by selling fake certificates to them or give them for extra money a certificate before necessary requirements met by manufacturers. That's means delusion of consumers and sale of unsafe products to them. Therefore, in addition to promoting the creation of private enterprises, their operation in accordance with requirements, especially the mandatory certification of the products' safety parameters should be carefully controlled.

5. Adaptation of new products in the consumer market. Manufacturing of the products according to the new technical regulations and standards will lead to an increase of their production costs and thus, an increase of their market price. This will result in a rise in consumer prices in the market. Therefore, in order to prevent the increase of the prices of products as much as possible it is necessary to support the manufacturers to reduce their costs by usage of the above-mentioned financial aids, grants and soft loans. At the same time, the gradual measures in the direction of the improvement of social welfare and the increase to the level of consumer purchasing power in Europe should be taken.

Another important point is the improving citizens' consumer culture and to be more demanding of products purchased, including the implementation of comprehensive measures for the protection of consumers' rights based on international experience. The harmonization of the product safety regulation system with the international standards leads to the giving more freedom to the manufacturers, which in turn leads to the abuse of freedom by manufacturers. In a market economy consumers are getting better than government to prevent this kind of abuse. The exactingness of consumers makes manufacturers more sensitive than the exactingness of government. Therefore, the important measures aimed at developing a culture of consumer awareness should be promoted.

Conclusion. One of the most important elements of the adaptation of the national standardization system with international standards should be especially the development of the private sector to new system requirements. Thus, that will require billions investment from the

private sector for the transition to the new system to be able to apply the new national standards based on international standards. To do this, it needs to think in advance about the necessary investments and preferential loan programs. In addition to this, the new system requires from the private sector the establishment of closer cooperation and development of standards, based especially on the needs of the private sector itself. This in turn makes inevitable by private sector to take a more active role in this process, so in order to take that role by the private sector it should be properly informed and the mechanism for participation should be formed.

REFERENCE

1. **Aslanov Z.Y.** Beynəlxalq standartlaşdırma sisteminin xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi və təhlili //2008-ci ildə ADIU-nun ETI-nin yekunlarına həsr edilmiş elmi-praktiki konfransın materialları. ADIU, 2009, s. 436-439.
2. **Kleinemeyer J.** Standardisation as a Tool for Strategic Management" in W. Hesser (ed.) From Company Standardisation to European Standardization, Hamburg: Universitet der Bundeswehr, 1995, -15p.
3. **Canəhmədov Ə.X. və başqaları.** Tribologiyanın əsasları. Dərslik. Bakı: Çəşioğlu, 2001. – 276 s.
4. **Grindley P.C.** Standards Strategy and Policy: Cases and Stories. Oxford: Oxford University Press, 1995, -304 p.
5. International Centre for Policy Studies. Market surveillance in Ukraine: Reforms on the way to the European Market. Kyiv, 2011, -93 p.
6. WTO. World Trade Report 2005: Exploring the links between Trade, Standards and the WTO, Geneva: World Trade Organization, 2005, -377 p.
7. International Trade Center (UNCTAD|WTO). Road map for quality: Guidelines for the Review Of the Standardization, Quality Management, Accreditation and Metrology (SQAM) Infrastructure at National Level. Geneva, 2004, -95 p.
8. **Vries H.J.** "Standards for business – How companies can profit from participation in international standards setting", in Standardization as a strategic tool, Geneva: IEC, 2006
9. **Aslanov Z.Y.** Development of processes of Quality Management System in the Engineering enterprises. European journal of Economics, Finance and Administrative sciences. France, issue 71, january 2015, p. 149-157
10. **Aslanov Z.Ju.** Vlijanie ekspluatacionnyh faktorov na rabotosposobnost reduktora. Vestnik Azerbaydjanskaya Injenernaya Akademiya, Baku-2016, str.35-45
Асланов З.Ю. Влияние эксплуатационных факторов на работоспособность редуктора. Вестник Азербайджанская Инженерная Академия, Баку-2016, стр.35-45

MDB ÖLKƏLƏRİNİN MİLLİ STANDARTLAŞDIRMA SİSTEMLƏRİNİN BEYNƏLXALQ TƏLƏBLƏRƏ UYĞUN İNKİŞAFI

Z.Y. ASLANOV

MDB ölkələrinin milli standartlaşdırma sistemlərinin beynəlxalq tələblərə uyğunlaşdırılması təhlil edilmişdir. Göstərilmişdir ki, MDB dövlətlərinin QOST əsaslı milli standartlaşdırma sistemləri prioritet şəhəriyyətli məsələdir. Milli standartlaşdırma sisteməna dair beynəlxalq tələblərin əsas xüsusiyyətləri müəyyən edilmişdir. Ümumdünya Ticarət Təşkilatının (ÜTT) tələblərinin vacibliyi əsaslandırılmışdır.

Açar sözlər: Milli standartlaşdırma sistemləri, beynəlxalq tələblər, ÜTT-nin tələbləri, MDB dövlətlərinin standartlaşdırma sistemləri.

РАЗВИТИЕ НАЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ СТАНДАРТИЗАЦИИ СТРАН СНГ С УЧЕТОМ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРЕБОВАНИЙ

З.Ю. АСЛАНОВ

В статье проанализирован вопрос адаптации национальных систем стандартизации стран СНГ к международным требованиям, а также указано приоритетное значение национальных систем стандартизации ГОСТ стран СНГ, установлены основные особенности международных требований к национальной системе стандартизации, обоснована важность требований Всемирной Торговой Организации (ВТО).

Ключевые слова: национальные системы стандартизации, международные требования, требования ВТО, системы стандартизации стран СНГ.

UDC 622.276.7

PLAUSIBLE CAUSES OF COMPLETION TUBING FAILURE IN GAS CONDENSATE WELLS

T.Sh. SALAVATOV*, KHURRAM IQBAL*

This paper deals with operational experience with the down hole challenges of sweet gas corrosion, and scaling tendency in carbon steel completions. When completion was pulled out for the purpose of workover at well-1at Salsabil Gas field, Punjab, Pakistan, completion tubing was found severely eroded/corroded. This completion failure was observed after almost 8 years of production. An investigation was carried out find process of this sever corrosion in tubing. There have been numerous studies and published literature on corrosion forming mechanisms in acidic and sour conditions; the sweet/acidic part (without H₂S) has been the dominant area of investigation by far. This is imperative to understand why the corrosion observed on the sweet wells where carbon di oxide (CO₂) is significantly lower than corrosion prediction models.

It also accommodates the guidelines to avoid such failures in future. It is worth mentioning that the company experience with this sweet gas producer has shown the tendency for corrosion to occur at shallow depth. The tubing pulled out of well-1 was found to be severely corroded, washed out and collapsed due to low yield strength over the uniformly corroded surfaces.

Detailed failure mechanism was investigated for the completion design and to suggest remedial measures in maintenance and design of tubing to prevent such financial losses to avoid extra cost of material and workovers.

Key words: Sweet Gas Corrosion, Acidic Gas Corrosion, Galvanic Corrosion, Tubing Corrosion

INTRODUCTION. Corrosion is one of the major problem in oil industry and it costs to petroleum industry in billions of dollars. A vast literature is available and oil companies are spending lot of capital to reduce corrosion to protect and increase life of their wells, pipelines, plants etc. [1]. Salsabil Gas Field was discovered in 2005 in Middle Indus Basin of Pakistan. After artificial fracturing of the sandstone reservoir, completion was replaced with 4-1/2 inch completion in 2008. During recent workover tubing was pulled out, it was observed to be washed out due to corrosion. Almost all initial joints retrieved were washed out and punctured. At 149.24 m tubing pulled out was collapsed as a consequence of low yield strength over the uniformly corroded surface while remaining fished in the hole. After 158.85 m the retrieved tubing was in relatively better condition. Images are attached in the end for the retrieved tubing.

Gas composition of the concerned reservoir is not sour gas, as it is devoid of H₂S and CO₂ contents are ranging between 8~9 mole%. Therefore this gas can be classified as acidic gas instead of sour

* Department of Petroleum Engineering

gas [1]. This is pipeline quality gas used in major network of gas supply in Pakistan. Even reservoir conditions are not in the range of high-pressure/high temperature (HPHT) reservoirs (10,000 psi/300 °F), most conditions are in temperature ranges between and temperature 229°F to 231°F. Produced 43°API high gravity hydrocarbon condensate rates range between 5 barrels per million standard cubic feet per day (bbl/MMscfd) to 7 bbl/MMscfd. Produced water is a mixture of condensed water vapor and some interstitial water, which is dependent on flow striping velocities. This well hosts the tubing material grade L80, a restricted yield-tubing grade that was available in Type 1, 9-Cr, or 13-Cr. Type 1 is less expensive than 9-Cr and 13-Cr but more subject to weight-loss corrosion at low temperatures. L80 Type 1 is commonly used in oil and gas fields due to higher yield strength than common J55. L80 is satisfactory for SSC resistance in all conditions but may incur weight-loss corrosion. Type 9-Cr was popular in the past for CO₂ and mild H₂S contaminated wells but has been replaced by Type 13-Cr. Type 9-Cr also has an extended delivery schedule. 13-Cr tubing has gained popularity because it has good CO₂ induced weight-loss corrosion resistance properties; however, it is more costly.

As per the compliant standard NACE-MR0175-ISO-15156 [1] that prescribes the requirements and recommendations for the selection and qualification of carbon and low-alloy steels, corrosion-resistant alloys and other alloys for service in equipment used in oil and natural gas production dictates, “for natural gas to be classified as sour the partial pressure of H₂S must exceed the limit of 0.05 psi”. Oil and gas exploration and production companies have developed their own guidelines for classification of sweet and sour gas depending upon the ratio of H₂S/CO₂ and partial pressures of H₂S [3].

CORROSION CAUSING MECHANISMS. Though all detailed mechanisms concerning corrosion are not yet fully agreed upon, in particular concerning H₂S, a substantial number of intermediate phenomena have been well described and acknowledged. Here the objective is not to discuss these mechanisms in any detail. Intention is to introduce a few basic considerations of interest and to discuss the experience reported hereafter. Main corrosion agents are represented in Figure-1.

Sweet corrosion attacks metals due to acidic nature of dissolved carbon dioxide forming carbonic acid. The pH or acidity of the solution will depend on the partial pressure of the carbon dioxide. For the same pH, the weak carbonic acid is more corrosive than strong acids (e.g. hydrochloric acid), as carbonic acid can rapidly dissociate at the metal surface to provide a steady supply of the hydrogen ions needed at the cathode. The anode and cathode (as given in Figure-2) can both be at the same surface of metal [4]. The electrons emitted by anode are received by cathode. It is possible to create an electro-potential (voltage difference) on the surface of the metal by differences in the grains (crystals) caused by variations in composition, roughness or surface film within the metal structure or between grains and grain boundaries which will be discussed further in Galvanic corrosion.

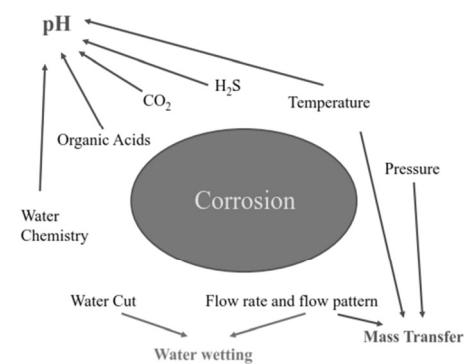
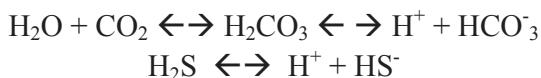


Fig. 1. Main Corrosion Agents

It is agreed that the prime cause of corrosion in gas producing wells is the presence of CO₂, H₂S and water in the flow stream. Ideally, if these gases can be excluded and water maintained at a neutral pH or higher, the presence of water would cause very few corrosion problems. Similarly, both CO₂ and H₂S are noncorrosive in the absence of moisture. This being said, the question rises about the critical levels of water or CO₂ and H₂S above which corrosion starts becoming an issue. This could be a subject of thought in the case discussed hereafter. It is also well acknowledged that CO₂ and H₂S are acting as weak acids when combined with water:



Depending on the water composition, H₂S and CO₂ contents, and total pressures, the resulting pH typically ranges from 3 to 6.5 (Well-1 water pH 6.7). Under these acidic reducing conditions, the primary corrosion product is Fe⁺⁺, while bicarbonate anions are present in the water as corrosion byproducts. It is to be noted that iron carbonate is a quite insoluble corrosion product at high temperatures and low moisture.

During the producing life of the field, wells undergo work over operations for several reasons that may include, but are not limited to the following:

Failed corroded tubing, stuck fish, leaking packer, and reentry to sidetrack and drilling into other parts of the producing zone, collapsed external casing, failed gas-lift mandrels, etc. Whatever the reason for such Work over, they allow a close look into the corrosion/scaling condition of the pulled tubing.

SWEET/ACIDIC GAS CORROSION AT SALSABIL WELL. The case history of Well-1 of Salsabil history starts from 1st January 2005, when existing well Rhodo-03, was deep up to Sembar Formation. This well produced from well cemented, hard argillaceous sandstone, characterize by poor reservoir quality. Porosity and permeability are poor ranging 5-7% and less than 10 md, included fracture porosity and permeability. Cumulative production was of gas was more than 4.5 Bcf. Most of production was coming from fractures as dual porosity is noticed on well test analysis.

After a production history of 400 days it was decided for artificially hydraulic fracturing. Before the job well was producing at 9.5 MMSCFD of gas at 90/64 in choke, with 54 barrels of condensate and 44 barrels of water. Just after inducing artificial fractures, well started flow 33 MMSCFD of gas at 60/64in choke, with 160 barrels of condensate but water production reached up to 930 barrels. This water production increased within 30days of hydraulic fracturing job. Three attempts were made to stop water production by placing bridge plugs after third bridge plug gas production and wa-

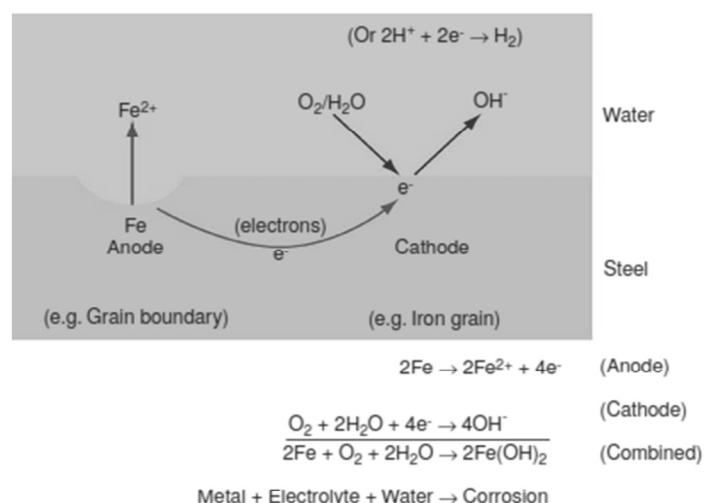


Fig. 2. General Corrosion chemistry

ter production drastically reduced but gas water ratio did not change drastically that was ranging 1:16 to 1:10.

During normal pressure surveys campaign of 2013, an obstruction was felt at 154m depth but its nature of obstruction was not recognized. Then it was planned to remove existing 4-1/2 inch production tubing to replace with 2-3/8 inch tubing to act as velocity string.

Work-over of Dewan-1 was started in February 2016. On pulling out string up to 154m was removed from hole in a single trip, during pulling out of hole 4-1/2 inch tubing was found collapsed and badly corroded up to 154 m depth (Figures 9-11)

A study was carried out to investigate to understand phenomenon and process of corrosion to avoid any such situation in future.

DISCUSSION. The Salsabil Gas Field well life was considered for 8 to 10 years. Design philosophy of Salsabil Wells did not include continuous down hole corrosion inhibition as a part of well completion as its prerequisites are to go through a pilot testing for results and might add unnecessary complexity to the well integrity. However another method is the batch treatment by gravity settling which requires the well shut down for 16~24 hours depending upon the length of the production tubing. A test pilot is also required for conclusive results of the application.

Problem primarily related with corrosion inhibitors is that they do not condense on to the tubing wall except where the temperature is sufficiently reduced (high up in the tubing string). It was experienced by an international E&P company, where P105 tubulars have been known to fail after six months in high temperature wells therefore before an effective high temperature corrosion inhibitor is available, more work is needed. Presently, organic based inhibitors are not recommended for temperatures above 150°C, however performance testing under specific operating conditions may allow their use at up to about 170°C in certain cases [5]. Similarly inhibitors are available for batch treatment but are not effective at high temperatures. Problems experienced include the increased risk of scaling due to the carrier water, increased hydrostatic pressure on the well, foaming and emulsion problems, in deep hot wells. Corrosion control through the use of inhibitors is not recommended for hostile wells [1]. Both of the above mentioned programs have been applied by known hydrocarbon producing wells but found to be inconclusive and expensive.

Collected statistical data indicates that well under discussion produced relatively large quantities of formation water at well head. The general industry rule of thumb for produced gas–water ratio (GWR) is 4:1 that will provide a protective coating layer on the carbon steel tubular, mitigating CO₂ corrosion [3]. The average hydrocarbon to water ratio (GWR) on the subject well was as follow:

Inception to Sep 2008 work over	= 1: 2.55
Till October 2012(shut in)	= 1: 330.25
Dec 2013 till Feb 2016	= 1: 660

On an average from the start till the work over the GWR has been reached up to 1:38. The partial pressure of CO₂ in well-1 was 75 psi. The amount of CO₂ that can dissolve in the water depends on the partial pressure. The partial pressure (P_{CO₂}) can be derived as below:

$$P_{CO_2} = (\text{Mole fraction of } CO_2 \text{ in gas}) (\text{Total pressure})$$

Therefore, typical major cause of internal corrosion is the formation of carbonic acid in water by dissolution of associated CO₂ gas. The corrosion rate of carbon dioxide is directly related to its partial pressure, the system's temperature and pressure (Figure-3 & 4).

Well-1, field data shows that CO₂ induced corrosion predominantly occurred at the upper portion of the production tubing. Subsequently corrosion did not occur on the most surfaces which definitely means that good protectiveness was gained over these surfaces i.e. a protective carbonate layer was formed. This is related to the fact that very limited amount of water present at the bottom of the tubing and to an annular flow regime inducing only a very thin water layer on the surface. Such a thin layer of condensed water may become saturated very quickly in iron carbonate, even with a moderate corrosion rate, and form a very strong film due the high temperature at the bottom; the lower the water flow rate and higher the temperature, easier and stronger the protective film formation on L80 (carbon steel). The carbon dioxide corrosion generally proceeds in the localized form (Figure-5).

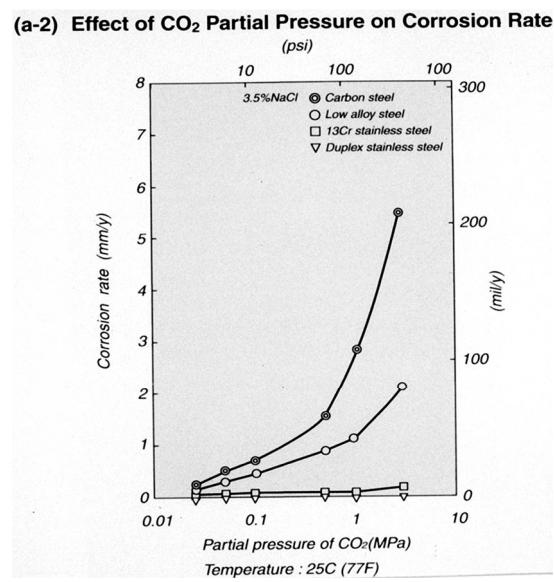


Fig. 3. Partial Pressure CO₂ vs Corrosion rate of different metals

Operating Pressure:	900	psi	6205	kPa
CO ₂ mol fraction:	0.083			
CO ₂ Partial Pressure:	75	psi	500	kPa
Operating Temperature:	140	F	160	C
Maximum Unmitigated Corrosion Rate:				13 mm/y

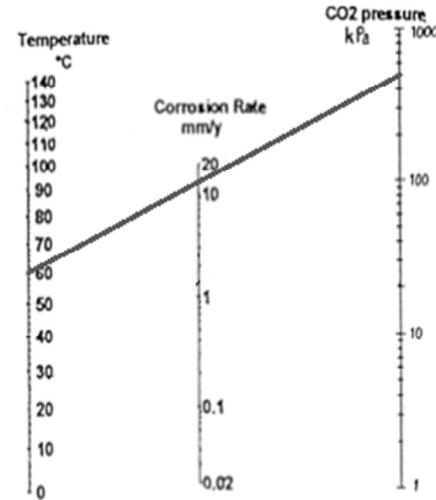


Fig. 4. Corrosion Rate against CO₂ Partial Pressure and Temperature

The flow regimes define the type of flow behavior. For a vertical well, the flow regimes are generally bubble flow, slug flow, annular flow, mist flow and possibly churn flow (Figure-6). It should be noted that in the mist flow regime, the gas phase is continuous and liquid travels as dispersed droplets within the gas. It is the gas phase that predominantly controls the pressure gradient. A no-slip

condition is assumed for the flow in this regime, as mist flow requires relatively high gas flow rates [1].

As the water rate incremented in the well-1 and it entered the slug flow regime from slug-annular transition, it affected the tubing at shallow depth primarily due to fact of low temperatures at those depths.

As the gas traveled to the top its temperatures and pressure dropped, condensing out more water, along with the very high amounts of produced water from the formation. Below 60 deg C (140 deg F) and 75 psi partial pressure of CO₂ carbon steel is vulnerable to high general corrosion. The carbonate film (which in reality

is a corrosion product), formed is very weak at low temperatures and dissolves in the produced water quickly, thereby increasing the rate of corrosion by many times over.

In conclusion, the amount of produced water, decrease in gas production in production tubing and the flow regimes are the primary factors influencing the corrosion at shallow depths inside well-1. We therefore believe, consistently with all the facts in hand, that corrosion remained low in the lower part of tubing because of the strong and dense protective film, which was a result of the particular pressure and temperature profiles of this well.

It is possible although not documented at well-1 that this condensed and produced formation water contained organic acids. We cannot, however, comment on this possibility as we do not have enough data at this point.

From the above elaboration it therefore is concluded that Carbon steel has a decent resistance to CO₂ induced corrosion at high temperatures and form a tight carbonate film at bottom-hole conditions. At higher temperatures, the effect is reduced and chromium steels may even corrode at higher rates than carbon steel (Figure-7). Therefore, at the design stage of the well, it should be considered combination tubing at Salsabil field to avoid additional expenditure, according to its acid gas composition and temperature profile.

Galvanic Corrosion. Above stipulation might raise the argument that using different tubing grades will instigate galvanic corrosion? In reality all corrosion mechanisms require an electro-potential

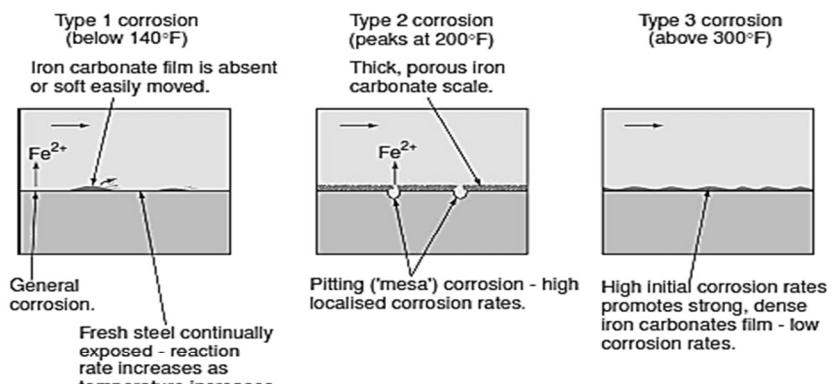


Fig. 5. Corrosion of carbon steel by CO₂ at different temperatures

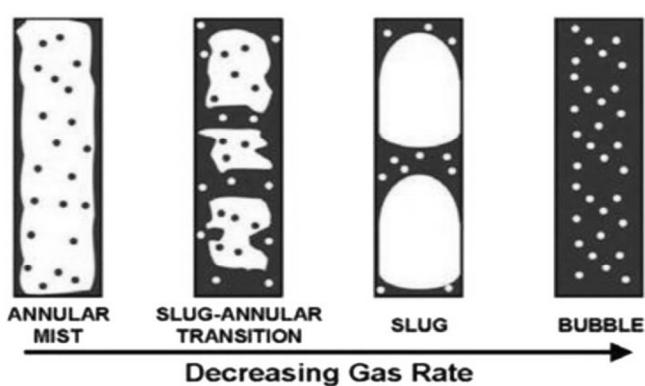


Fig. 6. Flow regimes in vertical wells

(voltage difference) between the anode and the cathode. As earlier briefed, this anode and cathode can be on the same material (Figure-8).

Different metals connected together can also promote the corrosion cell. The more noble metal (most corrosion resistant) becomes the cathode with pitting occurring at the less noble metal (anode). The different metals may be tubing screwed to a component, a weld compared to the surrounding metal, or casing touching tubing. Avoiding dissimilar metals is impossible in a completion. The best strategy while using dissimilar materials is to ensure that the anode is much larger than the cathode (Figure-9).

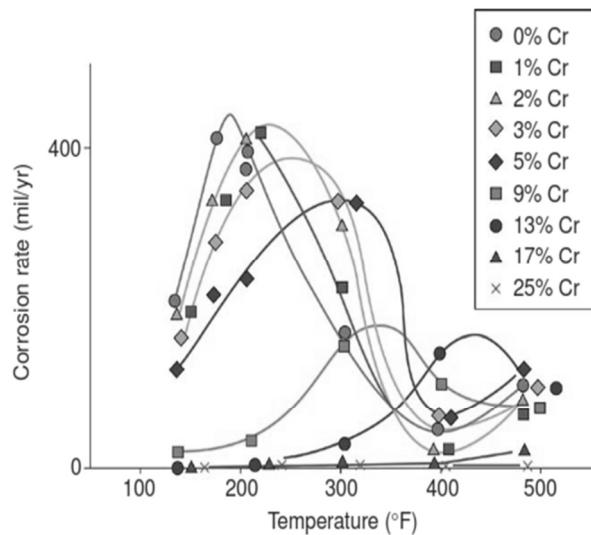


Fig. 7. Corrosion rate as function of chromium content (Courtesy of Sumitomo Metals).

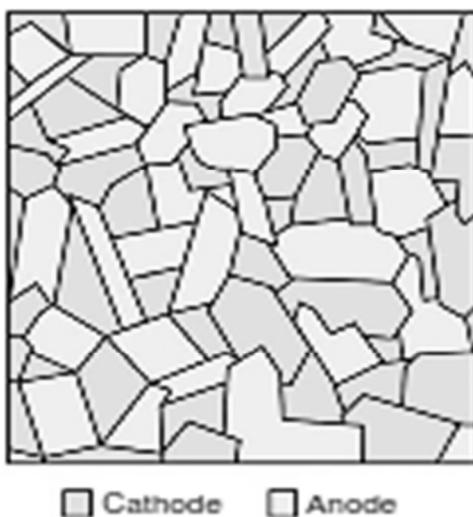


Fig. 8. Cathode and Anode at same metal surface

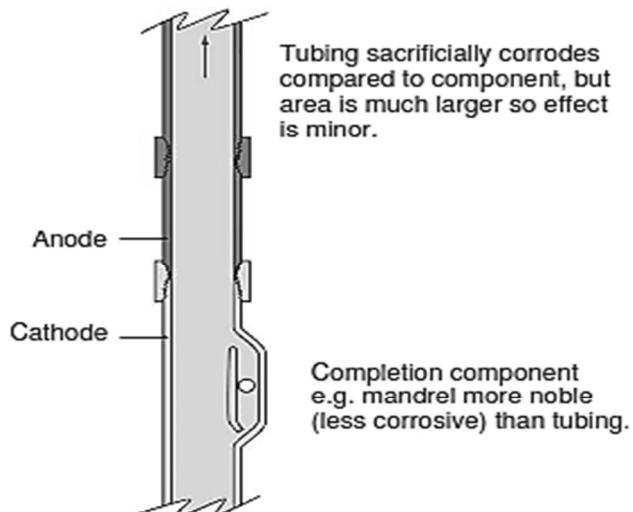


Fig. 9. Suitable proportion of two different metallurgy of completion can reduce effect of corrosion

In this case study different types of corrosion are shown in Figures 10 to 12. Metal wastage due to uniform corrosion is clearly evident in Figure-10 to Figure-12. This corrosion is product of carbonic acid, differential temperature and ultimate galvanic actions. Figure -11 indicates drastically reduction in material strength and steel pipe has been collapsed [6].

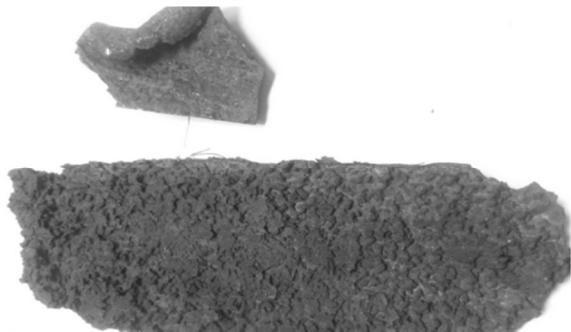


Fig. 10. Uniform General and localized Corrosion due to CO₂ resulting in Metal wastage and pitting

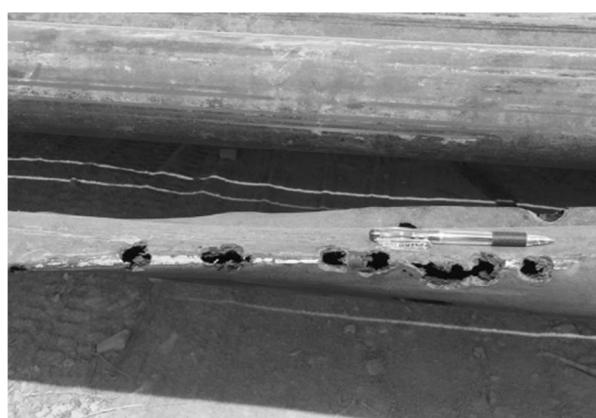


Fig. 11. Uniform General Corrosion Resulting in stress corrosion cracks (left side) and material wastage (right).

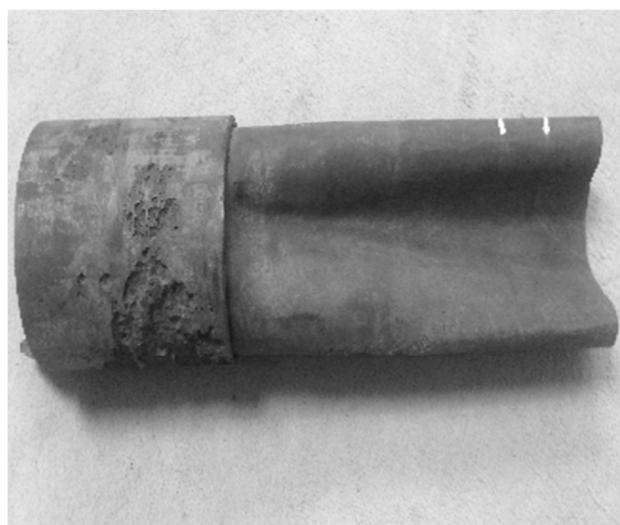


Fig. 12. Collapsed Tubing as a consequence of uniform corrosion that resulted in low yield strength.

CONCLUSIONS. As explained, Well-1 till its workover produced bulk quantities of water at well head besides increase in its CO₂ content. These conditions supplemented acceleration in the corrosion rate and aggravated deterioration of the production tubing from the shallower depth. At bottom hole conditions due to high velocity the annular flow regime water remained in mist flow but at shallower depth the flow regime changed from annular to slug flow. With all the facts in view it can comprehensively be concluded that Corrosion remained low at the lower portion of the production tubing due to high temperatures and low amounts of condensed water that allowed a tight protective film over the surface of carbon steel tubing. Carbon steel completions are still a cost effective solution depending on the well profile.

Continuous injection of corrosion inhibitor might initiate introduction of oxygen in the tubing which will cause tubing failure very quickly, apart from additional cost during well designing. While batch treatments of corrosion inhibitors will result in production losses, in addition no significant data is available that warrants its effectiveness.

Coatings cannot be applied on the tubing as they have a tendency to break due to the thermal expansion of the tubing while in operation, thus causing localized corrosion.

To avoid extra expenditure after consultation and quality testing, combination tubing materials should be used keeping in view temperature and pressure profiles of the well, e.g. (L80 at bottom-hole with corrosion resistant alloys at top). Galvanic cell needs the anode area to be equal to its cathode to start galvanic action. For corrosion assessment various models are available commercially for the purpose of calculating the tubing life, and use of corrosion resistant alloys according to the well conditions. Well life must be taken into consideration while choosing the tubing grade at the well design stage for keeping economics.

REFERENCE

1. **Salavatov T.Sh., Mustafayev A.A., Dadash-zadeh M.A., Mamedova E.V.** The study of gas-lift wells in the process of start. Herald of the Azerbaijan Engineering Academy. (2013). Volume 5, №1, Pp.58-62.
2. **Bellarby, J.** Well Completion Design, (1st Ed) Elsevier store, Amsterdam, The Netherland, 2009. - 726 p.
3. **Jawwad T., M. Bonis, H. Choi, Y. Al-Salim.** “Down hole Corrosion/Scaling Operational experience and Challenges”, Saudi Aramco Journal of Technology (Fall-2014), Pp. 1-13
4. Technical Seminar Corrosion and Materials Selection (2016), Islamabad Pakistan, Marubeni-Itochu Steel, Australia.
5. **Smith, L.**, 1999: Control of corrosion in oil and gas production tubing, British Corrosion Journal, Vol. 34, No.4, Pp. 247-253.
6. **Parsad, S. R., V. Cherian, M. V. Katarki.** Causes of Tubing failure in Oil Well – A Case Study Paper ID: 20100283, Petrotech, Oct –Nov 2010, ONGC New Delhi, ONGC; Pp. 1-10.

QAZKONDENSAT QUYULARDA NKB-NIN DAĞILMASININ EHTİMAL OLUNAN SƏBƏBLƏRİ

T.Ş. SALAVATOV, XÜRRƏM İQBAL

Məqalədə əməliyyat işlərinin təcrübəsindən və quyu dibi zonada karbon mühitdə karbon tərkibli poladdan hazırlanmış borularda korroziya hadisəsindən bəhs edir. Salsabil qaz yatağında, Pakistan, Pəncab təmir məqsədi ilə tamamlanmış NKB boruları çıxardanda, onların korroziya ilə zədələnməsi qeyd olunmuşdur. Bu 8 illik istismar dövründən sonra baş vermişdir. Bu mövzu ilə bağlı tədqiqatlar aparılmışdır və çoxlu sayıda korroziya problemindən yazılan ədəbiyyat təklif edilmişdir.

Neytral quyularda, harada karbon dioksid tərkibinin qiyməti hesablanmış qiymətindən aşağıdır, korroziyanın intensivliyini təhlil etmək çox əhəmiyyətlidir.

İtkilərin mexanizmi təhlil edilmişdir və gələcəkdə NKB layihələndirilməsi təklif edilmişdir. Bu yanaşma, gələcəkdə korroziya ilə bağlı uğursuzluqlarının qarşısını almaq və təmirə sərf olunan vəsaitlərin qənaət etməyə kömək edəcəkdir.

Açar sözlər: NKB-nin korroziyası, neytral qaz, halvanik korroziya, karbon dioksid.

ВЕРОЯТНЫЕ ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДЕНИЙ НКТ В ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ СКВАЖИНАХ

Т.Ш. САЛАВАТОВ, ХУРРАМ ИГБАЛ

Статья посвящена опыту операционных работ в отношении проблем коррозии в углекислой среде на забое и определяет масштабы проявления тенденции в завершенных колоннах углеродо-содержащих сталей, когда завершенные НКТ были извлечены с целью капитального ремонта в скважине well-1 на газовом месторождении Салсабил, Панджаб, Пакистан. Завершенные НКТ были несколько повреждены коррозией. Эти потери при завершении НКТ были обнаружены после 8 лет разработки. Проведенные исследования показали наличие процесса жесткой коррозии в трубах.

Проведено много исследований и опубликована литература по коррозии, формирующих механизмы в кислотных условиях, в настоящее время доминирующей областью исследований стали условия без наличия H_2S .

Важно понять, почему коррозия наблюдалась в нейтральных скважинах, где значения диоксида углерода намного ниже, чем в предварительно рассчитанных моделях коррозии. Статья также включает руководящие принципы предотвращения таких провалов в будущем.

Исследован детальный механизм потерь для проектирования завершенных НКТ и для определения мер профилактики технического обслуживания и проектирования НКТ с целью предотвращения таких финансовых потерь, чтобы избежать дополнительных затрат материала и капитального ремонта скважин.

Ключевые слова: коррозия НКТ, нейтральный газ, гальваническая коррозия, CO_2 .

УДК 622.276

МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ОБВОДНЕНИЕМ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

Д.А. ВОЛЬЧЕНКО*, А.В. ДУМНИЙ*

В статье рассмотрена проблема накопления жидкости на забое газовой скважины и методы борьбы с этим явлением, которые заключаются в освобождении ствола скважины от жидкости путем ее подъема на поверхность. Предложен метод диспергирования жидкости в газожидкостном потоке. Его со временем можно заменить технологией комбигазлифта. Проанализирована структура потока газожидкостной смеси в вертикальной трубе и жизненный цикл газовой скважины в целом.

Ключевые слова: обводнение, методы борьбы, газожидкостная смесь, режимы потока, накопление жидкой фазы, диспергатор, вынос жидкости, комбигазлифт.

Введение. С появлением жидкости (воды и конденсата) в продукции скважин снижаются дебиты газа, что связано с уменьшением фазовой проницаемости пористой среды для газа, обводнением части газовых интервалов, ростом потерь давления в призабойной зоне пласта, стволе скважин и системе сбора газа при движении двухфазной газожидкостной смеси.

Все методы борьбы с обводнением газовых скважин можно разделить на три группы [1].

Методы первой группы основаны на предупреждении поступления воды на забой скважины и включают:

- селективное раскрытие газоносных пластов;
- изоляционные работы для отсоединения обводненных пропластков, установку экранов в пластах с подошвенной водой, ликвидацию заколонных перетоков воды и негерметичности эксплуатационной колонны;
- эксплуатацию скважин с пониженными дебитами газа, при которых исключается поступление на забой пластовой воды;
- обработку призабойной зоны газовых пластов с целью уменьшения рабочих депрессий на пласт.

Ко второй группе относятся методы освобождения ствола скважины от жидкости без подъема ее на поверхность. К ним относятся: периодические остановки скважины для поглощения пластом жидкости, которая собралась на забое; проведение внутрискважинной сепарации воды от газа с последующим пропуском ее под действием гидростатического напора или закачкой с помощью насосных агрегатов.

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

К третьей группе относятся методы освобождения ствола скважины от жидкости путем подъема ее на поверхность.

При изоляции в газовых скважинах обводненных пропластков исключается возможность регулирования продвижения в залежь пластовой воды и добычи ущемленного газа из обводненных зон.

Все методы эксплуатации обводненных газовых скважин подразделяются на газогидродинамические, физико-химические и механизированные.

Газогидродинамические методы. Основаны на использовании природной энергии пластового газа для выноса жидкости из скважин путем поддержания необходимых скоростей движения газа на входе в лифтовые трубы (за счет уменьшения давления на устье и диаметра лифтовых труб или увеличения расхода газа) и уменьшения потерь давления в стволе скважины (за счет создания в лифтовых трубах однородной структуры газожидкостного потока).

К ним относятся:

- выбор рациональной конструкции колонны лифтовых труб (диаметра и глубины спуска);

- применение комбинированной колонны лифтовых труб различного диаметра;

- снижение давления на устье скважины за счет введения в эксплуатацию компрессорной станции;

- периодические продувки скважин в бросовую линию с помощью автоматических комплексов типа «Забой-1» и других, предназначенных для полного или частичного прекращения отбора газа с целью накопления энергии для подъема жидкости из забоя на поверхность. Основным элементом комплекса является запорный клапан, который монтируется на выкидной линии скважины и закрывается или открывается по команде блока управления при достижении заданной разности давлений в затрубном пространстве и выкидной линии после клапана;

- периодические продувки скважины в газопровод низкого давления или в атмосферу по факельной линии с помощью смонтированных на устье или на забое автоматических устройств. Автоматы, установленные на устье, срабатывают при достижении заданной разности давлений в затрубном пространстве и лифтовых трубах. При скоплении жидкости на забое скважины давление на буфере уменьшается при почти неизменном давлении в затрубном пространстве, что фиксируется датчиком разности давлений, и после достижения порога срабатывания датчик посылает сигнал через блок управления на открытие запорного клапана. Забойные автоматы срабатывают при достижении определенной высоты столба жидкости в лифтовых трубах и представляют собой один клапан на входе в трубы или несколько пусковых газлифтных клапанов в нижней части труб;

- оснащение скважин, работающих с дебитами газа, превышающими минимально необходимый уровень, автоматическими системами типа «Ласточка» для непрерывного выноса жидкости по лифтовым трубам и отбора остаточного газа из затрубного пространства или отбора всего газа из затрубного пространства и периодического выноса жидкости по лифтовым трубам путем перераспределения потока газа в стволе скважины за счет полного или частичного закрытия клапана на выбросе из затрубного пространства. Применение автома-

тических систем «Ласточка» позволяет минимизировать потери давления в стволе скважины и тем самым увеличить дебиты газа;

- применение сифонных трубок с условным диаметром 25 или 32 мм и 42 мм, которые спускаются в колонну лифтовых труб для периодического или непрерывного выноса жидкости;

- оборудование колонны фонтанных труб забойными и лифтовыми диспергаторами для создания однородного высокодисперсного газожидкостного потока путем механического и акустического диспергирования жидкости.

Физико-химические методы. Основаны на искусственном продлении периода естественного фонтанирования скважины за счет воздействия на газожидкостной поток в лифтовых трубах физическими полями, температурного воздействия, подачи с поверхности вспенивающихся ПАВ и различных химреагентов, которые взаимодействуют между собой или с пластовой водой. К данной группе относятся такие способы выноса жидкости из забоя скважин:

- периодическое или непрерывное введение твердых или жидких вспенивающихся ПАВ в затрубное пространство или лифтовые трубы;

- подача на забой скважины сухого льда (твёрдого СО₂) и последующей добычи жидкости, газированной диоксидом углерода;

- введение в скважины нескольких реагентов, например, меловой пасты, смешанной со вспенивающимися ПАВ, и соляной кислоты, при взаимодействии которых выделяется большое количество газа, достаточное для вспенивания и выноса жидкости из скважины;

- вынос жидкости из скважины с помощью трехфазных пен, что достигается, например, подачей на забой раствора в электролите вспенивающегося ПАВ, химически несовместимого с пластовой водой. При их взаимодействии выпадает твердый осадок;

- испарение жидкости, которая скапливается на забое скважины и в призабойной зоне, с помощью циркулирующего в скважине перегретого пара или забойных электронагревателей;

- температурное диспергирование жидкости путем нагрева ее с помощью забойных электронагревателей до температуры, при которой за счет уменьшения вязкости и поверхностного натяжения на границе с газом происходит интенсивное дробление капель жидкости;

- диспергирование жидкости путем воздействия на газожидкостной поток физическим полем, например, магнитным, что приводит к уменьшению поверхностного натяжения жидкости на границе с газом;

- электролиз воды на забое скважины с помощью специальных забойных устройств, сопровождающийся выделением газа.

Механизированные методы. Основаны на использовании для выноса жидкости дополнительной энергии с поверхности (энергии сжатого газа - при газлифтном способе, потенциальной и кинетической энергии - при насосных способах или оборудовании колонны лифтовых труб специальными устройствами, которые приводятся в действие за счет энергии пластового газа (пневмоагрегаты, плунжеры)).

Данная группа включает такие способы эксплуатации обводненных скважин: периодическим и плунжерным газлифтом; плунжерным лифтом; скважинными насосами; пневмо-

поршневыми агрегатами с использованием энергии пластового газа; применение устройств, работающих по принципу сваба.

Структура потока газожидкостной смеси в вертикальной трубе.

В зависимости от физических свойств жидкости и характера ввода газа в поток могут возникать различные структуры газожидкостного потока при его движении в трубе, которые существенным образом влияют на энергетические показатели подъема жидкости.

Структура газожидкостного потока в вертикальных трубах, как правило, характеризуется четырьмя основными режимами (рис. 1). Режим потока определяется скоростью газовой и жидкой фаз и относительным количеством газа и жидкости в любой заданной точке потока [2].

Основными режимами газожидкостного потока в вертикальных трубах являются:

1. Пузырьковый – скважина практически полностью заполнена жидкостью, свободный газ присутствует в виде маленьких пузырьков (рис. 1 а).
2. Глобулярный – присутствуют расширенные газовые пузырьки, которые сливаются в большие глобулы, но жидкая фаза, как и раньше, непрерывна (рис. 1 б).
3. Глобулярно-кольцевой – непрерывный жидкий поток переходит в непрерывный газовый, жидккая фаза может увлекаться в виде капель в потоке газа (рис. 1 в).
4. Эмульсионно-кольцевой – газовая фаза непрерывна, большая часть жидкости увлекается газом в виде конденсата, стенки покрыты тонкой пленкой жидкости (рис. 1 г).

Газ может проходить через любую из указанных структур потока в течение всего жизненного цикла скважины.

На рис. 2 показан жизненный цикл типичной газовой скважины от начального периода ее эксплуатации и до конца производства. Вначале газ имеет высокую скорость, при этом в потоке он преобладает. С течением времени режим потока от перфорационной поверхности изменяется по мере уменьшения скорости газа. Жидкая фаза при этом может также расти. По мере снижения скорости газа стабильный жидкостной поток будет преобладать в объеме над неустойчивым газовым потоком. Когда скорость движения газа будет недостаточной для транспортировки жидкости на поверхность, пузырьки газа будут просто подниматься вверх через застойный столб жидкости.

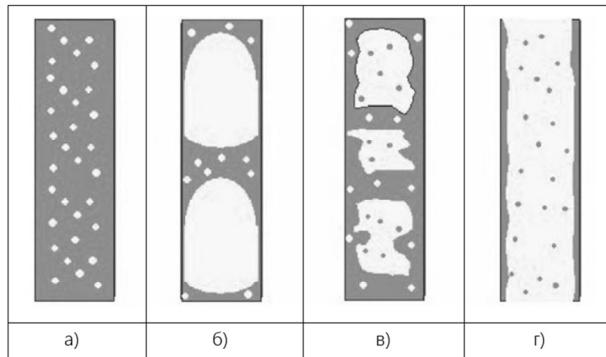


Рис. 1. Режимы газожидкостного потока в вертикальных трубах

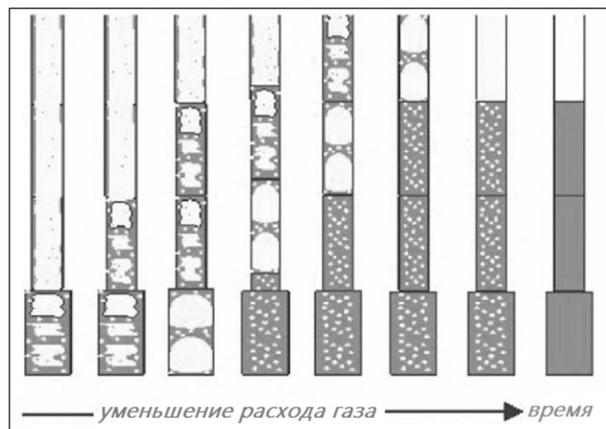


Рис. 2. Жизненный цикл газовой скважины

Если скорость газа достаточно высока, то он будет выносить жидкость на поверхность. Высокая скорость газа формирует структуру потока, в котором жидкость выступает мелкодисперсной фазой, что приводит к низкому процентному соотношению жидкости в общем потоке газожидкостной смеси.

По мере того, как со временем скорость газа снижается, скорость движения жидкости, переносимой газом, уменьшается еще быстрее. В результате жидкость начинает собираться на стенках скважины и, в конце концов, она скапливается на забое. Наличие такого накопления может замедлить производство или даже остановить добычу газа в целом.

Несмотря на то, что большинство методов для обезвоживания газовых скважин не зависят от источника обводнения, для качественного и эффективного решения проблемы необходимо выявлять источники поступления жидкой фазы [3].

По мере снижения пластового давления количество воды и конденсата в скважине возрастает. Так как скорость газа будет уменьшаться по мере снижения пластового давления, мы имеем ситуацию уменьшения добычи газа наряду с увеличением объема поднимающейся жидкости, в связи с чем жидкостная нагрузка скважины неизбежна [4].

Диспергирование жидкости в газожидкостном потоке. В начальный период разработки газовых месторождений высокие дебиты скважин обеспечивают вынос жидкой фазы в капельно-диспергированном виде. При дальнейшей эксплуатации месторождения в связи с падением пластовых давлений накопление жидкой фазы на забое скважин становится причиной осложнений в их работе из-за явления самозадавливания, которое приводит к снижению дебита скважин и даже к полной их остановке.

С целью устранения этого явления необходимо использовать различные методы и устройства для перевода жидкости в пенные или диспергированные в газе аэрозольные структуры, которые обеспечивают вынос водных скоплений из газовых скважин.

Диспергатор (рис. 3) может быть использован на газовых и газоконденсатных месторождениях, в частности, на добывающих скважинах, продукция которых содержит жидкую фазу [5].

Внутренняя полость диспергатора выполнена в виде двух усеченных конусов 2 и 5, соединенных между собой меньшими основаниями цилиндрической вставкой 3. Они гидравлически сообщены с полостью НКТ посредством каналов 4, выполненных в корпусе 1 диспергатора. Корпус 1 может быть изготовлен из стали или из материала с низкими адгезионными и высокими антикоррозионными свойствами, например, из политетрафторэтилена.

Первоначально при движении одной газовой фазы согласно закону Бернулли скорость в цилиндрической вставке 3 будет выше, а давление P_2 в ней ниже, чем давление P_1 перед диспергатором в его конусной части 5. В результате наличия перепада давления $P=P_1-P_2$ жидкость 6 из кольцевого слоя по каналам 4 будет вовлекаться в цилиндрическую вставку 3 и впрыскиваться в поток газа (эффект пульверизатора). В ре-

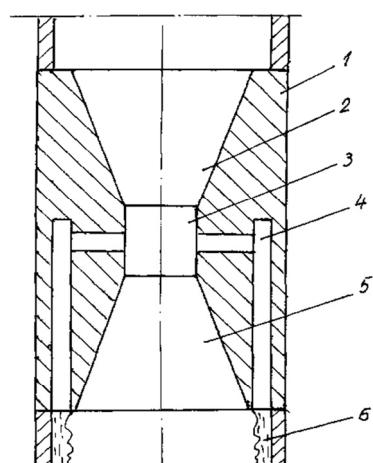


Рис. 3. Диспергатор для выноса водных скоплений из газовых скважин

зультате этого формируется газожидкостной поток, который движется к выходу конусной части 2 корпуса 1 диспергатора.

Подъем жидкости из забоя газовых скважин по технологии комбигазлифта.

Комбигазлифт - процесс подъёма жидкости из скважин, при котором по лифтовой колонне перемещают на проволоке с помощью лебедки негерметичный поршень-разделитель. Газ, проходящий через зазор между разделителем и лифтовой колонной, препятствует стоку жидкости к забою скважины относительно разделителя [6, 7].

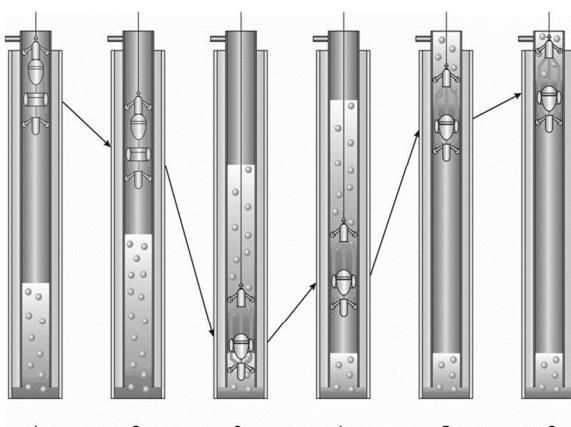


Рис. 4. Схема работы комбигазлифта

Периодически разделитель спускают по колонне лифтовых труб под уровень жидкости, а затем поднимают со столбом жидкости над ним. Опускается разделитель за счет силы тяжести, а поднимается с использованием лебедки. Жидкость через боковые отводы фонтанной арматуры отводится в систему сбора (или на факельную линию). Цикл подъема жидкости с помощью комбигазлифта показан на рис. 4.

Утечка жидкости через зазор во время подъема разделителя уменьшается за счет «газопакерующего» эффекта. При

определенных режимах подъема разделителя жидкость полностью выдувается из зазора. Для выполнения этого условия разделитель в скважине необходимо поднимать со скоростью, меньшей средней скорости движения газа по трубе. Площадь кольцевого зазора может составлять до 50% от площади проходного сечения лифтовой трубы.

Основным условием при подъеме жидкости по технологии комбигазлифта является создание герметичного динамического уплотнения кольцевого зазора между корпусом разделителя и трубой с использованием потока газа.

Выводы. Проведен краткий обзор газогидродинамических, физико-химических и механизированных методов эксплуатации обводненных газовых скважин.

Рассмотрены основные структуры газожидкостного потока при его движении в трубе, которые существенным образом влияют на энергетические показатели подъема жидкости. Приведен жизненный цикл типовой газовой скважины от начального периода ее эксплуатации и до конца производства.

Рассмотрен способ выноса жидкости при комбинации метода диспергирования жидкости и технологии комбигазлифта. При этом комбигазлифт применяют в том случае, когда метод диспергирования себя исчерпал и не приносит нужного эффекта.

REFERENCE

1. Spravochnik po neftegazovomu delu / Pod obshh. red. doktorov tehn. n. В.С. Bojko, Р.М. Kondrata, Р.С. Jaremijchuka. - К.: Lvov, 1996. - 620 c. /На укр. яз./.
Справочник по нефтегазовому делу / Под общ. ред. докторов техн. н. В.С. Бойко, Р.М. Кондрата, Р.С. Яремийчука. - К.: Львов, 1996. - 620 с. /На укр. яз./.
2. Li D.F. Ekspluatacija gazovyh skvazhin s proizvodstvom zhidkosti / D. F. Li, R.E Tige; SPE 11583. – Oklahoma, 1983.

- Ли Д.Ф.** Эксплуатация газовых скважин с производством жидкости / Д. Ф. Ли, Р.Е Тиге; SPE 11583. – Оклахома, 1983.
3. **Libson T.N.** Vyjavlenie i mery po likvidacii zhidkostnoj zagruzki v gazovyh skvazhinah / T.N. Libson, D.T. Genri; zhurnal neftjanyh tehnologij. 1980. - s. 685-693.
Либсон Т.Н. Выявление и меры по ликвидации жидкостной загрузки в газовых скважинах / Т.Н. Либсон, Д.Т. Генри; журнал нефтяных технологий. 1980. - с. 685-693.
4. **Koleman S.B. i dr.** Novyj vzgljad na predskazanie zhidkostnoj zagruzki gazovyh skvazhin / zhurnal neftjanyh tehnologij. 1991. - s. 329-332.
Колеман С.Б. и др. Новый взгляд на предсказание жидкостной загрузки газовых скважин / журнал нефтяных технологий. 1991. - с. 329-332.
5. Pat. 66413 RU, MPK E21B43. Dispergator dlja vynosa vodnyh skoplenij iz gazovyh skvazhin / A.G. Gumerov, O.M. Jusupov, V.G. Karamyshev, Ho Nam Chung, V.V. Hodzhaev, V.V. Bolotov; vladelec Gosudarstvennoe unitarnoe predpriyatie "Institut problem transporta jenergoresursov", 2007.
Пат. 66413 RU, МПК Е21В43. Диспергатор для выноса водных скоплений из газовых скважин / А.Г. Гумеров, О.М. Юсупов, В.Г. Карамышев, Хо Нам Чунг, В.В. Ходжаев, В.В. Болотов; владелец Государственное унитарное предприятие "Институт проблем транспорта энергоресурсов", 2007.
6. **Shuljatikov I.V.** Razrabotka tehnologii i oborudovaniya dlja udalenija zhidkosti iz skvazhin: avtoref. dis. kand. tehn. nauk / Shuljatikov Igor Vladimirovich; Nauchno-issledovatelskij institut prirodnyh gazov i gazovyh tehnologij (VNIIGAZ). - Moskva, 2007. - s. 9-10.
Шулятиков И.В. Разработка технологии и оборудования для удаления жидкости из скважин: автореф. дис. канд. техн. наук / Шулятиков Игорь Владимирович; Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий (ВНИИГАЗ). - Москва, 2007. - с. 9-10.
7. **Volchenko D.A., Marcinkiv O.B., Dumniy A.V.** Vynos zhidkosti iz zaboja gazovoj skvazhiny s primeneniem dopolnitelnoj plastovoj energii. // Vestnik Azerbaijanskoy Inzhenernoy akademii. T.9, №2, 2017. s 61-71.
Вольченко Д.А., Марцинкив О.Б., Думний А.В. Вынос жидкости из забоя газовой скважины с применением дополнительной пластовой энергии. // Вестник Азербайджанской Инженерной академии. Т.9, №2, 2017. с 61-71.

QAZ QUYULARININ SULAŞMASINA QARŞI MÜBARİZƏ METODLARI

D.A. VOLÇENKO, A.V. DUMNIY

Məqalədə qaz quyularının dibində mayenin toplanması problemi və bu təzahürlə mübarizə metodlarına baxılmışdır. Bu metodlardan biri kimi mayeni quyu gövdəsi ilə yerin səthinə çıxarılmadan ibarətdir. Qaz mayenin parçalandırılması metodu təklif edilib. Müəyyən zamandan sonra metod qazlift texnologiyası ilə əvəz etmək olar. Şaqlı boruda qazmeye qarışığının axınının strukturu və qaz quyusunun həyat tsiklini bütövlükdə təhlil edilib.

Açar sözlər: sulaşma, mübarizə metodları, qazmeye qarışıığı, axın rejimi, maye fazanın toplanması, disperqator, mayenin çıxarılması, qazlift kombinasiyası.

WATERED-OUT GAS WELLS: MEANS OF SOLVING THE PROBLEM

D.A. VOLCHENKO, O.V. DUMNIY

The article deals with the problem of liquid accumulation in the bottom hole of a gas well and the methods of solving this problem. The latter includes wellbore liquid removal by means of water lifting. A method of dispersing liquids in gas-liquid flow, which can over time be substituted with a combined gas lifting method, is suggested. The structure of gas-liquid flow through a vertical pipe and the life cycle of a gas well as a whole are analysed.

Key words: watered-out well, means of solving the problem, gas-liquid flow, disperser, liquid removal, combined gas lifting method.

UOT 622.279.72

DƏNİZ YATAQLARINDAN ÇIXARILAN QAZIN NƏQLƏ HAZIRLANMASI ZAMANI İSTİFADƏ EDİLƏN REAGENTLƏRİN SƏRF NORMASININ TƏNZİMLƏNMƏSİ

A.S. QULİYEV*, Ə.N. QURBANOV *

Qazın hazırlanmasının effektivliyini artırmaq və keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq məqsədilə, qazkondensat yataqlarında tədqiqatlar aparılmış, qazın kompleks şəkildə nəqlə hazırlanması tədqiq olunmuşdur. Nəqlə hazırlanan qazın keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq məqsədilə hesablamalar aparılmış, sistemdə istifadə edilən, hidrat tixaclarının əmələ gəlməsinin qarşısını almaq məqsədilə metanolun sərfinin optimal norması təyin edilmişdir.

Məqalədə hidrat çökuntulərinin qarşısını almaq məqsədilə, sistemdə qazın nəqlə hazırlanması üçün metanolun optimal sərf normasının hesablanması nəticələri verilmişdir.

Açar sözlər: qazkondensat, metanol, hidrat, sərf norması, termodinamika.

Dəniz yataqlarında neftin və qazın çıxarılması, yiğilması və nəqli prosesində qarşıya çıxan istismar xərclərdən biri də hidrat əmələ gəlməsinin və digər texnoloji çətinliklərinin qarşısını almaq üçün tətbiq edilən kimyəvi reagentlərin sərfi ilə bağlıdır. Bu sərf böyük həcmidə olarsa istehsal olunan qazın maya dəyərini artırır. Ona görə də qazların manəsiz nəqlini təmin etmək üçün istifadə edilən reagentlərin keyfiyyət və kəmiyyət göstəricilərini tənzimləmək neftqazçıxar-mada aktual və vacib məsələlərdən biridir.

Qeyd olunanları nəzərə alaraq qaz-kondensat yataqlarından qazın çıxarılması, qurudulması və nəqli prosesində istifadə edilən reagentlərin sərf normasını tənzimləmək üçün qurğuların və texnoloji sistemin iş prinsipini təkmilləşdirmək və yeni elmi-texniki təkliflərin işlənməsi üçün elmi-tədqiqat və mədən işləri aparılmışdır. Tədqiqat işləri bir neçə istiqamətdə yerinə yetirilmişdir. İB-nin NQÇI-də fəaliyyət göstərən qazın nəqlə hazırlanması qurğusunun ayrı-ayrı aparatlarının işini tədqiq edərkən məlum olmuşdur ki, sistemdə tətbiq edilən reagentlərin sərfini tənzimləmək üçün metodik hesabatlar, faktiki göstəricilər nəzərə alınaraq aparılmamışdır [1-3].

Dəniz yataqlarında aparılan tədqiqat işlərinin nəticələri göstərdi ki, qaz-kondensatın çıxarılması, yiğilması və nəqlə hazırlanması mürəkkəb şəraitdə yerinə yetirildiyi üçün texnoloji sistemdə əmələ gələn hidratın qarşısını almaq üçün istifadə edilən reagentlərin tərkibinin və texnologiyalarının təkmilləşdirilməsi məqsədə uyğundur.

* Neftaqzelmitədqiqatlayihə institutu

Su və qaz hidratları ilə faza tarazlığının termodynamiki modelləşməsinə ümumi yanaşma “təbii qaz-karbohidrogen kondensatı” sistemində buxar-maye tarazlığını araşdırılması aktualdır. Lakin, kondensləşmiş su fazasının tarazlığının modelləşməsinə - su, soyudulmuş su, inhibitorların sulu məhlulu, buz fazasının hidrata çevriləsinə metodiki yanaşmanın tətbiqi və təmasda olan hər bir fazanın ayrı-ayrılıqda termodynamiki vəziyyəti araşdırılmışdır. Bu üsulun quyuda olan termodynamik şəraitdə qazın hazırlanması üçün bir sıra üstünlükleri var ki, bunlar da faza tarazlığının parametrlərinin hesabatının dəqiqiliyini və hidratbirləşmə inhibitorlarının normallaşmasını təmin edir.

Mədən şəraitində faza müvazinətinin pozulmasının dəqiq hesabatını aparmaq üçün qaz fazasının uçucu və ya qeyri uçucu komponentlərinin, o cümlədən, CO_2 , H_2S , N_2 , H_2O və metanolun dəqiq hesabatı aparılmalıdır. Bu məqsədlə karbohidrogen və ya qeyri karbohidrogen komponentli qaz fazası üçün Redlix-Kvonq tənliyi əsasında modifikasiya olunmuş termodynamik model işlənib hazırlanmışdır. Modifikasiyaya əsasən istifadə olunan model ikinci dərəcəli virial əmsallar və yüksək təzyiqdə qaz qarışıqlarının sixılma əmsalı ilə xarakterizə edilən əlavə parametrlər daxil edilir. Aparılan modifikasiya tənliyinin parametrizasiyası göstərir ki, təbii qazın uçucu komponentlərinin hesablanması nəticəsində 1-2% xəta ortaya çıxır ki, bu da Penq-Robinson tənliyi ilə daha dəqiq hesablanır.

Hal tənliyinin modifikasiyasının üstünlüyü – yeni sınaqlar aparılan zaman ikinci dərəcəli əmsalların hesabına yaranan əlavə dəyişikliklərin asanlıqla əlavə olunması, nöqsanı isə parametrlərin yüksək olmasıdır. Bu isə qaz fazasında Hibbs enerjisinin dəqiq təsvirinin artması ilə səciyyələnir.

Tənliyin səmərəli istifadə intervalı $-40^\circ\text{C} \div +100-150^\circ\text{C}$, təzyiqi isə $0,1\text{ MPa} \div 12-14\text{ MPa}$ təşkil edir.

Son zamanlar kimyəvi potensialların fərqi $-\Delta\mu^0$ və su-buz hidratının boş hidrat şəbəkəsi entalpiyası $-\Delta h^0$, daha dəqiq məlumatların göstəriləsinə əsaslanaraq hidrat fazasının modelinin parametrizasiyasının yeniləşdirilməsi vacib sayıldığına görə təbii qaz qarışıqlarının fərdi komponentlərinin Lengmür əmsalının yenidən kalibrəşməsi həyata keçirilmişdir. Hal-hazırda yeni qiymətlər aşağıdakı kimiidir:

I struktur üçün: $\Delta\mu^0 = 1203\text{ J/mol}$; $\Delta h^0 = 1170\text{ J/mol}$; $T = 273,15^\circ\text{ K}$ temperaturda;

II struktur üçün: $\Delta\mu^0 = 1077\text{ J/mol}$; $\Delta h^0 = 1294\text{ J/mol}$; $T = 273,15^\circ\text{ K}$ temperaturda.

Buz-su entalpiyası $\Delta h^f = 6008\text{ J/mol}$ -a bərabərdir.

Yeni məlumatların istifadəsi zamanı Lengmür əmsalının yenidən qurulması aparılmışdır, yəni, qaz-hidrat fazasının parametrlərinin yenilənməsi, bu da üçfazalı tarazlığın «qaz-su-hidrat» təsvirinin mürəkkəb tərkibli qaz fazası üçün yaxşılaşdırılmış, lakin, təmiz qazlarla üçfazalı tarazlığın təsvirinə təsir göstərməmişdir.

Yuxarıda qeyd olunan modellərə əsaslanaraq təbii qazın su ilə tarazlığı, qaz sənayesində qazda fərdi hidrat birləşməsi və ya qaz qarışıqları üçün verilmiş təzyiq və temperaturda kompleks hesabat programı işlənmişdir.

Kompleks hesabat programı vasitəsi ilə müxtəlif yataqlardan təbii qaz qarışıqlarının, hidratəməiəgəlmənin, qazın yiğilması və hazırlanması sistemində hidrat inhibitorlarının sərfinin norma təyini məqsədi ilə asan və müvafiq analitik asılılıqlar əldə edilmişdir.

Mürəkkəb tərkibli qazların qaz-hidrat tarazlığının hesablanması nəticələrini təsdiq etmək üçün müqayisəli hesabatın termodynamik üsuldan istifadəsi, o cümlədən, mürəkkəb tərkibli qazın hidratəmələgəlmə əyrisinin istifadəsilə qaz-hidrat fazasının termodynamik modelinin empirik korreksiyası metodikasından istifadəsi məqsədə uyğundur.

Geniş temperatur diapazonunda mənfi və ya müsbət temperaturda, təzyiq 100 MPa və yüksək olmaqla ücfazalı tarazlıq sınaq məlumatlarının termodynamik ekstrapolyasiya metodundan istifadə olunur.

Termodynamik modelin analizi göstərir ki, qaz-hidrat boşluğunun doldurulması dərəcəsi 1-dən yuxarı olmamaq şərtilə alınan sınaq məlumatları aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\ln f - H(p, T) - \frac{\Delta V p}{(\nu_1 + \nu_2) RT} \div \frac{1}{T}$$

f – komponentin uçuculuğu; ΔV – su və hidratın molyar həcmi fərqi, cm^3 ; p – təzyiq, MPa ; $H(p, T)$ – Henri sabiti; ν_1, ν_2 – kristal-kimyəvi sabitlər (hidrat strukturunun tipini xarakterizə edən).

Koordinat sistemində məlumatların aproksimasiyası asılılığı:

$$Y = A + \frac{B}{T} + C \cdot \ln(T) ;$$

burada: A, B, C – əmsallardır ki, bunlar da sınaq nöqtələrində məlumatları daha ətraflı təsvir edir, mənfi və ya müsbət temperaturda alınan asılılığı geniş halda ekstrapolyasiya etməyə imkan yaradır. Verilmiş temperaturda tarazlıq təzyiqi aşağıdakı düsturla təyin edilir.

$$A + \frac{B}{T} + C \cdot \ln(T) = \ln(f) - \frac{p \cdot \Delta V}{(\nu_1 + \nu_2) \cdot RT} + \frac{\ln x_{H_2O}}{\nu_1 + \nu_2}$$

Yüksək təzyiqdə qazın uçma qabiliyyətinin, suyun sıxlığının və qazda suyun həll olunmasının təyini mütləqdir. Ekstrapolyasiya üsulu iki qaz üçün (metan, azot) aparılmış və alınan nəticələr metana görə hidrat birləşməsinin temperatur tarazlığı diapazonunda kifayət edir. Metan üçün $\sim 307^\circ \text{K}$ -dək (110 MPa), azot üçün isə $\sim 301^\circ \text{K}$ -dək (230 MPa)-dir, hesabatda xəta faizi $\sim 5\%$ -dir (təzyiqə görə).

Metasabit fazanın termodynamik xassəsi heksononal buza nisbətdə göstərilir, soyudulmuş su və buz kubu. Soyudulmuş su və buz kubu aralıq faza kimi qaz hidratının ayrılması zamanı yaranır. Heksononal buzun hal temperaturu standart olaraq $T_o=273,15^\circ \text{K}$ təşkil edir.

Heksononal buzun və soyudulmuş suyun arasındaki kimyəvi potensiallar fərqinin termodynamik hesabatı ədəbiyyatda verilən sınaq məlumatlarına əsasən kondenslənmiş su fazasının termodynamik xassələrinə görə aparılmışdır. Soyudulmuş su və buz kubu kimyəvi potensiallar fərqinin hesabatı üçün istifadə olunmuş faza tarazlığının hesabatı bir neçə % xəta ilə $240 - 273^\circ \text{K}$ temperatur diapazonunda aparılmışdır.

Hidratların ləng ayrılması modeli verilmiş və əsas sınaq məlumatları da cəmlənmişdir. Nəzəri modelin tipləşməsi və hidratların ayrılması mexanizmi və qaz hidratının səthi ayrılmış xassəsinin ətraflı izahları verilib.

Qaz hidratlarının konservasiya texnologiyası imkanının genişlənməsi məqsədi ilə İstomin V.A. tərəfindən qaz hidratının ayrılmasını ləngitmək üçün onun üst səthinin heksonal buz qatından fərqli olaraq, başqa bir bərk fazalı termodynamik sabit örtükə örtülməlidir [4-6].

Ayrılmanın kinetik mexanizminin reallaşması hidratda qazın tərkibindən, hidratın morfolojiyasından və strukturundan, onun yaranmasının və ayrılması termobarik şərtlərindən aslidir. Ayrılma prosesinin aparıcı quvvəsi bir neçə üsulla təyin edilir: məsələn, ΔT - ayrılma prosesinin temperaturu və hidratın qaza və su fazasına ayrılmışının temperaturlar fərqidir və aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\Delta G = RT \ln f/f_0 \approx RT \ln p/p_0 ,$$

f, p - qazın sistemdə uçma qabiliyyəti və təzyiqi, f_0, p_0 - uçma qabiliyyətinin və təzyiqin tarazlıq qiyməti.

Sınağın aparılması zamanı ilkin mərhələdə aparıcı quvvə dəyişə bilər, sınaq məlumatlarının nəticələri qaz hidratlarının ayrılması prosesinin mexanizminin xassələrini və mənfi temperaturda olan kinetikasını göstərir: mərhələli (ilk tez mərhələ və sonradan ləng ayırma mərhələsi ilə nəticələnən konservasiya effekti); hidrat metanının və təbii qazın müəyyən temperatur diapazonunda öz-özünə konservasiyası effektinin aydın görüntüsü; müxtəlif metasabit su fazalarının ilk ayırma mərhələsində yaranması; metasabit səthi fazanın termobarik şəraitdən asılı olaraq müxtəlif vaxtda yaranması.

Sınaq şərtlərindən asılı olaraq mənfi temperaturda qaz hidratlarının ayrılması mexanizmi variantlara bölünə bilər. Konservasiya effektinin dəqiqliyi ayrılması üçün ilkin mərhələdə hidratın qaz və soyudulmuş suya ayrılması, sonradan soyudulmuş suyun örtüyünün optimal şəraitdə kristallaşması. Soyudulmuş suyun kristallaşmamış vəziyyətdə uzun müddət saxlanması, istisna halda hidrat hissəciyinin soyudulmuş suya və qaza tam ayrılması. Bu halda prosesin dayandırılması mümkün deyil. Konservasiya effekti zamanı hidrat hissəciklərinin bir hissəsi tam ayrılır, o biri hissəsi isə öz-özünə konservasiya olunur.

Əgər hidratın ilk səthi ayrılması buz və qazla baş tutursa hidratın üst qatında buz qatı yaranır və prosesin ləngidiyinə baxmayaraq, kəskin gediş baş vermir.

Qaz hidratlarının səthi ayrılması prosesi mənfi temperaturda üç əsas mərhələyə bölündür: ilk mərhələ metasabit fazaya ayrılma mərhələsi, metasabit su fazasının kristallaşması və ya yenidən kristallaşma mərhələsi və sonradan diffuziya mexanizmi ilə ləng ayrılma mərhələsi. Bəzən mərhələlər baş tutmaya və yaxud ayrılma mərhələsi ilk mərhələdə bitə bilər.

Metanın hidrat hissəsinin ayrılması prosesinin ilkin mərhələsinin daha geniş aparılması üçün aşağı ($272,95^{\circ}\text{K}$) temperaturda su fazası ilə metanın hidrat hissəsinin üç fazalı hesabatı aparılmışdır.

Hesabatın nəticələrinin təhlili parçalanan metan hidratının üzərində çox soyuq su və buzun ehtimal oluna bilən meydana çıxma sahəsini təyin etməyə və beləliklə də, müxtəlif şəraitdə “özünük konservasiya” effektinin əmələ gəlmə səbəblərini təhlil etməyə imkan verir.

Aşağıda soyudulmuş suyun müxtəlif təzyiqlərdə «metan–metan hidratı–soyudulmuş su» sistemində mövcudluğunun temperatur diapazonları göstərilmişdir.

Cədvəl 1.

Təzyiqin azalması və metan hidratının parçalanması nəticəsində soyudulmuş suyun termobarik mövcudluq şərtləri

Təzyiq, MPa	Temperaturlar diapazonu, $^{\circ}\text{K}$
0,1	$\sim 240 - 272,95$
0,5	$\sim 256 - 272,95$
1,0	$\sim 263 - 272,95$
1,5	$\sim 266 - 272,95$
2,0	$\sim 270 - 272,95$
2,5	mövcud deyil

Sistemin 1 sahəsindən 3 sahəsinə köçürülməsi zamanı (şək. 1.) və hidratda buzun mövcud olduğu halda ilk mərhələdə metan hidratının ayrılması nəticəsində o, soyudulmuş su mərhələsinə keçir, su isə bilavasitə kristallaşır buza çevrilir.

Su hidrat və buz arasında dinamiki qat yaradır, o zaman ayrılma sürəti aşağı düşür, su qatı yumşalır və yox olur və beləliklə, hidratın konservasiyası mərhələsi baş verir.

Qeyd etmək lazımdır ki, soyudulmuş suyun əmələ gəlməsi vizual görünür (hidrat barokamerasının pəncərəsində ötüb keçən işqda hidrat hissəciklərinin "tündləşməsinin" baş verməsi müşahidə olunur). Parçalanma prosesinin bu vizual görüntüsü "qaz (metan, propan) – hidrat – soyudulmuş su" eksperimental tapazlıq xəttini tədqiq etməyə imkan yar-

Özünü konservasiya effektinin təzahürünün mümkün temperatur diapazonunu təyin etmək məqsədilə başqa qazların hidratları üçün analoji tədqiqatlar aparılmışdır. Başqa temperatur diapazonun alınması ilə propan, etan, izopropan üçün də hesabatlar aparılmışdır (cədvəl 2). Cədvəl 2-dən göründüyü kimi alınan azot hidratı üçün soyudulmuş suyun aşağı mövcud çərçivəsi nəzəri nöqtədən ~240 K-dən aşağıdır, bu halda soyudulmuş su praktiki olaraq mövcud deyil. Ona görə də temperatur diapazonun təzyiqin atmosfer təzyiqə atılması zamanı təyin olması müxtəlif qazların hidratının konservasiyası üsulunun optimallaşması və axtarışı vacib element sayılır.

Hidratın səthi ayrılmışının termodynamik təhlili göstərir ki, onun konservasiya üsuluna keçməsi və prosesi idarə etmək mümkündür. Burada əsas parametr təzyiq hesab edilir. Təzyiqin müəyyən qiymətə düşməsi soyudulmuş suyun hidratın üst qatında yaranmasına səbəb olur.

Konservasiya effektində aparıcı parametrlərdən biri də temperaturdur ki, onun tədqiqatlarda artması müvafiq ardıcılıqla "qaz-heksohonal buz-hidrat" və "qaz-soyudulmuş su-hidrat" üçfazalı tarazlıq xətləri şəbəkəsində hidratın səthi ayrılmışına gətirib çıxarır.

"Qaz-soyudulmuş su-hidrat" şəbəkəsində hidrat soyudulmuş suya çevrilir. Optimal şəraitdə bu suyun kristallaşması vacibdir. Prosesin gücü az olan zaman suyun kristallaşması tezləşir, məsələn, sistemin təkrar soyudulmasını və ya soyutma kombinasiyasını təzyiqin artması ilə tezləşdirmək mümkündür.

Hidratda buzun olması onun ayrılmışı prosesi ilə idarə edilməsinə və konservasiya mərhələsinə keçməsinə imkan yaradır, çünkü, buz soyudulmuş suyun kristallaşmasına gətirib çıxarır.

Hər bir qaz hidratı üçün texnoloji yolların seçilməsi mümkündür. Hidrat nümunəsi əvvəlcədən hidrat termostat barokamerasında qızdırılır. Kameranın temperaturunun dəyişilməsi təzyiqin sabitləşməsindən asılıdır, bu deməkdir ki, hidratın ayrılma prosesi bitdi. Sonra proses daha yüksək temperaturda davam edir. Hər temperatur addimında hidrat nümunəsinin təzyiqin artması və ya sabit olması ilə nəticələnən ayrılma prosesi baş verir. Təzyiqin qalxması zamanı ilk hidrat nümunəsinin üst qatında qaz fazasından və sudan təkrar hidratbirləşməsi yaranır. (yeni hidrat plynokasının tərkibi fərqlidir). Beləliklə, ilkin hidratın ayrılması prosesi dayanıqlı davam edir və sistemdə təzyiq sabitləşir. Bu sınaqlardan görünür ki, bir tərkibli hidrat konservasiya yolu ilə bir başqa tərkibli hidrata çevrilir.

Proses hidratın hidratla konservasiyası effektinin yaranması ilə nəticələnir.

Şəraitdən asılı olaraq alt hidrat ayrılır, suda həll olunmuş qazdan hidrat yaranır ki, bu da yeni tərkibli sabit hidrat olaraq qismən ilkin hidratın ayrılmışının qarşısını alır. Hidratın ayrılmاسını ləngitmə effektinin idarə olunması üçün daha bir üsul aşkar edilib ki, bu da termobarik və sabit termodinamik şəraitdə, müsbət temperaturda bir hidratın o biri hidratla örtülməsi üsuludur.

Aparılan hesabatlardan görünür ki, bir tərkibli hidratın o biri tərkibli hidratla konservasiya olunması mümkün və təzyiqi də o biri hidrat birləşməsinin təzyiqindən aşağıdır.

Belə ki, qaz qarışığının tərkibi: 98% metan +2% propan; 95% metan +5% azot; 70% izobutan + 30% azot və 90% metan + 10% CO₂)

Aparılan təhlil və termodinamiki hesabatlar göstərir ki, qaz hidratlarının ləng ayrılması effektinin imkanlarını aşağıdakı şərtlər təşkil edir: qaz hidrat tarazlığının yeni tədqiqat üsullarının işlənməsi; hidrat halında olan qazın saxlanması və nəqli texnologiyası; metasabit şəraitdə qaz hidratlarının mövudluğu şərtləri; hidratbirləşmə inhibitorlarının normalaşmasına metodiki yanaşma və uçucu inhibitorların istifadəsi ilə onların əlavə xüsusiyyətləri qeyd olunub.

İnhibitorun sərfinin normalaşmasının bütün məlumatları onun texnoloji itkiləri haqqında məlumatı və başqa istehsalat ehtiyaclarını özündə cəmləşdirir.

Regenerasiyası, saxlanması, nəqli zamanı yaranan inhibitorun istehsalat itkiləri sınaq-statistik üsulla təyin olunur, başqa itkilər hesabat-analitik yolu ilə təyin edilir.

İşlənmiş reagentin texnoloji tsikla qaytarılması üçün işlənmiş inhibitorun regenerasiyası qurğusunun quraşdırılması, hidratbirləşmə inhibitorlarının istifadəsi üçün resirkulyasiya texnologiyasının işlənməsi lazımdır.

İnhibitorun normalaşmasına metodik yanaşma aşağıdakı kimidir.

Bütün qaz hasilatının istehsalatında kimyəvi reagentlərin sərfi qrup şəklində (*H*) aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$H = \frac{\sum H_i \cdot Q_i}{\sum Q_i},$$

Cədvəl 2.

Müxtəlif qaz hidratlarının ayrılması zamanı təzyiqin atmosfer təzyiqinə düşməsi zamanı soyudulmuş suyun temperatur diapazonunda mövcudluğu

Qaz	Temperatur, °K
Metan	~240 – 272,95*
Azot	~223 – 271,85*
Etan	~258 – 273,15*
CO ₂	~251 – 273,0*
C ₃ H ₈	~270,5 – 273,15*
İzo-butan	mövcud deyil

Burada: H_i - kimyəvi reagentlərin fərdi sərfi hər qurğu üzrə, kq/1000 m³; Q_i - müəyyən vaxtda (ay, kvartal, il) qaz hasilatı hər qurğu üzrə, mln. m³.

Kimyəvi reagentlərin sərfi H_i hər qurğu üzrə xüsusi sərf normasını göstərir:

$$H_i = H_T - H_B + \sum g_i ,$$

Burada: H_T – texnoloji prosesdə inhibitorun sərfinin norması; H_B – xüsusi sərfinin norması, tsiklə qaytarılan kimyəvi reagent; $\sum g_i$ – istehsalatın yekun itkilər normasıdır.

Quyudakı hər bir qurğu üzrə texnoloji prosesə sərf olunan inhibitor norması quyu şleyfinə uyğun olaraq, hər bir fərdi texnoloji prosesdə inhibitor sərfinin cəmi ilə təyin olunur.

Hər fərdi sahədə inhibitorun sərfinin norması aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$H_{T,i} = G \cdot K ,$$

Burada: G – minimal-vacib (nəzəri) inhibitorun xüsusi sərfi; K – nəzərə alınmayan faktorlar üzrə 1,05-1,25 diapazonunda ehtiyat əmsali; K - qaz-maye qarışığının qeyri izotermik və qeyri stasionar axını zamanı komponentlərin fazasına görə paylanma əmsali sınaq yolu ilə təyin olunur.

Yatağın ilkin mərhələdə istismarı zamanı əmsalın maksimal qiyməti 1,10÷1,25-ə bərabərdir, inhibitor sərfi istehsalat proseslərinin avtomatlaşdırmasının həyata keçirilməsi zamanı əmsal 1,05-ə qədər aşağı düşür.

Texnoloji zəncirin fərdi sahəsi üçün inhibitorun nəzəri sərfi və su fazasının sərfi qorunan nöqtəsində aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$G = \frac{G_1 \cdot (X_2 - X_1) + G_1^{\text{recycle}} \cdot (X_2 - X_1^{\text{recycle}}) + (W_1 - W_2) \cdot X_2}{X - X_2} + \frac{100 - X_2}{X - X_2} \cdot [(Q_2 - Q_1) + (q_2 - q_1)]$$

$$G_2 = \frac{X}{X_2} + \frac{G_1 \cdot X_1 + G_1^{\text{recycle}} \cdot X_1^{\text{recycle}} + 100 \cdot [(Q_1 - Q_2) + (q_1 - q_2)]}{X_2}$$

G - minimal-vacib inhibitorun xüsusi sərfi, qatılıq X , kq/1000 m³; G_1 - inhibitorun əvvəlki texnoloji sahəsindən “maye-su” fazasının 1 nöqtəsinə daxil olan xüsusi miqdari, kq/1000 m³; G_1^{recycle} - 1 nöqtəsinə verilən inhibitorun təkrar sirkulyasiya edən sulu məhlulunun xüsusi miqdari, kq/1000 m³; G_2 - 2 nöqtəsinə verilən inhibitorun sulu maye fazasının xüsusi miqdari, kq/1000 m³; X_1, X_2 - müvafiq olaraq 1 nöqtəsinin qarşısında və 2 nöqtəsində inhibitorun su fazasının qatılığı, % kütlə; X - 1 nöqtəsinə verilən inhibitorun qatılığı, % kütlə; X_1^{recycle} - 1 nöqtəsinə verilən işlənmiş inhibitorun qatılığı, % kütlə; W_1, W_2 - 1 və 2 nöqtələrində qazın rütubətlilik tutumu (sulu maye fazası ilə tarazlaşmış), kq/1000m³; Q_1, Q_2 - 1 və 2 nöqtələrində qaz fazasında inhibitorun miqdari, kq/1000m³; q_1, q_2 - 1 və 2 nöqtələrində karbohidrogen kondensatının tərkibində inhibitorun miqdari, kq/1000m³; $G_1, G_1^{\text{recycle}}, X_1, X_2, X_1^{\text{recycle}}, X$ məlum kəmiyyətlər kimi fərz edilir; G və G_2 kəmiyyətləri isə hesablama yolu ilə tapılır.

Praktiki olaraq inhibitorun nəzəri sərfinin hesabatı bir neçə dəfə aparılır, yəni, bir neçə texnoloji nöqtədə hesabatlar aparılır, alınan qiymətlər isə toplanır.

Burada metodika qaz-hidrat fazasının termodinamik tənliyinin asanlaşmasına yönəldilmişdir. Parametrlər sınaq məlumatları əsasında düsturla seçilmişdir.

Hidratbirləşməsinin şərtlərinin hesabatı üçün yuxarıda qeyd olunan hesabat üsullarından istifadə etmək mümkündür.

Qaz və qaz-kondensat yataqlarında verilmiş təzyiqdə və ΔT (K) qorunma nöqtəsində hidratbirləşmə inhibitorlarının qatılığının hesablanması və hidratbirləşməsinin temperaturlararası fərqiin hərəkətdən asılılığı aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$\Delta T = -A \cdot \ln \frac{(100-X)/18}{(X/M + (100-X)/18)}, \quad A - \text{qazın təzyiqindən, onun tərkibindən, yaranan hidratların strukturundan asılı olan empirik əmsal. Bu əmsal qaz fazasının tərkibindən və təzyiqində asılı olub fərdi olaraq seçilir.}$$

Mürəkkəb tərkibli təbii qazın rütubətliliyini aşağıdakı düsturla hesablamaq olar:

$$W = a_1 \cdot W_0 = \gamma_1 \cdot x_1 \cdot W_0$$

burada: γ_1 - su-metanol məhlulunda suyun fəallıq əmsali; x_1 - su-metanol məhlulunda suyun molar hissəsi; a_1 - su-metanol məhlulunda suyun fəallığı; W_0 - təmiz su ilə tarazlıqda təbii qazın rütubətliliyi, kq/1000 m³.

Yuxarıda müzakirə edilən hidratmələğətirmə inhibitorları üçün uçucu və qeyri-uçucu inhibitorların normallaşmasının əməli olaraq tətbiqinə metodik yanaşmanın təhlili zamanı bir sırada üstünlükler aşkar olunmuşdur.

Uçucu inhibitorun – metanolun fazalara görə temperatur və təzyiqdən asılı olaraq qeyri-düzzətli paylanması xarakteri ilə bağlı üstünlükleridir.

Aşağı temperaturlu proseslərdə istifadə olunan qazın hazırlama aparatlarında hidratlardan qorunmaq üçün metanolun vurulması aparatın hidratsız işləməsi rejimini təmin edir.

Uçucu hidratbirləşmə inhibitorlarının sərfinin normasını hesablamaq üçün inhibitorun sərfinin termobarik şəraitdə istidəyişdirici aparatın işləməsindən asılılığını hesablamaq vacibdir və inhibitorun sərfini hesablamaq üçün maksimal funksiya seçilməlidir.

NƏTİCƏ. Termodinamik model və program təminatı işlənilmiş, karbohidrogen sistemlərinin kondensləşmiş su fazası, o cümlədən, metasabit fazası üç və iki fazalı tarazlığın hesabalarının aparılmasına imkan verir.

Sınaq məlumatlarının hesabat modelinin korreksiya üsulu, "qaz- kondensləşmiş su-hidrat" üçfazalı tarazlığının təsvirinin yaxşılaşması üçün termodinamik ekstrapolyasiya üsulu təklif edilir.

Müxtəlif qazların mənfi temperaturda qaz hidratlarının səthi ayrılmاسının termodinamik analizi işlənmiş, qaz hidratlarının ayrılması prosesinin idarə olunması və onların konservasiyası üçün üsullar təklif olumub.

Hidrat birləşməsi inhibitorlarının sərfinin normalaşması metodikasının sınaq təhlili və ümumi bazası əsasında işlənib, qazın hazırlanması texnologiyası üçün onun istifadəsinin əsas xüsusiyyətlərinin təhlili verilmişdir.

Metanolun xüsusi sərfinin azalmasının texnoloji üsulları işlənmişdir.

REFERENCE

1. **Qurbanov Ə.N., Qələndərova S.H.** Qazların nəqlə hazırlanmasında adsorbentlərin su metanol və karbohidrogenlərə görə aktivliyinin tədqiqi. // Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərinin Xəbərləri. 2008, №2, s.3-11.
2. **Gurbanov A.N.** Vybor i issledovanie novogo ingibitora dlya podgotovki gaza k transportu. // Neftepromyslovoe delo. Moskva. №7, 2009. s.56-63.
Гурбанов А.Н. Выбор и исследование нового ингибитора для подготовки газа к транспорту. // Нефтепромысловое дело. Москва. №7, 2009. с.56-63.
3. **Quliyev A.S., Qurbanov Ə.N.** "28-May" NQCİ-nin "Gunəşli" yatağında texnoloji avadanlıqlar və nəql xətlərində yaranan kondensləşmənin səbəblərinin araşdırılması. // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri. Cild 7, № 4, 2015, s.75-84.
4. **Istomin V.A., Kvon V.G.** Preduprezhdenie i likvidaciya gazovyh hidratov v sistemah dobychi gaza. M.: IRC Gazprom, 2004, 508 s.
Истомин В.А., Квон В.Г. Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах добычи газа. - М.: ИРЦ Газпром, 2004, 508 с.
5. **Istomin V.A., Burmistrov A.G., Kvon V.G.** Rastvorimost metanola v sisteme prirodnyj gaz – metanol - voda, v sb.: "Osobennosti osvoenija mestorozhdenij Prikaspiskoj vpadiny", M., VNIIGAZ, 1986, c.118-122.
Истомин В.А., Бурмистров А.Г., Квон В.Г. Растворимость метанола в системе природный газ – метанол - вода, в сб.: "Особенности освоения месторождений Прикаспийской впадины", М., ВНИИГАЗ, 1986, с.118-122.
6. **Kvon V.G, Istomin V.A., Durov V.A., Boyarchuk K.V., Manakov A.Ju.** Metod rascheta uslovij hidratoobrazovaniya dlya vysokih davlenij. // Nauka i tehnika v gazovojo promyshlennosti, № 4, 2006.
Квон В.Г, Истомин В.А., Дуров В.А., Боярчук К.В., Манаков А.Ю. Метод расчета условий гидратообразования для высоких давлений. // Наука и техника в газовой промышленности, № 4, 2006.

EXPENDITURE CONTROL OF REAGENTS USED IN OFFSHORE GAS TRANSPORTATION

A.S. QULIYEV, A.N. QURBANOV

The complex research was carried out at the gas condensate field to improve the efficiency and quality of the gas transportation. The optimal methanol consumption rate is determined to prevent the formation of hydrate plugs and to improve the quality of gas transportation.

The article provides conclusions on the optimal methanol consumption to prevent further formation of the hydrate residues.

Key words: *gas condensate, methanol, hydrate, consumption rate, thermodynamics.*

УРЕГУЛИРОВАНИЕ НОРМЫ РАСХОДА РЕАГЕНТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ГАЗА С МОРСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А.С. ГУЛИЕВ, А.Н. ГУРБАНОВ

С целью повышения эффективности подготовки и повышения качества газа проводились исследования в газоконденсатных месторождениях и изучена комплексная подготовка газа к транспортировке. Для предупреждения образования гидратовых пробок определена оптимальная норма расхода метанола и проведены исчисления с целью повышения качества газа, подготовленного к транспортировке.

В статье даны выводы расчёта оптимального расхода метанола для подготовки газа с целью предотвращения гидратовых отложений.

Ключевые слова: *газоконденсат, метанол, гидрат, норма расхода, термодинамика.*

УДК 622.276.7 – 504

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ В ТРЕЩИНОВАТО-ПОРИСТОМ КОЛЬЦЕВОМ ПЛАСТЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

О.А. ДЫШИН*

На основе кратномасштабного анализа в $L_2(\mathbb{R}^3)$ с применением дискретного вейвлет-преобразования с сепарабельным ортонормированным базисом разработан метод устойчивого приближенного вычисления классического решения начально-краевой задачи нестационарной фильтрации жидкости в трещиновато-пористом кольцевом пласте. Поставленная задача сводится к решению некорректной задачи нахождения решения системы линейных алгебраических уравнений при неточных данных, приближенное решение которой, построенное методом регуляризации, является устойчивым относительно ошибки задания коэффициентов дифференциальных уравнений и граничных условий, а также неточности задания правой части.

Ключевые слова: нестационарная фильтрация, трещиновато-пористый пласт, кратномасштабный анализ, дискретное вейвлет-преобразование, метод регуляризации.

Введение. Основные положения теории нестационарной фильтрации в трещиновато-пористых средах сформулированы Г.И.Баренблаттом, Ю.П.Желтовым и И.Н.Кочиной [1], а затем развиты многими исследователями [2,3]. Постановка краевых задач для неустановившейся фильтрации жидкости в трещиноватых породах уточнена в работе [4].

С учетом полученных автором в работе [5] условий разрешимости в классе гельдеровских функций начально-краевых задач для линейных систем дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами, параболических в смысле И.Г.Петровского [6], показано [7], что система дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих нестационарную фильтрацию однородной жидкости в трещиновато-пористой среде, является параболической по Петровскому системой уравнений. Кроме того, установлены условия существования и единственности решения в классе гельдеровских функций для начально-краевой задачи нестационарной фильтрации жидкости в трещиновато-пористом пласте кольцевой формы при граничных условиях на внешней границе пласта и стенках скважины, заданных с учетом наличия среды с двойной пористостью [8].

В настоящей работе для решения начально-краевой задачи нестационарной фильтрации жидкости в трещиновато-пористом кольцевом пласте применяется дискретное вейвлет-преобразование для функций из $L_2(\mathbb{R}^3)$. Для этого используется сепарабельный ортонормированный базис, рассмотренный в [9] для общего случая пространства $L_2(\mathbb{R}^n)$, $n \geq 2$. Кратно-

* Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

масштабный анализ (КМА) в $L_2(\mathbb{R}^n)$ рассмотрен в работе [10]. В качестве масштабирующей функции $\varphi(x), x \in R$, используется вейвлет Добеши [11]. Поскольку традиционные методы матричного представления в вейвлетном базисе операторов дифференцирования функции [12] предполагают точное задание масштабирующей функции и становятся малоэффективными при отсутствии аналитической (замкнутой) формы записи масштабирующей функции и вейвлетов (как это имеет место, например, для ортогональной системы вейвлетов Добеши), матричные элементы операторов дифференцирования в вейвлетном базисе операторов вычисляются с помощью рекуррентных формул [13]. Вейвлет-преобразование сводит поставленную начально-краевую задачу для системы линейных параболических уравнений, рассматриваемую для прямоугольной области с любым числом пространственных переменных к системе линейных алгебраических уравнений относительно вейвлет-коэффициентов искомого решения, для решения которой при источно заданных исходных данных используется метод регуляризации А.Н. Тихонова [14].

Для применения вейвлет-метода предварительно кольцевая область пласта приводится к прямоугольной области с помощью конформного отображения.

1. Постановка задачи. Рассмотрим краевую задачу распределения полей давлений $p_1(x,y)$ и $p_2(x,y)$, соответствующих трещинам и блокам трещино-пористой среды, в плоском кольцевом пласте:

$$\Omega = \{(x,y): (x - a_2)^2 + y^2 \leq R_k^2 \vee (x - a_1)^2 + y^2 \geq r_c^2\}, \quad (1.1)$$

где $(a_1, 0)$ – центр совершенной скважины радиуса r_c , при этом $r_c < R_k$, $1 < a_1 < a_2$ (рис.1)

Дифференциальные уравнения задачи записываются в виде системы:

$$\left. \begin{aligned} \eta \left(\frac{\partial^2 p_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p_1}{\partial y^2} \right) &= \varepsilon_1 \frac{\partial p_1}{\partial t} - \frac{(p_2 - p_1)}{\tau} \\ \eta \varepsilon_2 \left(\frac{\partial^2 p_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p_2}{\partial y^2} \right) &= \frac{\partial p_2}{\partial t} + \frac{(p_2 - p_1)}{\tau} \end{aligned} \right\}, \quad (1.2)$$

справедливой для всех $x \in Q_T = \Omega \times (0, T)$, Т-время эксплуатации скважины, где введены обозначения:

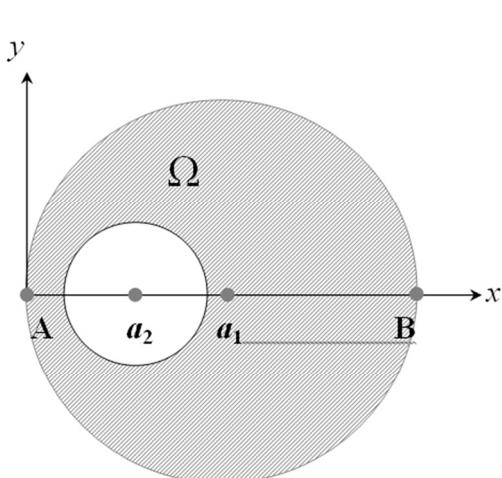


Рис.1 Кольцевой пласт Ω

$$\eta = \frac{k_1}{\mu \beta_2^*}, \quad \varepsilon_1 = \frac{\beta_1^*}{\beta_2^*}, \quad \varepsilon_2 = \frac{k_1}{k_2}, \quad \tau = \frac{\mu \beta_2^*}{a_0},$$

k_1 и k_2 – постоянные проницаемости сред 1 и 2 (1-трещины, относительно мелкие, межгрануллярные поры; 2-гораздо более крупные вторичные поры, представленные отдельными или же соединенными между собой трещинами и кавернами); $\beta_i^* = \beta_{ci}^* + m_{oi} \cdot \beta_{ж}$ – коэффициенты упругости обеих сред; $\mu = const$ – вязкость жидкости; $\beta_{ж}$ – коэффициент объемного сжатия жидкости, равный отношению относительного изменения объема жидкости ($dV_{ж}/V_{жc}$) к изменению давления (dp); $\beta_c = \frac{dV_n}{dp}$ – коэффициент упругости пласта; dV_n – изменение объема пор в элементе пласта, имеющем объем V , при изменении давления на величину dp ; пористость m_i

(вследствие малой деформации твердой фазы) зависит от давления по формуле: $m_i = m_{oi} + \beta_{ci}(p_i - p_0)$, $i=1,2$; масса жидкости (q), протекающей из блоков в трещину подчиняется соотношению: $q = a_0 \cdot \frac{\rho_0}{\mu} (p_2 - p_1)$ где a_0 -безразмерный коэффициент, зависящий от геометрических характеристик блоков проницаемости k_2 , характерного линейного размера ℓ и безразмерных величин, характеризующих форму блоков, $a_0 = \tilde{a}k_2/\ell^2$, при этом считается, что плотность жидкости ρ_0 мало изменяется на интервале давлений от p_1 до p_2 .

Начальные и граничные условия формулируются следующим образом.

В начальный момент времени $t = 0$ давления в трещинах и блоках одинаковы и равны p_0 :

$$p_1(x, y, 0) = p_0, \quad p_2(x, y, 0) = p_0 \quad (1.3)$$

На внешней границе пласта Γ_k , являющейся окружностью радиуса R_k с центром в начале координат плоскости (x, y) и представляющей собой контур питания пласта, граничное условие записывается в виде:

$$(p_2(x, y, t) - p_1(x, y, t))|_{(x,y) \in \Gamma_k} = 0, \quad t \in (0, T), \quad (1.4)$$

Условие на стенке скважины, с учетом наличия двух сред (по аналогии с граничным условием из [15]) имеет вид:

$$\int_{\Gamma_c} \left[\sigma_1 \frac{\partial p_1(x, y, t)}{\partial n} + \sigma_2 \frac{\partial p_2(x, y, t)}{\partial n} \right] ds = q(t), \quad t \in (0, T), \quad (1.5)$$

где левая часть выражается криволинейным интегралом ℓ -го рода по контуру скважины Γ_c ; s -длина дуги кривой Γ_c ; $\frac{dp_i}{dn}$ – производная по нормали к Γ_c ; $q(t)$ – дебит скважины; $\sigma_i = k_i h / \mu$ – коэффициент гидропроводности i -среды; h -толщина пласта.

Так как для любой дифференцируемой на Γ_c функции $f(x, y)$ имеем:

$$\int_{\Gamma_c} \frac{\partial f(x, y)}{\partial n} ds = r_c \int_0^{2\pi} \left(\frac{\partial f}{\partial x} \cos \varphi + \frac{\partial f}{\partial y} \sin \varphi \right) d\varphi$$

$$x = r_c \cos \varphi$$

$$y = r_c \sin \varphi$$

где $(\cos \varphi, \sin \varphi)$ – координаты единичного вектора нормали \vec{n} в текущей точке (x, y) контура Γ_c ; $\varphi = (\widehat{\vec{n}, \vec{ox}})$, то условие (1.5) в случае дифференцируемых по x и y функций $p_i(x, y, t)$ ($i=1,2$) можно записать в виде обычного интеграла Римана по переменной φ :

$$r_c \int_0^{2\pi} \left[\sigma_1 \left(\frac{\partial p_1}{\partial x} \cos \varphi + \frac{\partial p_1}{\partial y} \sin \varphi \right) + \sigma_2 \left(\frac{\partial p_2}{\partial x} + \frac{\partial p_2}{\partial y} \sin \varphi \right) \right] d\varphi = q(t), \quad t \in (0, T) \quad (1.6)$$

Применим к интегралу в (1.6) квадратурную формулу трапеции с постоянным шагом H и оценкой остаточного члена

$$R = A_2 \frac{(2\pi)^2}{12N^2}$$

где $A_2 = \max_{[0, 2\pi]} |f''(\varphi)|$, $f''(\varphi)$ – вторая производная подинтегральной функции $f(\varphi)$;

N -число разбиений отрезка $[0,2\pi]$ на части длиной H .

Путем выбора достаточно большого N можно достичь точности используемой для интеграла в (1.6) квадратурной формулы, которая равна точности задания дебита $q(t)$ на интервале $(0,T)$. Обозначая через M_v точку с координатами (x_v, y_v, t) , где $x_v = r_c \cdot \cos\varphi_v$, $y_v = r_c \cdot \sin\varphi_v$ ($v=0,1,\dots,N$), условие (1.16) с точностью \mathbb{R} , определенной выше, можно записать в виде равенства:

$$r_c H \left\{ \frac{1}{2} \left[\sigma_1 \left(\frac{\partial p_1}{\partial x} \cos\varphi + \frac{\partial p_1}{\partial y} \sin\varphi \right) + \sigma_2 \left(\frac{\partial p_2}{\partial x} \cos\varphi + \frac{\partial p_2}{\partial y} \sin\varphi \right) \right] \Big|_{M_0} + \frac{1}{2} \left[\sigma_1 \left(\frac{\partial p_1}{\partial x} \cos\varphi + \frac{\partial p_1}{\partial y} \sin\varphi \right) + \sigma_2 \left(\frac{\partial p_2}{\partial x} \cos\varphi + \frac{\partial p_2}{\partial y} \sin\varphi \right) \right] \Big|_{M_N} + \sum_{v=1}^{N-1} \left[\sigma_1 \left(\frac{\partial p_1}{\partial x} \cos\varphi + \frac{\partial p_1}{\partial y} \sin\varphi \right) + \sigma_2 \left(\frac{\partial p_2}{\partial x} \cos\varphi + \frac{\partial p_2}{\partial y} \sin\varphi \right) \right] \Big|_{M_v} \right\} = q(t), t \in (0, T) \quad (1.7)$$

Как показано в [7], для существования и единственности классического решения (КР) задачи (1.2-1.5) (т.е. решения, для которого непрерывны все производные, входящие в формулировку задачи) достаточно предположить, что

$$q(t) \in H^{1+\frac{\ell}{2}}(Q_T), \quad (\ell > 0) \quad (1.8)$$

где $H^{1+\frac{\ell}{2}}(Q_T)$ - класс функций от t , удовлетворяющих условию Гельдера с показателем $\alpha = 1 + \frac{\ell}{2}$ (ℓ -любое положительное число). Тогда решение $\vec{p}(x,y,t) = (p_1(x,y,t), p_2(x,y,t))$ задачи (1.2) – (1.5) будет принадлежать классу $H^{2+\ell, 1+\frac{\ell}{2}}$ с гельдеровыми показателями $2 + \ell$ и $1 + \frac{\ell}{2}$ по пространственной векторной переменной $\vec{x} = (x, y)$ и временной переменной t , соответственно, т.е. $\vec{p}(x,y,t)$ является классическим решением.

2. Конформное отображение кольцевой области в прямоугольную.

На рис.1 могут представиться два случая: 1) $a_1 \neq a_2$ и 2) $a_1 = a_2$

Случай 1: $a_1 \neq a_2$

Будем полагать, что $a_1 > a_2 > 1$. В противном случае, т.е. при $a_2 > a_1 > 1$, после преобразования $x' = -x + a_2 + \delta + 1$ ($0 < \delta < a_2$)

$x = a_1 \rightarrow x' = a'_1 = (a_2 - a_1) + 1 + \delta$ и $x = a_2 \rightarrow x' = a'_2 = 1 + \delta$, обеспечивается выполнение неравенства $a'_1 > a'_2 > 1$.

Воспользуемся конформным отображением [16], табл.7.9-2, рис.2.1:

$$w = \ln \frac{z+1}{z-1}, \quad (2.1)$$

которое отображает кольцевую область Ω изменения комплексной переменной $z = x + iy$ ($i = \sqrt{-1}$) в прямоугольную область Ω' изменения комплексной переменной $w = u + iv$, где $c_1 \leq u \leq c_2$, $-\pi < v < \pi$. При этом центры O_1 и O_2 окружностей, ограничивающих область Ω , должны находиться в точках $(a_i, 0)$, где $a_i = \operatorname{cthc}_i$, а радиусы этих окружностей $r_i = \frac{1}{\operatorname{shc}_i}$ ($i = 1, 2$)

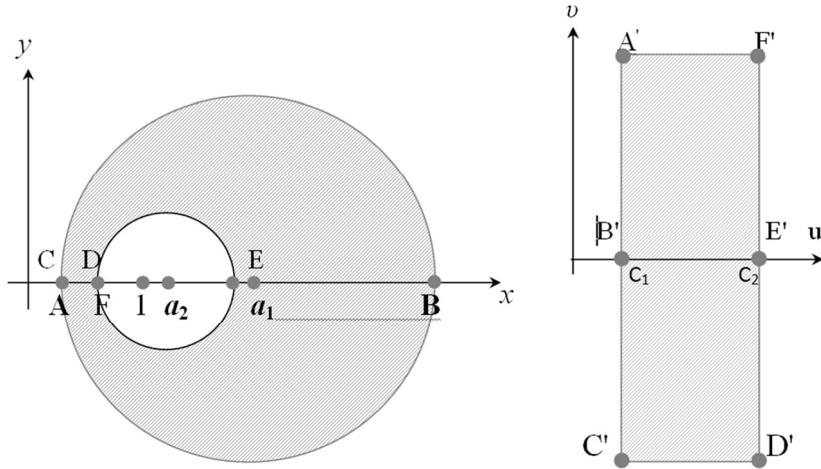


Рис.2 $w = \ln \frac{z+1}{z-1}$; центры окружностей в точках $z_i = cth \cdot c_i$, $r_i = \frac{1}{sh c_i}$ ($i=1,2$).

Задавая значения $r_1 = R_k$, $r_2 = r_c$, находим

$$c_i = \ln \left[\frac{1}{r_i} (1 + \sqrt{1 + r_i^2}) \right] \quad (i=1,2).$$

Полагая $r_2 \ll 1$ и $r_1 \gg 1$, получим $c_2 > c_1 > 0$. Тогда

$$a_i = th c_i = \frac{e^{c_i} - e^{-c_i}}{e^{c_i} + e^{-c_i}} = \frac{1 - e^{-2c_i}}{1 + e^{-2c_i}}$$

откуда ясно, что $a_1 > a_2 > 1$.

Из (2.1) находим

$$u = \frac{1}{2} \ln \left\{ \frac{(x^2 - 1 + y^2)^2 + 4y^2}{[(x - 1)^2 + y^2]^2} \right\},$$

$$v = \arccos \left\{ e^{-\frac{1}{2}} \frac{[(x - 1)^2 + y^2](x^2 - 1 + y^2)}{(x^2 - 1 + y^2)^2 + 4y^2} \right\}$$

Произведя теперь преобразование

$$x' = \frac{u - c_1}{c_2 - c_1}, \quad y' = \frac{v + \pi}{2\pi}, \quad (2.3)$$

получим в плоскости (x', y') квадрат

$$\Omega' = \{(x', y'): 0 \leq x' \leq 1, 0 \leq y' \leq 1\}$$

Случай 2: $a_1 = a_2$

В этом случае область Ω ограничена двумя концентрическими окружностями с радиусами r_c и R_k . Не уменьшая общности, положим

$r_c = 1$ и $R_k = R_0$ ($R_0 \gg 1$), чего всегда можно добиться уменьшением масштаба по осям x и y в r_c раз, при этом $R_0 = R_k/r_c$

С помощью преобразования

$$w = \frac{z-a}{az-1} \quad (2.4)$$

отобразим область Ω , лежащую в плоскости комплексной переменной $z = x + iy$ (рис.3, а), в область Ω' плоскости комплексного переменного $w = x + iv$ (рис.3.б), ограниченную внешней окружностью радиуса 1 с центром в начале координат и внутренней окружностью радиуса $r'_c = \frac{1}{2R_0}$, проходящей через точки $(u_1, 0)$, $(u_2, 0)$ где u_1 и u_2 связаны с R_0 и константой a соотношениями:

$$R_0 = \frac{1-u_1 u_2 + \sqrt{(1-u_1^2)(1-u_2^2)}}{u_1-u_2}, \quad (2.5)$$

$$a = \frac{1+u_1 u_2 + \sqrt{(1-u_1^2)(1-u_2^2)}}{u_1+u_2}, \quad (2.6)$$

при этом $a > 1$ и, если u_1, u_2 удовлетворяют неравенству

$$-1 < u_2 < u_1 < 1, \quad (2.7)$$

то $R_0 > 1$

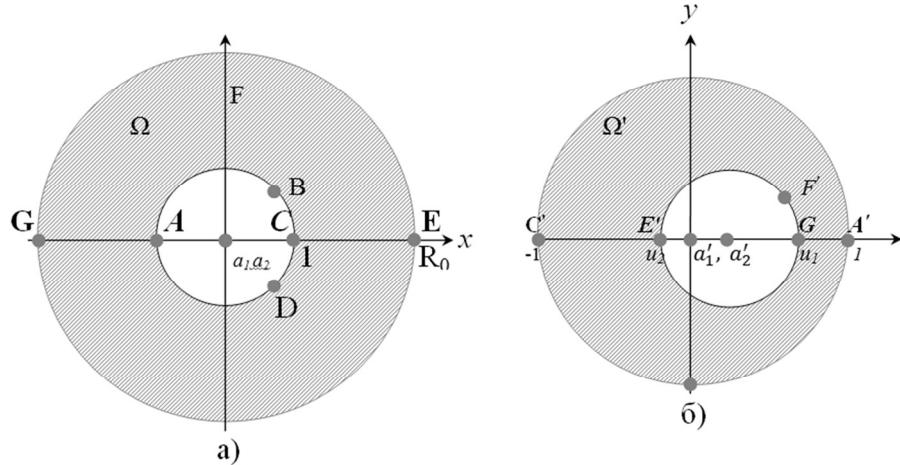


Рис.3.

$$w = \frac{z-a}{az-1}; \quad a = \frac{1+u_1 u_2 + \sqrt{(1-u_1^2)(1-u_2^2)}}{u_1+u_2}; \quad R_0 = \frac{1-u_1 u_2 + \sqrt{(1-u_1^2)(1-u_2^2)}}{u_1-u_2}$$

$w > 1$ и $R_0 > 1$, если $-1 < u_2 < u_1 < 1$

Так как $\frac{u_1-u_2}{2} = r'_c$ и $r'_c = \frac{1}{2R_0}$, из (2.5) находим

$$u_2 = -r'_c + \sqrt{\frac{1}{2} - (r'_c)^2}, \quad u_1 = r'_c + \sqrt{\frac{1}{2} - (r'_c)^2}, \quad (2.8)$$

а из (2.6) следует, что

$$a = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{2R_0^2}}} > 1 \text{ и } r'_c \ll 1 \text{ при } R_0 \gg 1, \quad (2.9)$$

при этом

$$a'_1 = 0, \quad a'_2 = \frac{u_1 - u_2}{2} = r'_c = \frac{1}{2R_0} = \frac{r_c}{2R_k} > 0 \quad (2.10)$$

Осуществляя теперь замену переменных

$$x'' = -u + a'_2 + \delta + 1, \quad y'' = v \quad (2.11)$$

с константой δ , $0 < \delta < a'_2$, получим в плоскости $z'' = x'' + iy''$ область Ω'' , аналогичную области Ω на рис.1 с центрами внешней (a''_1) и внутренней (a''_2) окружностей

$$a''_1 = a'_2 + \delta + 1, \quad a''_2 = \delta + 1, \quad (2.12)$$

при этом $a''_1 > a'_2 > 1$. Таким образом, случай 2 сводится к случаю 1, рассмотренному выше, и, следовательно, в обоих случаях область Ω можно привести к прямоугольной области Ω' в плоскости (x', y') :

$$\Omega' = \{(x', y'): 0 \leq x' \leq 1, 0 \leq y' \leq 1\}$$

3. Кратномасштабный анализ (КМА) и ортонормированный базис вейвлетов в $L_2(\mathbb{R}^n)$.

Наиболее общим методом построения вейвлетов является так называемый кратномасштабный анализ. Это понятие введено и исследовано в [18].

По определению [10], КМА в $L_2(\mathbb{R}^n)$ называется –регулярным ($r \in \mathbb{N}$); (\mathbb{N} –множество натуральных чисел), если функция $\varphi(x)$ в свойстве \mathcal{B}^0 может быть выбрана так, что

$$|\partial^\alpha \varphi(x)| \leq C_m(1 + |x|)^{-m} \quad (3.1)$$

для любого $m \in \mathbb{N}$ и для любого мультииндекса $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$, удовлетворяющего неравенству $|\alpha| \leq r$, где $|\alpha| = \alpha_1 + \dots + \alpha_n$.

Это означает, что при $|\alpha| \leq r$: 1) $\partial^\alpha \varphi(x) \in L_\infty(\mathbb{R}^n)$; 2) $\partial^2 \varphi(x)$ быстро уменьшается при $x \rightarrow \pm\infty$; 3) $\int_{\mathbb{R}^n} P_n(x) \partial^\alpha \varphi(x) dx = 0$ для любого полинома $P_n(x)$ степени n , $0 < n \leq m$; 4) $\int_{\mathbb{R}^n} \partial^\alpha \varphi(x) dx = 1$.

Если φ порождает КМА, то φ называют масштабирующей функцией (scaling function) [10,11].

Ортонормированный базис (ОНБ) в $L_2(\mathbb{R}^n)$ ($n > 1$) строится на основании доказанной в [19] теоремы (сформулированной в [10]):

Пусть $\{V_j\}_{j \in \mathbb{Z}}$ q -регулярный КМА в $L_2(\mathbb{R}^n)$, W_j – ортогональное дополнение V_j до V_{j+1} . Тогда существует $q=2^n-1$ функций $\{\psi_\ell(x)\}_{\ell=1,q}$ из V_1 со следующими свойствами:

$$|\partial^\alpha \psi_\ell(x)| \leq C_m(1 + |x|)^{-m} \quad (3.2)$$

для любого мультииндекса $\alpha \in \mathbb{N}^n$ с $|\alpha| \leq r$, любого $x \in \mathbb{R}^n$ и любого $m \geq 1$, при этом $|\psi_\ell(x - k)|: 1 \leq \ell \leq q, k \in \mathbb{Z}^n\}$ является ОНБ в W_0 .

Из этой теоремы вытекает следствие [10]: набор функций $\{2^{nj} \psi_\ell(2^j x - k): 1 \leq \ell \leq q, k \in \mathbb{Z}^n, j \in \mathbb{Z}\}$ является ОНБ в $L_2(\mathbb{R}^n)$.

Рассмотрим сначала двумерный случай ($n=2$), для более высоких размерностей ситуация аналогична. В отличие от одномерного случая будем обозначать жирным шрифтом пространства V_j и W_j . Используя знак \otimes для тензорного произведения пространств, запишем V_{j+1} при $n=2$ как

$$\begin{aligned} V_{j+1} &= V_{j+1} \otimes V_{j+1} = (V_j \oplus W_j) \otimes (W_j \oplus W_j) = \\ &= (V_j \otimes V_j) \oplus (V_j \otimes W_j) \oplus (W_j \otimes V_j) \oplus (W_j \otimes W_j) = V_j \oplus W_j \end{aligned} \quad (3.3)$$

Следовательно, \mathbf{W}_j состоит из трех частей $\mathbf{W}_j^{(1)} = V_j \otimes W_j$, $\mathbf{W}_j^{(2)} = W_j \otimes V_j$ и $\mathbf{W}_j^{(3)} = W_j \otimes W_j$ с ортонормированными базисами, заданными соответственно с помощью произведений $\varphi_{j,n_1}(x_1) \cdot \psi_{j,n_2}(x_2)$, $\psi_{j,n_1}(x_1) \cdot \varphi_{j,n_2}(x_2)$, $\psi_{j,n_1}(x_1) \cdot \psi_{j,n_2}(x_2)$. Так мы приходим к определению трех вейвлетов $\varphi(x_1)\psi(x_2)$, $\psi(x_1)\varphi(x_2)$ и $\psi(x_1)\psi(x_2)$, образующих после сдвигов x_1 и x_2 на n_1 и n_2 ОНБ в \mathbf{W}_0 .

Для $n > 2$ составные части множества \mathbf{W}_j получаются после применения, как и в (3.4), дистрибутивного закона для раскрытия тензорного произведения

$$\mathbf{V}_{j+1} = V_{j+1} \otimes V_{j+1} \otimes \dots \otimes V_{j+1} = (V_j \oplus W_j) \times (V_j \oplus W_j) \otimes \dots \otimes (V_j \oplus W_j) \quad (3.4)$$

Для нахождения ОНБ в составных подпространствах $W_j^{(q)}$ ($q = 1, \dots, 2^n - 1$) пространства W_j в $L_2(\mathbb{R}^n)$ удобно пользоваться следующим алгоритмом [9]: при $n=3$ циклическим перебором цифр 1,2,3 образуем наборы: $(\psi, \psi, \psi) = \{(1, 2, 3)\}$; Соответствующий набор из 7-ми вейвлетов записывается в виде:

- 1) $\psi(x_1)\psi(x_2)\psi(x_3)$; 2) $\psi(x_1)\psi(x_2)\varphi(x_3)$; 3) $\psi(x_2)\psi(x_3)\varphi(x_1)$; 4) $\psi(x_3)\psi(x_1)\varphi(x_2)$;
- 5) $\psi(x_1)\varphi(x_2)\varphi(x_3)$; 6) $\psi(x_2)\varphi(x_3)\varphi(x_1)$; 7) $\psi(x_3)\varphi(x_1)\varphi(x_2)$

При $n=4$ циклическим перебором цифр 1,2,3,4 образуем следующие наборы:

$(\psi, \psi, \psi, \psi) = \{(1, 2, 3, 4)\}$; $(\psi, \psi, \psi | \varphi) = \{(1, 2, 3 | 4), (2, 3, 4 | 1), (3, 4, 1 | 2), (4, 1, 2 | 3)\}$; $(\psi, \psi | \varphi, \varphi) = \{(1, 2 | 3, 4), (2, 3 | 4, 1), (3, 4 | 1, 2), (1, 3 | 4, 2), (2, 4 | 3, 1)\}$,

$(\psi | \varphi, \varphi, \varphi) = \{(1 | 2, 3, 4), (2 | 3, 4, 1), (3 | 4, 1, 2), (4 | 1, 2, 3)\}$; все наборы, входящие в $(\varphi, \varphi | \psi, \psi)$, пересекаются с наборами $(\psi, \psi | \varphi, \varphi)$ и потому не рассматриваются. Таким образом, получим набор из 15-ти вейвлетов:

- 1) $\psi(x_1)\psi(x_2)\psi(x_3)\psi(x_4)$; 2) $\psi(x_1)\psi(x_2)\psi(x_3)\varphi(x_4)$; 3) $\psi(x_2)\psi(x_3)\psi(x_4)\varphi(x_1)$;
- 4) $\psi(x_3)\psi(x_4)\psi(x_1)\varphi(x_2)$; 5) $\psi(x_4)\psi(x_1)\psi(x_2)\varphi(x_3)$; 6) $\psi(x_1)\psi(x_2)\varphi(x_3)\varphi(x_4)$;
- 7) $\psi(x_2)\psi(x_3)\varphi(x_4)\varphi(x_1)$; 8) $\psi(x_3)\psi(x_4)\varphi(x_1)\varphi(x_2)$; 9) $\psi(x_4)\psi(x_1)\varphi(x_2)\varphi(x_3)$;
- 10) $\psi(x_1)\psi(x_3)\varphi(x_4)\varphi(x_2)$; 11) $\psi(x_2)\psi(x_4)\varphi(x_3)\varphi(x_1)$; 12) $\psi(x_1)\varphi(x_2)\varphi(x_3)\varphi(x_4)$;
- 13) $\psi(x_3)\varphi(x_3)\varphi(x_4)\varphi(x_1)$; 14) $\psi(x_3)\varphi(x_4)\varphi(x_1)\varphi(x_2)$; 15) $\psi(x_4)\varphi(x_1)\varphi(x_2)\varphi(x_3)$.

Аналогичным образом при любом n для нахождения вейвлетов путем перебора цифр 1,2,..., n строятся наборы $\psi^n; \psi^{n-1}\varphi, \psi^{n-2}\varphi^2, \dots, \psi^{n-k}\varphi^k, \dots, \psi\varphi^{n-1}$ и из них выбирается набор из непересекающихся элементов: $\{\psi_q(x_1, \dots, x_n)\}$ ($q = 1, \dots, 2^n - 1$).

Полный набор функций

$$\{\varphi_j(x_1, \dots, x_n), \psi_{qj,k}(x_1, \dots, x_n); (q = \overline{1, 2^n - 1}, j \geq 0, k \in \mathbb{Z}^n)\} \quad (3.7)$$

где $\varphi_j(x_1, \dots, x_n) = \varphi_j(x_1) \cdot \varphi_j(x_2) \cdot \dots \cdot \varphi_j(x_n)$, $\psi_{qj,k}(x_1, \dots, x_n) = 2^{nj/2} \psi_q(2^j x_1 - k_1, \dots, 2^j x_n - k_n)$ образует ОНБ в $L_2(\mathbb{R}^n)$. Это следует из свойств ортогональности:

$$\langle \psi_{j,k}(x), \varphi_{l,m}(x) \rangle = 0 \quad (j \geq 1; j, l, k, m \in \mathbb{Z});$$

$$\langle \psi_{j,k}(x), \psi_{l,m}(x) \rangle = \delta_{j,l} \cdot \delta_{k,m} \quad (j, l, k, m \in \mathbb{Z}); \quad x \in R \quad (3.8)$$

Здесь $\langle \cdot, \cdot \rangle$ - знак скалярного произведения в $L_2(\mathbb{R}^n)$; $\delta_{j,l} \cdot \delta_{k,m}$ - символы Кронекера.

В качестве $\varphi(x)$ обычно принимают масштабирующую функцию Добеши $\varphi(x) = M\varphi(x)$ [11] с компактным носителем ширины $L=2M-1$ (М-целое положительное число). Так как такая функция $\varphi(x)$, $x \in \mathbb{R}$, финитна на $[0, L]$ при любом $M \geq 1$ и дважды непрерывно дифференцируема на $[0, L]$ при $M \geq 7$ [20], то последовательность пространств $\{\mathbf{V}_j\}_{j \geq 0}$ при вы-

бюре при фиксированном j базиса $\{\varphi_j(x - k)\}_{k \in \mathbb{Z}^n}$ где $\varphi_j(x - k) = \varphi_j(x_1 - k_1)\varphi_j(x_2 - k_2) \cdots \varphi_j(x_n - k_n)$ на основе функции $\varphi(x) = {}_M\varphi(x)$ с $L=2M-1$, $M \geq 7$, будет порождать r -регулярный КМА в $L_2(\mathbb{R}^n)$ с $r > s = 2$.

Для любой функции $f(x)$ из $L_2(\mathbb{R}^n)$ справедливо разложение [10]:

$$f(x) = \sum_{k \in \mathbb{Z}^n} \langle f, \varphi_{0,k} \rangle \varphi_{0,k}(x) + \sum_{\lambda \in \cup_{j \geq 0} \Lambda_j} \langle f, \psi_\lambda \rangle \psi_\lambda(x), \quad (3.9)$$

где $\varphi_{0,k}(x) = \prod_{i=1}^n \varphi(x_i - k_i)$; $\psi_\lambda(x) = \varphi_{l,j,k}(x) = \varphi_{l,j}(x - k)$,

$$\Lambda_j = \{\lambda = (l, j, k) : 1 \leq l \leq 2^n - 1, k \in \mathbb{Z}^n\}$$

Из [10] следует, что если КМА r -регулярен с $r > s = 2$ в $L_2(\mathbb{R}^3)$ и $P_{j*}f$ есть $j*$ -частичная сумма ряда (3.10) для функции f из пространства $C^2(\mathbb{R}^3)$, то, с учетом вложения $C^2(\mathbb{R}^3) \subset W_2^2(\mathbb{R}^3)$, $P_{j*}f$ сходится к f по $W_2^s(\mathbb{R}^3)$ - норме:

$$\lim_{j* \rightarrow \infty} \|\partial^\alpha P_{j*}f - \partial^\alpha f\|_{W_2^s(\mathbb{R}^3)} = 0, \quad |\alpha| \leq 2, \quad |\alpha| = \alpha_1 + \cdots + \alpha_n. \quad (3.10)$$

причем остаток этого ряда $Q_{j*}^\alpha = \partial^\alpha f - \partial^\alpha P_{j*}f$ оценивается как

$$\|Q_{j*}^\alpha\|_{W_2^s(\mathbb{R}^3)} \leq C_2 \cdot 2^{-\frac{3}{2} + s - \alpha j*}, \quad |\alpha| \leq 2, \quad (3.11)$$

4. Дифференцирование вейвлет-разложений функций в $L_2(\mathbb{R}^3)$

Рассмотрим сначала операцию дифференцирования вейвлет-разложения функции $f(x)$ $x \in \mathbb{R}$:

$$f(x) = \sum_k s_{j,k} \varphi_{j,k}(x) + d_{j,k} \psi_{j,k}(x) \quad (4.1)$$

Обозначим через $s_{f,j,k}$ и $d_{f,j,k}$ вейвлет-коэффициенты функции $f(x)$, а через $s_{g,j,k}$ и $d_{g,j,k}$ соответствующие вейвлет-коэффициенты функций $g(x) = df/dx^n$. Коэффициенты $s_{g,j,k}$ и $d_{g,j,k}$ выражаются с помощью матричных элементов оператора дифференцирования через вейвлет-коэффициенты $s_{f,j,k}$ и $d_{f,j,k}$ по формулам [20]:

$$\begin{aligned} s_{g,j,k} &= \sum_{k'=0}^{2^j-1} T_{SS}^{(n)}(j, k; j, k') s_{f,j,k'} + T_{SD}^{(n)}(j, k; j, k') d_{f,j,k}, \\ d_{g,j,k} &= \sum_{k'=0}^{2^j-1} T_{DS}^{(n)}(j, k; j, k') s_{f,j,k} + T_{DD}^{(n)}(j, k; j, k') d_{f,j,k}, \end{aligned} \quad (4.2)$$

Рассмотрим теперь функцию трех переменных $f(x_1, x_2, x_3)$, $(x_1, x_2, x_3) \in Q$ где Q -ограниченная область в \mathbb{R}^3 . Для упрощения рассуждений будем полагать, что $Q = [0,1]^3 = [0,1] \times [0,1] \times [0,1]$.

Пусть $j_{max} = j^*$ -детальный уровень разрешения по x_1, x_2, x_3 ; для удобства рассуждения будем считать, что он один и тот же по всем переменным. Запишем базис (3.8) при $n=3$ в виде вектора

$$\xi(x_1, x_2, x_3) = \{\xi_{0,0,0,0,0}(x_1, x_2, x_3), \xi_{\ell,j;k_1,k_2,k_3}(x_1, x_2, x_3), \ell = \overline{0,8}; j = \overline{0, J^*}, k_1, k_2, k_3 = \overline{0, 2^{J-1}}\}, \quad (4.3)$$

где $\xi_{0,0,0,0,0}(x_1, x_2, x_3) = \varphi(x_1)\varphi(x_2)\varphi(x_3)$,

$$\xi_{0,j;k_1,k_2,k_3}(x_1, x_2, x_3) = \varphi_{j,k_1}(x_1)\varphi_{j,k_2}(x_2)\varphi_{j,k_3}(x_3)$$

Остальные компоненты вектора $\zeta(x_1, x_2, x_3)$ определяются в соответствии с набором вейвлет-функцией (3.6):

$$\begin{aligned}
 \xi_{1,j;k_1,k_2,k_3}(x_1, x_2, x_3) &= \psi_{j,k_1}(x_1)\psi_{j,k_2}(x_2)\psi_{j,k_3}(x_3) \\
 \xi_{2,j;k_1,k_2,k_3}(x_1, x_2, x_3) &= \psi_{j,k_1}(x_1)\psi_{j,k_2}(x_2)\varphi_{j,k_3}(x_3) \\
 \xi_{3,j;k_1,k_2,k_3}(x_1, x_2, x_3) &= \psi_{j,k_2}(x_1)\psi_{j,k_3}(x_2)\varphi_{j,k_1}(x_3) \\
 \xi_{4,j;k_1,k_2,k_3}(x_1, x_2, x_3) &= \psi_{j,k_3}(x_1)\psi_{j,k_1}(x_2)\varphi_{j,k_2}(x_3) \\
 \xi_{5,j;k_1,k_2,k_3}(x_1, x_2, x_3) &= \psi_{j,k_1}(x_1)\varphi_{j,k_2}(x_2)\varphi_{j,k_3}(x_3) \\
 \xi_{6,j;k_1,k_2,k_3}(x_1, x_2, x_3) &= \psi_{j,k_2}(x_1)\varphi_{j,k_3}(x_2)\varphi_{j,k_1}(x_3) \\
 \xi_{7,j;k_1,k_2,k_3}(x_1, x_2, x_3) &= \psi_{j,k_3}(x_1)\varphi_{j,k_1}(x_2)\varphi_{j,k_2}(x_3)
 \end{aligned}$$

Вейвлет-разложение (3.10) функции $f(x_1, x_2, x_3) \in L_2(\mathbb{R}^3)$ по базису (3.11) запишется в виде:

$$f(x_1, x_2, x_3) = \sum_{l=0}^8 \sum_{j=0}^{2^l-1} \sum_{k_1, k_2, k_3=0}^{2^l-1} z_{l,j;k_1,k_2,k_3} \xi_{l,j;k_1,k_2,k_3}(x_1, x_2, x_3) \quad (4.4)$$

где $z_{l,j;k_1,k_2,k_3} = \langle f(x_1, x_2, x_3), \xi_{l,j;k_1,k_2,k_3}(x_1, x_2, x_3) \rangle$

$$z_{0,j;k_1,k_2,k_3} = 0 \quad (j \geq 1; k_1, k_2, k_3 = \overline{0, 2^{J^*}-1})$$

Для работы с операторами, действующими на одномерные вейвлет-базисные функции $P_{j,k}(x)$ и $\psi_{j,k}(x)$, $x \in \mathbb{R}$, обычно используется их матричное представление. Для линейных операторов (и, в частности, для операторов дифференцирования) их матричное представление можно выписать в явном виде [20]. Весьма важно, что для этого достаточно на первом этапе вычислить лишь матричные элементы на некотором заданном -м уровне решения. Все остальные матричные элементы могут быть получены из них с помощью рекуррентных соотношений [13].

Рассмотрим действие оператора $T^{(n)} = \frac{d^n}{dx^n}$ ($n \geq 1$) на функцию $f(x)$, $x \in \mathbb{R}$, в рамках КМА в $L_2(\mathbb{R})$. Обозначим матричные элементы этого оператора через $T_{SS}^{(n)}(j, k; j, k')$, $T_{SD}^{(n)}(j, k; j, k')$, $T_{DS}^{(n)}(j, k; j, k')$, $T_{DD}^{(n)}(j, k; j, k')$. Здесь

$$T_{SS}^{(n)}(j, k; j, k') = \int_{\mathbb{R}} \varphi_{j,k}(x) (T^{(n)} \varphi_{j,k'}(x)) dx, \quad (4.5)$$

замена нижних индексов $S \rightarrow D$ ($D \rightarrow S'$) в левой части (4.5) соответствует подстановке $(\varphi \rightarrow \psi)(\psi \rightarrow \varphi)$ под знаком интеграла в правой части. Обозначим, далее, $r_{j,l;j,l'}^{(n)} = T_{SS}^{(n)}(j, l; j, l')$, $r_k^{(n)} = T_{SS}^{(n)}(0, 0; 0, k)$. Очевидно, что $r_{j,l;j,l'}^{(n)} = r_{j,k}^{(n)}|_{k=l'-l}$, где $r_{j,k}^{(n)} = r_{j,0;j,k}^{(n)}$. С помощью замены $2x = \tilde{x}$ и рекуррентных соотношений для функций $\varphi_{j,k}(x)$ [20] получим уравнение, связывающее элементы $r_{j,k}^{(n)}$ одного и того же уровня

$$r_{j,k}^{(n)} = 2 \sum_i \sum_m h_i h_m r_{j,2k-i+m}^{(n)} \quad (4.6)$$

С помощью той же замены можно получить уравнение, связывающее матричные элементы соседних уровней

$$r_{j+1,l;j+1,l'}^{(n)} = 2^n r_{j,l;j,l'}^{(n)} \quad (4.7)$$

Коэффициенты $h_i h_m$ в (4.6) входят в представление масштабирующей функции До-беши $\varphi(x) = {}_M\varphi(x)$, определяемое формулой [11]

$$\varphi(x) = \sqrt{2} \sum_{m=0}^L h_m \cdot \varphi(2x - m) \quad (4.8)$$

Последовательность $\{\varphi_{j,k}(x)\}_{k \in \mathbb{Z}}$, где $\varphi_{j,k}(x) = 2^{j/2}\varphi(2^j x - k)$, образует ОНБ в V_j , где $\{V_j\}_{j \in \mathbb{Z}}$, $L_2(\mathbb{R})$ -последовательность замкнутых подпространств, образующих КМА в \mathbb{R} . В пространствах W_j , являющихся дополнением к V_j в V_{j+1} ($V_{j+1} = V_j \oplus W_j$; \oplus – знак прямой суммы), ОНБ служит последовательность функций $\{\psi_{j,k}(x)\}_{k \in \mathbb{Z}}$, где

$$\psi_{j,k}(x) = 2^{j/2}\psi(2^j x - k)$$

$$\psi(x) = \sqrt{2} \sum_{m=0}^L g_m \cdot \varphi(2x - m), \quad g_m = (-1)^m h_{L-m} \quad (4.9)$$

Коэффициенты h_m, g_m в (4.8)-(4.9) удовлетворяют следующей системе уравнений [19]:

$$\sum_k h_k \cdot h_{k+2m} = \delta_{0,m}, \quad (4.10)$$

$$\sum_k h_k \cdot g_{k+2m} = 0, \quad (4.11)$$

$$\sum_k (-1)^k \cdot k^n \cdot h_k = 0, \quad (n = 0, 1, \dots, M-1), \quad (4.12)$$

$$\sum_k h_k = \sqrt{2}, \quad (4.13)$$

Система линейных алгебраических уравнений (4.10)-(4.13) однозначно определяет коэффициенты h_k для $\varphi(x) = {}_M\varphi(x)$. Значения этих коэффициентов для $M = \overline{2,10}$ приведены в [11].

Из (4.5) при $j=0$ для величин $r_k^{(n)}$ получим систему уравнений:

$$r_k^{(n)} = 2 \sum_i \sum_m h_i h_m r_{2k-i+m}^{(n)} \quad (k = 0, 1, \dots, L-2) \quad (4.14)$$

Коэффициенты $r_k^{(n)}$ обладают свойством симметрии:

$$r_k^{(n)} = (-1)^k r_{-k}^{(n)} \quad (k = 0, 1, \dots, L-2) \quad (4.15)$$

С учетом нормировки

$$\sum_{m=0}^L k \cdot r_k^{(n)} = n! \quad (4.16)$$

и соотношений (4.15) система уравнений (4.14) представляется матричным уравнением

$$Au = f, \quad (4.17)$$

где $u = (r_0^{(n)}, r_1^{(n)}, \dots, r_{L-2}^{(n)})$; A – матрица коэффициентов размерности $L' \times L'$ ($L' = L-1$), элементы которой выражаются через произведения $h_i h_m$; $f = (1, 0, \dots, 0)^T$ – $(L' \times 1)$ -вектор-столбец правых частей уравнений (4.14). При условии $L' > n$ уравнение (4.17) имеет единственное точное решение. Как показано в [13], матричные элементы оператора дифференцирования $T^n = \frac{d^n}{dx^n}$ выражаются рекуррентно через матричные элементы оператора дифференцирования $T^{(n-1)} = \frac{d^{n-1}}{dx^{n-1}}$. Решив уравнение (4.17) для $n=1$, по элементам $r_{0,l;0,l'}^{(1)} =$

$r_k^{(1)}|_{k=l'-l}$ можно восстановить все матричные элементы $T_{SS}^{(1)}(j, l; j, l') = r_{j,l;j,l'}^{(1)}$ ($j \geq 1$, используя рекуррентное соотношение (4.7). Остальные матричные элементы при $n=1$ определяются следующим образом. Осуществляя в эквивалентном (4.6) при $n=1$ выражении

$$T_{SS}^{(1)}(j, l; j, l') = 2 \sum_i \sum_m h_i h_m r_{j,2l+i, 2l'+m}^{(1)} \quad (4.18)$$

замену индексов S→D и соответствующую подстановку h→g получим для всех $j \geq 0$ представления для матричных элементов $T_{SD}^{(1)}(j, l; j, l')$, $T_{DS}^{(1)}(j, l; j, l')$ и $T_{SS}^{(1)}(j, l; j, l')$.

Рассмотрим разложение (4.4) функции $f(x_1, x_2, x_3)$ в $L_2(\mathbb{R}^3)$ по базису (4.3) и установим связь вейвлет-коэффициентов частных производных $\partial^n f / \partial x_i^n$ ($i = 1, 2, 3$) с вейвлет-коэффициентами функции f .

Представим (4.3) в виде разложения по вейвлет-функциям переменной x_1 и применим формулу (4.2) дифференцирования вейвлет разложения функции одной переменной с использованием матричных элементов. Тогда для производных $\partial^n f / \partial x_i^n$, $n \geq 1$, получим разложение по базису (3.11) с коэффициентами $z^{x_1^n}$ при $\xi_{l,j;k_1,k_2,k_3}$, которые для всех $j \geq 1$, $k_1, k_2, k_3 = \overline{0, 2^J - 1}$ будут линейно выражаться через коэффициенты разложения (4.4)

$$\begin{aligned} z_{0,0;0,0,0}^{x_1^n} &= T_{SS}^{(n)}(0,0;0,0)z_{0,0;0,0,0} + T_{DS}^{(n)}(0,0;0,0)z_{5,0;0,0,0}; \\ z_{1,0;0,0,0}^{x_1^n} &= T_{DD}^{(n)}(0,0;0,0)z_{1,0;0,0,0} + T_{DS}^{(n)}(0,0;0,0)z_{3,0;0,0,0}; \\ z_{2,0;0,0,0}^{x_1^n} &= T_{DD}^{(n)}(0,0;0,0)z_{2,0;0,0,0} + T_{DS}^{(n)}(0,0;0,0)z_{6,0;0,0,0}; \\ z_{3,0;0,0,0}^{x_1^n} &= T_{SD}^{(n)}(0,0;0,0)z_{1,0;0,0,0} + T_{SS}^{(n)}(0,0;0,0)z_{3,0;0,0,0}; \\ z_{4,0;0,0,0}^{x_1^n} &= T_{DD}^{(n)}(0,0;0,0)z_{4,0;0,0,0} + T_{DS}^{(n)}(0,0;0,0)z_{7,0;0,0,0}; \\ z_{5,0;0,0,0}^{x_1^n} &= T_{DS}^{(n)}(0,0;0,0)z_{0,0;0,0,0} + T_{DD}^{(n)}(0,0;0,0)z_{5,0;0,0,0}; \\ z_{6,0;0,0,0}^{x_1^n} &= T_{SD}^{(n)}(0,0;0,0)z_{2,0;0,0,0} + T_{SS}^{(n)}(0,0;0,0)z_{6,0;0,0,0}; \\ z_{7,0;0,0,0}^{x_1^n} &= T_{SD}^{(n)}(0,0;0,0)z_{4,0;0,0,0} + T_{SS}^{(n)}(0,0;0,0)z_{7,0;0,0,0}; \end{aligned}$$

$$z_{0,j;k_1,k_2,k_3}^{x_1^n} = \sum_{k'_1=0}^{2^{j-1}} T_{SS}^{(n)}(j, k_1; j, k'_1)z_{0,j;k_1,k_2,k_3} + T_{SD}^{(n)}(j, k_1; j, k'_1)z_{5,j;k_1,k_2,k_3};$$

$$z_{1,j;k_1,k_2,k_3}^{x_1^n} = \sum_{k'_1=0}^{2^{j-1}} T_{DD}^{(n)}(j, k_1; j, k'_1)z_{1,j;k_1,k_2,k_3} + T_{DS}^{(n)}(j, k_1; j, k'_1)z_{3,j;k_1,k_2,k_3};$$

$$z_{2,j;k_1,k_2,k_3}^{x_1^n} = \sum_{k'_1=0}^{2^{j-1}} T_{DD}^{(n)}(j, k_1; j, k'_1)z_{2,j;k_1,k_2,k_3} + T_{DS}^{(n)}(j, k_1; j, k'_1)z_{6,j;k_1,k_2,k_3};$$

$$z_{3,j;k_1,k_2,k_3}^{x_1^n} = \sum_{k'_1=0}^{2^{j-1}} T_{SD}^{(n)}(j, k_1; j, k'_1)z_{1,j;k_1,k_2,k_3} + T_{DD}^{(n)}(j, k_1; j, k'_1)z_{3,j;k_1,k_2,k_3};$$

$$z_{4,j;k_1,k_2,k_3}^{x_1^n} = \sum_{k'_1=0}^{2^{j-1}} T_{DD}^{(n)}(j, k_1; j, k'_1)z_{4,j;k_1,k_2,k_3} + T_{DS}^{(n)}(j, k_1; j, k'_1)z_{7,j;k_1,k_2,k_3};$$

$$z_{5,j;k_1,k_2,k_3}^{x_1^n} = \sum_{k'_1=0}^{2^{j-1}} T_{DS}^{(n)}(j, k_1; j, k'_1)z_{0,j;k_1,k_2,k_3} + T_{DD}^{(n)}(j, k_1; j, k'_1)z_{5,j;k_1,k_2,k_3};$$

$$\begin{aligned} z_{6,j;k_1,k_2,k_3}^{x_1^n} &= \sum_{k'_1=0}^{2^{j-1}} T_{SD}^{(n)}(j, k_1; j, k'_1) z_{2,j;k_1,k_2,k_3} + T_{SS}^{(n)}(j, k_1; j, k'_1) z_{6,j;k_1,k_2,k_3}; \\ z_{7,j;k_1,k_2,k_3}^{x_1^n} &= \sum_{k'_1=0}^{2^{j-1}} T_{SD}^{(n)}(j, k_1; j, k'_1) z_{4,j;k_1,k_2,k_3} + T_{SS}^{(n)}(j, k_1; j, k'_1) z_{7,j;k_1,k_2,k_3}. \end{aligned} \quad (4.19)$$

Аналогичным образом строятся вейвлет-коэффициенты $z_{l,j;k_1,k_2,k_3}^{x_2^n}$ и $z_{l,j;k_1,k_2,k_3}^{x_3^n}$.

5. Решение системы линейных алгебраических уравнений методом регуляризации с применением принципа невязки.

Подставляя в уравнения (1.2), (1.3), (1.4) и (1.7) вместо $p_1(x, y, t)p_2(x, y, t)$ и $q(t)$ их вейвлетные разложения, получим систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ)

$$Az = u, \quad (5.1)$$

где $z = (z_1, z_2, \dots, z_n)^T$ - вектор-столбец неизвестных вейвлет-коэффициентов $z_{l,j;k_1,k_2,k_3}$ ($l = \overline{0,7}; j = \overline{0, J^*}, k_1, k_2, k_3 = \overline{0, 2^{J-1}}$) функций $p_1(x, y, t)$ и $p_2(x, y, t)$ с размерностью $n = 2 \cdot 8 \left[\sum_{j=0}^{J^*} (2^j - 1) \right] = 16(2^{J^*+1} - j - 2)^3$; $u = u_1, \dots, u_m$ - вектор-столбец правых частей, соответствующих дифференциальному уравнению (1.2), 2-м начальным условиям (1.3) и краевым условиям (1.4) и (1.7)), с размерностью $m=5$; A -матрица с элементами $a_{ij}, A = \{a_{ij}\}$, где $j=1,2,\dots,n; i=1,2,\dots,m$, и число n не обязано быть равным числу m . При построении операторов дифференцирования вейвлет-разложений функций $p_1(x, y, t)p_2(x, y, t)$ будем пользоваться формулами (4.17) - (4.19), полагая $x_1=x$, $x_2=y$, и $x_3=t$, а для функции $q(t)$ - формулой дифференцирования (4.2) для функции одной переменной.

При решении системы уравнений (5.1) будем рассматривать ошибки округления, связанные с вычислительной погрешностью из-за конечной разрядности ЭВМ, с той же точки зрения, как и ошибки исходных данных и первоначальной записи их в ЭВМ. В результате влияния всех трех указанных видов ошибок приходим к решению возмущенного уравнения

$$\tilde{A}z = \tilde{u}, \quad (5.2)$$

где $\tilde{A} = A_\varepsilon$ и $\tilde{u} = u_\delta$ - приближенные значения оператора A и правой части u операторного уравнения (5.1), удовлетворяющие условиям аппроксимации

$$\|\tilde{A}z - Az\| \leq \xi(\varepsilon) \cdot \|z\|, \quad \|\tilde{u} - u\| \leq \delta \quad (5.3)$$

где $\|\cdot\|$ - евклидова норма в пространстве \mathbb{R} и $\xi(\varepsilon) \rightarrow 0$ при $\varepsilon \rightarrow 0$. Здесь ε - максимальная абсолютная ошибка задания коэффициентов уравнений (1.2), (1.7) и правой части $q(t)$ уравнения (1.7). Принимая во внимание оценки (3.14) и применяя неравенства Коши-Буняковского, получим

$$|\xi(\varepsilon)| \leq C_3 \max(\varepsilon, 2^{-\frac{3}{2}J^*}), \quad (5.4)$$

C_3 -константа. Так что при достаточно больших J^* будем иметь $\xi(\varepsilon) \sim C_3 \varepsilon$.

Система (5.2), равно как и система (5.1), может быть однозначно разрешимой, вырожденной ($\det \tilde{A} = 0$) с бесконечным множеством решений, а также неразрешимой. Вопрос об устойчивом приближенном решении уравнения (4.21) решается методом регуляризации А.Н.Тихонова [14] с помощью сглаживающего параметрического функционала

$$\Phi_\sigma^\alpha[z_\sigma^\alpha] \equiv \Phi_\sigma^\alpha[z; \tilde{u}, \tilde{A}, z^*] = \|\tilde{A}z - Az\| + \alpha\|z - z^*\|, \quad (5.5)$$

где $\sigma = (\varepsilon, \sigma)$; $\alpha > 0$ - параметр регуляризации; z^* - произвольный элемент из \mathbb{R} .

При определенных условиях согласования параметра α с погрешностью $\sigma = (\varepsilon, \delta)$ доказано [14], что решение z_σ^α вариационной задачи

$$\Phi_\sigma^\alpha[z_\sigma^\alpha] = \inf_{z \in D_{\tilde{A}}} \Phi_\sigma^\alpha[z] \quad (5.6)$$

сходится при $\sigma \rightarrow 0$ к элементу \tilde{z}^0 из $D_{\tilde{A}} = D_A = \mathbb{R}$, доставляющему одновременно минимум невязке $\|\tilde{A}z - \tilde{u}\|$ и норма $\|z - z^*\|$.

По определению [14] псевдорешением системы (5.2) называют вектор \tilde{Z} , минимизирующий невязку $\|\tilde{A}z - \tilde{u}\|$ на всем пространстве \mathbb{R}^n , а нормальным относительно вектора z^* решением системы (5.2) называют псевдорешение с минимальной нормой $\|z - \tilde{z}\|$. Псевдорешение \tilde{z} системы (4.21) строится по формуле

$$\tilde{z} = \tilde{A}^+ \tilde{u}, \quad (5.7)$$

где \tilde{A}^+ - псевдообратная матрица для \tilde{A} . Нормальные относительно такого вектора z^* решения систем (5.1) и (5.2) будем обозначать через z^0 и \tilde{z}^0 , соответственно, и назовем вектор

$$z^0 = A^+ u \quad (5.8)$$

с минимальной невязкой $\|Az - u\|$ и минимальной нормой $\|z - z^*\|$ "точным" решением операторного уравнения (5.2), т.е., нормальным решением операторного уравнения (5.1).

Характер сходимости решения z_σ^α задачи (5.1) к точному решению Z^0 операторного уравнения (5.2) при $\alpha, \sigma \rightarrow 0$ исследован в [22] в общем случае линейного замкнутого оператора \tilde{A} с областью определения $D_{\tilde{A}} \subseteq H$ и областью значений $Q_{\tilde{A}} \subseteq F$, где H и F - вещественное гильбертово пространство и линейное нормированное пространство, соответственно. С этой целью в [22] вводится в рассмотрение функционал (5.6) при $A_\varepsilon = A$:

$$\Phi_\delta^\alpha[z] \equiv \Phi_\delta^\alpha[z; u_\delta, A, z^*] = \|Az - u_\delta\| + \alpha\|z - z^*\| \quad (5.9)$$

и величина $\omega(\alpha; z^0, z^*) = \|z_\sigma^\alpha - z^0\|_H$ (z_σ^α -экстремаль функционала [4.25]), через которую выражается уклонение от z^0 решения z_σ^α вариационной задачи (5.6) при $A_\varepsilon \neq A$:

$$\|z_\sigma^\alpha - z^0\|_H \leq w(\alpha; \tilde{z}^0, z^*) + \delta/\sqrt{\alpha} + \frac{\xi(\varepsilon)}{\sqrt{\alpha}} \|\tilde{A}z^* - u_\delta\|_F + \frac{\xi(\varepsilon)}{\sqrt{\alpha}} \left(\|z^*\|_H + \frac{\|\tilde{A}z^* - u_\delta\|_F}{\sqrt{\alpha}} \right) \quad (5.10)$$

На основании теоремы 4 [22] скорость сходимости $\omega(\alpha; \tilde{z}^0, z^*)$ к нулю при $\alpha \rightarrow 0$ можно оценить в двух случаях:

- а) если $z^* - z^0 = A^* v, v \in D_{A^*}$, то $\omega(\alpha; z^0, z^*) \leq \sqrt{\alpha} \cdot \|v\|_F$
- б) если $z^* - z^0 = A^* A \bar{v}, \bar{v} \in D_{\tilde{A}}$, то $\omega(\alpha; z^0, z^*) \leq \alpha \cdot \|\bar{v}\|_H$

Покажем возможность использования случая б) для возмущенного уравнения (5.2), решение z_σ^α которого является приближенным к точному решению z^0 .

Сопряженный оператор A^* для оператора A в уравнении (5.1) задается матрицей A^T , аналогично $\tilde{A}^* = (A^*)^T$, где T - знак транспонирования.

Далее $D_{\tilde{A}^*} = D_{\tilde{A}} = D_A = D_{A^*} = R, H = F = \mathbb{R}$. Пусть z_1^* - элемент из \mathbb{R} , для которого $z_1^* - z^0 = A_\varepsilon^* A_\varepsilon \bar{v}$ где $\bar{v} = \tilde{z}^0$ - нормальное решение уравнения (5.2), т.е. псевдорешение, опре-

деляемое формулой (5.7) которое имеет минимальную норму $\|z - \tilde{z}^0\|$. Матрицу \tilde{A}^+ удобно вычислять с помощью регуляризованного рекуррентного алгоритма $\Pi_\varepsilon^{(0)}$ из [23], обладающего устойчивостью по ε .

Обозначим

$$\eta(\varepsilon, \bar{v}) = [(A_\varepsilon - A)^* \cdot A + A^*(A_\varepsilon - A) + (A_\varepsilon - A)^*(A_\varepsilon - A)]\bar{v}$$

Тогда для $z^* = z_1^* - \eta(\varepsilon, \bar{v})$ имеем $z^* - z^0 = A^* A \bar{v}$, $\bar{v} \in D_A$ и на основании случая б) при $\alpha > 0$ верна оценка

$$\omega(\alpha; z^0, z^*) \leq \alpha \|\bar{v}\| \quad (5.11)$$

Так как $A_\varepsilon^* A_\varepsilon A_\varepsilon^+ u_\delta = A_\varepsilon^* u_\delta$, то $z_1^* - z^0 = A_\varepsilon^* u_\delta$, откуда

$$z^* = z^0 + A_\varepsilon u_\delta + \eta(\varepsilon, v) \quad (5.12)$$

Из определения $\eta(\varepsilon, \bar{v})$ получаем непосредственно

$$\|\eta(\varepsilon, \bar{v})\| \leq \xi(\varepsilon)(2\|A_\varepsilon\| + 3\xi(\varepsilon))\|\bar{v}\| \quad (5.13)$$

Применяя оператор A к обеим частям равенства (5.11), находим $Az^* = u + AA_\varepsilon^* u_\delta + A\eta(\varepsilon, \bar{v})$, откуда следует оценка

$$\|Az^* - u_\delta\| \leq \delta + (\|A_\varepsilon\| + \xi(\varepsilon))(\|A_\varepsilon\| \cdot \|u_\delta\| + \eta(\varepsilon, \bar{v})). \quad (5.14)$$

Подставляя (5.13) в (5.14) и (5.14) в (5.10), получаем оценку

$$\|z_\sigma^\alpha - z^0\| \leq C(\alpha, \sigma) \quad (5.15)$$

с константой $C(\alpha, \sigma)$, определяемой равенством

$$\begin{aligned} C(\alpha, \sigma) &= \alpha \cdot \|A_\varepsilon\| \cdot \|u_\delta\| + \alpha^{-1/2} \mathbb{R}(\varepsilon) \|Z^0\| + (\alpha^{-1} + \alpha^{-1/2}) \xi(\varepsilon) x \\ &\quad \{\delta + (\|A_\varepsilon\| + \xi(\varepsilon)) [\|A_\varepsilon\| \cdot \|u_\delta\| + \xi(\varepsilon)(2\|A_\varepsilon\| + 3\xi(\varepsilon))\|A_\varepsilon^+\| \cdot \|u_\delta\|]\}, \end{aligned} \quad (5.16)$$

где $\alpha = \alpha(\sigma)$ удовлетворяет условиям согласования α с σ из работы [22]

$$\xi(\varepsilon)/\alpha(\sigma) \rightarrow 0, \quad \delta^2/\alpha(\sigma) \rightarrow 0, \quad \alpha = \alpha(\sigma) \rightarrow 0 \text{ при } \sigma \rightarrow 0 \quad (5.17)$$

Отсюда, с учетом (4.24), следует, что при достаточно большом $j^* z_\sigma^\alpha - z^0$ по \mathbb{R} -норме при $\sigma = (\varepsilon, \delta) \rightarrow 0$ и $\alpha = \alpha(\sigma) \rightarrow 0$, причем порядок сходимости к z^0 не превышает $\min(\varepsilon/\alpha(\sigma), \delta^2/\alpha(\sigma))$.

Оптимальное значение α^* параметра регуляризации при заданной точности вычисления решения задачи находится с помощью неравенства (5.15). При найденном значении $\alpha = \alpha^*$ строится вектор z_σ^α и соответствующее этому вектору j^* - частичные суммы вейвлет-разложений функций $p_1(x, y, t), p_2(x, y, t)$ (обозначим их $p_1^{j^*}(x, y, t)$ и $p_2^{j^*}(x, y, t)$), которые в силу предельных соотношений (3.11) сходятся соответственно к искомым функциям $p_1(x, y, t)$ и $p_2(x, y, t)$ (классическому решению) при $j^* \rightarrow \infty$ в L_2 -норме.

Заключение. В отличие от преобразования Фурье (обычного или оконного), применимого лишь к стационарным процессам, метод вейвлет-разложений представляет собой наиболее адекватный аппарат для исследования процессов и явлений, чьи свойства меняются во времени и/или в пространстве. Это преимущество позволяет использовать кратномасштабный вейвлет-анализ для построения устойчивых решений краевых задач, описывающих нестационарные процессы на различных уровнях разрешения.

Предложенный в работе метод решения задачи нестационарной фильтрации жидкости в трещиновато-пористом пласте в рамках кратномасштабного анализа в $L_2(\mathbb{R}^3)$ может быть использован для решения многомерных начально-краевых задач для линейных уравнений и систем уравнений в частных производных, рассматриваемых в $L_2(\mathbb{R}^n)$, $n \geq 1$, в условиях не-

точных данных. Вейвлет-метод позволяет получить аналитический вид решения в виде отрезка вейвлет-ряда, в то время как применение явных и неявных разностных схем [24] или проекционно-сеточных схем [25] дает лишь численное решение задачи на некотором сеточном разбиении множества переменных. Для каждой конкретной задачи должны подбираться такие схемы, которые приводят к устойчивым и сходящимся значениям сеточных функций при стремлении к нулю длин сторон ячеек.

REFERENCE

1. Berenblatt G.I., Zheltov Ju.P., Kochina I.N. Ob osnovnyh predstavlenijah teorii filtracii odnorodnyh zhidkostej v treshhinovatyh porodah // Prikladnaja matematika i mehanika, 1960, t.24, vyp.5, s.852-864.
Беренблатт Г.И., Желтов Ю.П., Кочина И.Н. Об основных представлениях теории фильтрации однородных жидкостей в трещиноватых породах // Прикладная математика и механика, 1960, т.24, вып.5, с.852-864.
2. Razvitie issledovanij po teorii filtracii v SSSR (1917-1967). Otv. red. P.Ja.Kochina. - M.: Nauka, 1969-541s.
Развитие исследований по теории фильтрации в СССР (1917-1967). Отв. ред. П.Я.Кочина. - М.: Наука, 1969-541с.
3. Zheltov Ju.P. Mehanika neftegazonosnogo plasta. - M.:Nedra, 1975-216s.
Желтов Ю.П. Механика нефтегазоносного пласта. - М.:Недра, 1975-216с.
4. Barenblatt G.I. O nekotoryh kraevyh zadachah dla uravnenij filtracii zhidkosti v treshhinovatyh porodah// Prikladnaja matematika i mehanika, 1963, t.XXVII, vyp.2.
Баренблатт Г.И. О некоторых краевых задачах для уравнений фильтрации жидкости в трещиноватых породах// Прикладная математика и механика, 1963, т.XXVII, вып.2.
5. Dyshin O.A. Uslovija razreshimosti v gelderovyh funkcijah nachalno-kraevyh zadach dla parabolicheskikh po Petrovskomu sistem uravnenij // SOCAR Proceedings, 2012, №1, 62-67.
Дышин О.А. Условия разрешимости в гельдеровых функциях начально-краевых задач для параболических по Петровскому систем уравнений // SOCAR Proceedings, 2012, №1, 62-67.
6. Ladyzhenskaja O.A., Solonnikov V.A., Uralceva N.N. Linejnye i kvazilinejnye uravnenija parabolicheskogo tipa. - M.: Nauka, 1967-736s.
Ладыженская О.А., Солонников В.А., Уральцева Н.Н. Линейные и квазилинейные уравнения параболического типа. - М.: Наука, 1967-736с.
7. Dyshin O.A. Razreshimost v gelderovyh funkcijah zadachi nestacionarnoj filtracii zhidkosti v treshhinovato-poristom kolcevom plaste// SOCAR Proceedings, 2012, №2, 74-81.
Дышин О.А. Разрешимость в гельдеровых функциях задачи нестационарной фильтрации жидкости в трещиновато-пористом кольцевом пласте// SOCAR Proceedings, 2012, №2, 74-81.
8. Ban A., Bogomolova A.F., Maksimov V.A. i dr. Vlijanie svojstv gornyh porod na dvizhenie v nih zhidkosti - M.: Gostoptehizdat, 1962-275s.
Бан А., Богомолова А.Ф., Максимов В.А. и др. Влияние свойств горных пород на движение в них жидкости - М.: Гостоптехиздат, 1962-275с.
9. Dyshin O.A. Vosstanovlenie funkciij mnogih peremennyh s ispolzovaniem vejvlet-analiza// Trudy NII "Geotehnologicheskie problemy nefti, gaza i himija".- Baku, 2008. t. IX, s.86-105.
Дышин О.А. Восстановление функций многих переменных с использованием вейвлет-анализа// Труды НИИ "Геотехнологические проблемы нефти, газа и химии".- Баку, 2008. т. IX, с.86-105.
10. Novikov I.Ja., Stechkin S.B. Osnovy teorii vspleskov // Uspehi matem.nauk, 1998, t.53, vyp.6, s.53-128.
Новиков И.Я., Стечкин С.Б. Основы теории всплесков // Успехи матем.наук, 1998, т.53, вып.6, с.53-128.
11. Dobeshi I. Desjat lekcij po vejvletam. per. s angl. - Moskva - Izhevsk, 2004.
Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. пер. с англ. - Москва - Ижевск, 2004.
12. G.Beylkin, K.Coifman, V.Rokhlin. Commun. Pure Appl. Math. 44, 141 (1991).
13. Pashaev A.M., Mehtiev A.Sh., Janahmadov A.Kh., Dyshin O.A. Vejvlet analiz v diagnostike obyektor vetroenergeticheskikh ustananovok (obzor) // Vestnik Azerbaijanskoy Inzhenernoy akademii. T.3, №3, 2011, s.13-29
Пашаев А.М., Мехтиев А.Ш., Джанахмедов А.Х., Дышин О.А. Вейвлет анализ в диагностике объектов ветроэнергетических установок (обзор) // Вестник Азербайджанской Инженерной академии. Т.3, №3, 2011, с.13-29
14. Tihonov A.N., Arsenin V.L. Metody reshenija nekorrektnyh zadach. - M.: Nauka, 1979. - 285s.
Тихонов А.Н., Арсенин В.Л. Методы решения некорректных задач. - М.: Наука, 1979. - 285с.
15. Basniev K.S., Dmitriev N.M., Kanevskaia R.D., Maksimov V.M. Podzemnaja gidromehanika. - Moskva-Izhevsk: Institut kompjuternyh issledovanij, 2005. - 496s.
Басниев К.С., Дмитриев Н.М., Каневская Р.Д., Максимов В.М. Подземная гидромеханика. - Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. - 496с.
16. Bahvalov N.S. Chislennye metody (analiz, algebra, obyknovennye differencialnye uravnenija). - M.: Nauka, FIZMAT-LIT, 1973.- 631s.

- Бахвалов Н.С.** Численные методы (анализ, алгебра, обыкновенные дифференциальные уравнения). - М.: Наука, ФИЗМАТЛИТ, 1973.- 631с.
17. **Korn G., Korn T.** Spravochnik po matematike dlja nauchnyh rabotnikov i inzhenerov. Opredelenija, teoremy, formuly. / Per.s angl. - M.: Nauka, FIZMATLIT, 1970. - 720s.
 - Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы. / Пер. с англ. - М.: Наука, ФИЗМАТЛИТ, 1970. - 720с.
 18. **Mallat/S** Multi Resolution app Roximation and wavelets //Trans. Amer. Math. Soc. 1989. v.315. P.69-88.
 19. **Gröchening K.** Analyse multiechelle et bases ondelettes//C.R.Acad. Sci. Paris. Ser.1. 1987. V.305. P.13-17.
 20. **Dremin I.M., Ivanov O.V., Nechitajlov V.A.** Vejvlety i ih ispolzovanie // Uspehi fizich.nauk, 2001, t.171, №5, s.465-501.
 - Дремин И.М., Иванов О.В., Нечитайлов В.А.** Вейвлеты и их использование // Успехи физич.наук, 2001, т.171, №5, с.465-501.
 21. **Sobolev S.L.** Nekotorye primeneniya funkcionarnogo analiza v matematicheskoy fizike. - Novosibirsk: Izd-vo SO AN SSSR, 1962. - 255s.
 - Соболев С.Л.** Некоторые применения функционального анализа в математической физике. - Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1962. - 255с.
 22. **Morozov V.A.** O principe nevjažki pri reshenii operatornyh uravnenij metodom reguljarizacii // Zhurnal vychisl. matematiki i mat. fiziki, 1968, t.8, №2, s.295-309.
 - Морозов В.А.** О принципе невязки при решении операторных уравнений методом регуляризации // Журнал вычисл. математики и мат. физики, 1968, т.8, №2, с.295-309.
 23. **Bejko I.V., Bublik B.N., Zinko P.N.** Metody i algoritmy reshenija zadach optimizacii. - Kiev: Vishha shkola, Golovnoe izd-vo, 1983.
 - Бейко И.В., Бублик Б.Н., Зинько П.Н.** Методы и алгоритмы решения задач оптимизации. - Киев: Вища школа, Головное изд-во, 1983.
 24. **Samarskij A.A.** Teoriya raznostnyh shem - M.: Nauka, 1983.
 - Самарский А.А.** Теория разностных схем - М.: Наука, 1983.
 25. **Marchuk G.I., Agashkov V.I.** Vvedenie v proekcionno-setochnye metody. M.: Nauka, 1983.
 - Марчук Г.И., Агашков В.И.** Введение в проекционно-сеточные методы. М.: Наука, 1983.

ÇATLI-MƏSAMƏLİ HALQAŞƏKİLLİ LAYDA MAYENİN QEYRİ-STASİONAR FİLTASIYA MƏSƏLƏSİNİN VEYVLET-METOD HƏLLİ

O.A. DIŞİN

$L_2(\mathbb{R}^3)$ bölünən miqyaslı analizin əsasında senarabel ortonormal bazislə diskret veiyvet-çevrilmənin tətbiqi ilə çatlı-məsaməli halqaşəkilli layda mayenin qeyri-stasionar filtrasiyasının başlanğıc-sərhəd məsələsinin klassik həllinin möhkəm yaxınlaşdırılmış hesablaması metodu işlənmişdir. Qoyulan məsələ qeyri-korrekt təqribi həlli requlyarlaşma metodu ilə qurulmuş qeyri dəqiq verilənlər zamanı cəbri xətti tənliklər sisteminin həllinin təyini məsələsinin differensial tənliklərin və sərhəd şərtlərinin əmsalının verilməsinin xətasına nəzərən dayanıqlı olduğu göstərilmişdir.

Açar sözlər: qeyri-stasionar filtrasiya, çatlı-məsaməli lay, bölünən miqyaslı analiz, diskret veiyvet-çevrilmə, requlyarlaşdırma metodu.

WAVELET METHOD FOR SOLVING THE NONSTATIONARY FLUID FILTRATION PROBLEMS IN THE FRACTURED AND POROUS ANNULAR FORMATION

O.A. DYSHIN

Based on the multiple-scale analysis in $L_2(\mathbb{R}^3)$ using the discrete wavelet transform with the separable orthonormal basis we have developed a method of sustainable approximation of the classical solution of the initial-boundary value problem of nonstationary fluid filtration in the fractured and porous annular formation. The problem is reduced to solving ill-posed problem of finding the solution of linear polynomial equation given inaccurate data, when the approximate solution constructed by regularization method is stable with respect to error in differential equations ratios and boundary conditions set up, as well as set up right member untruthiness.

Key words: nonstationary filtration, fractured and porous formation, multiple-scale analysis, discrete wavelet transform, regularization method.

УДК 553.441.571.53

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ЗОЛОТОНОСНОСТЬ РУД ГЫЗЫЛБУЛАГСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (МАЛЫЙ КАВКАЗ)

М.И. АЛИЕВ*, Ю.Р. ШИРИНОВ*, Г.С. ГУСЕЙНОВ*

В статье рассмотрены геологические строения и золотоносность руд Гызылбулагского месторождения. Анализируя данные предыдущих исследований, авторы установили субвулканическое поднятие биклинального типа, которое является основной рудовмещающей структурой. Также изучена золотоносность руд Гызылбулагского месторождения. Установлено, что наиболее высокая концентрация золота характерна для кварц-халькопиритовых руд. Предполагается, это связано с тем, что основным рудным минералом, содержащим золото, на месторождении является халькопирит.

Ключевые слова: субвулканическое поднятие, рудовмещающая структура, золотоносность, характер распределения.

Гызылбулагское месторождение, расположенное в зоне сопряжения Гарабахского и Агдамского антиклиниориев Лок-Карабахской структурно-формационной зоны Малого Кавказа, является одним из представительных золотосодержащих колчеданных залежей Мехманинского рудного района.

В геологическом строении месторождения участвуют отложения средней и верхней юры. Наиболее древние среднеюрские образования представлены продуктами нижнебайского вулканизма, состоящие из андезибазальтов, а также толщ туфо- и лаво-брекчий того же состава. Порода эффизивной фации изменена до стадии зеленокаменных пород.

Вышележащие верхнебайские образования состоят из покровов и пирокластов дацитов, риодакитов и риалитов. Широкое развитие среди продуктов верхнеюрского вулканизма получили субвулканические образования, представленные андезибазитами, андезито-дацитами, дацитами, риодакитами, а также диоритами и кварцевыми диоритами.

Месторождение приурочено к центральной части Дромбонской вулкано-купольной структуры, представляющей собой сильно эродированный **стратовулкан**. Она сложена вулканическими образованиями **базальт-андезит-дацитовой** формации батского возраста,

* НИИ Минерального Сырья при Министерстве Экологии и Природных Ресурсов Азербайджанской Республики

представленными преимущественно лавово-пирокластическими отложениями средне-основного состава, и в меньшей степени – кислого (рис. 1).

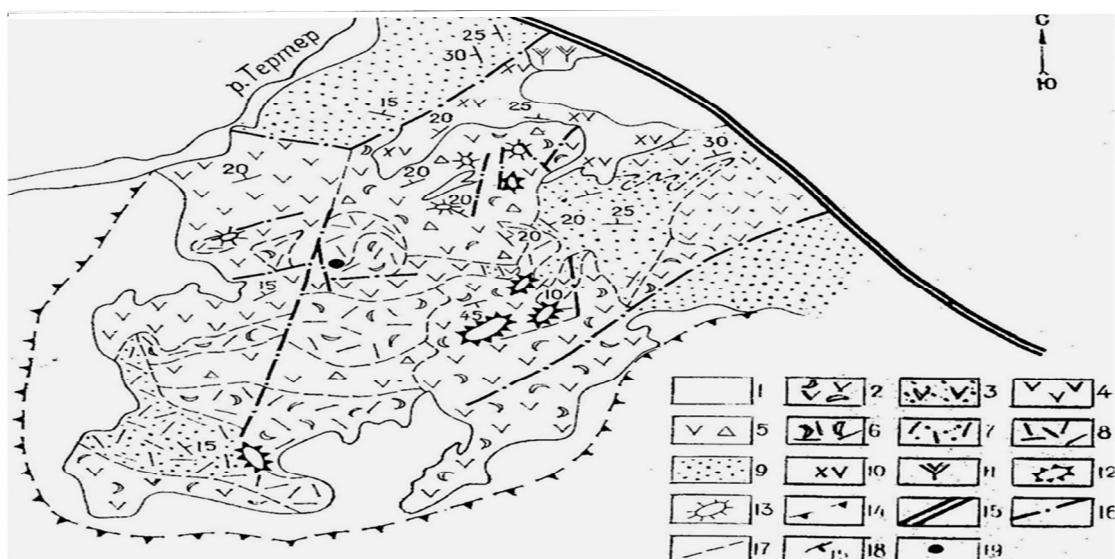


Рис. 1. Геологическая карта Гызылбулагского месторождения (по Ю. Р. Ширинову, 1981 г.)

1 – четвертичные отложения, вулканические образования андезито-базальтового состава; 2 – агломератовые и глыбовые туфы; 3 – мелкообломочные туфы; 4 – лавы; 5 – лавобрекции; вулканические образования дацит-липариго-дацитового состава; 6 – агло-мератовые и глыбовые туфы; 7 – мелкообломочные туфы; 8 – лавы; 9 – вулканомиктовые песчаники; 10 – субвулканическая интрузия диорит-порфиритов; 11 – субвулканическая интрузия липарит-порфиров, корни излияния батских вулканов; 12 – экструзивные образования; 13 – жерловые брекции; 14 – предполагаемая граница Дромбонской вулкано-купольной структуры; 15 – глубинный граничный разлом; 16 – прочие разломы; 17 – границы фаций; 18 – элементы залегания; 19 – Кызылбулагское месторождение

В контуре Дромбонской вулкано-купольной структуры формировалось несколько вулканических аппаратов различных размеров, выполненных жерловыми брекциями, экструзивными куполами и субвулканическими телами андезитов, андезито-дацитов и дацитов. К зоне дуговых разломов, отделяющих внутреннюю часть вулканической постройки от внешнего блока, приурочен крупный субвулканический интрузив диорит-порфиритов, образующий пластовое тело полукольцевой формы. Оно под пологим углом (20-30°) падает в направлении к краю вулканоструктуры, подчеркивая ее куполообразную форму. Центральная часть вулкано-купольной структуры осложнена небольшой просадкой, представляющей кальдеру оседания, заполненную лавово-пирокластическими породами дацит-риолит-дацитового состава. Последние, судя по данным скважин, залегают на прогнутом основании, сложенном вулканитами андезибазальтового состава, и образуют положительную структуру, соответствующую по своей форме синвулканическими поднятиям биклинального типа [4]. Биклиналь является основной рудовмещающей структурой. С запада и востока она расчленена разрывными нарушениями, наиболее крупные из которых представлены сбросами меридионального и северо-западного простираний. Меридиональные разломы являются синвулканическими, по ним произошло проседание и прогибание центрального блока структуры. Среди крупных разрывных нарушений на площади месторождения заслуживает внимания

ния проходящий по западному флангу месторождения собственно Гызылбулагский разлом с простиранием от 355 до 10° и падением на восток под углом 50-60°. Он на поверхности выражен смятием, рассланцеванием, каолинизацией и лимонитизацией пород в полосе шириной 40-50 м, сопровождаемой зеркалами скольжения. На глубине зона разлома фиксируется в штольнях и выражена несколькими сближенными швами перетертых до глиники трения пород среди окварцованных и пиритизированных вулканитов. Данный разлом, очевидно, играл роль фациального уступа, о чем свидетельствует резкая смена фаций и значительное сокращение мощностей кислых вулканитов к западу от него.

В районе месторождения широко развиты дайковые образования, представленные андези-базальтовыми и андезитами, которые имеют северо-восточное (10-15⁰) и близшеротное простирания. Мощность их колеблется до 5-8 метров.

Из интрузивных образований на месторождении отмечается кварцевые диориты, которые в плане дугообразной формы и прослеживаются на расстоянии 2,5-3,0 км при мощности 300-500м. Лежачий контакт интрузива с вмещающими породами, агломератовыми и глыбовыми туфами андезито-базальтого состава залегает под углом 20-30⁰.

Структурные особенности месторождения были обусловлены последовательным формированием разрывных нарушений различной протяженности и простирания, осложненных мелкой разноориентированной трещиноватостью.

Близмеридиональная система разломов относится к числу наиболее ранних, формировавшихся в синвулканическую стадию и игравших важную роль в формировании вулкано-купольной структуры. Они характеризуются гидротермально-измененными, раздробленными породами и мощными зонами лимонитизированных пород.

В пределах месторождения от названного глубинного разлома отходят два близко расположенных оперяющих нарушения, сопровождающиеся на дневной поверхности мощными зонами лимонитизации. Эти разрывные нарушения (Западное и Восточное) контролируют выходы интенсивно окисленной рудной залежи в виде тектонического клина. Западное разрывное нарушение в пределах месторождения является рудоконтролирующим. Разлом имеет многослойное внутреннее строение и сопровождается субвулканическими телами, указывающими на его глубинность, непосредственную, либо косвенную связь с магматическим очагом [6].

Следует подчеркнуть, что разрывные нарушения имеют длительную историю развития и характеризуются разнорасположенными движениями на разных этапах становления месторождения. Основные рудоконтролирующие разрывные нарушения закладывались, по-видимому, в период формирования вулканической структуры. Наряду с ними в это время проявились и пластические деформации, выразившиеся в интенсивном рассланцевании пород на отдельных участках. Плоскости рассланцевания развивались на границе пород с различными физико-механическими свойствами и в последующем были частично залечены кварцем и кальцитом.

Зоны более позднего рассланцевания и дробления формировались вдоль дорудных тектонических швов в период рудоотложения. При повторных внутрирудных подвижках образовались поперечные и диагональные трещины. С ними связано образование штокверков, в которых отлагались кварц-пирит-халькопиритовые руды поздних стадий минерализации.

Наиболее хорошо изучена золотоносность данного месторождения. В рудах месторождения выделены следующие минеральные ассоциации: кварц-пиритовая, кварц-пирит-халькопиритовая, кварц-халькопиритовая, халько-пирит-сфалеритовая и кварц-карбонатная.

Кроме кварц-карбонатной, все минеральные ассоциации и рудообразующие сульфидные минералы являются золотоносными. Однако степень золотоносности разная (табл.1).

Таблица 1

Характер распределения золота и серебра в различных минеральных ассоциациях и мономинеральных фракциях основных сульфидных минералов Гызылбулагского месторождения

Типы руд	Кол-во проб	Предел содержаний, в г/т		Среднее содержание, в г/т	
		Au, г/т	Ag, г/т	Au	Ag
Минеральные ассоциации					
Кварц пиритовая	46	0,1-1,0	5,0-10,0	0,6	2,2
Кварц-пирит-халькопиритовая	250	0,6-80,0	0,8-77,2	2,8	7,0
Кварц-халькопиритовая	123	3,0-42,0	1,0-26,0	9,2	6,3
Халькопирит – сфалеритовая	152	0,1-80,0	0,4-27	5,9	8,6
Кварц -карбонатная	60	-	-	-	-
Мономинералы					
Пирит	28	0,1-11,0	1,0-15,8	1,6	3,9
Халькопирит	26	0,3-44,5	0,5-35,4	6,2	6,5
Сфалерит	23	0,1-10,0	0,2-35,0	2,8	7,2

Наиболее высокая концентрация золота, как явствует из сравнения средних содержаний, характерна для кварц-пирит-халькопиритовой и кварц-халькопиритовой и халькопирит- сфалеритовой ассоциаций, но максимальные содержания золота присутствуют в рудах каждой из выделенных ассоциаций. По-видимому, это связано с тем, что основными рудными минералами, содержащими золото, являются халькопирит и сфалерит, в пределах 6,2 и 2,8 г/т соответственно (табл.1).

Наиболее высокое среднее содержание серебра характерно для кварц-пирит-халькопиритовой и халькопирит-сфалеритовой ассоциаций, а максимальное значение серебра отмечается в рудах халькопирит-сфалеритовой ассоциации (8,6 г/т). Это свидетельствует о том, что наряду с серебром, входящим в состав самородного золота, имеются другие серебросодержащие минералы, и прежде всего – блеклая руда, галенит. Вероятно, широкое развитие последних обусловливает сереброносность халькопирит – сфалеритовой ассоциации.

На основании полученных результатов построены гистограммы распределения золота и серебра в различных типах руд (рис.2).

Гистограммы распределения содержания золота в кварц-пирит-хальк-копиритовых рудах показали, что максимум соответствует интервалам 2–5 г/т, по золоту и 5-10 г/т по серебру. Руды с таким содержанием составляют 34% по золоту и 37% по серебру.

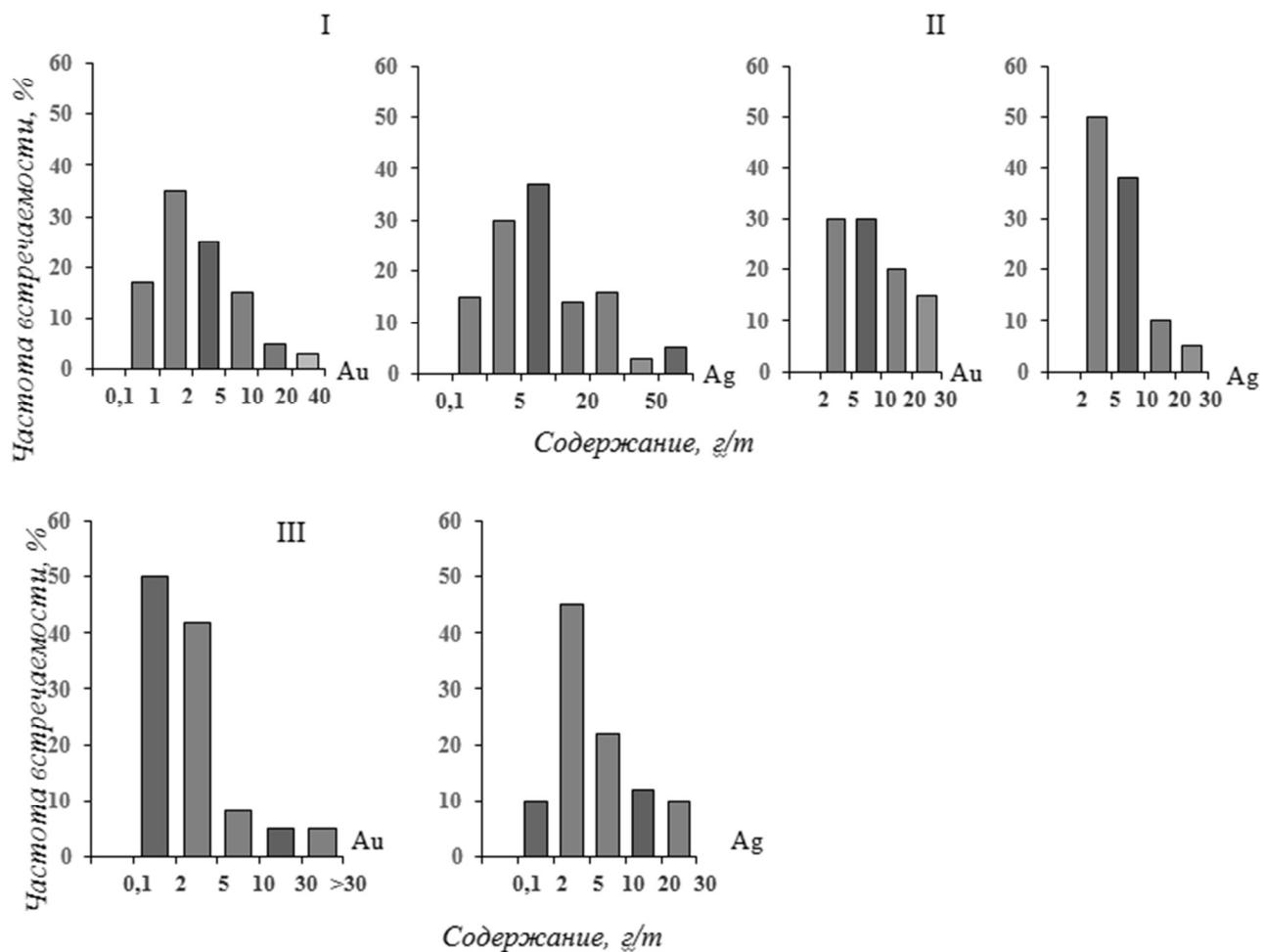


Рис.2. Гистограммы распределения содержаний золота и серебра в различных типах руд Гызылбулагского месторождения:

I – кварц-пирит-халькопиритовая; II – кварц-хальк-копиритоая; III – халькопирит-сфалеритовая по данным атомно-абсорбционной спектрометрии. По оси абсцисс-классы содержаний в г/т, по оси ординат – частота встречаемости проб определенного класса содержаний в % отн.

В кварц-халькопиритовых типах руд концентрация золота более высокая. Так, отмечаются два максимума (рис.2, II), соответствующие интервалам 2-5 г/т и 5-10 г/т по золоту и 2-5 г/т по серебру и составляющие 31% по золоту и 50% по серебру. Это еще раз подтверждает, что на данном месторождении основными золотоносителями являются кварц-халькопиритовые руды. Пик содержания золота и серебра по халькопирит-сфалеритовой минеральной ассоциации, согласно гистограмме, соответствует интервалам 0,1-2 г/т по золоту и 2-5 г/т по серебру и составляющие 49% по золоту и 43% по серебру.

Для изучения распределения золота и серебра в сульфидах Гызылбулагского месторождения атомно-абсорбционно-спектрометрическими методами были проанализированы мономинеральные фракции пирита, халькопирита и сфалерита. Результаты анализа показали, что в сульфидах отмечается широкое колебание содержаний золота и серебра. А это отражает характер процесса накопления благородных металлов (Au, Ag) и косвенно показыва-

ет, что золото и серебро представлены микроявлениями собственных минералов [2]. Повышение их в сульфидах тесно связано с принадлежностью последних к определенной минеральной ассоциации и прямо согласуется с повышением содержания соответствующих элементов в рудах. Поэтому наибольшие содержания золота свойственны халькопиритам, а серебра - сфалеритам.

На основании результатов проанализированных мономинеральных фракций основных сульфидных минералов построены гистограммы (рис.3).

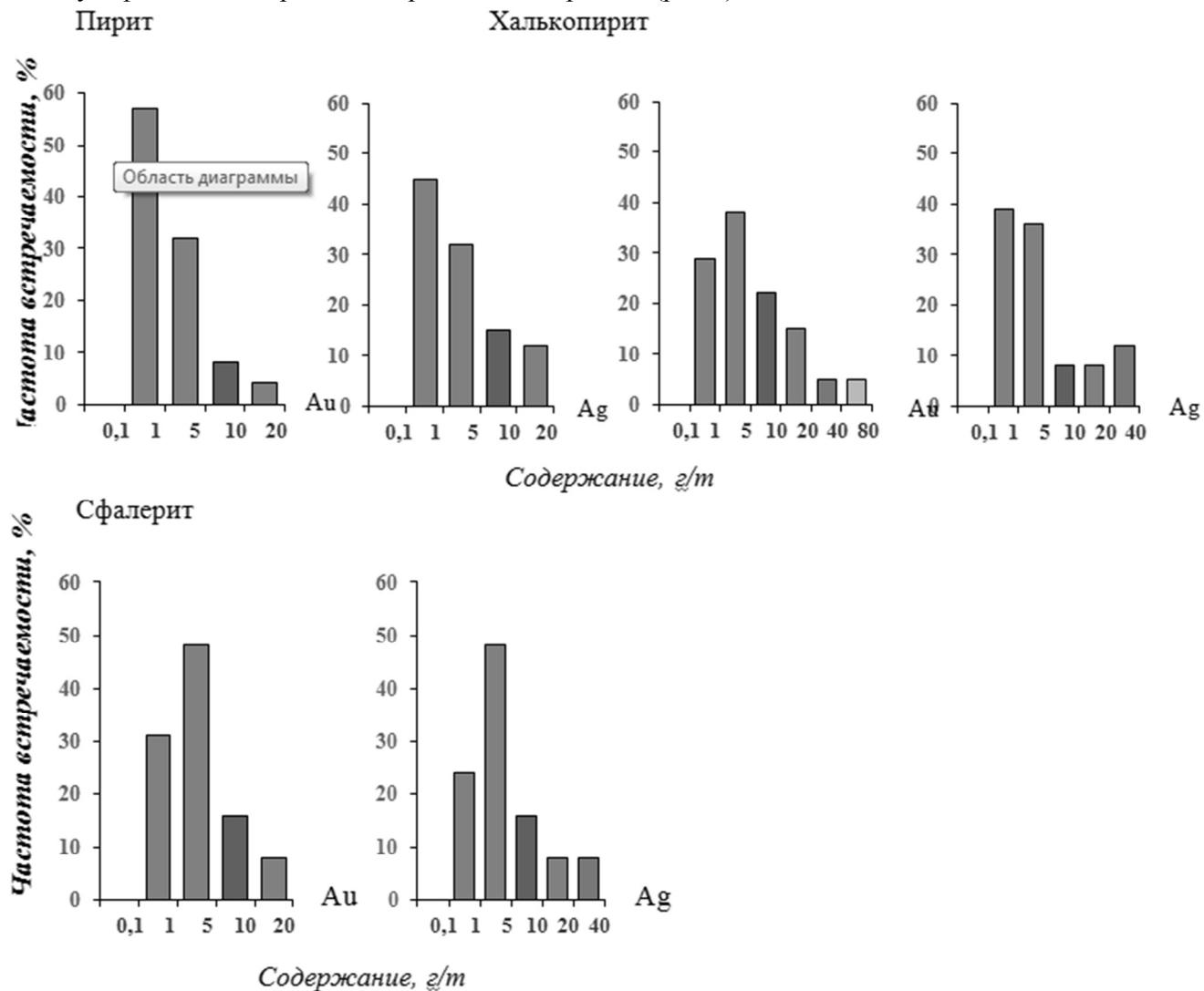


Рис.3. Гистограмма распределения содержаний золота и серебра в основных сульфидных минералах Гызылбулагского месторождения.

По данным атомно-абсорбционно-спектрометрии. По оси абсцисс - классы содержаний в г/т, по оси ординат – частота встречаемости проб определенного класса содержаний в % отн.

Как видно из рис.4., пики на гистограмме отмечаются при содержаниях золота 0,1-1 г/т в пирите и 1-5 г/т в халькопирите и сфалерите, что соответствуют 60%, 38% и 43%. Отмечается одномодальное распределение золота в халькопирите, что указывает на принадлежность золота из халькопирита к одной статистической совокупности, характеризующей-

ся единой стадией минералообразования. Класс содержания серебра 0,1-1 г/т (в пирите и халькопирите) на гистограмме соответствует максимуму частоты встречаемости и составляет соответственно 42 и 38%, а в сфалерите 43%.

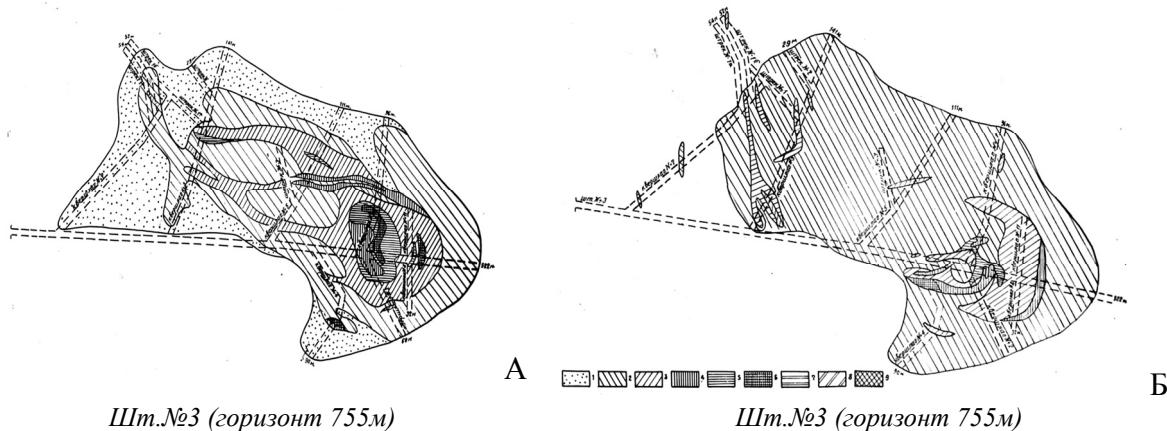


Рис.4. Распределение золота (А) и серебра (Б) на горизонте 755 м (шт.№3) Гызылбулагского месторождения. По золоту (г/т): 1. 20-40; 2. 10-20; 3. 5-10; 4. 1-5; 5. 0,1-1,0; 6. следы.
По серебру (г/т): 40-60; 20-40; 10-20; 5-10; 0,5-5,0; 0,1-0,1;

Характер распределения золота и серебра в Гызылбулагском месторождении изучался путем построений концентрированных кривых [1]. Для этого использованы результаты пробирных анализов проб на золото и серебро из основной залежи и рудовмещающих метасоматитов по двум штольням на горизонтах 725 и 755 м.

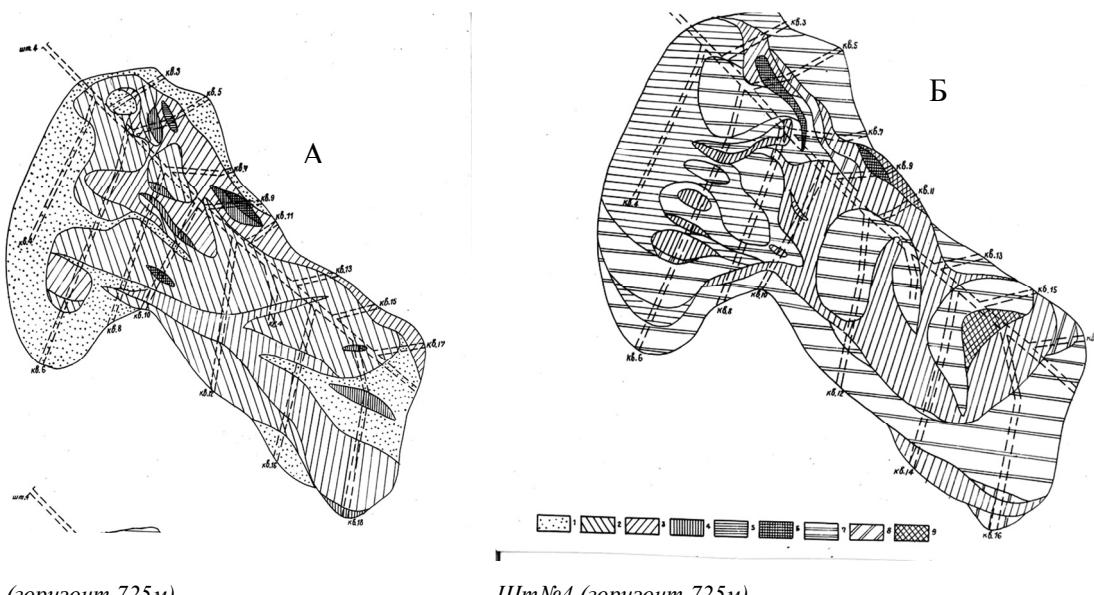
Ореолы золота и серебра на горизонте 755 м. (шт.3) имеют вытянутую в запад-северо-западном направлении форму (рис.4). Большая часть рудной залежи и вмещающих ее серицит-кварцевых и хлорит-серицит-кварцевых метасоматитов характеризуются низким содержанием золота. Наиболее высокое содержание золота (от 5 до 40 г/т) тяготеет к центральной части ореола (рис.4 "А") и совпадают с ореолом повышенных содержаний меди (0,6-2,2%). (Здесь располагаются массивные медноколчеданные руды, которые рассечены многочисленными кварц-пирит-халькопиритовыми прожилками). От этого ореола в запад-северо-западном направлении отходит узкая полоса (5-8 м) с содержанием золота 5-10 г/т, совпадающая с дорудными разрывными нарушениями. Рудная залежь на горизонте 755 м характеризуется в целом ореолами с низким содержанием серебра (0,5-5,0 г/т), внутри которых выделяются узкие обогащенные участки на северо-западном фланге (5-10 г/т.), тяготеющие также к дорудным разломам (рис. 4"Б").

В центральной части рудного тела, на стыке основного ствола штольни № 3 с квершлагами № I и 2, серебро по характеру распределения максимальных содержаний (40-60 г/т) аналогично меди и золоту.

На горизонте 725 (рис.5"А") золото имеет несколько иной характер распределения. Так, ореолы повышенных содержаний золота (до 30 г/т) концентрируются в основном на северном и южном флангах рудной залежи, имея субмеридиональное направление, совпадая пространственно с участками развития халькопиритовой минерализации. Следует отметить, что рудоконтролирующие разломы Гызылбулагского месторождения также имеют субмери-

диальное направление. Относительно высокие концентрации золота (5-10 г/т) на северном фланге рудного тела образуют более широкие ореолы субмеридионального (северном - северо-западном) направлении. Относительно более низкие (1,5 и 0,1-1,0 г/т) содержания золота характеризуют в основном контакты рудной залежи. Низкие содержания золота (0,01-0,1 г/т), свойственные для центральной части рудной залежи, протягиваются в субширотном направлении, совпадая с развитием пиритовых руд.

Ореолы повышенных концентраций серебра (20-30 г/т и более) имеют ограниченное распределение на горизонте 725м (рис.5"Б") на северном и северо-западном флангах рудного тела. Участки с интервалом содержаний серебра (1-10 г/т) приурочены к центральной части рудной залежи, обычно тяготея к ее kontaktам. Наиболее распространенными содержаниями серебра на горизонте 725 м. являются 0,1-1,0 г/т. Они относительно равномерно распределены по площади рудного тела. Еще более низкие содержания серебра (0,01-0,1 г/т) характеризуют безрудные метасоматиты кварц-каолинитовой фации.



Шт.№4 (горизонт 725м)

Шт.№4 (горизонт 725м)

Рис.5. Распределение золота (А) и серебра (Б) на горизонте 725 м (шт.№4.)

Таким образом, на фоне низких содержаний выделяется широкий ореол промышленных концентраций в центральной части рудной залежи, сложенной массивными медноколчеданными рудами, на которые наложены кварц-пирит-халькопиритовые и кварц-халькопиритовые прожилки, преимущественно субмеридионального направления, образующие штокверковую зону. Ореол промышленных концентраций золота и серебра совпадает по направлению с крутоопадающей корневой зоной основной залежи [5]. От этого ореола в запад-северо-западном направлении отходят зоны промышленной концентрации металлов, маркирующие дорудные разрывные нарушения.

Как отмечено выше, среди выделенных минеральных ассоциаций кварц-хальк-копи-ритовая считается продуктивной на золоту. При минералогическом исследовании на руд-

ном микроскопе “JENA VERTSL-100” установлено, что золото располагается внутри халькопирита и в сростках халькопирита с пиритом, сфалеритом и кварцем.

Золото, находящееся в халькопирите, возможно, выделялось одновременно с названным минералом, а золото, находящееся в сростках, дает основание предполагать более позднее его образование. При минералогических исследованиях установлено, что на этой стадии минерализации золото располагается внутри халькопирита, а также в сростках с основными сульфидными минералами-пиритом, халькопиритом и сфалеритом.

Полученные данные подтверждаются результатами фазового анализа (табл. 2).

Таблица 2
Результаты фазового анализа руд Гызылбулагского месторождения (по данным А.З.Ахмедова и И.И.Рычкова, 1988)

№ пп	Форма нахождения золота и серебра	Распределение в % отн.		Истинное содержание, г/т	
		Au	Ag	Au	Ag
1	Золото свободное с чистой поверхностью	17,2	1,8	0,78	0,12
2	Золото в сростках, сульфиды серебра	67,2	28,6	3,05	1,87
3	Золото и серебро в гидроокислах железа	7,0	4,3	0,32	0,28
4	Золото и серебро, заключенные в сульфидных минералах	5,1	62,1	0,23	4,07
5	Золото и серебро в силикатах и кварце	3,5	3,2	0,16	0,21
Итого:		100,0	100,0	4,54	6,55

Как видно из таблицы, по данным фазового анализа, в сульфидах находится около 67% золота, 17,2% составляет свободное золото, извлекаемое амальгамацией 7,0% в гидроокислах железа, 5,1% заключено в сульфидных минералах, только 3,5% золота заключено в силикатах и в кварце и не вскрывается при измельчении руды до 0,074 мм. По результатам фазового анализа на данном месторождении установлена пробность золота 867‰.

Кроме того, А.Г.Мироновым и др. экспериментально доказана возможность вхождения золота в химически связанном состоянии в сульфиды меди, в том числе в халькопирит и особенно в борнит. Предположение о нахождении части золота в тонкодисперсном состоянии в пирите, т.е. существование ранней генерации самородного золота в Гызылбулаге согласуется с результатами определения золота в мономинеральных фракциях пирита (1,6 г/т., табл.1). Однако, в любом случае доля такого золота, как уже отмечено, невелика и не превышает 5% (табл.2).

Эта малая часть золота, возможно, находится в тонкодисперсной форме или частично входит в химически связанном состоянии в структуру пирита. Как известно, в колчеданных месторождениях постоянно присутствует ранняя генерация самородного золота, представленная тонкодисперсными частицами, рассеянными в пирите и арсенопирите.

В результате микрозондовых анализов установлено, что пробность золота изменчива и колеблется от 652 до 953‰, составляя в среднем 819‰. Модальное значение попадает в диапазон 800-900‰, соответствующий умеренно-высокопробному золоту по классификации Н.В. Петровской.

REFERENCE

1. **Berman Ju.S., Gorelshev A.V.** Zoloto-serebrjanoe otnoshenie na primere zoloto-serebrjanogo mestorozhdenija severo-vostoka SSSR. // Geohimija , 1974, №11, s.1613-1618
Берман Ю.С., Горельшев А.В. Золото-серебряное отношение на примере золото-серебряного месторождения северо-востока СССР. // Геохимия , 1974, №11, с.1613-1618
2. **Betengulova I.V., Betengulov V.I., Chetyrboiskaja I.I., Filiminova A.M.** Formy nahozhdenija i raspredelenija zolota v glavnejshih mineralnyh rudah mednokolchedannyh mestorozhdenij Juzhnogo Urala. // M.: Trudy CNIGRI, 1974,vyp. 114,s.156-162
Бетенгулова И.В., Бетенголов В.И., Четырбонская И.И., Филиминова А.М. Формы нахождения и распределения золота в главнейших минеральных рудах медноколчеданных месторождений Южного Урала. // М.: Труды ЦНИГРИ, 1974,вып. 114,с.156-162
3. **Vinogradov A.P.** Zakonomernosti raspredelenija himicheskikh jelementov v zemnoj kore.// Geohimija,1956,t.6 s.138-146
Виноградов А.П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре.// Геохимия,1956,т.6 с.138-146
4. **Gadzhiev T.G., Shirinov Ju.R.** Uslovija lokalizacii kolchedannogo orudenenija v pa-leovulkanicheskoy strukture v zone soprjazhenija Garabahskogo i Agdamskogo antiklinorija. / Tezisy V Vsesojuznogo vulk. soveshhaniya. Tbilisi, 1980, s.58-59.
Гаджиев Т.Г., Ширинов Ю.Р. Условия локализации колчеданного оруденения в палеовулканической структуре в зоне сопряжения Гарабахского и Агдамского антиклиниория. / Тезисы V Всесоюзного вулк. совещания. Тбилиси, 1980, с.58-59.
5. **Guseynov G.S., Mobil R.B.** Zolotonosnost kolchedannyh mestorozhdenij Lok-Agdamskoj metallogenicheskoy zony Malogo Kavkaza. Baku: Zardabi LTD, 2010, 286s.
Гусейнов Г.С., Мобили Р.Б. Золотоносность колчеданных месторождений Лок-Агдамской металлогенической зоны Малого Кавказа. Баку: Zardabi LTD, 2010, 286c.
6. **Mamedov Z.I.** Geologo-strukturnye osobennosti formirovaniya i zakonomernosti razmeshhenija medno-zolotyh rud Gyzylbulgskogo mestorozhdenija. - Baku. Avtoreferat kand.diss., 2005, 24s.
Мамедов З.И. Геолого-структурные особенности формирования и закономерности размещения медно-золотых руд Гызылбулагского месторождения. - Баку. Автореферат канд.дисс., 2005, 24с.
7. **Mironov A.G.** Avtoradiograficheskij metod radioizotopnyh indikatorov v reshe-nii nekotoryh osnovnyh problem geohimii zolota. Ulan-Udje, Institut Geologii i Geofiziki, SO AN SSSR, 1980., s.117-125.
Миронов А.Г. Авторадиографический метод радиоизотопных индикаторов в решении некоторых основных проблем геохимии золота. Улан-Удэ, Институт Геологии и Геофизики, СО АН СССР, 1980., с.117-125.
8. **Petrovskaja N.V.** Samorodnoe zoloto. - M."Nauka", 1973. - 346s.
Петровская Н.В. Самородное золото. - М."Наука", 1973. - 346с.
9. **Aliev Mursal, Guseynov Gamet.** The mineral composition and textural- structural peculiarities of the ore, and mineral formation stage of the Gedabek gold-copper deposit (Lesser Caucasus). // SAEQ. Issue 07. London, 2016. Pp. 10-15.

**QIZILBULAQ YATAĞININ GEOLOJİ QURULUŞUNUN BƏZİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ VƏ
FİLİZİNİN QIZILILIĞI**

M.İ. ƏLİYEV, Y.R. ŞİRİNOV, Q.S. HÜSEYNOV

Məqalədə qeyd edilən yatağın geoloji quruluşu və filizin qızılıllığına baxılmışdır. Əsas filizli struktur olan biklinal tip subvulkanik qalxımında bizim və əvvəller aparılmış tədqiqat işlərinin nəticələri təhlil edilmişdir. Eyni zamanda Qızılbulaq yatağının qızılıllığı da öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, qızılın yüksək konseñtrasiyası kvars-xalkopirit filizi üçün xarakterikdir. Bu görünür yataqda əsas qızıl daşıyan mineral olan xalkopiritlə əlaqədardır.

Açar sözlər: subvulkanik qalxım, filizli struktur, qızılıllıq, paylanması xüsusiyyəti.

**SOME FEATURES OF THE GEOLOGICAL STRUCTURE AND GOLD COMPOSITION OF
GYZYLBULAG DEPOSIT (LESSER CAUCASUS)**

M.I. ALIYEV, Y.R. SHIRINOV, G.S. GUSEYNOV

The article examines the geological structure and gold contents of Gyzylbulag deposit. By analyzing the data of previous studies, the authors established the subvolcanic uplift of byclinal type, which is the main ore bearing formation. The gold-bearing of Gyzylbulag deposit was also studied. It is established that the highest concentration of gold is characteristic of quartz-chalcopyrite ores. It is supposed that this is due to the fact that the main ore mineral containing gold is chalcopyrite.

Key words: subvolcanic uplift, ore-bearing structure, gold content, nature of the distribution.

UOT 550.8.004

DƏNİZ YATAQLARINDA MULTİFAZALI QUYU MƏHSULLARININ YIĞILMASI VƏ NƏQLİNİN OPTİMAL TEKNOLOGİYALARI

E.X. İSKƏNDƏROV *

Məqalədə multifazalı sistemlərin boru kəmərləri ilə nəqli zamanı yaranan mürəkkəbləşmələrə baxılmış, dəniz yataqlarında mədəndaxili yiğim-nəql sisteminin qaz kəmərlərində korroziya-eroziya proseslərinin baş vermə səbəbləri və onların aradan qaldırılması məsələləri araşdırılmışdır. Təhlil göstərmişdir ki, multifazalı qazları nəql edən boru kəmərlərində aktiv dağılmalar daha çox boru kəmərlərinin trasının qalxan hissələrinin başlanğıcında baş verir. Məhz bu hissələrdə maye (su, kondensat) və bərk fazanın (mexaniki hissəciklər) yiğilması və onların qarışığın axını boyu dövrü olaraq aşağı-yuxarı hərəkət etməsi nəticəsində həmin hissələrin daha çox eroziyaya uğraması baş verir. Bu səbəbdən məqalədə multifazalı axınlarda hidrodinamik amili nəzərə almaqla nəql olunan qazların tərkibindəki mexaniki qarışıqların fraksiya tərkibinin mədəndaxili texnoloji qaz kəmərlərində korroziya-eroziya proseslərinə təsiri tədqiq edilmişdir. Aparılan tədqiqatlar nəticəsində mono və multifazalı axınlar üçün boru kəmərinin hidravlik (sərf) xarakteristikaları öyrənilmiş, nəql məsafəsinin kəmərin diametrindən asılı olaraq dəyişməsi və müxtəlif diametrlə texnoloji qaz kəmərləri üçün mexaniki hissəciklərin axında daşınma sürəti müəyyən edilmişdir. Nəticədə, mexaniki qarışıqların mövcud olduğu multifazalı mədəndaxili boru kəmərlərində korroziya-eroziya proseslərinin sürətinin aşağı salınması üçün konkret variantlar təklif edilmişdir.

Açar sözlər: qaz kəməri, qazın nəqli, korroziya, eroziya, mexaniki qarışış, fraksiya tərkibi, sürtünmə gücü, korroziya sürəti, hidrodinamik rejim.

Məlumdur ki, Xəzər dənizinin Azərbaycan sektorunda neft və qaz yataqlarının işlənilməsi əsasən dəniz özüllərindən qazılan quyular və məhsulun yiğimini və nəqlini həyata keçirən sualtı boru kəmərləri vasitəsi ilə həyata keçirilir. Neft və qazın nəqli üçün tikilən mədən texnoloji boru kəmərlərinin uzunluğu bir neçə kilometrdən onlarla kilometrə çatır. Əksər hallarda bu kəmərlərlə çoxfazalı və çoxkomponentli qarışıqların (neft-qaz, neft-qaz-su, qaz-kondensat, qaz-kondensat-su, o cümlədən mexaniki qarışıqlarla) nəqli həyata keçirilir və çətinliklər baş verir.

Coxfazalı sistemlərin nəqli zamanı yaranan problemlərin bir hissəsi boru kəmərlərinin trasının relyefinin müxtəlifliyi ilə bağlı olur. Müxtəlif relyef əmsalına (R_s) malik olan boru kəmərləri üçün trasın mövcud olan əsas profilləri şəkil 1-də göstərilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi, dəniz yataqları üçün xarakterik olan profillər mürəkkəb olmaqla relyef əmsali vahidə yaxındır. Sualtı neft-qaz kəmərlərinin tərkib hissəsində dik borular mövcud olduğundan həmin kəmərlərdə vertikal yuxarıdan aşağı və vertikal aşağıdan yuxarı hərəkət formalarının hesabına kəmərin relyefi mürəkkəb hesab edilir.

* Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

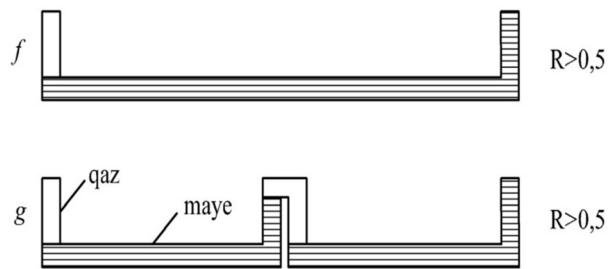
Təcrübə göstərir ki, yaranan ciddi problemlərin bir qismi də quyu məhsullarının yiğimi və nəqli zamanı axınların multifazalılığı ilə yanaşı termodinamiki şəraitin dəyişməsilə bağlıdır. Dəniz mühitində nəql olunan məhsulun intensiv soyuması, drossellənməsi, fazalara ayrılması, o cümlədən axının istiqamətindən asılı olaraq hərəkətin müxtəlif struktur formalarının əmələ gəlməsi boru kəmərlərinin işinin səmərəliliyinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. Hal-hazırda toplanmış təcrübə göstərir ki, qeyd olunan çətinlikləri xeyli azaltmaq, quyu məhsullarını az itki ilə toplamaq və nəql etməyin ən əlverişli variantı onların fazalara ayrılması və ayrı-ayrı fazalar şəklində, yəni hazırlıq mərhələsini tam keçdikdən sonra nəql olunmasıdır.

Buna baxmayaraq, bir çox hallarda obyektiv səbəblərdən quyu məhsulları nəqlə hazırlıq mərhələsi keçmədən sualtı yiğim xətləri ilə quyuağzı təzyiq altında özüllər arası və ya sahilə nəql olunur. Bu zaman əsas çətinlik və enerji (təzyiq) itkiləri maye-qaz qarışığının (neft-qaz, qaz-kondensat və s.) təbəqələrə (fazalara) ayrılmış hərəkət formasına uyğun axılarda, əsasən trasın reylefinin horizontal və qalxan hissələrində mövcud olur ki, bu da həmin zonalarda maye fazasının toplanması və təzyiq döyüntüləri ilə müşahidə edilir. Müəyyən vaxtdan sonra yiğilan maye kütləsinin qaz fazası ilə aparılması da baş verir. Digər tərəfdən dənizdə neftin və qazın çıxarılması zamanı özüllərdə istehsalat sahələrinin məhdud ölçülü olması tətbiq olunan yiğim sistemlərinin işinin səmərəliliyini artırmaq üçün iri həcmli texnoloji əməliyyatların, konstruktiv həllərin həyata keçirilməsini bir qayda olaraq mümkünzsüz edir. Bu baxımdan prinsipial olaraq dəniz neft-qaz yataqlarının mənimsənilməsinin vacib və aktual elmi-texniki problemi kimi multifazalı mühitlərin axması zamanı qeyri-stasionar proseslərin analitik və təcrubi tədqiqatları əsasında quyu məhsullarının yiğilmasının enerji və resurslara qənaət edən üsul və texnologiyalarının işlənilməsini və realizasiyasını da göstərmək olar.

Məhz, termoqazohidrodinamiki və relyef şəraitinin dəyişməsi hazırlıq mərhələsini keçməyən multifazalı quyu məhsullarının yiğim-nəql kollektoru boyunca axın rejimi və təzyiq itkilərinin hesablanması xeyli çətinləşdirir. Quyu-yiğim sisteminə daxil olan boru xətləri şəbəkəsində multifazalı axınların qeyri-səmərəli, optimal olmayan paylanması baş verir. Bu isə öz növbəsində enerji xərclərinin artmasına səbəb olur.

Çoxsaylı üstünlük'lərə rəğmən, neft-qaz kəmərləri sisteminin fəaliyyətində bəzi çatışmamazlıqlar və mürəkkəbləşmə halları da meydana çıxır. Bu halların yaranmasına ilk önce borularda multifazalı qarışıqların hərəkəti prosesinin qeyri-stasionarlığı və axının müxtəlif strukturlu, həmçinin qeyri-bircins formaya malik olması səbəb olur.

İkifazalı qaz-maye axınları qazın mayedə necə paylanmasından asılı olaraq, müxtəlif struktur formaları ilə səciyyələnir. Qaz-maye axınının struktur formaları çox müxtəlif olmaqla əsasən qarışığın sürəti, maye və qazın sərfi və reofiziki xüsusiyyətləri, axının istiqaməti və kəmərin ölçülərindən asılıdır. Qeyd etmək lazımdır ki, qaz-maye axınlarının müxtəlif struktur formaları bir-biri ilə əlaqəlidir və axın şəraitini dəyişdikdə həmin struktur formaların biri digərinə keçə də bilir. Bir fazalı



Şəkil 1. Müxtəlif relyef əmsallı ($R_s=h_{qaz}/L$) boru kəmərləri üçün trasın profiləri

Təcərübə göstərir ki, yaranan ciddi problemlərin bir qismi də quyu məhsullarının yiğimi və nəqli zamanı axınların multifazalılığı ilə yanaşı termodinamiki şəraitin dəyişməsilə bağlıdır. Dəniz mühitində nəql olunan məhsulun intensiv soyuması, drossellənməsi, fazalara ayrılması, o cümlədən axının istiqamətindən asılı olaraq hərəkətin müxtəlif struktur formalarının əmələ gəlməsi boru kəmərlərinin işinin səmərəliliyinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. Hal-hazırda toplanmış təcərübə göstərir ki, qeyd olunan çətinlikləri xeyli azaltmaq, quyu məhsullarını az itki ilə toplamaq və nəql etməyin ən əlverişli variantı onların fazalara ayrılması və ayrı-ayrı fazalar şəklində, yəni hazırlıq mərhələsini tam keçdikdən sonra nəql olunmasıdır.

Buna baxmayaraq, bir çox hallarda obyektiv səbəblərdən quyu məhsulları nəqlə hazırlıq mərhələsi keçmədən sualtı yiğim xətləri ilə quyuağzı təzyiq altında özüllər arası və ya sahilə nəql olunur. Bu zaman əsas çətinlik və enerji (təzyiq) itkiləri maye-qaz qarışığının (neft-qaz, qaz-kondensat və s.) təbəqələrə (fazalara) ayrılmış hərəkət formasına uyğun axılarda, əsasən trasın reylefinin horizontal və qalxan hissələrində mövcud olur ki, bu da həmin zonalarda maye fazasının toplanması və təzyiq döyüntüləri ilə müşahidə edilir. Müəyyən vaxtdan sonra yiğilan maye kütləsinin qaz fazası ilə aparılması da baş verir. Digər tərəfdən dənizdə neftin və qazın çıxarılması zamanı özüllərdə istehsalat sahələrinin məhdud ölçülü olması tətbiq olunan yiğim sistemlərinin işinin səmərəliliyini artırmaq üçün iri həcmli texnoloji əməliyyatların, konstruktiv həllərin həyata keçirilməsini bir qayda olaraq mümkünzsüz edir. Bu baxımdan prinsipial olaraq dəniz neft-qaz yataqlarının mənimsənilməsinin vacib və aktual elmi-texniki problemi kimi multifazalı mühitlərin axması zamanı qeyri-stasionar proseslərin analitik və təcrubi tədqiqatları əsasında quyu məhsullarının yiğilmasının enerji və resurslara qənaət edən üsul və texnologiyalarının işlənilməsini və realizasiyasını da göstərmək olar.

Məhz, termoqazohidrodinamiki və relyef şəraitinin dəyişməsi hazırlıq mərhələsini keçməyən multifazalı quyu məhsullarının yiğim-nəql kollektoru boyunca axın rejimi və təzyiq itkilərinin hesablanması xeyli çətinləşdirir. Quyu-yiğim sisteminə daxil olan boru xətləri şəbəkəsində multifazalı axınların qeyri-səmərəli, optimal olmayan paylanması baş verir. Bu isə öz növbəsində enerji xərclərinin artmasına səbəb olur.

Çoxsaylı üstünlük'lərə rəğmən, neft-qaz kəmərləri sisteminin fəaliyyətində bəzi çatışmamazlıqlar və mürəkkəbləşmə halları da meydana çıxır. Bu halların yaranmasına ilk önce borularda multifazalı qarışıqların hərəkəti prosesinin qeyri-stasionarlığı və axının müxtəlif strukturlu, həmçinin qeyri-bircins formaya malik olması səbəb olur.

İkifazalı qaz-maye axınları qazın mayedə necə paylanmasından asılı olaraq, müxtəlif struktur formaları ilə səciyyələnir. Qaz-maye axınının struktur formaları çox müxtəlif olmaqla əsasən qarışığın sürəti, maye və qazın sərfi və reofiziki xüsusiyyətləri, axının istiqaməti və kəmərin ölçülərindən asılıdır. Qeyd etmək lazımdır ki, qaz-maye axınlarının müxtəlif struktur formaları bir-biri ilə əlaqəlidir və axın şəraitini dəyişdikdə həmin struktur formaların biri digərinə keçə də bilir. Bir fazalı

homogen axınlarla müqayisədə fazalara ayrıılmaqla müşahidə olunan axınlar zamanı faktiki təzyiq itkiləri çox olur. Odur ki, iki fazalı axınlar üçün sürtünməyə sərf olunan basqı itkisinin nisbətən çox olması lay enerjisi hesabına qaz-neft qarışığını ancaq bir neçə on kilometrlərə qədər nəql etməyə imkan verir.

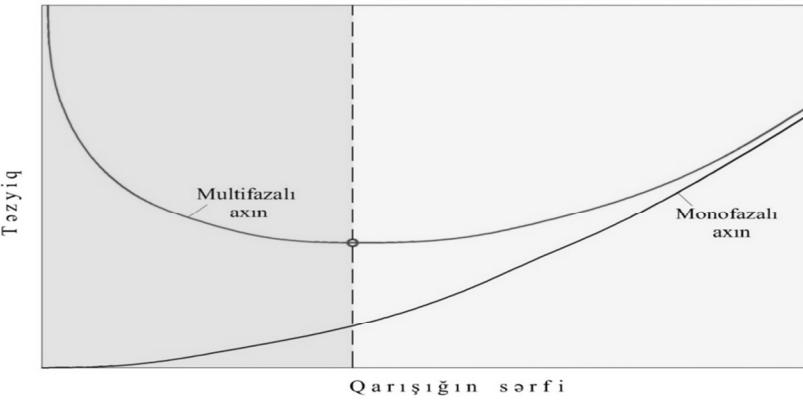
Multifazalı axından fərqli olaraq birefazalı axın üçün boru kəmərinin hidravlik (sərf) xarakteristikasında isə minimal təzyiq sərfin sıfır qiymətinə uyğun gəlməklə boru kəmərinin sonundakı təzyiqə bərabər olur (şəkil 2) [1, 2].

İkifazalı axın üçün boru kəmərinin sərf xarakteristikasında təzyiqin minimal qiyməti axının struktur quruluşunu aşağıdakı hissələrə ayırır: minimum nöqtədən sağa axın homogen (disperqlənmiş), sola isə təbəqələşmiş (fazalara ayrılmış) hesab olunur. Qaz-maye axının emulsiya (disperqlənmiş) axın formasını homogen axın da qəbul etmək olar. İkifazalı axının təbəqələşmiş strukturu onunla xarakterizə olunur ki, boru kəmərində mayenin toplanması baş verir ki, bu da kəmərdə qarışığın nəql təzyiqinin çoxalmasına səbəb olur.

Sixlıqlara görə fazaları qaz, neft, suya təbəqələşmiş qaz-maye qarışığının kiçik sürətlərində və əsasən yuxarıdan aşağıya istiqamətli axınlar olduqda, kəmərin (dik borunun) aşağı hissələrini aqressiv lay suları və mexaniki qarışqlar daha çox intensiv elektrokimyevi korroziyaya məruz qoyur. Məhz, qeyd olunan bu xüsusiyətlər neft və qazın boru kəməri ilə ikifazalı qarışq şəklində nəql olunmasının təbəqələşmiş sahəsini məhdudlaşdırır. Bu zaman hidravlik müqavimət əmsali, ayrı-ayrı fazalar üzrə sərfin qiymətləri, borunun həndəsi ölçüləri və mayenin, eləcə də qazın fiziki-kimyevi xassələrindən bilavasitə asılı olan təzyiq itkisinin bir fazalı axınla müqayisədə çox olması lay enerjisi (quyuağzı təzyiq) hesabına qaz-maye qarışığını hətta istismarın başlangıcında belə, ancaq bir neçə on kilometrlərə qədər məsafəyə nəql etməyə imkan verir (şəkil 3). Baxılan halda isə hidravlik hesablamalara əsasən qaz-kondensat qarışqlarının nəql məsafəsi, başqa sözlə boru kəmərinin uzunluğunun təyini məsələsi əsas məqsəd olmuşdur. Hər dəfə boru kəmərinin ilkin seçilməsindən sonra hərəkət rejimləri və qaz-kondensat qarışqları üçün axının struktur formaları təyin edilmişdir.

Kəmərin sonundakı təzyiqin sabit qiymətində ($P_s=3,2 \text{ MPa}$), başlangıcındakı təzyiqin, qaz və kondensatın sərfinin aşağıdakı qiymətlərində qazın nəql məsafəsinin boru kəmərinin diametrindən asılılığı tədqiq edilmişdir. Qaz-kondensat qarışığının aşağıdakı variantları üçün qaz kəmərinin hidravlik hesablanması həyata keçirilmişdir:

$$Q_q=5 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{gün}; Q_k=80 \text{ m}^3/\text{gün}; P_b=4,0 \text{ MPa}; P_s=3,2 \text{ MPa}.$$



Şəkil 2. Mono və multifazalı axınlar üçün boru kəmərinin hidravlik (sərf) xarakteristikaları

1-təbəqələşmiş (ayrı-ayrı fazalar) axın

2-disperqlənmiş və ya emulsiyalı axın

minimum nöqtə

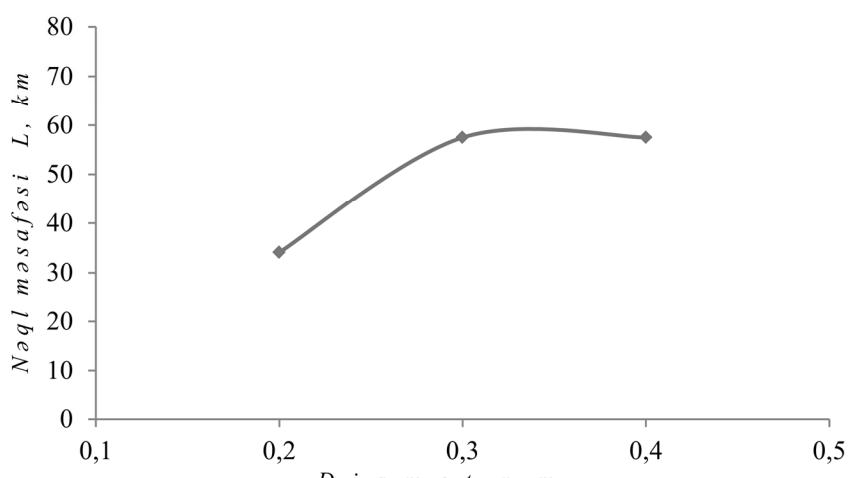
nöqtələndən sağa axın homogen (disperqlənmiş), sola isə təbəqələşmiş (fazalara ayrılmış) hesab olunur.

Qaz-maye axının emulsiya (disperqlənmiş) axın formasını homogen axın da qəbul etmək olar.

İkifazalı axının təbəqələşmiş strukturu onunla xarakterizə olunur ki, boru kəmərində mayenin toplanması baş verir ki, bu da kəmərdə qarışığın nəql təzyiqinin çoxalmasına səbəb olur.

Sixlıqlara görə fazaları qaz, neft, suya təbəqələşmiş qaz-maye qarışığının kiçik sürətlərində və əsasən yuxarıdan aşağıya istiqamətli axınlar olduqda, kəmərin (dik borunun) aşağı hissələrini aqressiv lay suları və mexaniki qarışqlar daha çox intensiv elektrokimyevi korroziyaya məruz qoyur. Məhz, qeyd olunan bu xüsusiyətlər neft və qazın boru kəməri ilə ikifazalı qarışq şəklində nəql olunmasının təbəqələşmiş sahəsini məhdudlaşdırır. Bu zaman hidravlik müqavimət əmsali, ayrı-ayrı fazalar üzrə sərfin qiymətləri, borunun həndəsi ölçüləri və mayenin, eləcə də qazın fiziki-kimyevi xassələrindən bilavasitə asılı olan təzyiq itkisinin bir fazalı axınla müqayisədə çox olması lay enerjisi (quyuağzı təzyiq) hesabına qaz-maye qarışığını hətta istismarın başlangıcında belə, ancaq bir neçə on kilometrlərə qədər məsafəyə nəql etməyə imkan verir (şəkil 3). Baxılan halda isə hidravlik hesablamalara əsasən qaz-kondensat qarışqlarının nəql məsafəsi, başqa sözlə boru kəmərinin uzunluğunun təyini məsələsi əsas məqsəd olmuşdur. Hər dəfə boru kəmərinin ilkin seçilməsindən sonra hərəkət rejimləri və qaz-kondensat qarışqları üçün axının struktur formaları təyin edilmişdir.

Kəmərin sonundakı təzyiqin sabit qiymətində ($P_s=3,2 \text{ MPa}$), başlangıcındakı təzyiqin, qaz və kondensatın sərfinin aşağıdakı qiymətlərində qazın nəql məsafəsinin boru kəmərinin diametrindən asılılığı tədqiq edilmişdir. Qaz-kondensat qarışığının aşağıdakı variantları üçün qaz kəmərinin hidravlik hesablanması həyata keçirilmişdir:



Şəkil 3. Qaz-kondensat qarışığının nəql məsafəsinin kəmərin diametrindən asılı olaraq dəyişməsi

Aparılan hidravlik hesablamaların nəticələrinə əsasən müəyyən edilmişdir ki, bırfazalı axından fərqli olaraq qaz-kondensat qarışığının nəql olunma məsafəsi boru kəmərinin diametrindən asılı olaraq sonsuz arta bilməz.

İlkin verilənlərə uyğun aparılan hesablamalar əsasən müəyyən edilmişdir ki, kəmərin diametrinin $D = 0,3 \text{ m}$ qiymətində artıq qaz-kondensat

karışığının hərəkət forması fazaların təbəqələşmiş formasına çevrilir. Bu zaman maksimal nəql məsafəsi 57,5 km təşkil edir (Şəkil 3). Beləliklə, dəniz yataqlarından qaz-kondensat qarışqlarının səmərəli yiğilması üçün optimal yiğim məsafəsi düzgün təyin olunmalıdır.

Qazların multifazalılığı ilə bağlı yaranan mədən problemlərinə onların yiğilması, hazırlanması və nəqli zamanı ayrı - ayrı qurğuların, texnoloji boru kəmərlərinin sıradan çıxması, qiymətli xammal itkisi, ətraf mühitin çirkəlməsi və baş vermiş qəzaların nəticələrini aradan qaldırmaq üçün əlavə maliyyə resurslarının sərfi kimi halları daxil etmək olar. Təhlil göstərir ki, multifazalı qazları nəql edən boru kəmərlərinin dağılımasının böyük əksəriyyəti eroziya və ya eroziya-korroziya xarakterli dağılmalarıdır. Belə ki, kəmərin dağılıması onun aşağısı səthi boyu baş verir və qısa zaman ərzində korroziya - eroziya prosesləri borunun divarını dağıdan yarıq əmələ gətirir [3, 4].

Ümumiyyətlə, korroziya fəallığının qiymətləndirilməsi üzrə aparılan tədqiqatların nəticələrinə görə əgər qazın tərkibində hidrogen-sulfid qazı yoxdur, o aşağı korroziya fəallığı olan mühit hesab edilir. Belə ki, bu zaman polad borular üçün korroziya sürəti çox da böyük olmur və $0,1 \text{ mm/il}$ təşkil edir. Yüksək minerallaşma dərəcəsinə malik olan lay suları belə statik şəraitdə orta korroziya fəallığına malik olur. Adətən, belə mühitdə polad konstruksiyaların korroziyaya uğrama sürəti $0,3 \text{ mm/il-dən}$ çox olmur. Nisbətən böyük korroziya sürəti hazırlıq mərhələsini tam keçməyən kondensləşən qazların nəqlini həyata keçirən boru kəmərlərində müşahidə olunur. Belə ki, bu zaman korroziya sürəti $3-5 \text{ mm/il-ə}$ çatır və təsadüfi deyil ki, həmin kəmərlər 1-2 il ərzində sıradan çıxa bilər. Bu proses qazın tərkibində mexaniki qarışqlar olduqda daha da sürətlənir.

Mədən təcrübəsi onu da təsdiqləyir ki, qarışığın böyük sürətlərində polad boru kəmərləri korroziyaya qarşı daha dayanıqlı olur. Mövcud faktlara əsasən demək olar ki, korroziya sürəti ilə qarışığın boru xətlərində hərəkət rejimləri arasında korrelyasiya əlaqəsi xeyli güclüdür.

Aktiv dağılmalar daha çox qaz kəmərlərinin trasının qalxan hissələrinin başlangıcında baş verir. Bu hissələrin daha çox eroziyaya məruz qalması onunla bağlıdır ki, məhz bu hissələrdə maye fazanın (su, kondensat), bərk mexaniki hissəciklərin toplanması və onların qarışığın axını boyu dövrü olaraq aşağı-yuxarı yerdəyişməsi baş verir. Ümumiyyətlə, neft-qaz yiğimi şəbəkəsinin və həmin şəbəkəyə daxil olan ayrı-ayrı boru xətlərinin dağılımasının statistikası ətraf mühitsə neft dağılmaları və təmir-izolyasiya işlərinin həcminin əhəmiyyətli dərəcədə çox olduğunu göstərir. Ən

başlıca rolü oynayan amil isə bu cür axınlar üçün hidrodinamik rejimin necə dəyişməsidir. Boru kəmərlərində eroziyalı (yarıq) korroziyaların baş verməsinin digər əsas səbəblərindən ümumi korroziya fəallığını və nəql olunan qazların təmizlənməsini göstərmək olar.

Cox da aktiv olmayan korroziya mühitində müəyyən uzunluqda yarıqların, özü də məhz boru xətlərinin alt hissəsində yaranmasının tam izahı hələlik mövcud deyil. Ümumiyyətlə, dinamiki korroziya problemləri geniş tədqiq olunmayıb və istismarda olan mədən texnoloji boruların alt hissələrində müşahidə olunan lokal korroziya dağılmaları bir çox hallarda müəmmalı görünür.

Boru kəmərlərinin aşağı hissəsində baş verən korroziya-eroziya proseslərinin qarşısının alınması probleminin həlli geniş tədqiqatlar tələb edir. İlk növbədə daxili amillər hesabına baş verən bu proseslər multifazalı axınların, o cümlədən tərkibində mexaniki qarşıqlar olan qaz axınlarının strukturu və hidravlik xüsusiyyətlərinin nəzərə alınmasını tələb edir. Hər şeydən onçə, yataqların abadlaşdırılması mərhələsində (və ya onların istismarı prosesində) qaz yığım-nəql xətlərinin kiçildilmiş diametrinin hesablanmış qiymətləri nəzərə alınmalıdır ki, borularda multifazalı qarşıqların hərəkət sürətlərinin optimal səviyyəsi təmin edilə bilsin.

Boru kəmərində hərəkət zamanı mexaniki hissəcik üçün daxili səthdə sürtünmə qüvvəsinin gücü aşağıdakı asılılığa əsasən müəyyən edilir [5,6]

$$N = F_v = 5,144(\rho_{m.h.} - \rho_q) \varphi u (2 - d/D)d^4/D \quad (1)$$

Burada, d - mexaniki hissəciyin diametri; $\rho_{m.h.}$ və ρ_q - uyğun olaraq mexaniki hissəciyin və qazın sıxlığı; φ - hissəciyin metalla sürtünmə əmsali; u - qaz axınının orta sürəti; r - axının oxu ilə mexaniki hissəciyin oxu arasındakı məsafədir $r = (D-d)/2$

(1) ifadəsindən görünür ki, boru kəmərinə eroziya təsirinin gücü daha çox mexaniki hissəciklərin diametrindən asılıdır.

Aşağıda multifazalı qarşıqların dinamikası nəzərə alınmaqla Azərbaycan yataqlarının timsalında neft-mədən texnoloji qaz boru kəmərlərinin hidrodinamiki korroziyası proseslərinə baxılmış və təhlil edilmişdir.

Laylardan daxil olan mexaniki qarşıqların əsasən qumlardan ibarət olduğunu nəzərə alsaq və ayrı-ayrı fraksiyaların orta ölçüləri və onların borulara olan təsirinə görə nisbi paylanması şərti olaraq cədvəl 1-də göstərildiyi kimi qəbul etsək boru kəmərinə olan eroziya təsirinin gücünü (1) ifadəsinə əsasən hesablamaq olar. Hesablamalar aşağıdakı ilkin məlumatlara əsasən aparılmışdır:

$$D = 200\text{mm} = 0,2\text{ m}; \rho_{m.h.} = 1500\text{ kg/m}^3; \rho_q = 30\text{ kg/m}^3; v = 5; 10; 15; 20\text{ m/s}.$$

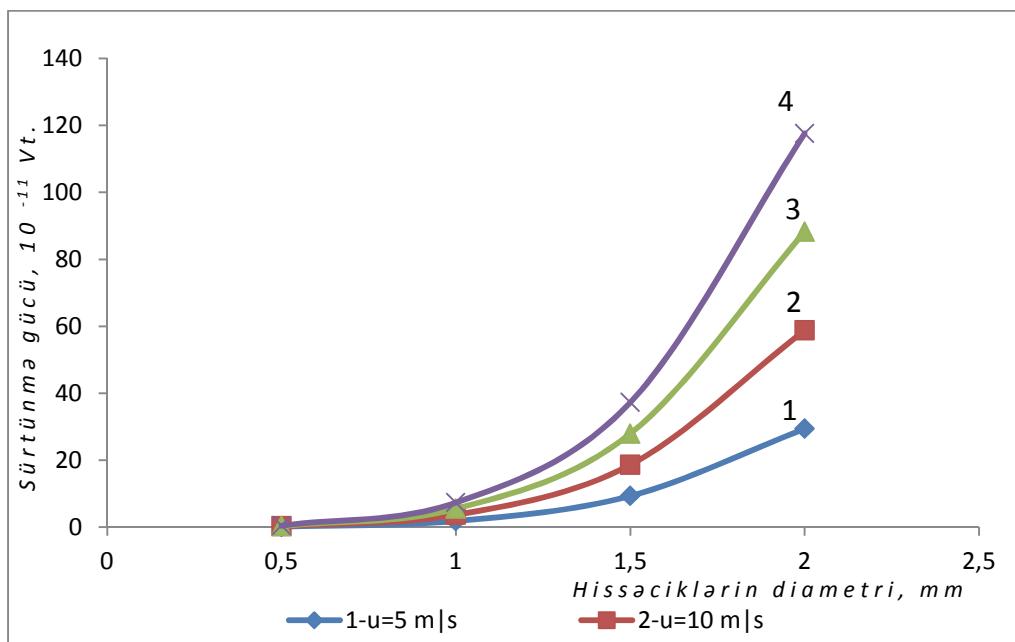
Hesablamaların nəticələri cədvəl 1-də və şəkil 4-də verilmişdir. Cədvəl və şəkildən göründüyü kimi, demək olar ki, 100% sürtünmə gücünün payı əsasən ölçüsü $d > 0,5$ mm olan fraksiyaların - mexaniki hissəciklərin payına düşür. Maraqlısı odur ki, eroziya effektinin böyük əksəriyyətini (95%) ən böyük diametrlı (1-2 mm) fraksiyalar yaradır. Digər mühüm nəticə ondan ibarətdir ki, 0,1-0,3 mm ölçülü fraksiyaların mexaniki qarşıqların ümumi həcmindən yaradan çoxunu (56%) təşkil etməsinə baxmayaraq onların ümumi sürtünmə gücündə payı yox dərəcəsindədir (cədvəl və şəkil 4).

Deməli, korroziya - eroziya sürəti mexaniki hissəciklərin qaz kəmərinin daxili səthində sürtünmə gücü ilə mütənasib olaraq artır və bu artım mexaniki hissəciklərin miqdardından çox onların ölçüsündən asılıdır. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, multifazalı qaz axınının sürətindən asılı olmayaraq sürtünmə gücünün payı nisbəti ancaq fraksiyaların diametrindən asılı olaraq dəyişəcəkdir.

Cədvəl

Mədən qaz-yığım xətlərində axının müxtəlif sürətlərində mexaniki hissəciklərdən yaranan sürtünmə gücünün hissəciklərin ölçüsündən asılılığı

Mexaniki hissəciklərin orta diametri, mm	Həcmidə hissə payı	Sürtünmənin gücü (müxtəlif axın sürətlərində), $N, 10^{-11} \text{ Vt}$							
		5,0 m/san.		10,0 m/san.		15,0 m/san.		20,0 m/san.	
		güc	pay nisbəti	güc	pay nisbəti	güc	pay nisbəti	güc	pay nisbəti
2,00	0,01	294100,00	0,72	588141,00	0,72	882120,00	0,72	1176280,00	0,72
1,50	0,02	93160,00	0,23	186325,00	0,23	279488,00	0,23	372651,00	0,23
1,00	0,03	18430,00	0,05	36851,20	0,05	55276,80	0,05	73702,40	0,05
0,50	0,05	1153,00	0,00	2306,09	0,00	3459,13	0,00	4612,17	0,00
0,30	0,25	149,50	0,00	299,01	0,00	448,52	0,00	598,04	0,00
0,20	0,16	29,54	0,00	59,08	0,00	88,62	0,00	118,16	0,00
0,10	0,15	1,85	0,00	3,69	0,00	5,54	0,00	7,39	0,00
0,08	0,05	0,76	0,00	1,51	0,00	2,26	0,00	3,03	0,00
0,06	0,03	0,24	0,00	0,48	0,00	0,72	0,00	0,96	0,00
0,04	0,06	0,05	0,00	0,09	0,00	0,14	0,00	0,19	0,00
0,02	0,08	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
0,01	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			1,00		1,00		1,00		1,00



Şəkil 4. Mədən qaz-yığım xətlərində axının müxtəlif sürətlərində mexaniki hissəciklərdən yaranan sürtünmə gücünün hissəciklərin ölçüsündən asılılığı

Göründüyü kimi, qaz kəmərini bərk mexaniki hissəciklərin təsirindən (eroziyadan) qorumaq məqsədilə həmin hissəciklərin borunun alt divarından qoparaq axının nüvəsinə düşməsi və orada

hərəkət etməsi vacibdir. Bunun üçün axında statik təzyiq qradiyenti (dP/dr) mexaniki hissəciyin və qazın xüsusi çəkilərinin təzyiqindən çox olmalıdır.

$$\frac{dP}{dr} > (\rho_{m.h.} - \rho_q) g \quad (2)$$

Yuxarıdakı hesablamalardan göründüyü kimi, mexaniki hissəciklərin diametrinin $d < 0,5$ mm qiymətlərində eroziya təsirinin nəzərə alınmaması mümkün olduğundan axının sürətinin hansı qiymətində (2) şərtinin ödənilməsini müəyyən etmək olar. Belə ki, qəbul etmək olar ki, $\alpha = 0,995$ qiymətində boru kəmərinin aşağı səthində qalan qatın qalınlığı $0,005D$ təşkil edəcəkdir. Yerdə qalan mexaniki hissəciklər qaz axını ilə hərəkət edəcəkdir. Beləliklə, dibdə olan hərəkətsiz qat boru divarının eroziyaya uğramasına səbəb olmayıcaqdır. Qeyd olunanları nəzərə alaraq boru kəmərinin eroziya - korroziyaya uğraması üçün axın sürətinin qiymətini aşağıdakı ifadəyə əsasən müəyyən etmək olar:

$$v = A \sqrt{\left(1 - \frac{\rho_q}{\rho_{m.h.}}\right) \cdot D} \quad (3)$$

Burada, $A = 7,86$ əmsaldır, $\frac{\sqrt{m}}{s}$.

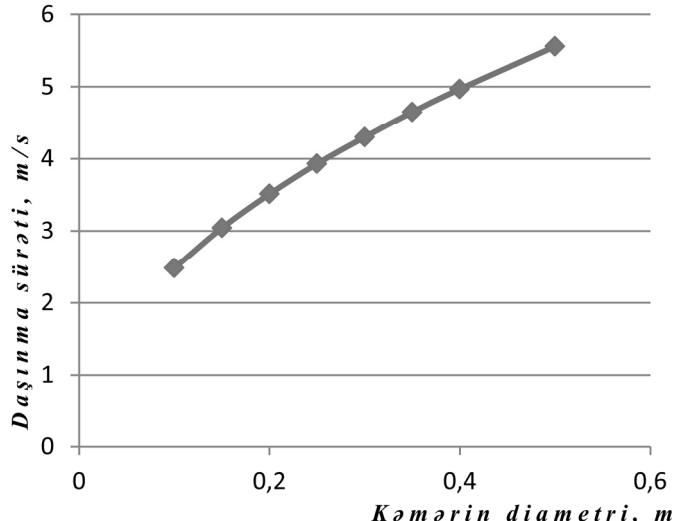
Sonuncu ifadədən göründüyü kimi, hissəciklərin qaz axını ilə daşınma sürəti fazaların sıxlıqları nisbəti və kəmərin diametrindən asılı olaraq müxtəlif olacaqdır. Alınmış ifadəyə əsasən müxtəlif diametrlə qaz kəmərləri üçün $\alpha = 0,995$ qiymətində mexaniki hissəciklərin hansı axın sürətlərində aparılması müəyyən edilmişdir.

Qaz kəmərlərində mexaniki hissəciklərin qaz axını ilə daşınma sürətinin hesablanmış qiymətlərinin kəmərin diametrindən asılı olaraq dəyişməsini əks etdirən qrafik şəkil 5-də göstərilmişdir.

Şəkildən göründüyü kimi, boru kəmərinin diametri artıraqca ölçüləri 1,0 mm-dən böyük olan mexaniki hissəciklərin qaz axını ilə daşınması üçün lazım olan sürətin qiyməti də çoxalır.

Nəticə. Təbii qazların yiğilması və nəqli zamanı boru xətlərində lokal şəkildə eroziya-korroziya hadisələrindən baş verən dağımaların qarşısını almaq üçün ən çox eroziyaya səbəb olan mexaniki hissəciklərin (diametri 1,0 mm-dən böyük olan fraksiyaların) boru kəmərlərinin başlanğıcında süzgəcdən keçirilərək yiğilması korroziya sürətinin xeyli azalmasına səbəb olar.

Qaz kəmərlərinin dağılmadan mühafizə üsullarından biri elə hidrodinamik rejimin seçilməsidir ki, bu zaman qazın hərəkət sürəti mexaniki hissəciklərin qaz axını ilə daşınmasını təmin etsin.



Şəkil 5. Qaz kəmərində mexaniki hissəciklərin qaz axını ilə daşınma sürətinin kəmərin diametrindən asılılığı.

REFERENCE

1. **İskəndərov E.X., İsmayılova F.B.** Dəniz qaz-kondensat yataqlarından karbohidrogenlərin yiğilmasının səmərəliliyi haqqında. İ.Quliyevin anadan olmasının 100 illik yubileyinə həsr olunmuş "Dəniz neft və qaz yataqlarının işlənməsinin aktual problemləri" mövzusunda konfransın materialları, Bakı, 2017, s.6-12.
2. **İsmayılov Q.Q.** Dəniz yataqlarından qaz-kondensat qarışlıklarının yiğilması və nəqlinin xüsusiyyətləri. İ.Quliyevin anadan olmasının 100 illik yubileyinə həsr olunmuş "Dəniz neft və qaz yataqlarının işlənməsinin aktual problemləri" mövzusunda konfransın materialları, Bakı, 2017, s.26-40..
3. **Suleymanov A.B., Kuliev R.P. i dr.** Jekspluataciya morskikh neftegazovyh mestorozhdeniy. - M.: Nedra, 1986. - 285 s.
Сулейманов А.Б., Кулиев Р.П. и др. Эксплуатация морских нефтегазовых месторождений. - М.: Недра, 1986. - 285 с.
4. **Lutoshkin G.S.** Sbor i podgotovka nefti, gaza i vody. - M.: Nedra, 1977. - 192 s.
Лутошкин Г.С. Сбор и подготовка нефти, газа и воды. - М.: Недра, 1977. - 192 с.
5. **Manzhosov V.K., Novikova O.D., Novikov A.A.** Teoreticheskaya mehanika. Chast II. Dinamika. Analiticheskaya mehanika. Ulyanovskiy. GTU, 2011. - 194 s.
Манжосов В.К., Новикова О.Д., Новиков А.А. Теоретическая механика. Часть II. Динамика. Аналитическая механика. Ульяновский. ГТУ, 2011. - 194 с.
6. **Pustovit B.V.** Mehanika dvizheniya zhidkostey v trubah. - L.: Nedra, 1980. - 160 s.
Пустовит Б.В. Механика движения жидкостей в трубах. - Л.: Недра, 1980. - 160 с.

THE OPTIMAL TECHNOLOGIES OF COLLECTION AND TRANSPORTATION MULTIPHASE PRODUCTS OF OFFSHORE WELLS

E.K. ISKANDAROV

The article examines complications of the multiphase-system transportation, the reasons of corrosion-erosion processes in the gas pipeline of the collection-transportation system in the offshore fields, and proposes possible solutions. The analysis shows that, the active disintegration of pipelines that transport multiphase gases occurs at the beginning of the shielding part of the pipeline. Just in these parts erosion processes more because of collecting liquid (water, condensate) and solid phase (mechanical particles) there. That is why, in the article it was investigated the effects of the fractional composition of the mechanical mixtures of the gases on corrosion-erosion processes in the field technological gas pipelines, taking into account the hydrodynamic factor of the multiphase flow. As a result of the investigations, it was studied the hydraulic characteristics of the pipeline for mono and multiphase flow, it was determined dependence of the transport distance from the diameter of the pipeline and the speed of transport of mechanical particles for different diameter of the technological gas pipelines. As a result, concrete options were proposed to reduce the speed of corrosion-erosion processes in multiphase in field pipelines where mechanical combinations exist.

Key words: gas pipeline, gas transport, erosion, corrosion, mechanical mixture, friction force, fractions, corrosion rate, hydrodynamic regime.

ОПТИМАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРА И ТРАНСПОРТА МУЛЬТИФАЗНОЙ ПРОДУКЦИИ СКВАЖИН НА МОРСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Э.Х. ИСКЕНДЕРОВ

В статье рассмотрены вопросы осложнения при транспортировке мультифазных систем по трубопроводам, причины возникновения коррозионно-эрзационных процессов в газопроводах внутрипромысловой системы сбора и транспорта продукции с морских месторождений, а также пути предотвращения этих процессов. Анализы показали, что активные разрушения в мультифазных газопроводах в основном происходят в начале подъемных участков трассы трубопровода. Именно в этих местах в силу накопления жидкости (воды, конденсата) и твердых механических частиц, а также их периодических движений вверх-вниз по направлению потока происходит эрозионно-коррозионные разрушение трубопровода. В статье с учетом гидродинамического факта в мультифазных газопроводах исследовано влияние размеров фракционного состава механических частиц на интенсивность коррозионных процессов. В результате проведенных исследований проанализирована расходная характеристика трубопровода для моно- и мультифазных потоков, изменения дальности сбора продукции в зависимости от диаметра трубопровода. Предложены варианты для снижения скорости эрозионно-коррозионных процессов в мультифазных трубопроводах.

Ключевые слова: газопровод, транспорт газа, коррозия, эрозия, механическая смесь, фракционный состав, мощность трения, скорость коррозии, гидродинамический режим.

УДК 66.023

РАЗРУШЕНИЕ ЭМУЛЬСИЙ В ПОСТОЯННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Г.Р. МУСТАФАЕВА*

В статье рассматривается процесс разделения нефтяных эмульсий с использованием постоянного электрического поля. Даётся сравнение поведения дисперсных систем в постоянном и переменном электрическом поле. В анализах нефтяных эмульсий отражаются важные свойства процессов коалесценции и дробления капель. Показано, что в реальных условиях возможно существование некоторого квазиравновесного состояния между процессами коалесценции и дробления, приводящего к стационарным функциям распределения.

Ключевые слова: нефтяные эмульсии, электрическое поле, дисперсные системы, дробление капель, диспергирование, агрегативная неустойчивость.

В настоящее время существует множество методов для интенсификации процессов разделения нефтяных эмульсий, среди которых важно выделить использование постоянного электрического поля [1]. Под действием электрического поля в каплях происходит перераспределение заряда, т.е. индицируются диполи [2], которые растягивают или сжимают каплю. При приближении таких диполей, в результате повышения напряженности электрического поля, наблюдается пробой несущей среды и разрушение межфазной оболочки. При этом возникает тонкий канал, в который устремляется внутренняя среда капель и происходит их слияние. Если капли не несут одноименных зарядов, то в результате их взаимодействия наблюдается их дробление и коалесценция [3-6]. В условиях множества капель и электрического поля сферическая форма капель нарушается в результате действия электрических сил и сил поверхностного натяжения. В зависимости от диэлектрической проницаемости и удельного электрического сопротивления материала капли, последняя, попадая в электрическое поле, может нести одновременно два заряда, распределенные по поверхности до экваториальной линии. В зависимости от расположения этих зарядов по отношению к электрическому полю капля может деформироваться – вытянуться вдоль или поперек. Как следует из результатов исследования [2], одна половина капли, обращенная к положительному электроду, заряжается положительно, другая, обращенная к отрицательному электроду, заряжается отрицательно. Устойчивость заряженной капли исследовалась Рэлейем, который показал, что форма капли является устойчивой, если отношение электростатической энергии к поверхностной меньше 4:

$$N_R = \frac{2(q^2 / \epsilon_0 a)}{\pi a^2 \sigma} < 4 \quad (1)$$

* Азербайджанский Государственный университет нефти и промышленности

где q – заряд капли, ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, a – диаметр капель, τ – коэффициент поверхностного натяжения.

Критическая напряженность поля, соответствующая устойчивости капель, определяется как $E=1.625(2\sigma/a)^{1/2}$. Процесс дробления капель в электрическом поле характеризуется следующими этапами: а) деформация капель под действием сил электрической природы, когда форма капли определяется стремлением поверхности к минимуму поверхностной энергии за счет сил поверхностного натяжения; б) разрыв капли и диффузионный перенос от поверхности в объем. Коалесценция капель определяется числом столкновений между ними, осуществляемых за счет диффузионного переноса и сил электрической природы. Общий поток капель на поверхность некоторой выделенной капли определится как

$$J = D \frac{\partial N}{\partial r} + \left(\frac{q}{mF} \right) NE \quad (2)$$

где D – коэффициент молекулярной диффузии, F – постоянная времени, обратная времени релаксации, m – масса капли, N – число капель в единице объема. Учитывая это выражение и уравнение Пуассона $\partial E / \partial r = \epsilon_0^{-1} N q$ распределение капель получим в виде

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{D}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial N}{\partial r} \right) + \frac{q}{mF\epsilon_0} N^2 \quad (3)$$

где r – радиус капли.

Это уравнение является сложным для аналитического решения, однако, если пренебречь диффузионным переносом, то оно упрощается к виду $\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{q}{mF\epsilon_0} N^2$ и решение при

начальном условии $N(t)_{t=0} = N_0$ представится как

$$N = \frac{N_0}{1 + k_E N_0 t} \quad (4)$$

где $k_E = q^2 / (mF\epsilon_0)$ – коэффициент электрокоалесценции, t – время.

Применение постоянного электрического поля для разделения нефтяных эмульсий ограничивается тем, что при воздействии переменного электрического поля на дисперсную фазу эмульсии происходит поляризация капелек, их деформация в направлении поля, диспергирование и наличие критической напряженности. В результате, расстояния между отдельными взвешенными капельками становятся соизмеримыми с размерами капелек воды, что приводит к увеличению напряженности местных электрических полей между капельками и они, деформируясь, вытягиваются и выстраиваются в токопроводящие цепочки в направлении вектора напряженности поля и ведет к короткому замыканию электродов. Конечно, образование токопроводящих цепочек из водяных капелек не исключено и при обработке эмульсий в переменном электрическом поле. В постоянном же электрическом поле такой смены полярности нет, поэтому для разрушения токопроводящих цепочек необходимо принимать какие-то специальные меры. Для разделения нефтяных эмульсий постоянное электрическое поле используется для разбавленных систем с объемной долей воды менее 1-2 %, т.е. для процессов переработки нефти, когда расстояния между отдельными капельками равны нескольким их диаметрам и влияние местных электрических полей настолько мало, что вероятность образования токопроводящих цепочек между электродами стремится к нулю. Характерной особенностью поведения дисперсных систем в постоянном электрическом поле даже пространственно-однородном (не градиентном) является то, что водяные капельки дисперсной фазы имеют тенденцию к направленному движению в сторону одного из

электродов (в однородном переменном электрическом поле направленное движение капелек, образующих малообводненную эмульсию, вообще невозможно). Это объясняется наличием электрокинетического потенциала (дзета-потенциала), обусловленного двойным электрическим слоем. Скорость движения водяных капелек, взвешенных в углеводородной среде и помещенных в постоянное электрическое поле, определяется уравнением Гельмгольца:

$$U = \varepsilon \varepsilon_0 E \xi / \eta_c \quad (5)$$

где U – скорость движения частиц дисперсной фазы, ε – относительная диэлектрическая постоянная дисперсионной среды, ζ – электрокинетический потенциал, E – напряженность внешнего электрического поля, η_c – коэффициент динамической вязкости дисперсионной среды.

Анализ этого уравнения показывает, что скорость движения частиц дисперсной фазы крайне мала, то есть для того, чтобы водяные капельки, находящиеся в объеме эмульсии вдали от электродов, достигли их поверхности, нужно очень много времени. Однако, для капелек, находящихся у поверхности электрода (например, на расстоянии диаметра капельки), эта скорость уже оказывается достаточной для того, чтобы покрыть этот путь в течение долей секунды. При контакте с поверхностью электрода водяная капелька не удерживается около него, а отталкивается и с увеличившейся во много раз скоростью устремляется к противоположному электроду. Объясняется это тем, что капелька, в результате контакта с электродом, получает от него электрический заряд, величина которого во много раз больше ее «естественному» заряда (то есть заряда, обусловленного наличием двойного электрического слоя). Величина заряда, получаемого капелькой от электрода в результате контакта, определяется выражением:

$$q = \frac{2}{3} \pi^3 \varepsilon \varepsilon_0 E r^2 \quad (6)$$

В результате взаимодействия внешнего электрического поля с этим зарядом происходит увеличение скорости движения капелек [7]. Приблизившись к противоположному электроду, капелька касается его своей поверхностью, в результате чего, происходит электрическая перезарядка (капелька получает равный по величине и противоположный по знаку электрический заряд), и устремляется к первому электроду, где опять происходит ее перезарядка, и так далее. В частности, при горизонтальном расположении электродов верхний электрод находится под высоким потенциалом, а нижний электрод заземлён [1]. Тогда, соприкоснувшись с нижним электродом, капелька получает отрицательный заряд по отношению к верхнему электроду и двигается в сторону увеличения потенциала. При контакте с верхним электродом она получает положительный заряд по отношению к нижнему электроду и двигается в сторону уменьшения потенциала, то есть к нижнему электроду. Таким образом, водяные капельки дисперсной фазы эмульсии, помещенной в постоянное электрическое поле, совершают колебательные движения между электродами, образующими поле. Причем, при своем перемещении между электродами они сталкиваются друг с другом, как имеющие противоположные заряды, так и с незаряженными капельками, находящимися в объеме, и укрупняются. Укрупнившиеся капельки при контакте с электродом получают от него еще больший заряд (величина заряда, при прочих равных условиях, прямо пропорциональна квадрату радиуса капельки), а следовательно, и большую скорость, что, во-первых, увеличивает вероятность столкновений с другими капельками и, во-вторых, увеличивает эффективность этих столкновений.

Приведенный выше анализ нефтяных эмульсий позволяет рассматривать важные свойства процессов коалесценции и дробления капель – агрегативную неустойчивость, в котором

основную роль играют пространственная неоднородность, деформация и осаждение капель, зарождение новых частиц и многие другие факторы. Очевидно, в реальных условиях возможно существование некоторого квазиравновесного состояния между процессами коалесценции и дробления, приводящего к стационарным функциям распределения.

REFERENCE

1. **Vinoqradov V.M., Vinokurov V.A.** Obrazovaniye, svosystva i metody razrusheniya neftyanyx emulsiy. - Moskva: Rosiyskiy Qosudarstvennyy universitet nefti i qaza, 2007.
Виноградов В.М., Винокуров В.А. Образование, свойства и методы разрушения нефтяных эмульсий. - Москва: Российский Государственный университет нефти и газа, 2007.
2. **Torza S., Koks R., Meyson S.** Elektroqidrodinamicheskaya deformachiya i razryv kapel. V kn.: Reologiya suspenziy. - M.: Mir, 1975, s. 280-331
Торза С., Кокс Р., Мейсон С. Электрогидродинамическая деформация и разрыв капель. В кн.: Реология суспензий. - М.:Мир, 1975, с.280–331
3. **Kelbaliyev Q.I. Rasulov S.R.** Qidrodinamika i massoperenos v dispersnyx sredax. Sankt-Peterburq: Ximizdat, 2014. – 568 s.
Келбалиев Г.И., Расулов С.Р. Гидродинамика и массоперенос в дисперсных средах. Санкт-Петербург: Химиздат, 2014. – 568 с.
4. **Kelbaliyev Q.I. Rasulov S.R., Rzayev A.Q.** Neftyanaya qidrodinamika. - M.: Maska, 2015. – 360 s.
Келбалиев Г.И., Расулов С.Р., Рзаев А.Г. Нефтяная гидродинамика. - М.: Мaska, 2015. – 360 с.
5. **Rəsulov S.R., Kəlbəliyev Q.I., Rzayev Ab.Q., Mustafayeva G.R., Orucov V.V.** Uplotneniye neftyanoqo plasta v rezultate deformatii i osajdeniya razlichnyx primesey. //Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının xəbərləri, 2015, №4, c. 101-112
Расулов С.Р., Келбалиев Г.И., РзаевАб.Г., Мустафаева Г.Р., Оруджев В.В. Уплотнение нефтяного пласта в результате деформации и осаждения различных примесей. //Вестник Азербайджанской Инженерной Академии, 2015, №4, с. 101-112
6. **Kelbaliyev Q.I., Rasulov S.R., Suleymanov G.Z., Mustafayeva G.R.** Ecological aspects of extraction process of organic solution from sewage by recycling. Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2016, №2, p111-120
7. **Kelbaliyev Q.I. Rasulov S.R., Tagiyev D.B., Mustafayeva G.R.** Mexanika i reologiya neftyanyx dispersnyx sistem: Monoqrafiya – M.: Maska, 2017. – 462 s.
Келбалиев Г.И., Расулов С.Р., Тагиев Д.Б., Мустафаева Г.Р. Механика и реология нефтяных дисперсных систем: Монография – М.: Мaska, 2017. – 462с.

SABIT ELEKTRİK SAHƏSİNĐƏ EMULSİYANIN PARÇALANMASI

G.R. MUSTAFAYEVA

Məqalədə sabit elektrik sahəsində istifadə etməklə neft emulsiyalarının parçalanması prosesinə baxılmışdır. Sabit və dəyişən elektrik sahəsində dispers sistemlərin vəziyyətinin müqayisəsi verilmişdir.

Neft emulsiyalarının analizinin əsasında damciların koalesensiyası və parçalanması proseslərinin mühüm xüsusiyyətləri eks etdirilmişdir. Göstərilmişdir ki, real şəraitdə stasionar paylanma funksiyalarına gətirib çıxaran koalesensiya və parçalanma prosesləri arasında kvaziqərərəşmiş halın olması mümkündür.

Açar sözlər: neft emulsiyaları, elektrik sahəsi, dispers sistemlər, damcının parçalanması, disperslaşdırma, aqregativ dayanıqsızlıq.

THE DESTRUCTION OF THE EMULSION IN A CONSTANT ELECTRIC FIELD

G.R. MUSTAFAYEVA

This article discusses the process of separation of oil emulsions with using constant electric field. Represented a comparison of the behavior of disperse systems in constant and alternating electric fields. Based on the analysis of oil emulsions considered important features of coalescence and crushing drops processes. It is shown that in the real world can exist a quasi-equilibrium state between the processes of coalescence and fragmentation, which leads to the stationary distribution functions.

Key words: oil emulsion, electric field, disperse systems, crushing of drops, dispersion, aggregative instability.

УДК 665.644.519.863

О ПРИРОДЕ АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ БИЦЕОЛИТНОГО КАТАЛИЗАТОРА В ПРОЦЕССЕ (ОКИСЛИТЕЛЬНОГО КАТАЛИТИЧЕСКОГО) ОКСИКРЕКИНГА ВАКУУМНОГО ГАЗОЙЛЯ

Э.А. ГУСЕЙНОВА*

Проведено исследование скелетной изомеризации бутен-1 в присутствии образцов бицелитного катализатора крекинга, которые принимали участие в процессе традиционного и окислительного каталитического крекинга. Установлено, что повышенная изомеризующая активность образцов коррелирует с активностью в процессе крекинга. Высказано предположение о том, что особенности структуры этого типа активных центров заключается в том, что они зарождаются и эволюционируют под воздействием реакционной среды и кислорода.

Ключевые слова: каталитический крекинг, оксикрекинг, активные центры.

Введение. В развитии нефтехимических процессов цеолитсодержащим катализаторам (ЦСК) принадлежит особая роль. Они послужили основой для создания эффективных катализаторов переработки нефтяных фракций, превращения синтез-газа, решения проблем экологического катализа и т.д. [1-8].

Совершенствование ЦСК, направленное на увеличение их активности, селективности и стабильности, способствует развитию и повышению эффективности технологических процессов. Так, эволюция промышленного катализатора каталитического крекинга высококипящих нефтяных фракций позволяет сегодня производить качественный автомобильный бензин, обеспечивать надежную сырьевую базу нефтехимического комплекса [7-10].

Среди успешных разработок последних лет необходимо отметить промышленные катализаторы серии КМЦ, ЛЮКС, Адамант, а также бицелитные катализаторы крекинга с вовлечением низкомодульной добавки ИК-17-1 (на базе цеолита типа ZSM-5) и др. [11-13].

Ранее нами были проведены сравнительные исследования традиционного и окислительного каталитического крекинга (оксикрекинга) вакуумного газоилья в присутствии кислорода с применением бицелитного катализатора крекинга с добавкой ИК-17-1 [14-16]. На основе сравнительного анализа показателей процесса было установлено существенное различие каталитической активности катализаторов одного структурного типа и химического состава в ходе традиционного окислительного каталитического крекинга (оксикрекинга).

* НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химии», Азербайджанский Государственный Университет нефти и промышленности

Причина такого явления, на наш взгляд, заключается во влиянии кислорода на изменение кислотно-основных свойств ЦСК.

Постановка задачи. Для определения природы, количества и силы кислотных центров катализаторов применяются различные методы: метод термопрограммируемой адсорбции-десорбции (ТПД) газообразных оснований, титрования аминами, метод ЯМР, ИК-спектроскопии адсорбированных молекул и т.д. Наряду с этим, рядом авторов показана возможность связи кислотных свойств алюмосяликатных катализаторов с активностью в изомеризации углеводородов [17-20].

Изучение изомеризующей активности бицелитного катализатора и использование полученных результатов для проведения сравнительных исследований влияния реакционной среды на кислотно-основные свойства и активность данного катализатора в процессе окислительного каталитического крекинга являлось целью настоящей работы.

Экспериментальная часть. Процесс традиционного и окислительного каталитического крекинга проводили в проточном реакторе с неподвижным слоем промышленного цеолитсодержащего катализатора каталитического крекинга OMNIKAT -340 при температуре 500°C, атмосферном давлении и объемной скорости подачи сырья 2 ч-1. Подача воздуха в реакционную зону составляла 0,5% на сырье. В качестве сырья использовали вакуумный газойль (н.к.270°C – к.к.500°C).

Термическое поведение образцов цеолитсодержащего катализатора изучали с помощью дифференциально-термического (ДТА) и термогравиметрического анализа (ТГА), который проводили на установке NETZSCH. Для анализа был выбран режим линейно-политермического нагрева со скоростью 10°C/мин в атмосфере воздуха.

Обсуждение результатов. Для проведения сравнительного анализа динамики изменения характера кислотности ЦСК были отобраны отработанные образцы, которые отличались длительностью пребывания (15, 30, 45, 60 минут) и условиями проведения процесса каталитического крекинга: 4 образца в условиях оксикрекинга и 4 образца, участвующих в процессе традиционного неокислительного каталитического крекинга.

Было установлено, что образцы ЦСК одного и того же состава, но отличающиеся условиями процесса крекинга, работают по существу, как разные катализаторы: степень превращения бутен-1 в присутствии образцов, участвующих в условиях традиционного каталитического крекинга ниже, чем соответствующих им образцов, но принимающих участие в условиях оксикрекинга. Но существенные различия становятся явными не сразу.

Так, степень изомеризации бутен-1 в присутствии образцов, участвующих в процессе обоих типов крекинга в течение 15 мин (образцы 1КК и 1OKK), имеет очень близкие значения, но уже спустя 30 мин работы (образцы 2КК и 2OKK), отмечается заметная разница между ними: активность 2OKK уменьшается на 1,1%, тогда как в случае 2КК – уже на 5,5%, и данная тенденция усиливается тем сильнее, чем дольше длительность пребывания образцов в условиях крекинга (рис.1).

В ходе сравнения активности*, проявляемой исследуемыми образцами в процессе изомеризации бутен-1 в *цис-/транс*-изомеры бутена-2, была получена последовательность:

$$1 \text{ OKK} > 2 \text{ OKK} > 3 \text{ OKK} > 1 \text{ KK} > 2 \text{ KK} > 4 \text{ OKK}$$

* активность характеризовалась как отношение степени превращения бутен-1 к площади поверхности катализатора.

$$0,065 > 0,064 > 0,063 > 0,061 > 0,058 > 0,030$$

На рисунке 2 приведены зависимости конверсии вакуумного газойля и распределение продуктов уплотнения в ходе процесса каталитического крекинга в присутствии кислорода и без него. Видно, что в условиях оксикирекинга степень превращения нефтяной фракции увеличивается на 14% по сравнению с традиционным режимом. Отмеченный эффект свидетельствует о существенном промотирующем действии кислорода. Отмечается сходство общих закономерностей активности образцов ЦСК в процессе оксикирекинга и последующей изомеризации бутен-1 в их присутствии. Это тем более удивительно, если учесть, что согласно данным термического анализа, количество продуктов уплотнения (ПУ), формирующихся в процессе идентичных условиях окислительного каталитического крекинга вакуумного газойля, больше, чем в традиционного неокислительного крекинга (рис.5.1, 5.4-5.6), а активность ЦСК в условиях оксикирекинга также превышает таковую в неокислительных условиях [15,16].

Согласно литературным данным [21,22], соотношение *цис-/транс*-изомеров позволяет сделать предположение о возможной природе кислотных центров. На основании этого, нами были проанализированы соотношения выхода *цис*-и *транс*-бутена-2 для образцов ЦСК в зависимости от режима участия в процессе крекинга (рис.3). Приведенные зависимости имеют зависимостей показал, что на соотношение *цис-/транс*-бутена-2 наибольшее влияние оказывает не длительность процесса крекинга, а реакционная среда. Причем эта зависимость для образцов, участвующих в процессе традиционного каталитического крекинга (рис.3, кривая 1), более пологая и практически линейная (величина достоверности аппроксимации $R=0,97$). По мере увеличения длительности пребывания образцов ЦСК в условиях традиционного крекинга, концентрация как протонных, так и аптонных кислотных центров резко снижа-

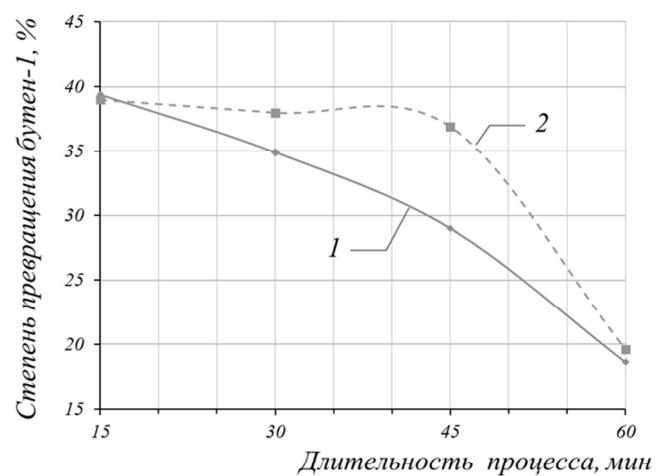


Рис.1. Зависимость степени превращения бутен-1 в присутствии образцов, участвующих в процессе традиционного (сплошная кривая) и окислительного (штриховая кривая) крекинга от длительности процесса.

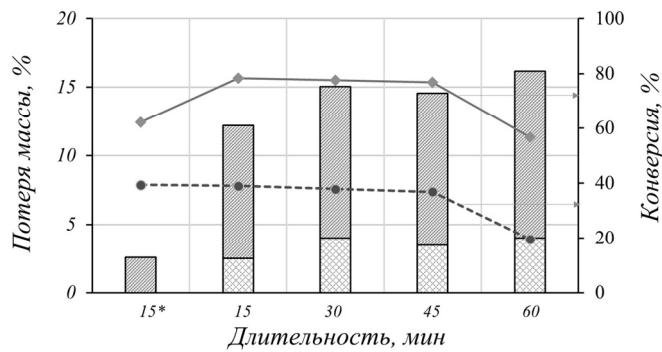


Рис.2. Влияние длительности процесса окислительного крекинга на конверсию вакуумного газойля (сплошная линия), бутен-1 (пунктирная линия), динамику накопления и потери массы для эндоэффектов:

- $T_{\max} = 398-407^{\circ}\text{C}$;
- $T_{\max} = 485-504^{\circ}\text{C}$.

Примечание: 15* - образец оксикирекинга, 15 мин, $T_{\max} = 525^{\circ}\text{C}$. (T_{\max} – температура максимума экзотермического эффекта)

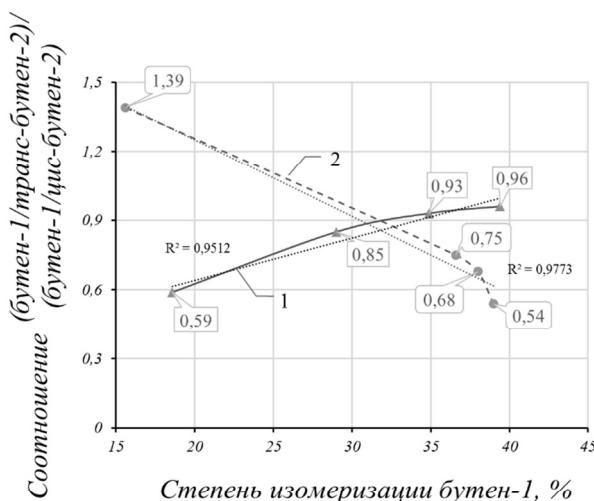


Рис.3. Зависимость соотношения цис-/транс-бутена-2 в присутствии образцов катализатора, участвующих в процессе традиционного (1) и окислительного (2) катализитического крекинга, от длительности процесса.

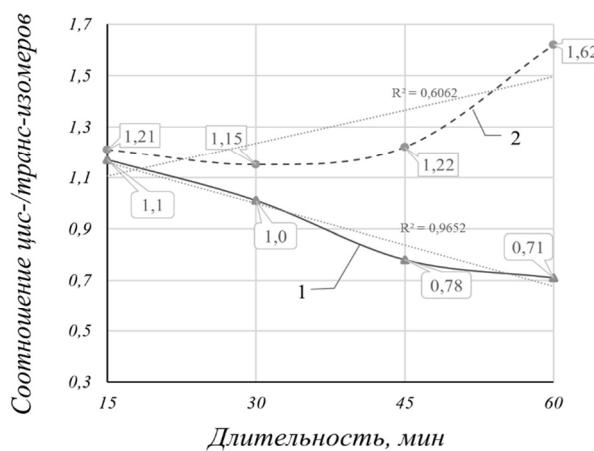


Рис.4. Зависимость соотношения бутена-1 к транс-бутен-2 в присутствии образцов катализатора, участвующих в процессе традиционного (1) и окислительного (2) катализитического крекинга, от степени изомеризации бутен-1.

торов [12,13,16,21-23], для которых протонная кислотность является основополагающей, обусловленной наличием поверхностных OH-групп, и ответственной за протонирование как алканов, так и олефинов [2-4]. Наблюдаемая быстрая дезактивация группы образцов традиционного крекинга дает основание предположить, что наибольшая часть протонных центров ЦСК, локализована на внешней поверхности цеолита, поскольку размер молекул исходного бутена-1 и цис-/транс-изомеров бутен-2 очень близки и значительно меньше диаметра каналов цеолита.

По сравнению с ними, для образцов окисикрекинга, у которых относительная доля поверхностных протонных центров практически сразу уменьшается, было не только не отме-

ется, вероятнее всего за счет накопления поверхностных продуктов реакций олигомеризации, полимеризации и конденсации.

Анализ зависимости соотношения цис-/транс-бутена-2 от длительности процесса окисикрекинга (рис.3, кривая 2) более сложен и меняется практически экспоненциально. Данная зависимость имеет во времени два периода протекания, существенно отличающихся друг от друга по характеру: в начальный период времени (15 мин) соотношение цис-/транс-изомеров характеризуется явным преобладанием цис-бутена-2, далее наблюдается минимум (30 мин), после которого вновь наступает участок значительного повышения выхода цис-бутена-2. На наш взгляд, нелинейность представленной зависимости связана с разработкой катализатора окисикрекинга, которая сопровождается изменением кислотно-основных свойств катализатора в присутствии кислорода.

Кроме того, было отмечено, что для обеих групп образцов ЦСК, длительность пребывания которых в зоне крекинга минимальна, зависимости характеризуются достаточно высоким содержанием транс-бутена-2. Несколько большая концентрация протонных центров, ответственных за транс-стереоспецифичность, отмеченная у образцов традиционного крекинга, обусловлена требованиями, предъявляемыми к данному типу промышленных катализа-

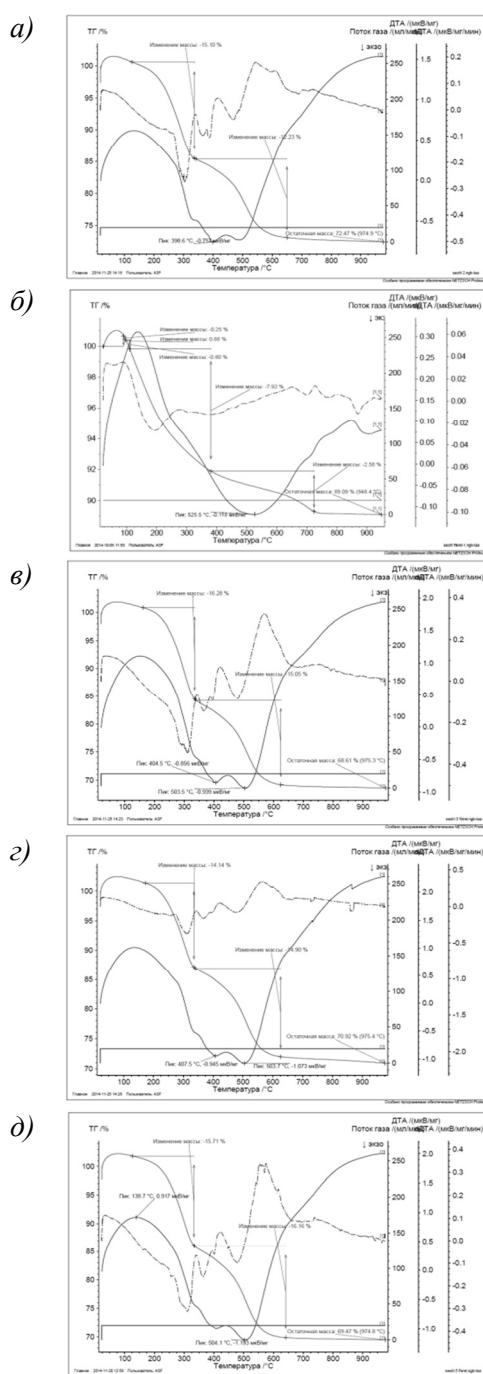


Рис.5. Результаты ТГ и ДТА анализа образца бищеолитного катализатора, принимавшего участие в условиях традиционного (а) и окислительного катализитического крекинга в течение 15 мин (б), 30 мин (в), 45 мин (г) и 60 мин (д).

чене падение изомеризующей активности ЦСК, но и напротив, установлен ее рост за счет образования *цис*-бутен-2.

Еще одним важным показателем вклада протонных кислотных центров в общие кислотно-основные свойства катализаторов, проявляемых в процессе изомеризации бутен-1, является соотношение бутен-1 к *транс*-бутен-2 (рис.4). Среда, в которой осуществляется каталитический крекинг вновь вносит основной вклад: образцы, участвующие в процессе оксикирекинга, характеризуются большим уровнем содержания не только *цис*-, но и *транс*-бутен-2. Экспериментально полученные зависимости также обладают высокой степенью достоверности ($R=0,95-0,98$).

Отметим, что так как для образцов, участвующих в процессе традиционного крекинга было установлено, что в ходе изомеризации бутен-1 соотношение образующихся *цис-/транс*-бутен-2 и бутен-1/*транс*-бутен-2 близко к 1, то в первые минуты процесса изомеризации активация н-алкена сопровождается образованием промежуточного соединения – карбкатиона, которые, являясь высокоактивными частицами, вступающими с адсорбированными с исключительно большой скоростью, ведут к накоплению поверхностных высокомолекулярных прочно адсорбированных структур, увеличивая степень зауглероживания поверхности, блокируют апротонные активные центры катализатора, в течение короткого периода времени, уменьшая конверсию олефина и активность катализатора.

Таким образом, рассмотрение зависимостей соотношения изомеров бутен-2, полученных в ходе исследования процесса изомеризации бутен-1 в присутствии образцов ЦСК, участвующих в процессе оксикирекинга, позволяют сделать предположение о том, что кислотно-основные свойства данных образцов обусловлена не только протонными кислотными, но и основными центрами образцов катализатора. Присутствие данного типа активных центров следует из явно выраженной *цис*-стереоспецифичной изомеризации бутен-1. Образование данного типа изомера связывают с наличием кислотных цен-

тров Льюиса [24-25], но в то же время, высокая степень зауглероживания образцов оксикиринга, ставит под сомнение их вклад конкретно в рассматриваемом случае. Из этого следует, что в активации исходного олефина принимают участие другие активные центры, склонные проявлять электронно-акцепторные свойства. Поскольку полученная в ходе проведенных исследований повышенная изомеризующая активность коррелирует с активностью в процессе оксикиринга, было сделано предположение о том, что особенности структуры этого типа активных центров заключается в том, что они зарождаются и эволюционируют под воздействием реакционной среды и кислорода.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Развития Науки при Президенте Азербайджанской Республики – Грант № EIF-KETPL-2-2015-1(25)-56/24/4.

REFERENCE

1. **Boreskov G.K.** Primenenie ceolitov v katalize. - Novosibirsk: Nauka (Sibirskoe otdelenie), 1977. – 189 s.
Боресков Г.К. Применение цеолитов в катализе. - Новосибирск: Наука (Сибирское отделение), 1977. -189 с.
2. **Dj. Himiya ceolitov i kataliz na ceolitah.** - M.: Mir, 1980.T.1. – 506 s.
Дж. Химия цеолитов и катализ на цеолитах. - М.: Мир, 1980.Т.1. – 506 с.
3. **Ione K.G.** Polifunktionalny kataliz na ceolitah. - Novosibirsk: Nauka, 1982. – 266 s.
Ионе К.Г. Полифункциональный катализ на цеолитах. - Новосибирск: Наука, 1982. – 266 с.
4. **Minachev H.M., Harlamov V.V.** Okislitelno-vosstanovitelny kataliz na ceolitah. - Moskva: Nauka, 1990. – 149 s.
Миначев Х.М., Харламов В.В. Окислительно-восстановительный катализ на цеолитах. - Москва: Наука, 1990. – 149 с.
5. **Brek D.** Ceolitovye molekulyarnye sita. - M.: Mir, 1976. – 781 s.
Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. - М.: Мир, 1976. – 781 с.
6. **Volkova G.G., Badmaev S.D., Plyasova L.M., Paukshtis E.A.** Bifunkcionalnye katalizatory polucheniya metilacetata, vodoroda i izogeksanov. Novosibirsk: Izd. otdel IK SO RAN, 2013. – 242 s.
Волкова Г.Г., Бадмаев С.Д., Плясова Л.М., Паукштис Е.А. Бифункциональные катализаторы получения метилацетата, водорода и изогексанов. Новосибирск: Изд. отдел ИК СО РАН, 2013. – 242 с.
7. **Aliev R.R.** Katalizatory i processy pererabotki nefti. - M.: Moskva, 2010. - 398 s.
Алиев Р.Р. Катализаторы и процессы переработки нефти. - М.: Москва, 2010. - 398 с.
8. **Hadzhiev S.N.** Kreking neftjanyh frakcij na ceolitsoderzhashhih katalizatorah. - M.: Himiya, 1982. – 280 s.
Хаджиев С.Н. Крекинг нефтяных фракций на цеолитсодержащих катализаторах. - М.: Химия, 1982. – 280 с.
9. **Tağıyev D.B., Əlimərdanov H.M., Abasov S.İ.** Kinetika və kataliz. – Bakı: "Elm". 2014. – 616 s.
10. **Smidovich E.V.** Tehnologiya pererabotki nefti i gaza. Ch.2. Kreking neftjanogo syrya i pererabotka uglevodorodnyh gazov. - M.: Himiya, 1980. - 328 s.
Смидович Е.В. Технология переработки нефти и газа. Ч.2. Крекинг нефтяного сырья и переработка углеводородных газов. - М.: Химия, 1980. - 328 с.
11. **Kapustin V.M., Gureev A.A.** Tehnologija pererabotki nefti. Chast 2. Destruktivnye processy. - M.: KolosS, 2008. - 334 s.
Капустин В.М., Гуреев А.А. Технология переработки нефти. Часть 2. Деструктивные процессы. - М.: КолосС, 2008. - 334 с.
12. **Liholobov V.A.** Institut problem pererabotki uglevodorofov SO RAN. Dostizhenija nauki i praktiki dlya resheniya problem himicheskoy pererabotki uglevodorofov // Rossiyskiy himicheskiy zhurnal. 2007. №4. S.6-10.
Лихолобов В.А. Институт проблем переработки углеводородов СО РАН. Достижения науки и практики для решения проблем химической переработки углеводородов // Российский химический журнал. 2007. №4. С.6-10.
13. **Glazov A.V., Generalov V.N., Gordenko V.I., Doronin V.P., Dubkov I.V.** Novye katalizatory kataliticheskogo krekinga serii "Lyuks": opyt razrabotki, proiz-vodstva i yekspluatacii na OAO "Sibneft-Omskij NPZ" // Rossiyskiy Himicheskiy Zhurnal. Tom LI. 2007. №4. S.57-59.
Глазов А.В., Генералов В.Н., Горденко В.И., Доронин В.П., Дубков И.В. Новые катализаторы каталитического крекинга серии "Люкс": опыт разработки, производства и эксплуатации на ОАО "Сибнефть-Омский НПЗ" // Российский Химический Журнал. Том LI. 2007. №4. С.57-59.
14. **Doronin V.P., Lipin P.V., Potapenko O.V., Sorokina T.P., Korotkova N.V., Gordenko V.I.** Perspektivnye razrabortki: katalizatory krekinga i dobavki k nim // Kataliz v promyshlennosti. 2014. №5. S.82-87.
Доронин В.П., Липин П.В., Потапенко О.В., Сорокина Т.П., Коротко-ва Н.В., Горденко В.И. Перспективные разработки: катализаторы крекинга и добавки к ним // Катализ в промышленности. 2014. №5. С.82-87.
15. **Gusejnova Ee.A., Mursalova L.A., Adjamatov K.Ju.** Kataliticheskiy kreking vakuumnogo gazoylya v prisutstvii kisloroda // VIII Vserossiyskaja konferenciya s mezhdunarodnym uchastiem molodyh uchenyh po himii Mendeleev - 2014, Sankt-Peterburg, sekciya 5. S.238.

- Гусейнова Э.А., Мурсалова Л.А., Аджамов К.Ю. Каталитический крекинг вакуумного газоилья в присутствии кислорода // VIII Всероссийская конференция с международным участием молодых ученых по химии Менделеев - 2014, Санкт-Петербург, секция 5. с.238. http://mendeleev.spbu.ru/files/Theses_Mendeleev_2014_2.pdf
16. Gusejnova Ee.A., Mursalova L.A., Adjamov K.Ju. Kataliticheskiy oksikreking vakuumnogo gazoyla // Azerbaydzhan-skiy himicheskiy zhurnal. 2014. №3. S.37-42.
- Гусейнова Э.А., Мурсалова Л.А., Аджамов К.Ю. Каталитический оксикрекинг вакуумного газоилья // Азербайджанский химический журнал. 2014. №3. С.37-42.
17. Guseynova E.A., Mursalova L.A., Adzhamov K.Yu. Acidic and Basic Properties of Zeolite-Containing Cracking Catalyst in the Process of Butene-1 Isomerization // Russian Journal of Physical Chemistry A, 2016, Vol. 90, No. 8, pp. 1533–1538
18. Tanabe K. Tverdye kisloty i osnovaniya. – М.: Mir, 1973. - 184 c.
Танабе К. Твердые кислоты и основания. – М.: Мир, 1973. - 184 c.
19. Vojcehovskij B.V., Korma A. Kataliticheskiy kreking. Katalizatory, himiya, kinetika. - M.: Himija, 1990. - 152 s.
Войцеховский Б.В., Корма А. Каталитический крекинг. Катализаторы, химия, кинетика. - М.: Химия, 1990. - 152 с.
20. Shmachkova V.P., Kocarenko N.S., Paukshtis E.A. K voprosu o vlijanii sily kislotnyh centrov geterogenykh katalizatorov na ih aktivnost v skeletnoy izomerizacii n-butana. // Kinetika i kataliz. 2004. №4. S.587-591.
Шмачкова В.П., Коцаренко Н.С., Паукштис Е.А. К вопросу о влиянии силы кислотных центров гетерогенных катализаторов на их активность в скелетной изомеризации н-бутана. // Кинетика и катализ. 2004. №4. С.587-591.
21. Alhazov T.G., Lisovskij A.E. Okislitelnoe degidrirovanie uglevodorodov. - M., Himija, 1980. 238 s
Алхазов Т.Г., Лисовский А.Е. Окислительное дегидрирование углеводородов. - М., Химия, 1980. 238 с
22. Guseynova E.A., Adjamov K.Ju. Elektronnye svojstva poverhnostnyh soedine-nij nikelja v reakcijah prevrashhenija izopropilovogo spirta // Vestnik Azerbaydzhanskoy Inzhenernoy Akademii. – 2014. - Т.6. - №1. - S.113-119.
Гусейнова Э.А., Аджамов К.Ю. Электронные свойства поверхностных соединений никеля в реакциях превращения изопропилового спирта // Вестник Азербайджанской Инженерной Академии. – 2014. - Т.6. - №1. - С.113-119.
23. Gusejnova E.A., Zeinalov Je.T., Bagirova N.N., Adjamov K.Ju. Vlijanie meto-da aktivacii na aktivnost nikeljevogo katalizatora // Vestnik Azerbajdzhan-skoj Inzhenernoj Akademii, 2016, №1, s.75-82
Гусейнова Э.А., Зейналов Э.Т., Багирова Н.Н., Аджамов К.Ю. Влияние метода активации на активность никелевого катализатора // Вестник Азербайджанской Инженерной Академии, 2016, №1, с.75-82
24. Paukshtis E.A., Malysheva L.V., Kocarenko N.S., Karakchiev L.G. Izuchenie mehanizma izomerizacii butena-1 na katalizatorah kislotnoy prirody kineticheskim i IK-spektroskopicheskim metodami // Kinetika i kataliz. 1980. №2. S.455-461.
Паукштис Е.А., Малышева Л.В., Коцаренко Н.С., Каракчиев Л.Г. Изучение механизма изомеризации бутена-1 на катализаторах кислотной природы кинетическим и ИК-спектроскопическим методами // Кинетика и катализ. 1980. №2. С.455-461.
25. Egiazarov Ju.G., Savchic M.F., Ustilovskaya E.Ja. Geterogenno-kataliticheskaya izomerizaciya uglevodorodov. - M.: Nauka i tehnika, 1989. - 310 s.
Егизаров Ю.Г., Савчиц М.Ф., Устиловская Э.Я. Гетерогенно-катализическая изомеризация углеводородов. - М.: Наука и техника, 1989. - 310 с.

VAKUUM QAZOYLUNUN OKSÍKREKİNQ PROSESİNDƏ (OKSİDLƏŞDİRİCİ KREKİNQ) BİSEOLİT KATALİZATORUN AKTİV MƏRKƏZLƏRİNİN TƏBİƏTİ

Е.Ә. HÜSEYNOVA

Buten-1 skelet izomerlaşdırmasının biseolit kreking katalizatorunun nümunələri iştirakınla, hansılar ki, ənənəvi və oksidləşdirmə kataliz krekingi prosesində işlənilib, tədqiq olunmuşdur. Təyin edilmişdir ki, nümunələrin yüksəldilmiş izomerizasiya aktivliyi kreking prosesində fəallığı ilə korrelyasiya edir. O, haqda fərziyyə söylənmişdir ki, aktiv mərkəzlərin bu tip strukturunun xüsusiyyətləri ondan ibarətdir ki, onlar oksigen mühitin təsiri altında yaradılırlar və təkamül edirlər.

Açar sözlər: kataliz krekingi, oksikreking, aktiv mərkəzlər.

THE NATURE OF ACTIVE CENTERS Bİ-SEOLİT CATALYSTS İN THE OXY-CRACKİNG (OXİDATION CATALYTİC CRACKİNG) OF VACUUM GAS OIL

E.A. GUSEYNOVA

The study of skeletal isomerization of butene-1 in the presence of the samples biseolit cracking catalyst, which took part in the process of traditional and pro-oxidative catalytic cracking. It was established that the increased activity of the samples isomerizing activity correlates with the cracking process. It is hypothesized that the particular structure of this type of active centers is that they are nucleation-and evolve under the influence of the reaction medium and oxygen.

Key words: catalytic cracking, oxy-cracking, active center.

UOT 621: 69.03

MEMARLIQ MÜHİTİNİN MÜXTƏLİF FAKTORLARA GÖRƏ SİSTEMLİ XÜSUSİYYƏTLƏRİNİN ANALİZİ

A.Ə. ABDULLABƏYLİ *

Məqalədə müasir memarlıq layihələndirilməsində informasiya axılarının çoxalması fonunda memarlıq mühitinin müxtəlif faktorlara görə sistemli xüsusiyyətlərinin analizi verilmişdir. Memarlıq layihələndirilməsində daxili və xarici faktorların təsirini nəzərə almaq üçünfərqli memarlıq mühiti və memarlıq nümunəsi anlayışları daxil edilmiş, bu anlayışlar əsasında memarlıqda sistemli xüsusiyyətlər müəyyən edilmişdir.

Açar sözlər: sistemli analiz, memarlıq layihələndirilməsi, memarlıq mühiti, memarlıq nümunəsi.

Giriş. Memarlıq müasir standartlar çərçivəsində, informasiya və kompüter texnologiyaları (İKT) vasitələrinin və programlarının sürətlə tətbiq edildiyi elm və texnika sahələrindən biridir və bu integrasiya prosesinin özü, tədqiqat obyekti kimi olduqca özəl və spesifik xüsusiyyətlərə malikdir. Bu mənada, bir tərəfdən memarlıq və informasiya texnologiyalarının müstəqil elm və texnika sahələri kimi araşdırılması, digər tərəfdən onların bir vəhdət olaraq əsas xüsusiyyətlərini təhlil etməklə avtomatlaşdırılmış memarlıq prinsipləri əsasında yeni və müasir memarlıq texnologiyalarının yaradılması aktual məsələlərindən biri kimi qalır.

Nəzərdə tutulan tədqiqatların istiqamətini dəqiqləşdirmək məqsədi ilə memarlıq sahəsinin əsaslarını, memarlıq-layihələndirmə proseslərinin xüsusiyyətlərini, bu sahəyə İKT-nin tətbiqi fonunda araşdırmağı, davamında isə İKT vasitələrinin memarlıqda tətbiqi məsələlərini analiz etmək daha məqsədə uyğun hesab edilir.

Məlumdur ki, memarlıq cəmiyyətin formalaşmasında aparıcı mövqeyə malikdir. Memarlığın iqtisadiyyatın müxtəlif sahələrində əsas aparıcı mövqeyi mövqeyi danılmazdır. Birbaşa insan həyatına bağlılığı bu elm sahəsini həmişə aktual etmişdir. Memarlıq tarixi bəşəriyyətin tarixi ilə eyni vaxtdan başlamışdır. Arxeoloji qazıntılar sübut edir ki, qədim insanlar ibtidai icma quruluşunun birgə yaşayış qaydalarını təyin edərkən öz aralarında yaşadıqları mağaralarda müəyyən zonalaşma tətbiq edirdilər [1]. Zaman keçdikcə bu tələblər əsasında müəyyən qaydaların formalaşmış qrafik təsvirlər növü meydana gəlmişdir.

Müasir dövrdə memarlıq sahəsinin əsas informasiya daşıyıcısı qrafiki təsvirlər olan elektron, əlyazma və çap məhsullarıdır. Tarixi nöqtəyi nəzərdən, qrafik təsvirlərin əlyazma və çap məhsulları olan informasiya daşıyıcıları memarlığın, uyğun olaraq, qədim və orta tarixinə, elektron

* Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası

informasiya daşıyıcı növü isə ən yeni tarixinə aiddir. Əsrlərlə əvvəl qeyd olunmuş cizgilər, planlar, fasadlar, müxtəlif təsvirlər tərtibatçının həyata baxışları və elmi-intellektual səviyyəsinə görə daşıdıgı informasiyanı müxtəlif zamanlarda yaşayan insanlara çatdırır. Qədim Şumer mədəniyyətinə aid olan daş kitabələr, qədim Misirin mixi yazıları, antik dövrün papyrus kağızları, Çin İmperiyalarının yazılı hesabatları və s. özlüyündə bir informasiya daşıyıcılarıdır. Müasir dövrdə informasiya texnologiyalarının inkişafı hər sahədə çoxsaylı elmi tədqiqatlarda araşdırıldıqından memarlığın da elm sahəsi kimi bu axtarışlara müraciət etməsi zərurəti yaranmışdır.

Əsas hissə. Aparacağımız sistemli analiz memarlıq və informasiya texnologiyaları əsasında olduğundan bu mənada təhlil zamanı memarlıqda dair ümumiləşmiş bir anlayış qəbul edək. Bu anlayışı şərti olaraq **memarlıq nümunəsi** adlandıraq. Qəbul edək ki, memarlıq nümunəsi dedikdə zaman fərqini nəzərə almadan insanın istifadə etdiyi, onun tərəfindən qəbul edilmiş qaydalar əsasında tikilmiş bina və qurğuları, insan tərəfindən yaşayış yaxud istifadə üçün formallaşdırılmış təbiət guşələrini nəzərdə tutacaqıq. Bu halda memarlıq nümunəsi dedikdə biz bina və abidələrin yalnız özləri və layihələrini deyil, həm də onlar haqqında informasiya toplularını nəzərdə tutacaqıq. Məhz bu səbəbdən mövcud memarlıq abidəsinin adına, özünə, üslubuna, kompozisiya həllinə və digər memari xüsusiyyətlərinə yaxud tikiləcək binanın layihəsinə, texniki-iqtisadi göstəricilərinə və s. istinad etməyimizdən asılı olmayaraq biz apardığımız təhlilləri informasiya texnologiyalarının tətbiqi ilə sistemli analiz müstəvisində apardığımıza görə xüsusi hal kimi bu termindən istifadə edəcəyik. Sistem analiz dedikdə “Sistem nəzəriyyə” əsasında tədqiqat obyektinə aid olan müxtəlif mürəkkəb məsələ və problemlərin həlli metodologiyalarının təhlili nəzərdə tutulur. ([5], s.114).

Memarlıq nümunəsinin həlli zamanı əvvəlcə verilmiş memarlıq mühitinin sistemli təhlili aparılır. Bu zaman mühitin şəhərsalma şərtlərinə, nümunənin memarlıq-kompozisiya, funksional-zonallaşma və həcmi-fəza həllinə, konstruktiv-texniki həllərə və qüvvədə olan normativ sənədlərdəki tələblərə istinad edilir, memarlığın digər elm sahələri ilə ünsiyyət funksiyasından istifadə edilir. Alınan yekun nəticə memarlıq nümunəsini bütövləşdirir və onun bir növ “canlandırılması”na gətirib çıxarı [2].

Memarlıq nümunəsi və mühitin müxtəlif parametrləri arasındaki asılılıq xətti xüsusiyyətlərə malik olduğuna görə şərti olaraq ünsiyyət funksiyasını tərtib etsək onu aşağıdakı kimi göstərə bilərik:

$$F(X) = A_1X_1 + A_2A_1X_2 + \dots + A_nX_n \quad (1)$$

burada X- memarlıq mümunəsinin ümumi bir aspektə yekun göstəricisi; A_1, \dots, A_n memarlıq mühitinin elementlərinin müxtəlif sahələr üzrə sabit göstəriciləri; X_1, \dots, X_n isə həmin sahələr üzrə memarlıq mühitinin elementlərinin müvafiq memarlıq göstəriciləridir.

Qeyd etdiyimiz kimi hər sahə üzrə aparılan təhlil iri həcmli informasiya toplusudur və riyazi olaraq yuxarıda qeyd olunan funksiyanın yekun tərtibi aşağıdakı kimi təsvir edilə bilər:

$F(X_n) = \sum A_iX_i \quad i = 1, \dots, \text{Beləliklə, memarlıq nümunəsini tam həll etmək üçün mühitdən "A" və "X" parametrləri üzrə informasiyalar toplanılmalıdır.}$

Memarlıq aid olan məsələlər ilkin olaraq kompozisiya məsələləri kimi ifadə edilir. Memarlıq kompozisiyasında yuxarıda qeyd etdiyimiz memarlıq nümunəsinin funksional, bədii və konstruktiv xüsusiyyətləri və memarlıq mühiti arasında ümumi harmoniya tapılır. Qədim Roma

memarı Vitruvi memarlıq üçün təyin etdiyi üç qanun hal-hazırkı dövrə qədər də aktuallığını saxlamışdır:

- memarlıq nümunəsi möhkəmliyi, səmərəliliyi və gözəlliyi özündə əks etdirməlidir [3].

Elmi ədəbiyyatlarda bu ifadələri müasir memarlıq terminləri ilə qarşılaşdıraraq funksiya-konstruksiya-forma kimi təqdim edirlər. Qeyd olunan hər xüsusiyyətə görə isə memarlıq nümunəsinin çoxsaylı analizi, bu analizlərin təhlili və nəticəsi və s. meydana çıxır. Keçmiş dövrlərdə memarlıq nümunələri sadədən mürəkkəbə doğru quruluşa malik olduqlarından özlərində bu quruluşlara görə də informasiya daşıyırdılar.

Misirin Qiza şəhərində yerləşən Xeops ehramı misalında bu fikrimizi qısaca izah edək (şək.1).

Bu memarlıq nümunəsində
Vitruvi şərtləri tam ödənilir :

- konstruktiv olaraq kifayət qədər dayanıqlı tikildir və dövrümüzə qədər bütün şəkildə gəlib çatmışdır;

-dövrünün liderinin nəşinin saxlanıldığı yer kimi konkret funksiyaya malik olmuşdur, hal-hazırda da tarixi müzey kimi fəaliyyət göstərir;

- düzgün həndəsi cisim kimi-piramida kimi ideal formaya malikdir, insanlara zövq verir.

Belə memarlıq nümunələrinin tikilməsi dövrü quldarlıq dövrünə aid olduğundan onların tikinti texnologiyasını araşdırmağa çox cəhd edilir, lakin bu konkret texnologiyaların müqayisə olunması və hipotezalardan irəli getmir. Təbii ki, əgər bu informasiyanın sistemləşdirilməsində müasir texnologiyalar tətbiq olunarsa daha çox, ətraflı və sistemli informasiya əldə edilə bilər [4].

Digər nümunə kimi isə İndoneziyada tikilmiş Petronas Qülləsi binasını misal göstərə bilərik. Hündürlüyü 451.9m olan, 88 mərtəbəli biznes mərkəz üçün 40 ha ərazidə tikinti aparılmış, binalar daxilində 213 750 kv.m istifadə olunan sahə tikilmişdir.(şək.2). Bu sahə 48 futbol meydançasının sahəsi ilə müqayisə olunur. Binanın tikintisində həm dəmir-beton, həm də metal konstruksiyalardan istifadə olunmuşdur. Təsəvvür etmək çətin deyil ki, bu kimi iri həcmli göydələnin layihəsi zamanı kifayət qədər mürəkkəb hesabatlar aparmaq lazım gəlmişdir.

Yuxarıda apardığımız müqayisəli analizdən belə nəticəyə gəlmək olar ki, qədim və müasir memarlıq nümunələrinin layihələndirilməsi, tikintisi və istifadəsi zamanı hətta onların fiziki həcmələri də eyni olarsa belə daşındıqları informasiya həcmələri müxtəlifdir. Daşındıqları informasiya həcmələrinə uyğun olaraq memarlıq nümunələri üçün müxtəlif informasiya daşıyıcıları tələb oluna-caqdır. Memarlıq layihələndirilməsi zamanı layihəçi memarın fərdi xüsusiyyətləri əsas faktorlardan biridir.



*Şəkil 1. Misirin Qiza şəhərində ehramlar kompleksi.
Xeops ehramı
(https://en.wikipedia.org/wiki/Egyptian_pyramids)*

O həm psixoloq, həm urbanist, həm inşaat konstruktur, elektrik, su mühəndisi və s. mütəxəssislər kimi hələ bu mühitə heç kimin girmədiyi halda burada yarana biləcək sualların cavablarını öncədən həll etməlidir.

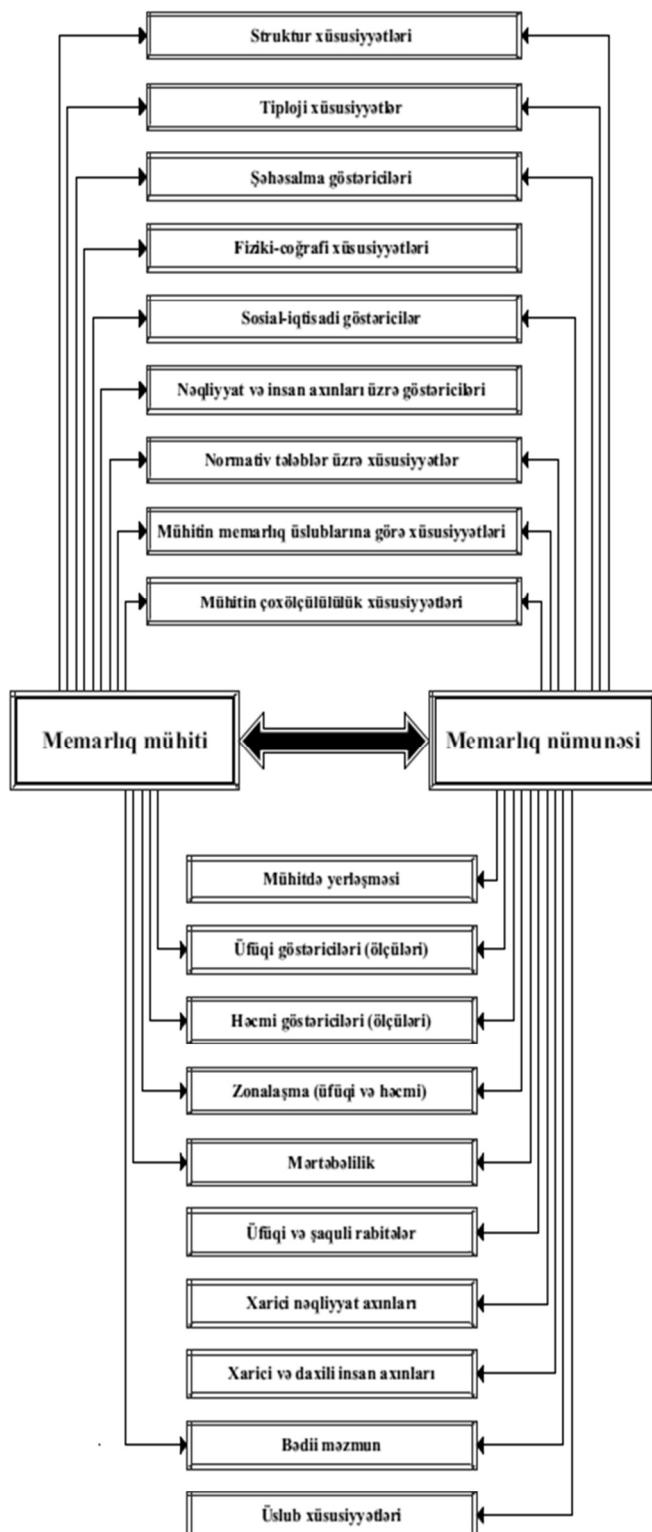
Memarlıq mühitin xüsusiyyətlərini özündə əks etdirən informasiyaların emalı memarın təxəyyülü olduğu üçün, onun həm dəqiq elmlərə, həm incəsənətə, həm də digər elm sahələrinə dair kifayət qədər dolğun informasiya bazasına malik olması və bu informasiyanı həll etməyə intellektual hazırlığının olması tələb olunur. Dəqiq elmlər əsasında o sürətlə hesabatlarını apara biləcək, mühitin fizikasını təhlil edə biləcək, layihə hissələri arasında nisbətləri düzgün təyin edə biləcək, fəlsəfi bilikləri əsasında mühiti sürətlə analiz edə biləcək, psixologiya barədə bilikləri əsasında mühitin erqonomikasında yarana biləcək müxtəlif suallar cavab tapa biləcəkdir [2]. Bu halda memar bir subyekt, təhlil edilən mühit isə obyekt statusunda analiz olunur. Memar mühitin təşkil etdiyi çoxluğa daxil olan hər elementin müxtəlif xüsusiyyətlərinə görə yekun nəticəyə gələrək memarlıq nümunəsinin düzgün funksional və forma həllini verməlidir. Verilən forma həllinin özündə hər element konkret funksiyaya və bədii məzmunu malik olmalıdır. Deməli, nəticə etibarilə memarlıq mühitini təşkil edən elementlərin xüsusiyyətlərindən təşkil edilmiş funksional asılılıqdan, memarlıq nümunəsinin forma və funksiyalarına bağlı yeni funksional asılılıq meydana çıxır. Bunların birincisi xüsusiyyətləri toplayır, digəri isə nəticəni yeni formada paylayır.



Şəkil 2. İndoneziyada tikilmiş Petronas Qülləsi
(https://en.wikipedia.org/wiki/Petronas_Towers)

xüsusiyyətlərinə görə layihə tapşırığı hazırlanır və bu tapşırıq əsasında konkret memarlıq nümunələrini təhlil edib layihə hazırlanır və bu layihə praktikada həyata keçirilir.

Yuxarıda qeyd olunan memarlıq mühitinin müxtəlif faktorlara görə sistemli xüsusiyyətlərini təsnifatlandırdıqda onun daxili və xarici olmaqla iki əsas hissəyə bölgülər [6]. Hər iki mühit elementlərə və onların funksiyalarında görə qruplara ayrılır. Daxili mühit xüsusiyyətləri struktur, tipoloji, mühitin memarlıq üslublarına və normativ tələblərə görə, xarici xüsusiyyətlər şəhərsalma, fiziki-coğrafi, sosial-iqtisadi və nəqliyyat və insan axınları göstəriciləri kimi təsnifatlaşdırıla bilər.



Şək.3. Memarlıqda sistemli xüsusiyyətlər

Memarlıq nümunəsini təşkil edən elementlər onun həm memarlıq planlaşdırma, həm həcmi fəza və konstruktiv-texniki strukturunu təşkil edir. Bu elementlərdən təşkil edilmiş yekun strukturu

Qeyd edək ki, bu cür bölünmə dəqiq sərhədlərə malik deyil və bir xüsusiyyətin elementi digər xüsusiyyətdə də özünü göstərə bilər. Struktur xüsusiyyətləri kimi memarlıq mühitinin təşkil edildiyi elementlərin konstruktiv, tikinti materialları, mühitdə olan maddələrin fiziki-kimyəvi tərkibinin nəzərə alınması ilə yerləşməsi və qarşılıqlı əlaqəsi nəzərdə tutulduğu halda, tipoloji xüsusiyyətlər dedikdə memarlıq mühitində olan elementlərin memarlıq tipologiyası nöqtəyi-nəzərdən hansı tip bina və qurğulara, yaxud tikililərə aid olması nəzərdə tutulur. İkinci halda xüsusiyyətin elementi əvvəlkinin elementlərinin məcmusundan ibarət olaraq formalasılır. Eyni ilə şəhərsalma, sosial-iqtisadi göstəricilərlə fiziki-coğrafi xüsusiyyətlər də bir-birini tamamlayaraq memarlıq həllərində kompleks halda eyni zamanda nəzərə alınması lazımdır.

Memarlıq mühiti və nümunəsi arasında birbaşa və bilavasitə əlaqəsi olan xüsusiyyətlər də mövcuddur [2]. Məsələn, daxili xüsusiyyətlərin hamısı eyni zamanda memarlıq nümunəsində də mövcud olduğu halda, xarici xüsusiyyətlərdən fiziki-coğrafi və nəqliyyat və insan axınları göstəriciləri memarlıq nümunəsində iştirak etmir. Bu memarlıq nümunəsinin yuxarıda verilmiş təyinindən irəli gəlir. Eyni qayda ilə memarlıq nümunəsi ilə memarlıq mühitini müqayisə etsək bu fərqli daha çox olduğunu görərik. Belə ki, memarlıq nümunəsinin mühitdə yerləşməsi, üfüqi və şaquli rabitələr, xarici nəqliyyat axınları və üslub xüsusiyyətləri memarlıq mühitinin xüsusiyyətlərinə daxil deyil.

əhatə edən xəyali “qlaf”, yaxud maddi xarici səth verilmiş memarlıq nümunəsinin həcmi təyin edir.

Memarlıq mühiti üçün ikinci xüsusiyyət həndəsi xüsusiyyətlərdir. Hər hansı bir mühiti həndəsi göstəriciləri olmadan qavramaq mümkün deyil. Məsələn verilmiş memarlıq mühiti daxilində olan yollar mühitin əsas təşkil edicilərindəndir. O həm konkret həcmələr arasında sərhədləri göstərir, həm də onlar arasında rabitəni təşkil edir, eyni zamanda memarlıq nümunəsinin xarici xüsusiyyətlərindəndir. Amma bu funksiyalar o zaman aktivləşir ki, tam nəqliyyat sistemi kimi baxılsın və insan və nəqliyyat axınları ilə birgə təhlil edilsin.

Bələdliklə, yuxarıda qeyd edilən xüsusiyyətlərin hər birinin memarlıq layihələndirilməsi zamanı nəzərə alınması zəruridir. Bu halda müxtəlif formaların alınması və onların modifikasiyaları informasiya texnologiyalarından istifadə zamanı xeyli rahat əldə edilir. Müasir dövrdə informasiya texnologiyalarından istifadə edərək istənilən memarlıq nümunəsinin 3D modelinin, onun memarlıq mühitini, plan və fasadlarının və s. digər memarlıq sistem xüsusiyyətlərinin təyini mümkündür.

Nəticə. Müasir memarlıq layihələndirilməsində informasiya texnologiyalarının tətbiqi ilə əlaqədar rast gəlinən problemlər araşdırılmışdır. Göstərilmişdir ki, informasiya axınlarının çoxalması fonunda layihələndirmə üçün zəruri olan informasiyanın sistemləşdirilməsi zəruridir. Memarlıq layihələndirilməsində daxili və xarici faktorların təsirini nəzərə almaq üçün memarlıq mühiti və memarlıq nümunəsi anlayışları daxil edilmiş, bu anlayışlar əsasında memarlıqda sistemli xüsusiyyətlər müəyyən edilmişdir. Memarlıq mühitinin və memarlıq nümunəsinin sistemli xüsusiyyətlərinin və onların layihələndirmə zamanı qarşılıqlı əlaqələri müəyyən edilmişdir.

REFERENCE

1. Vseobshchaja istorija arhitektury. Tom 1: Arhitektura drevnego mira / Pod obshhej redakcijej D.E.Arkina, N.I. Brunova, M.Ja. Ginzburga, N.Ja.Kolli, I.L.Maca — izd. Akademii Arhitektury SSSR, Moskva, 1944.
Всеобщая история архитектуры. Том 1: Архитектура древнего мира / Под общей редакцией Д.Е.Аркина, Н.И. Брунова, М.Я. Гинзбурга, Н.Я.Колли, И.Л.Маца — изд. Академии Архитектуры СССР, Москва, 1944.
2. Ikonnikov A.V. Prostranstvo i forma v arhitekture i gradostroitelstve. – M.: KomKniga, 2006.
Иконников А.В. Пространство и форма в архитектуре и градостроительстве. – М.: КомКнига, 2006.
3. Vitruvij. Desat knig ob arhitekture / Per. s lat. F.A. Petrovskogo. - M.: Izd-vo Akademii arhitektury, 1936.
Витрувий. Десять книг об архитектуре / Пер. с лат. Ф.А. Петровского. - М.: Изд-во Академии архитектуры, 1936.
4. Brested D., Turaev B. Istorija Drevnego Egipta. – M.: Harvest, 2003. – 832s.
Брестед Д., Тураев Б. История Древнего Египта. – М.: Харвест, 2003. – 832с.
5. Lucenko E. V. Avtomatizirovanny sistemno-kognitivny analiz v upravlenii aktivnymi obyektami (sistemnaja teoriya informacii i ee primenenie v issledovanii ekonomicheskikh, socialno-psihologicheskikh, tehnologicheskikh i organizacionno-tehnicheskikh sistem): Monografiya (nauchnoe izdanie). – Krasnodar: KubGAU. 2002. – 605 s. ISBN 5-94672-020-1
Луценко Е. В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ в управлении активными объектами (системная теория информации и ее применение в исследовании экономических,

- социально-психологических, технологических и организационно-технических систем): Монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ. 2002. – 605 с. ISBN 5-94672-020-1
6. **Ikonnikov A., Stepanov G.** Osnovy arhitekturnoy kompozicii: Uchebnoe posobie. – M.: Iskusstvo, 1971. – 224 s.
Иконников А., Степанов Г. Основы архитектурной композиции: Учебное пособие. – М.: Искусство, 1971. – 224 с.

ANALYSIS OF SYSTEMIC FEATURES OF ARCHITECTURAL ENVIRONMENT BY VARIOUS FACTORS

A.A. ABDULLABAYLI

In this article, against the backdrop of increasing information flows of modern architectural design, an analysis of systemic features on various factors is presented.

In order to consider the influence of internal and external factors were introduced the concepts of the architectural environment and architectural samples, on the basis of these concepts, system features in architecture were defined.

Key words: *system analysis, architectural design, architectural environment, architectural sample.*

АНАЛИЗ СИСТЕМНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ ПО РАЗЛИЧНЫМ ФАКТОРАМ

A.A. АБДУЛЛАБЕЙЛИ

В связи с увеличением информационных потоков современного архитектурного проектирования представлен анализ системных особенностей с учетом влияния внутренних и внешних факторов. Введены понятия архитектурной среды и образца архитектуры, на основе которых определены системные особенности.

Ключевые слова: *системный анализ, архитектурное проектирование, архитектурная среда, образец архитектуры.*

УДК 624.012

УРАВНЕНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА С НИСХОДЯЩЕЙ ВЕТВЬЮ И РЕШЕНИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ЗАДАЧ НА ЕГО ОСНОВЕ

М.А. ГАДЖИЕВ*, Г.А. ХАЛИЛОВ*, С.М. АЛАЕВА**

Существующие теории ползучести бетона в нелинейном варианте выражают зависимость деформаций от напряжений и времени, поэтому не способны отражать нисходящую ветвь диаграммы деформирования при длительном загружении. Обычно нисходящая ветвь учитывается при расчете на кратковременную статическую нагрузку. Для описания диаграммы деформирования бетона при сжатии с нисходящей ветвью предложены различные зависимости.

В статье конструировано уравнение нелинейной ползучести бетона, которое учитывает нисходящую ветвь. Показано, что вопреки установленным мнениям при нелинейной ползучести коэффициент релаксации не зависит от начального напряжения, и этот коэффициент единственный для данного уравнения. Кроме того, в статье приведена простая одношаговая методика решения сконструированного нелинейного уравнения ползучести при любой форме меры ползучести.

Ключевые слова: бетон, ползучесть, мера ползучести, коэффициент ползучести, коэффициент релаксации, нисходящая ветвь, полная диаграмма.

Все уравнения нелинейной наследственной ползучести бетона при сжатии учитывают только восходящую ветвь диаграммы деформирования. Это объясняется тем, что во всех существующих нелинейных уравнениях ползучести бетона дается зависимость деформаций от напряжений [1-4], а для получения зависимости с нисходящей ветвью необходима зависимость напряжения от деформаций. Дело в том, что в диаграммах с нисходящей ветвью для некоторых значений напряжений соответствует два значения деформаций. Поэтому в уравнениях нелинейной ползучести материалов, в том числе и бетона, в роли аргумента должна выступить деформация, потому что диаграммы с нисходящей ветвью однозначно определяются только через деформации при кратковременном загружении; именно так и поступают [5-11]. В свое время Ю.Н.Работнов [12] уравнение ползучести металлов предложил конструировать в таком виде, когда в левой части уравнения вместо деформации стояла бы функция от деформации. Естественно, при надлежащем подборе вида этой функции можно получить уравнение ползучести, учитывающее нисходящую ветвь. Аналогичное высказывание имеется и у А.В.Боровских [13]. Поэтому уравнение нелинейно наследственной ползучести бетона с нисходящей ветвью следует записывать следующим образом:

* Азербайджанский Университет Архитектуры и Строительства

** Алтайский Государственный Технический Университет им. И.И.Ползунова

$$f(\varepsilon_b(t)) = \sigma_b(t) - \int_{t_0}^t \sigma_b(\tau) \cdot \frac{\partial \varphi^*(t, \tau)}{\partial \tau} d\tau. \quad (1)$$

Здесь $\sigma_b = f(\varepsilon_b)$ уравнение полной диаграммы с нисходящей ветвью кратковременного деформирования бетона при сжатии.

В научной литературе предложены различные аналитические зависимости для описания полной кратковременной диаграммы, например:

❖ Уравнение В.Н.Байкова и его сотрудников [6]

$$\sigma_b = A_1 \cdot \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R} + A_2 \cdot \left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R} \right)^2 + A_3 \cdot \left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R} \right)^3 + A_4 \cdot \left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R} \right)^4 + A_5 \cdot \left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R} \right)^5 \quad (2)$$

Здесь A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 экспериментально устанавливаемые в зависимости от класса бетона коэффициенты, $\varepsilon_R = 0,002$;

❖ Зависимость, предложенная Еврокодом [3,7,8]:

$$\sigma_b = R_b \cdot \frac{k \cdot \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R} - \left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R} \right)^2}{1 + (k-2) \cdot \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R}} \quad (3)$$

$$\text{Здесь } k = \frac{E_b \cdot \varepsilon_R}{R_b}, \quad \eta = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R};$$

❖ Экспоненциальное уравнение Г.Д.Вишневецкого [5]

$$\sigma_b = k \cdot R_b \cdot \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R} \cdot \exp \left(-\frac{1}{m} \cdot \left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R} \right)^m \right) \quad (4)$$

$$\text{Здесь } k = \frac{E_b \cdot \varepsilon_R}{R_b}; \quad m = \frac{1}{\ln k} \text{ и т.д.}$$

А коэффициент ползучести определяется следующим образом:

$$\varphi^*(t, \tau) = \frac{E_b(t)}{E_b(\tau)} - 1 + E_b(t) \cdot C(t, \tau). \quad (5)$$

Наиболее развернутое выражение меры простой ползучести бетона было предложено С.В.Александровским [4]

$$C(t, \tau) = \varphi(\tau) - F(t) \cdot (e^{\gamma \tau} - A_2) - \Delta(\tau) \cdot e^{-\alpha(t-\tau)}. \quad (6)$$

$$\text{Здесь } \varphi(\tau) = \sum_{i=0}^{i=n} \varphi_i \cdot e^{-\alpha_i \tau}, \quad \Delta(\tau) = \sum_{i=0}^{i=m} \Delta_i \cdot e^{-\beta_i \tau} \text{ и } F(t) = \frac{\varphi(t) - \Delta(t)}{e^{\gamma t} - A_2} \quad (7)$$

Введя обозначение $K(t, \tau) = -\frac{\partial \varphi^*(t, \tau)}{\partial \tau}$, перепишем основное уравнение ползучести бетона в следующем виде

$$f(\varepsilon_b(t)) = \sigma_b(t) + \int_{t_0}^t \sigma_b(\tau) \cdot K(t, \tau) d\tau \quad (8)$$

Отличительной особенностью этой зависимости является то, что при $t = t_0$ уравнение нелинейной ползучести автоматически переходит в основную зависимость кратковременного деформирования бетона с нисходящей ветвью. Ни в одном предложенном до сих пор уравнении ползучести бетона такой переход невозможен.

Последнее время в этом направлении интенсивно выступает известный ученый в данной области профессор Р.С.Санжаровский [14-16], но в предложенных им уравнениях, как и в традиционных, дается зависимость деформаций от напряжений, что затрудняет учет исходящей ветви. Чтобы проследить результаты, доставляемые этим уравнением, рассмотрим несколько частных случаев, допускающих аналитическое решение. Допустим, что рассматривается достаточно зрелый бетон, когда изменением модуля упругости во времени можно пренебречь и ядро ползучести разностного типа, т.е. рассмотрим частный случай, когда коэффициент ползучести описывается простым выражением вида:

$$\varphi^*(t, \tau) = \varphi^*(t - \tau) = \varphi_0 \cdot (1 - \exp(-\gamma \cdot (t - \tau))) . \quad (9)$$

При этом ядро ползучести примет вид:

$$K(t, \tau) = K(t - \tau) = \varphi_0 \cdot \gamma \cdot \exp(-\gamma \cdot (t - \tau)) . \quad (10)$$

Тогда основное уравнение ползучести принимает вид

$$f(\varepsilon_b(t)) = \sigma_b(t) + \gamma \cdot \varphi_0 \cdot e^{-\gamma t} \cdot \int_{t_0}^t \sigma_b(\tau) \cdot e^{-\gamma \tau} d\tau . \quad (11)$$

Продифференцировав последнее уравнение один раз по времени t , сложим почленно с уравнением (10), умноженным на γ , и получим следующий дифференциальный аналог интегрального уравнения (11):

$$f_\varepsilon(\varepsilon_b(t)) \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) + \gamma \cdot f(\varepsilon_b(t)) = \dot{\sigma}_b(t) + \gamma \cdot (\varphi_0 + 1) \cdot \sigma_b(t) . \quad (12)$$

Это уравнение должно удовлетворять при $t = t_0$ следующему начальному условию:

$$\sigma_b(t_0) = f(\varepsilon_b(t_0)) . \quad (13)$$

В полученном уравнении (12) удобнее переходить к безразмерному времени $\theta = \gamma \cdot t$, тогда данное дифференциальное уравнение и соответствующее начальное условие можно записать в виде

$$f_\varepsilon(\varepsilon_b(\theta)) \cdot \dot{\varepsilon}_b(\theta) + f(\varepsilon_b(\theta)) = \dot{\sigma}_b(\theta) + (\varphi_0 + 1) \cdot \sigma_b(\theta) , \quad (14)$$

$$\sigma_b(\theta_0) = f(\varepsilon_b(\theta_0)) . \quad (15)$$

Так как полученное дифференциальное уравнение ползучести бетона линейно относительно напряжений, оно легко решается относительно напряжений. Решив уравнение, найдём:

$$\sigma_b(t) = \sigma_b(t_0) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta} + e^{-(\varphi_0 + 1)\theta} \cdot \int_0^\theta [f_\varepsilon(\varepsilon_b(\omega)) \cdot \dot{\varepsilon}_b(\omega) + f(\varepsilon_b(\omega))] \cdot e^{(\varphi_0 + 1)\omega} d\omega . \quad (16)$$

С применением (16) рассмотрим некоторые задачи релаксации. При $\varepsilon_b(\theta) = \varepsilon_b(\theta_0) = \varepsilon_{b0}$ из (15) следует, что $\sigma_b(\theta_0) = f(\varepsilon_b(\theta_0)) = \sigma_{b0} = const$, и потому из (16) для простой релаксации имеем уравнение:

$$\sigma_b(t) = \sigma_b(t_0) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta} + \sigma_b(t_0) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta} \cdot \int_0^\theta e^{(\varphi_0 + 1)\omega} d\omega .$$

Выполнив интегрирование, найдем

$$\sigma_b(t) = \frac{\sigma_b(t_0)}{\varphi_0 + 1} \cdot [\varphi_0 \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta} + 1] . \quad (17)$$

Отсюда для коэффициента релаксации найдем выражение

$$\rho_b(t) = \frac{\sigma_b(t)}{\sigma_b(t_0)} = \frac{\varphi_0 \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta} + 1}{\varphi_0 + 1} . \quad (18)$$

Отличительной особенностью полученного выражения является то, что при нелинейной ползучести коэффициент релаксации не зависит от начального напряжения. Кроме того,

при простой ползучести предельное значение коэффициента релаксации $\rho_b(\infty) = \frac{1}{\varphi_0 + 1}$. В случае сложной релаксации, т.е. при изменении деформации по заданному закону, изучим поведение коэффициента релаксации. Пусть деформация сжатия бетона изменяется по закону $\varepsilon_b(\theta) = \varepsilon_{b0} \cdot \left(1 + \frac{\theta}{1 + \delta \cdot \theta^2}\right)$. Для функции кратковременного загружения примем дробно-рациональную функцию, рекомендованную Еврокодом (3). При этом

$$f_\varepsilon = \frac{R_b}{\varepsilon_R} \cdot \frac{k - 2 \cdot \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R} - (k - 2) \cdot \left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R}\right)^2}{\left[1 + (k - 2) \cdot \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R}\right]^2}$$

и коэффициент релаксации определяется из следующего

равенства:

$$\rho_b(\theta) = \frac{\sigma_b(\theta)}{\sigma_b(\theta_0)} = e^{-(\varphi_0 + 1)\theta} + \frac{e^{-(\varphi_0 + 1)\theta}}{\sigma_b(\theta_0)} \cdot \int_0^\theta \Phi(\omega) \cdot e^{(\varphi_0 + 1)\omega} d\omega. \quad (18)$$

Здесь

$$\Phi(\omega) = \frac{R_b \cdot \varepsilon_{b0}}{\varepsilon_R} \cdot \frac{k - 2 \cdot \frac{\varepsilon_b(\omega)}{\varepsilon_R} - (k - 2) \cdot \left(\frac{\varepsilon_b(\omega)}{\varepsilon_R}\right)^2}{\left[1 + (k - 2) \cdot \frac{\varepsilon_b(\omega)}{\varepsilon_R}\right]^2} \cdot \frac{1 - \delta \cdot \omega^2}{(1 + \delta \cdot \omega^2)^2} + R_b \cdot \frac{k \cdot \frac{\varepsilon_b(\omega)}{\varepsilon_R} - \left(\frac{\varepsilon_b(\omega)}{\varepsilon_R}\right)^2}{1 + (k - 2) \cdot \frac{\varepsilon_b(\omega)}{\varepsilon_R}} \quad (19)$$

Аналитическое вычисление полученного выражения затруднительно, поэтому к вычислению в рассматриваемом случае коэффициента релаксации применим численное интегрирование, для чего отрезок интегрирования $\omega \in [0, \theta]$ разобьем на подынтервалы точками $\omega_0 = 0; \omega_1 = \theta_1; \dots; \omega_{i-1} = \theta_{i-1}; \omega_i = \theta_i; \dots; \omega_n = \theta$. Тогда для коэффициента релаксации получим уравнение:

$$\begin{aligned} \rho_{bn}(\theta_n) = & e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_n} + \frac{e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_n}}{\sigma_b(\theta_0)} \cdot \int_{\omega_0}^{\omega_1} \Phi(\omega) \cdot e^{(\varphi_0 + 1)\omega} d\omega + \\ & + \frac{e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_n}}{\sigma_b(\theta_0)} \cdot \int_{\omega_1}^{\omega_2} \Phi(\omega) \cdot e^{(\varphi_0 + 1)\omega} d\omega + \dots + \frac{e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_n}}{\sigma_b(\theta_0)} \cdot \int_{\omega_{i-1}}^{\omega_i} \Phi(\omega) \cdot e^{(\varphi_0 + 1)\omega} d\omega + \\ & + \dots + \frac{e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_n}}{\sigma_b(\theta_0)} \cdot \int_{\omega_{n-1}}^{\omega_n} \Phi(\omega) \cdot e^{(\varphi_0 + 1)\omega} d\omega \end{aligned} \quad (20)$$

Для вычисления этих интегралов применим правило перемножения эпюр, широко используемое в строительной механике стержневых систем. При этом в пределах выбранных расчетных участков изменение подынтегральных функций аппроксимируем линейными функциями, тогда для введенных интегралов на основании правила перемножения эпюр можем написать:

$$\begin{aligned} J_i = & \int_{\omega_{i-1}}^{\omega_i} \Phi(\omega) \cdot e^{(\varphi_0 + 1)\omega} d\omega = \frac{\omega_i - \omega_{i-1}}{6} \cdot \left[2 \cdot \Phi(\omega_i) \cdot e^{(\varphi_0 + 1)\omega_i} + 2 \cdot \Phi(\omega_{i-1}) \cdot e^{(\varphi_0 + 1)\omega_{i-1}} + \right. \\ & \left. + \Phi(\omega_i) \cdot e^{(\varphi_0 + 1)\omega_{i-1}} + \Phi(\omega_{i-1}) \cdot e^{(\varphi_0 + 1)\omega_i} \right] \end{aligned} \quad (21)$$

На основании полученных зависимостей для первых нескольких значений коэффициента релаксации имеем:

$$\text{При } \omega_0 = 0 \quad \rho_{bn}(\theta_n) = e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_0} = 1;$$

$$\text{При } \theta = \theta_1$$

$$\begin{aligned} \rho_b(\theta_1) &= e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_1} + \frac{e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_1}}{\sigma_b(\theta_0)} \cdot \frac{\theta_1 - \theta_0}{6} \cdot [2 \cdot \Phi(\theta_1) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_1} + \\ &+ 2 \cdot \Phi(\theta_0) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_0} + \Phi(\theta_1) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_0} + \Phi(\theta_0) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_1}] \end{aligned}$$

$$\text{При } \theta = \theta_2$$

$$\begin{aligned} \rho_b(\theta_2) &= e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_2} + \frac{e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_2}}{\sigma_b(\theta_0)} \cdot \frac{\theta_2 - \theta_0}{6} \cdot [2 \cdot \Phi(\theta_2) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_2} + \\ &+ 2 \cdot \Phi(\theta_0) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_0} + \Phi(\theta_2) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_0} + \Phi(\theta_0) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_2}] + \\ &+ \frac{e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_2}}{\sigma_b(\theta_0)} \cdot \frac{\theta_2 - \theta_1}{6} \cdot [2 \cdot \Phi(\theta_2) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_2} + 2 \cdot \Phi(\theta_1) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_1} + \\ &+ \Phi(\theta_2) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_1} + \Phi(\theta_1) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_2}] \end{aligned}$$

$$\text{При } \theta = \theta_3$$

$$\begin{aligned} \rho_b(\theta_3) &= e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_3} + \frac{e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_3}}{\sigma_b(\theta_0)} \cdot \frac{\theta_3 - \theta_0}{6} \cdot [2 \cdot \Phi(\theta_3) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_3} + \\ &+ 2 \cdot \Phi(\theta_0) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_0} + \Phi(\theta_3) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_0} + \Phi(\theta_0) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_3}] + \\ &+ \frac{e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_3}}{\sigma_b(\theta_0)} \cdot \frac{\theta_3 - \theta_2}{6} \cdot [2 \cdot \Phi(\theta_3) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_3} + 2 \cdot \Phi(\theta_2) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_2} + \\ &+ \Phi(\theta_3) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_2} + \Phi(\theta_2) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_3}] + \\ &+ \frac{e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_3}}{\sigma_b(\theta_0)} \cdot \frac{\theta_3 - \theta_1}{6} \cdot [2 \cdot \Phi(\theta_3) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_3} + 2 \cdot \Phi(\theta_2) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_2} + \\ &+ \Phi(\theta_3) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_2} + \Phi(\theta_2) \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_3}] \end{aligned}$$

и т.д. Данный алгоритм вычисления коэффициента релаксации легко программируется. На алгоритмическом языке Turbopascal ABC составлен программный модуль, реализующий вычислительный процесс. В такой форме метод является многошаговым, т.е. для вычисления значения коэффициента релаксации требуется запоминание значения искомого параметра во всех предыдущих моментах времени. Удобнее применение рекуррентной формулы вычисления коэффициента релаксации. Запишем выражения коэффициента релаксации для двух смежных безразмерных моментов $\theta = \theta_{i-1}$ и $\theta = \theta_i$:

$$\begin{aligned} \rho_{i-1} &= \rho_b(\theta_{i-1}) = \frac{\sigma_b(\theta_{i-1})}{\sigma_b(\theta_0)} = e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_{i-1}} + \frac{e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_{i-1}}}{\sigma_b(\theta_0)} \cdot \int_0^{\theta_{i-1}} \Phi(\omega) \cdot e^{(\varphi_0 + 1)\omega} d\omega \\ \rho_i &= \rho_b(\theta_i) = \frac{\sigma_b(\theta_i)}{\sigma_b(\theta_0)} = e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_i} + \frac{e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_i}}{\sigma_b(\theta_0)} \cdot \int_0^{\theta_i} \Phi(\omega) \cdot e^{(\varphi_0 + 1)\omega} d\omega + \\ &+ \frac{e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_i}}{\sigma_b(\theta_0)} \cdot \int_{\theta_{i-1}}^{\theta_i} \Phi(\omega) \cdot e^{(\varphi_0 + 1)\omega} d\omega \end{aligned}$$

Из сравнения этих выражений получаем, что

$$\rho_i = \rho_{i-1} \cdot e^{-(\varphi_0 + 1)(\theta_i - \theta_{i-1})} + \frac{e^{-(\varphi_0 + 1)\theta_i}}{\sigma_b(\theta_0)} \cdot \frac{\theta_i - \theta_{i-1}}{6} \cdot [2 \cdot \Phi(\theta_i) \cdot e^{(\varphi_0 + 1)\theta_i} + 2 \cdot \Phi(\theta_{i-1}) \cdot e^{(\varphi_0 + 1)\theta_{i-1}} + \Phi(\theta_i) \cdot e^{(\varphi_0 + 1)\theta_{i-1}} + \Phi(\theta_{i-1}) \cdot e^{(\varphi_0 + 1)\theta_i}] \quad (22)$$

Вычисление по (22) является

одношаговым, т.к. для продолжения решения требуется запоминание решения только в предыдущий момент времени, что удобно при организации вычислительного процесса.

Проведенные вычисления показали, что при конструирование уравнения ползучести в форме (8), коэффициент релаксации напряжений и в простой, и в сложной релаксации не зависит от начального напряжения, что является новым результатом. Например, на рис.1 при $\varepsilon_R = 0,002$; $R_b = 17 \text{ МПа}$; $E_b = 32500 \text{ МПа}$ и $\delta = 20$ представлен график изменения коэффициента релаксации во времени.

Рассмотрим более сложный случай, когда мера простой ползучести бетона аппроксимируется по С.В.Александровскому [4] (6), тогда коэффициент ползучести, входящий в основное интегральное уравнение нелинейной ползучести (8), записывается следующим образом:

$$\varphi^*(t, \tau) = \frac{E_b(t)}{E_b(\tau)} - 1 + E_b(t) \cdot C(t, \tau) = \frac{E_b(t)}{E_b(\tau)} - 1 + E_b(t) \cdot \varphi(\tau) - E_b(t) \cdot F(t) \cdot (e^{\gamma \cdot \tau} - A_2) - E_b(t) \cdot \Delta(\tau) \cdot e^{-\alpha \cdot (t - \tau)}$$

На основании этого для $K(t, \tau)$ имеем

$$K(t, \tau) = -\frac{\partial \varphi^*(t, \tau)}{\partial \tau} = \frac{E_b(t) \cdot \dot{E}_b(\tau)}{E_b^2(\tau)} - E_b(t) \cdot \frac{\partial C(t, \tau)}{\partial \tau} = \\ = \frac{E_b(t) \cdot \dot{E}_b(\tau)}{E_b^2(\tau)} - E_b(t) \cdot \varphi'(\tau) + \gamma \cdot e^{\gamma \cdot \tau} \cdot E_b(t) \cdot F(t) + E_b(t) \cdot [\Delta'(\tau) + \alpha \cdot \Delta(\tau)] \cdot e^{-\alpha \cdot (t - \tau)}$$

Для численного решения интегрального уравнения запишем основное нелинейное уравнение ползучести для двух смежных моментов времени t_{i-1} и t_i :

$$f(\varepsilon_b(t_{i-1})) = \sigma_b(t_{i-1}) + \int_{t_0}^{t_{i-1}} \sigma_b(\tau) \cdot K(t, \tau) d\tau \\ f(\varepsilon_b(t_i)) = \sigma_b(t_i) + \int_{t_0}^{t_{i-1}} \sigma_b(\tau) \cdot K(t, \tau) d\tau + \int_{t_{i-1}}^{t_i} \sigma_b(\tau) \cdot K(t, \tau) d\tau$$

Из сравнения этих двух равенств имеем

$$f(\varepsilon_b(t_i)) = f(\varepsilon_b(t_{i-1})) + \sigma_b(t_i) - \sigma_b(t_{i-1}) + \int_{t_{i-1}}^{t_i} \sigma_b(\tau) \cdot K(t, \tau) d\tau$$

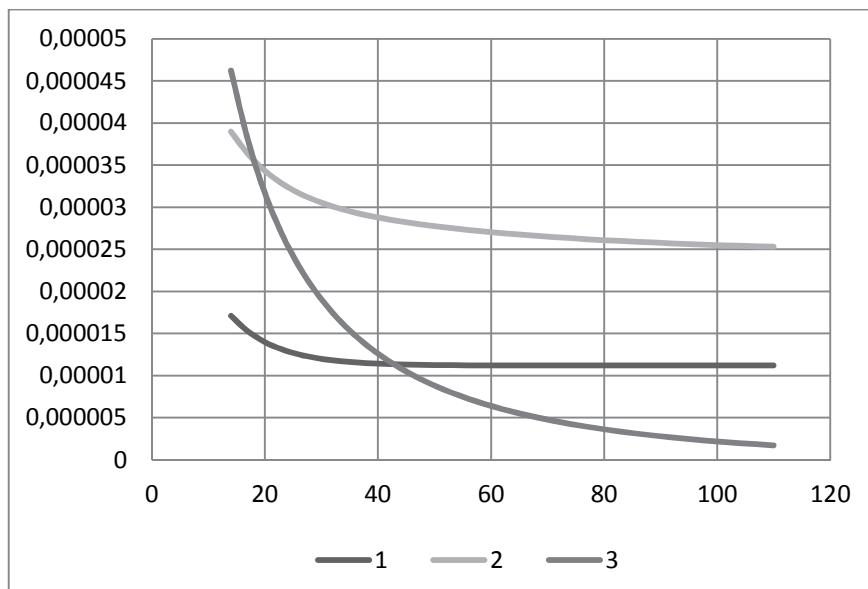


Рис. 2. Графики изменения функций

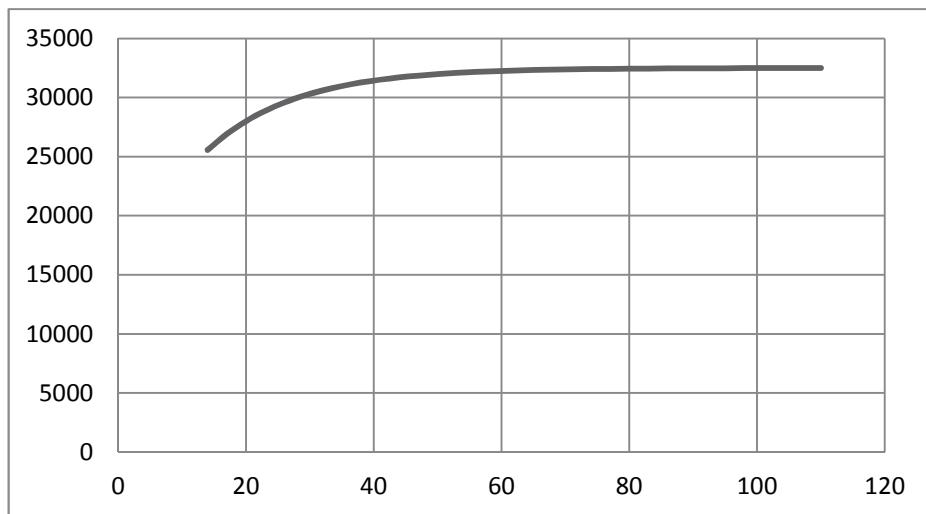


Рис.3. График изменения модуля деформаций бетона $E_b(t)$, (MPa) во времени t , (сутки).

Вычислив данный интеграл по правилу перемножения эпюор, имеем

$$f(\varepsilon_b(t_i)) = f(\varepsilon_b(t_{i-1})) + \sigma_b(t_i) - \sigma_b(t_{i-1}) + \\ + \frac{t_i - t_{i-1}}{6} \cdot [\sigma_b(t_i) \cdot (2K(t_i, t_i) + K(t_i, t_{i-1})) + \sigma_b(t_{i-1}) \cdot (2K(t_i, t_{i-1}) + K(t_i, t_i))]$$

Решив данное уравнение относительно напряжений, найдем

$$\sigma_b(t_i) = \frac{\left\{ 1 - \frac{t_i - t_{i-1}}{6} \cdot [2K(t_i, t_{i-1}) + K(t_i, t_i)] \right\} \cdot \sigma_b(t_{i-1}) + f(\varepsilon_b(t_i)) - f(\varepsilon_b(t_{i-1}))}{1 + \frac{t_i - t_{i-1}}{6} \cdot [2K(t_i, t_i) + K(t_i, t_{i-1})]} \quad (23)$$

Проиллюстрируем решение релаксационных задач при следующих данных [4]:

$$\Delta(\tau) = \left[11,2 + 34,0 \cdot e^{-0,125 \cdot \tau} \right] \cdot 10^{-6} \text{ (MPa)}^{-1},$$

$$\varphi(\tau) = \left[24,5 + 10,0 \cdot e^{-0,023 \cdot \tau} + 43,2 \cdot e^{-0,1275 \cdot \tau} - 36,0 \cdot e^{-0,35 \cdot \tau} \right] \cdot 10^{-6} \text{ (MPa)}^{-1}$$

$$\gamma = 0,02; A_2 = 0,85; \alpha = 5; E_b(t) = E_0 \cdot (1 - \xi \cdot e^{-\beta t}); \xi = 0,575; \beta = 0,072$$

$$\Delta(t), \text{ (MPa)}^{-1}; \varphi(t), \text{ (MPa)}^{-1} \text{ и } F(t), \text{ (MPa)}^{-1}: 1 - \Delta(t); 2 - \varphi(t); 3 - F(t).$$

Для наглядности на рис. 3 даны графические иллюстрации изменения во времени параметров ползучести $\Delta(t)$, $\varphi(t)$ и $F(t)$ и модуля деформации $E_b(t)$ во времени.

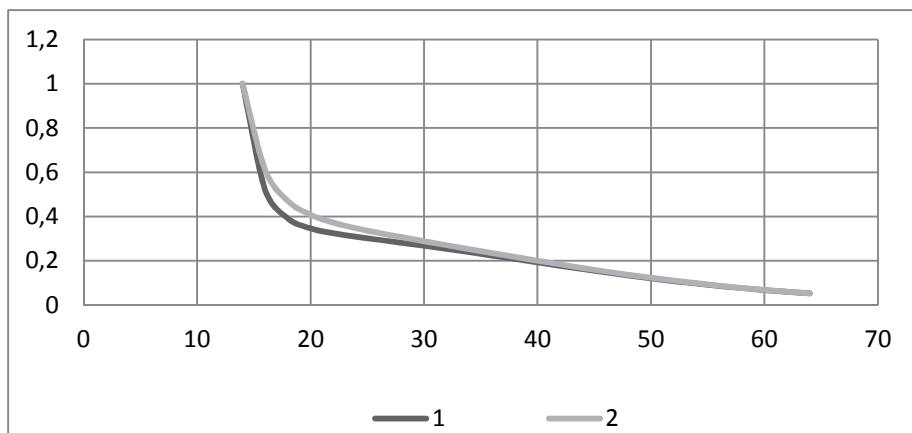


Рис.4. Изменение коэффициента релаксации во времени: 1 – при изменении модуля деформации и прочности бетона во времени; 2 – при постоянном модуле деформаций и прочности бетона.

С применением предложенной методики проведены соответствующие вычисления и на рис.4 построены графики коэффициента релаксации. Проведенные вычисления здесь также показали, что коэффициент релаксации не зависит от начального напряжения и предложенный численный алгоритм имеет высокую точность, даже при крупных шагах интегрирования.

REFERENCE

1. Bondarenko V.M., Bondarenko S.V. Inzhenernye metody nelinejnoj teorii zhelezobetona. - M.: Strojizdat, 1982. - 287 s.
Бондаренко В.М., Бондаренко С.В. Инженерные методы нелинейной теории железобетона. - М.: Стройиздат, 1982. - 287 с.
2. Bondarenko S.V. Teorija soprotivlenija konstrukcij rezhimnym nagruženijam. - M.: Strojizdat, 1984. - 392s.
Бондаренко С.В. Теория сопротивления конструкций режимным нагрузлениям. - М.: Стройиздат, 1984. - 392с.
3. Beglov A.D., Sanzharovskij R.S. Teorija rascheta zhelezobetonnyh konstrukcij na prochnost i ustojchivost. Sovremennye normy i evrostandarty. - M-L.: ASV, 2006. - 212 s.
Беглов А.Д., Санжаровский Р.С. Теория расчета железобетонных конструкций на прочность и устойчивость. Современные нормы и евростандарты. - М-Л.: АСВ, 2006. - 212 с.

4. **Aleksandrovskij S.V.** Raschet betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij na izmenenie temperatury i vla-zhnosti s uchetom polzuchesti. - M.: Strojizdat, 1973. - 432 s.
Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учетом ползучести. - М.: Стройиздат, 1973. - 432 с.
5. **Vishneveckij G.D.** Ob empiricheskikh vyrazhenijah polnoj diagrammy szhatija (lubo rastjazhenija) betona // Issledovaniya po mehanike stroitelnyh konstrukcij i materialov: Mezhvuzovskij tematicheskij sbornik trudov. - L.:LISI, 1989. - s.71-74.
Вишневецкий Г.Д. Об эмпирических выражениях полной диаграммы сжатия (либо растяжения) бетона // Исследования по механике строительных конструкций и материалов: Межвузовский тематический сборник трудов. - Л.:ЛИСИ, 1989. - с.71-74.
6. **Bajkov V.N., Gorbatov S.V., Dmitrov E.A.** Postroenie zavisimosti mezdu naprjazhenijami i deformacijami szhatogo betona po sisteme normiruemyh pokazatelej // Izvestie vuzov Stroitelstvo i arhitektura. - Novosibirsk, 1977, №6, s. 15-18.
Байков В.Н., Горбатов С.В., Дмитров Э.А. Построение зависимости между напряжениями и деформациями сжатого бетона по системе нормируемых показателей // Известие вузов Строительство и архитектура. - Новосибирск, 1977, №6, с. 15-18.
7. **Kolmogorov A.G., Plevkov V.S.** Raschet zhelezobetonnyh konstrukcij po rossiskim i zarubezhnym normam. - M.: ASV, 2014. - 512 s.
Колмогоров А.Г., Плевков В.С. Расчет железобетонных конструкций по российским и зарубежным нормам. - М.: АСВ, 2014. - 512 с.
8. **Bibi E.V.** Rukovodstvo dlja proektirovshhikov k evrokodu 2: Proektirovanie zhelezobetonnyh konstrukcij. - M.: MGSU, 2012. - 292 s.
Биби Э.В. Руководство для проектировщиков к еврокоду 2: Проектирование железобетонных конструкций. - М.: МГСУ, 2012. - 292 с.
9. **Gadzhiev M.A., Alaeva S.M.** Ocenka tochnosti uproshchennyh diagramm evrostandartov pri issledovanii nesushhej sposobnosti zhelezobetonnyh kolonn // Vestnik Azerbajdzhanskoj Inzhenernoj Akademii, Baku, 2012, tom 4, №1, s. 65-79.
Гаджиев М.А., Алаева С.М. Оценка точности упрощенных диаграмм евростандартов при исследовании несущей способности железобетонных колонн // Вестник Азербайджанской Инженерной Академии, Баку, 2012, том 4, №1, с. 65-79.
10. **Gadzhiev M.A., Alaeva S.M.** Issledovanie nesushhej sposobnosti zhelezobetonnyh kolonn kruglogo sechenija s mnogorjadnym armirovaniem po diagrammam evrostandartov // Vestnik KazNTU, Almaty, 2011, №6 (88), s. 109-114.
Гаджиев М.А., Алаева С.М. Исследование несущей способности железобетонных колонн круглого сечения с многорядным армированием по диаграммам евростандартов // Вестник КазНТУ, Алматы, 2011, №6 (88), с. 109-114.
11. **Gadzhiev M.A., Aliev E.R.** Izgib zhelezobetonnyh jelementov prjamougolnogo sechenija po diagrammam evrostandartov // Vestnik Azerbajdzhanskoj Inzhenernoj Akademii, Baku, 2012, tom 4, №2, s. 81-90.
Гаджиев М.А., Алиев Э.Р. Изгиб железобетонных элементов прямоугольного сечения по диаграммам евростандартов // Вестник Азербайджанской Инженерной Академии, Баку, 2012, том 4, №2, с. 81-90.
12. **Rabotnov Ju.N.** Polzuchest jelementov konstrukcij. - M., Nauka, 2012. - 752 s.
Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. - М., Наука, 2012. - 752 с.
13. **Borovskih A.V.** Raschety zhelezobetonnyh konstrukcij po predelnym sostojanijam i predelnomu ravnovesiju. - M.: ASV, 2007. - 320s.
Боровских А.В. Расчеты железобетонных конструкций по предельным состояниям и предельному равновесию. - М.: АСВ, 2007. - 320с.
14. **Sanzharovskij R.S.** Problemy teorija polzuchesti // Stroitelnaja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. 2013. №3, s. 28-34.
Санжаровский Р.С. Проблемы теория ползучести // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2013. №3, с. 28-34.

15. **Sanzharovskij R.S.** Nelinejnaja nasledstvennaja teorija polzuchesti // Stroitelnaja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. 2014. №1, s. 63-68.
Санжаровский Р.С. Нелинейная наследственная теория ползучести // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014. №1, с. 63-68.
16. **Sanzharovskij R.S., Marchenko M.M.** Polzuchest betona i ego mgnovennaja nelinejnost deformirovaniya v raschetaх konstrukcij. // Stroitelnaja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. - M., 2015, №2, s. 33-40.
Санжаровский Р.С., Марченко М.М. Ползучесть бетона и его мгновенная нелинейность деформирования в расчетах конструкций. // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. - М., 2015, №2, с. 33- 40.

AŞAĞI ENƏN QOLU OLAN SÜRÜNGƏNLİK TƏNLİYİ VƏ ONUN ƏSASINDA RELAKSASIYA MƏSƏLƏLƏRİNİN HƏLLİ

M.Ə. HACIYEV, H.A. XƏLİLOV, S.M. ALAYEVA

Betonun sixilməda mövcud srüngənlük nəzəriyyələrində qeyri xətti variantda deformasiyanın gərginlik və zamandan asılı olaraq dəyişməsi verildiyi üçün uzunmüddətli yüklemədə deformasiya diaqramının aşağı enən qolunu əks etdirə bilmirlər. Adətən aşağı enən qol qısamüddəli statik yüklemələrdə nəzərə alınır və aşağı enən qolu da özündə iəks etdirən diaqramların təsviri üçün müxtəlif analitik ifadələr təklif olunmuşdur.

Bu məqalədə deformasiya diaqramının aşağı enən qolunu da nəzərə alan betonun qeyri xətti sürüngənlilik tənlisi konstruksiyalandırılmış və göstərilmişdir ki, müəyyən olunmuş fikirlərə zidd olaraq qeyri xətti sürüngənlilikdə relaksasiya əmsali başlangıç gərginlikdən asılı deyildir və hər bir sürüngənlilik tənlisi üçün sadə və mürəkkəb relaksasiyalarda bu əmsal yeganədir. Bundan başqa məqalədə təklif olunmuş sürüngənlilik tənlisinin həlli üçün sürüngənlilik meyarının ixtiyari formasında sadə biraddımlı metodika təklif olunmuşdur.

Açar sözlər: beton, sürüngənlilik, sürüngənlilik meyari, sürüngənlilik əmsali, relaksasiya əmsali, aşağı enən qol, tam diaqram.

EQUATION OF CONCRETE CREEP WITH THE DESCENDING BRANCH AND SOLVING RELAXATION PROBLEMS BASED ON IT

M.A. HAJIYEV, H.A. KHALILOV, S.M. ALAEVA

The existing concrete creep theory in the nonlinear version expresses the relation between stress-strain and time, therefore it is not able to reflect the descending branch of the stress-strain diagram for prolonged load cases. Typically, the descending branch is taken into account when calculating on a short-term static load, and to describe the stress-strain diagram of concrete in compression with the descending branch offered various dependencies.

This article is designed an equation of a nonlinear creep of concrete, which takes into account the descending branch and shows that, contrary to established opinion in nonlinear creep relaxation factor does not depend on initial stress and the only factor to this equation. Also the article shows a simple one-step procedure for solving a nonlinear creep equation constructed in any form of creep measures.

Key words: concrete, creep, creep measure, creep factor, relaxation factor, descending branch, complete diaqram.

UOT: 338

AZƏRBAYCANDA SAHİBKARLIĞIN MALİYYƏLƏŞDİRİLMƏSİNİN YENİ MƏNBƏLƏRİ

Q.S. SÜLEYMANOV*, R.H. QARAYEV*, S.A. MƏMMƏDOVA*

Ölkəmizdə sahibkarlıq fəaliyyətinin səmərəli təşkili və idarə edilməsi onun maliyyə təminatının yaxşılaşdırılmasını tələb edir. Bu isə ölkəmizdə sahibkarlıq fəaliyyətinin maliyyə təminatı problemlərini və onun inkişaf perspektivlərinin müəyyənləşdirilməsini aktual edir.

Bu məqsədlə, məqalədə ölkəmizdə sahibkarlıq fəaliyyətinin maliyyə təminatının yeni mənbələri tədqiq edilir və elmi cəhətdən əsaslandırılır. Eyni zamanda bu istiqamətdə dünya təcrübəsi öyrənilir.

Məqalənin sonunda ölkəmizdə sahibkarlıq fəaliyyətinin maliyyə təminatının yeni mənbələri təklif edilir və onun iqtisadi nəticələri verilir.

Açar sözlər: sahibkarlıq, maliyyə, müəssisə, mənfəət, rəqabət, bazar.

Giriş. Müasir sahibkarlığın davamlı inkişafının təmin edilməsi Azərbaycanın sosial-iqtisadi inkişaf strategiyasının reallaşmasının əsasıdır. Çünkü bu proses, innovasiyalı və səmərəli iqtisadiyyatın xarakterinin əsasıdır. Professor A.S. Pelix düzgün qeyd edirdi ki, təsərrüfat subyektlərinin öz təşəbbüsünü və yaradıcılıq qabiliyyətlərini göstərmək üçün daha çox imkanı var, belə inkişafda potensial və faktiki nəticələr arasında fərq azdır. İqtisadi artımın təmin edilməsi üçün innovativ yeniliklərin təsərrüfat sahəsinə daxil edilməsində sünə məhdudiyyətlər verimliliyin azaldılmasına gətirib çıxarda bilər [2,3,4,12,13,14,15,16,18,19].

Sahibkarlıq bazar və rəqabət elementləri vasitəsi ilə təsərrüfat subyektləri arasında inkişaf strategiyasının hazırlanması, əlaqələndirilməsi mexanizmini yaradır, yeni perspektiv istehsalın mənimsənilməsini təmin edir, idxlə və ixrac kapitalının inkişafına, milli iqtisadiyyatda açıqlığın artırılmasına, marketinq fəaliyyətinin inkişafına kömək edir. Sahibkarlığın sərbəstliyi və müstəqilliyi təsərrüfat subyektlərinin mühüm əlamətlərindən biridir [8,9,17].

Respublikanın iqtisadiyyatında istehsal sahibkarlığı sahəsində də emal sənayesinin rolu və əhəmiyyəti ilbəil artır. 2011-ci ilin yekunlarına görə, sənaye müəssisələrinin ümumi sayının 72%-i; işləyənlərin 52,4%-i və əsas istehsal fondlarının 1,3% -i emaledici sənayedə cəmləşib. Amma istehsal olunan hasilat məhsullarının həcminin payı ilə müqayisədə, ümumilikdə sənayenin bu sahəsinin azalmağa meyil göstərməsi müşahidə olunur [1].

Sahibkarlığın inkişafı üzrə tədbirlər layihəsi. Azərbaycan Respublikası hökuməti ölkədə sahibkarlığın inkişafı üçün ardıcıl tədbirlər həyata keçirir. Bu zaman biznes mühitinin daha da yaxşılaşdırılmasına xüsusi önəm verilir, sahibkarlıq dövlət dəstəyinin gücləndirilməsi, maarif-

* Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

ləndirmə fəaliyyəti, qanunvericilik bazasının təkmilləşdirilməsi prosedurların sadələşdirilməsi, sağlam rəqabətin təmin edilməsi, biznesə başlamağa yardım kimi tədbirlər həyata keçirilir. Ən vacib addımların vergi mexanizminin təkmilləşdirilməsi, ödəmə prosedurlarının asanlaşdırılması, vergi yükünün azaldılması, vahid məlumat reyestrinin yaradılması, ixrac-idxlə əməliyyatlarının rəsmiləşdirilməsi prosedurlarının sadələşdirilməsi, sahibkarlıq subyektlərinə güzəştli kreditlərin verilməsi üzrə atılması nəzərdə tutulur. Ölkə rəhbərliyi qarşısına - Azərbaycanın ÜDM istehsalında özəl sektorun payını artırmaq, kiçik və orta sahibkarlığın ixrac potensialının artırılmasında rolunu artırmaq, milli iqtisadiyyatın yenidən strukturlaşdırılması vəzifələrini qoyub. Eyni zamanda, yeni iş yerlərinin yaradılması probleminin həll olunması dövlət üçün çox aktual məsələlərdəndir. Kiçik və orta sahibkarlıq sektoruna dövlət dəstəyi Azərbaycan Respublikası İqtisadiyyat Nazirliyinin dəstəyi ilə həyata keçirilir. Onun yanında informasiya mərkəzi yaradılıb. O, sistemli qaydada sahibkarlığın inkişafına dövlət dəstəyinin həyata keçirilməsi üzrə fəaliyyətin stimullaşdırılması üçün yaradılıb və səmərəliliyinin artırılması məqsədi ilə kiçik və orta sahibkarlığın dəstəklənməsi üçün tədbirlər həyata keçirir. İstehlakçıların hüquqlarının müdafiəsi, güzəştli kreditləşdirilməsi sahəsində və digər istiqamətlərdə sahibkarlara informasiya dəstəyi göstərilir [5,6,7].

İxracın stimullaşdırılması üçün isə ixracın və investisiyaların (Azerbaijan Export and Investment Promotion Foundation, AZPROMO) dəstəklənməsi üzrə dövlət fondu mövcuddur. Fond 2003-ci ildə Azərbaycan Sənaye və İqtisadiyyat Nazirliyi tərəfindən ölkənin iqtisadi inkişafı üçün xarici investisiyaların cəlb olunması hesabına iqtisadiyyatın qeyri-xammal sektorlarına və ixracın stimullaşdırılmasına cəlb olunması məqsədi ilə yaradılıb. Fond Azərbaycan məhsullarının keyfiyyət səviyyəsinin yüksəldilməsi üçün sahibkarlarla əməkdaşlıq edir, xarici investorların müxtəlif sahələrə investisiya qoyuluşlarını həyata keçirmələri üçün birliliklər, beynəlxalq ticarət agentlikləri ilə əməkdaşlıq edir və tədbirlərin, görüşlərin təşkili ilə məşğul olur.

Azerbaijan Investment Company bir qurum deyil. Bu şirkət Azərbaycan prezidentinin fərmanı ilə yaradılıb. Əsas məqsəd yerli və xarici investorlar tərəfindən investisiya qoyuluşları vasitəsilə iqtisadiyyatın qeyri-xammal sektorunun inkişafının dəstəklənməsidir. İnvestisiya qoyuluşunun prioritet istiqamətləri: kənd təsərrüfatı; alternativ enerji mənbələri; yeyinti sənayesi; sənaye istehsalı; IT və telekommunikasiya; logistika və nəqliyyat; turizm.

Fondun əsas prinsipləri sırasına bir çox mühüm amillər daxildir. Bu prinsiplər iqtisadi inkişafın artımının təmin edilməsi yolunda dövlətin maraqlarını müdafiə etməklə yanaşı sahibkarlıq fəaliyyətinin də inkişafına öz təsirini göstərir.

Bakıda tədris-təlim mərkəzi (Bakı Biznes Tədris Mərkəzi, BBTM) də fəaliyyət göstərir. Bu mərkəz sahibkarların tədrisi üzrə mərkəzlərin fəaliyyətinin təkmilləşdirilməsi məqsədi ilə 2007-ci ildə yaradılmışdır. Mərkəz təlim keçirir və Bakı və regionlarda yeni iş yerlərinin açılması sahəsində innovasiyalar sahəsində məsləhət xidmətləri göstərir, mövcud müəssisələrin fəaliyyətinin dəstəklənməsini həyata keçirir.

Sahibkarlığa Kömək Milli Fondu sahibkarlığın dəstəklənməsi (ANFES) sahəsində ən mühüm qurumdur. 1992-ci ildə yaradılmış Sahibkarlığa Kömək Milli Fondu ölkədə sahibkarlıq fəaliyyətini ilk dəfə maliyyələşdirən qurumlardan biri olub. Fond 2002-ci ildən İqtisadiyyat və Sənaye Nazirliyinin himayəsi altında fəaliyyət göstərir, əsas maliyyə gücü müxtəlif aqrar layihələrin həyata keçirilməsi, ölkədə regionlarının sosial-iqtisadi inkişafı programı çərçivəsinə çevrilib. Xüsusən, fondun ayırdığı bütün vəsaitin dörddə üç hissəsi regionlara payına düşür, bu halda fermer təsərrüfatlarına və kənd təsərrüfatı məhsulları emalçılarına təxminən 80% güzəştli borc verilmişdir.

2011-cu ildə fondun xətti ilə ümumi dəyəri \$ 168 mln. məbləğində 1643 investisiya layihəsi maliyyələşdirilib. Sahibkarlığın dəsteklənməsi istiqamətləri:

1. Kənd təsərrüfatı məhsullarının istehsalı: Yenidən quşçuluq təsərrüfatlarının yaradılması və ya; İri bitkiçilik təsərrüfatlarının yaradılması; Üzümçülüyün inkişafı; İstixana komplekslərinin yaradılması; Bağçılıq; Sitrus meyvələrinin yetişdirilməsi çay plantasiyalarının inkişafı.
2. Müasir texnologiyaların tətbiqi ilə rəqabət qabiliyyətli və ixrac üçün nəzərdə tutulan məhsul istehsalı: Meyvə və tərəvəz istehsalı; Çörək müəssisələri; Ət və ət məhsulları sexləri;
3. Müasir soyuducu komplekslərin yaradılması.
4. Kiçik sahibkarlığın inkişafı. Əhalinin qadınların, gənclərin cəlb edilməsi yolu ilə sahibkarlığın inkişafı.

Fond maliyyələşməsini programları üzrə üç kreditləşmə formasını təklif edir: Kiçik kredit, 50 min manata qədər 36 ay müddətə; Orta kredit, 500 min manata qədər 60 ay müddətə; İri kredit, 10 mln. manata qədər 120 ay müddətə.

Dəstək çərçivəsində xüsusi iqtisadi zonaların və sənaye parkları sistemi də fəaliyyət göstərir. Müəssisələr arasında ticarət üçün elektron portal yaradılıb, portal üç dili dəstəkləyir: Azərbaycan, ingilis, rus.

Digər tərəfdən kapitallaşma səviyyəsi Azərbaycanın qeyri-neft sektorunda 13 faiz təşkil edir, halbuki bu göstərici dünya üzrə orta hesabla 40-50 faizə çatır. 1995-96-ci illər dövründə iqtisadi partlayışa səbəb olan, ölkədə neft sektorunun kapitallaşması 400 faiz idi, amma bu, xarici investorların hesabına təmin edilmişdi. Real diversifikasiyasını təmin etmək üçün başqa maliyyə mənbələri axtarmaq lazımdı. Bank sektoru belə alternativ mənbələrindən biri ola bilərdi. İqtisadi partlayış dövründə bank sektoru hər il iqtisadiyyatda olan kapital qoyuluşlarının 50-70 faizinin kreditləşdirilməsini təmin edərək iqtisadi artımın təmin olunmasında mühüm rol oynayır.

Sahibkarlığın maliyyə təminatı. Beynəlxalq kapital bazarlarında Azərbaycan bankları tərəfindən sahibkarlıq fəaliyyətinə böyük kredit resursları cəlb edilib. Bu maliyyələşdirmə mənbələrinin sabitləşməsi dünyəvi proseslər ilə əlaqədar olaraq hər gün müşahidə olunur, çünki xarici maliyyə institutları öz problemlərinin həlli ilə məşğuldurlar. Bunun fonunda, Azərbaycan bankları ehtiyatlarının əhəmiyyətli hissəsini ödəyiblər, amma bu gün daxili ehtiyatlarının artması müşahidə olunur. Ümumiyyətlə, iqtisadiyyatın şaxələndirilməsi siyaseti aktiv maliyyələşmə olmadan mümkün deyil [12].

İqtisadiyyatın qeyri-neft sektorunun inkişafı üçün sahibkarlığa kömək Milli fondunun kifayət qədər resursları yoxdur və buna görə də banklar bu prosesə daha fəal qoşulmalıdır. 2010-cu ildən Milli Fondun büdcə maliyyələşdirilməsinin azaldılması müşahidə olunur. Buna görə də, yeni maliyyə mənbələri axtarmaq lazımdır. Bununla yanaşı, SKMF-nin illik portfeli 280-300 milyon manata çatır. Kreditlərin böyük hissəsi əvvəllər verilmiş vəsaitlərin qaytarılması hesabına verilir. Bundan başqa, yeni qaydalara əsasən SKMF həmçinin digər mənbələrdən vəsait cəlb edə bilər. Digər tərəfdən, hazırda sahibkarlığın özünü maliyyələşdirmə prinsipinə keçməsi üçün fondun fəaliyyəti gücləndirilir.

Qeyd etmək lazımdır ki, bu gün ölkədə digər maliyyə institutlarının kapitallaşma səviyyəsi demək olar ki, yox səviyyəsindədir. Bu gün Azərbaycan investisiya şirkəti 90 milyon manat məbləğində kapitala malikdir. Qeyri-neft sektorunun payının artırılması üçün hökumət sahibkarlığa, aqrar sektora dəstəyini verir ki, ASK-nın subsidiyalasdırılması hesabına kənd təsərrüfatı texnikasının alınması, güzəştli kreditlərin alınması istiqamətində öz siyasetini davam etdirir. Ümumilikdə

qeyri-neft sektoru sahibkarlığın hazırkı inkişafı və gələcək iqtisadi inkişafının prioritet istiqamətidir.

Iqtisadi qeyri-sabitlik şəraitində hökumət iqtisadi dayanıqsızlığı hərəkətə gətirən yeni fəaliyyətə başlamış sahibkar və sahibkarlığa tez-tez nəzərlərini yönəldir. Cəmiyyətin əsas problemi işsizlik olduqda, dövlət ilə sahibkarlıq səylərini birləşdirərək sahibkarlıq keyfiyyətlərinin inkişafına kömək etməlidirlər. Söhbət elə mədəniyyət gedir ki, gənclər risk etməyə, yeni müəssisələri təsis etməyə, yeni iş yerlərin yaradılmasına və məsuliyyəti öz üzərinə götürməyə stimullaşdırınsın.

Cədəl

Azərbaycanda müəssisələrin maliyyə mənbələri (mln manatla) [1]

İstiqamət	2013	2014	2015
İnvestisiya	5370	6040	7500
Emal sənayesi	847.9	861.2	888,9
Xarici olanlar	0.2	0,1	0,2
SKMF-in xətti ilə kreditlər	138	218	275
Lizinq	270	200	200

Kiçik və orta sahibkarlıq iş yerlərinin orta hesabla üçdə ikisini təşkil edir. Bu isə böhranla mübarizə aparmaqdə vacib rol oynayır. Sahibkarlıq və innovasiya iqtisadi rəqabətin, əsas iqtisadi artımın və yeni iş yerlərinin artmasında rolu böyükdür. Hökumət sahibkarın qarşısında duran problemin xüsusiyətlərini başa düşməsi çox vacibdir.

Sahibkarlığın dəstəklənməsi sahəsində beş əsas məsələ durur. Onlardan ən vacibi maliyyə imkanlarının genişlənməsdir. Yeni məhsul və ya xidmət sahəsində fəaliyyət göstərən müəssisələr üçün maliyyələşmə çətinlik yaradır. Digər tərəfdən isə ənənəvi metodlardan olan biznes – pəri, birbaşa investisiya və ya kapital sahibkarlar üçün məhdud olaraq qalır. Digər tərəfdən isə qeyri - ənənəvi metodlar olan kraundfanding və mikromaliyyələşmə istifadəsi artmışdır, xüsusən də qadınlar arasında geniş yayılmışdır. Sahibkarlar səmərəli kapitalın istifadəsini təmin edəcək bilik və bacarıqlar üçün daha aktiv və geniş dəstəyə ehtiyacları vardır. Başqa sözlə, sahibkarlıq ekosistemlərini möhkəmləndirməsi lazımdır. Dövlət məktəb və universitetlərdə müvəffəqiyyətlə baş vermiş tarixi nümunələr göstərərək tələbələrə düzgün karyera seçimini etmək kömək etməlidir. Müasir dövrdə dövlət qabaqcıl təcrübəyə əsaslanaraq kiçik və orta sahibkarlığın inkişafını stimullaşdırmaq üçün bir sıra təşəbbüs addimlar atılır [10,11].

Əgər Azərbaycanın iqtisadi durumu haqda müzakirə etsək demək olar ki, qənaətbəxşdir. Dünya bankının verdiyi məlumatata görə, sahibkarlıq fəaliyyətinə əsasən 189 iştirak edən ölkə siyahısında 70-ci yeri tutur. 2013-ci ildə əldə edilən göstəricilərə əsasən sahibkarlıq fəaliyyəti üçün şərait hiss ediləcək qədər inkişaf etmişdir. Baxmayaraq ki, reytinqdə 71-ci yerdən 70-ci yerə sadəcə bir addım qalxmışdır, bunun arxasında dövlətin iqtisadi durumun yaxşılanması durur. 2013 - ci il ilə müqayisədə 6 addım yuxarı qalxaraq sahibkarlıq fəaliyyətinin qeydə alınmasına görə ilk onluğa düşür. Bu irəliləyiş elektron qeydiyyat sistemi ilə bağlıdır. Bu sistem nəticəsində inzibati prosesləri 2 dəfə qədər azaldaraq vaxta qənaət etməyə imkan verdi. Həmçinin nizamnamə kapitalın artıq lazımlı olmaması və qeydiyyat rüsumun iki dəfə qədər ucuzlaşması əlverişli şəraitə aid etmək olar. Hüquqi şəxs və təsisçilər haqda bütün məlumatlar dövlət hüquqi reyestrdə yerləşir və o hüquqi şəxslərin dövlət qeydiyyat orqanıdır. Reyestrdə olan məlumat hər kəs üçün əlçatandır və hər kəs istədiyi məlumatı ala bilər. 2013-cü ildə Azərbaycan Respublikasının Məcəlləsinə əsasən tikinti

fəaliyyətin dəyişikliklər edilərək icazəni və qeydiyyat prosesinə sərf edilən vaxtı kəskin şəkildə azaltmışdır. Əsas problem ondan ibarətdir ki, qeydiyyat prosesi hələ də çox vaxt və proseslərdən keçməyi tələb edir. Bunun üçün 212 gün tələb olunur. Bun baxmayaraq, dövlətimiz Fransa, Çin, Tayvan və Estoniya kimi dövlətlərin siyahısına daxildir. Əsas diqqət daxili prosedurların optimallaşdırılması vasitəsilə gömrük nəzarətinin sadələşdirilməsi və xarici ticarət fəaliyyətinin aparılması yetirmək lazımdır. Azərbaycan, beynəlxalq ticarətdə "bir pəncərə" prinsipinin tətbiqi nəticəsində, Singapur kimi dövlətlərin siyahısına daxil olaraq digər dövlətlərə nümunə kimi göstərilir. Qeyd etmək lazımdır ki, "bir pəncərə" prinsipi ən yaxşı beynəlxalq təcrübədən istifadə etməklə Azərbaycanın gömrük sistemində tətbiq edilib. Nəzarət-buraxılış məntəqələrində qeydiyyat prosesi 2 – 3 saatdan 15 – 20 dəqiqəyə qədər azalmışdır. Ölkənin ərazisində təsərrüfat ilə məşğul olmaq üçün xüsusi icazə olan lisenziya almaq lazımdır. Azərbaycan Respublikasının Qanunvericiliyinə görə 57 təsərrüfat fəaliyyəti mövcuddur. Bank, sigorta, turizm, tibb və əczaçılıq, audit, nəqliyyat, etil spiriti və spirtli içkilərin idxlə, istehsalı, satışı və xidmətləri lisenziya tələb olunan fəaliyyətlərə aid edilir.

Nəticə. Sahibkarlığın inkişaf perspektivləri üzrə təklif edilmiş yeni maliyyə mənbələri ölkədə bir sıra nailiyyətlərin əsasını qoyacaq:

İlk növbədə, bu ölkənin infrastruktur və iqtisadiyyatın modernləşdirilməsi. Məhz kiçik və orta sahibkarlara dəstəyin göstərilməsi nəticəsində az xərc tələb edən yeni texnologiya və innovativ vəsaitlərin istifadəsinin inkişafına təkan verəcək.

Iqtisadiyyatın innovasiyalasma səviyyəsini artıracaq.

Qeyri-neft sektorunda iqtisadi artıma səbəb olur və iqtisadiyyatını özəlləşdirməsinə imkan verəcək.

Kiçik və orta sahibkarlığın inkişafı nəticəsində işsizlik ikinci plana keçəcək.

Sahibkarlıq fəaliyyətin uğuru əsasən elm və təhsil sahəsinin dövlət qurumları ilə integrasiyası olmasından asılıdır. İnnovasiyalı inkişaf təcrübəsi Azərbaycanda sahibkarlıq fəaliyyətinin inkişaf məqsədi ilə biznes tədris mərkəzlərinin yaradılmasını tövsiyə edir.

REFERENCE

1. Azərbaycanın statistik göstəriciləri. - Bakı, 2016
2. **Naumov V.N.** Organizacija predprinimatelstva. - M., 2010
Наумов В.Н. Организация предпринимательства. - М., 2010
3. Organizaciya predprinimatelskoy dejatelnosti (pod red. prof. A.S. Peliha). - M., 2003
Организация предпринимательской деятельности (под ред. проф. А.С. Пелиха). - М., 2003
4. Osnovy predprinimatelskoy dejatelnosti (pod redakciey Ju.M. Osipova). - M., 2000
Основы предпринимательской деятельности (под редакцией Ю.М. Осипова). - М., 2000
5. **Adjalov A.** Osobennosti formirovaniya innovacionnoy deyatelnosti v Azerbaydzhanskoy Respublike. Zhurnal «Ekonomika i predprinimatelstvo», №9 (38), 2013.
Аджалов А. Особенности формирования инновационной деятельности в Азербайджанской Республике. Журнал «Экономика и предпринимательство», №9 (38), 2013.
6. **Aliev T.N., Alirzaev A.V.** Organizaciya i puti razvitiya predprinimatelskoy dejatelnosti v obrabatyvayushhey otrasi Azerbaydzhana. Aktualnye problemy nauki, ekonomiki i obrazovaniya XXI veka: materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii, 5 marta – 26 sentyabrja 2012 g.: v 2-h ch. Ch.1 / otv. red. E.N. Sheremeteva. – Samara: Samarskiy institut (fil.) RGTJeU, 2012. – c. 296-303.
Алиев Т.Н., Алирзаев А.В. Организация и пути развития предпринимательской деятельности в обрабатывающей отрасли Азербайджана. Актуальные проблемы науки, экономики и образования XXI века: материалы II Международной научно-практической конференции, 5 марта – 26 сентября 2012 г.: в 2-х ч. Ч.1 / отв. ред. Е.Н. Шереметьева. – Самара: Самарский институт (фил.) РГТЭУ, 2012. – с. 296-303.

7. **Aliev Sh.T.** Vazhnost primeneniya novykh ekonomicheskikh instrumentov v ekonomike Azerbaydzhana. // Nacionalnye interesy: priority i bezopasnost, 2009, №12.
Алиев Ш.Т. Важность применения новых экономических инструментов в экономике Азербайджана. // Национальные интересы: приоритеты и безопасность, 2009, №12.
8. **Batychko V.T.** Predprinimatelskoe pravo. Konspekt lekcij. Taganrog, TPI JuFU, 2011.
Батычко В.Т. Предпринимательское право. Конспект лекций. Таганрог, ТТИ ЮФУ, 2011.
9. **Berenov A.N.** Syrevaja model razvitiya: osnovnye analiticheskie podhody. // Rossijskoe predprinimatelstvo. 2012. № 21 (219). c. 11-16.
Беренов А.Н. Сырьевая модель развития: основные аналитические подходы. // Российское предпринимательство. 2012. № 21 (219). с. 11-16.
10. **Goncharenko L.P.** Innovacionnaya politika: Uchebnik. – M.: KNORUS, 2009.
Гончаренко Л.П. Инновационная политика: Учебник. – М.: КНОРУС, 2009.
11. **Dumnova N.A.** Gosudarstvennaya podderzhka malogo predprinimatelstva v innovacionnoy sfere: Materialy mezdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii «Innovacionnaja strategiya modernizacii yekonomiceskikh sistem». – Orel, GIJeT, 2007.
Думнова Н.А. Государственная поддержка малого предпринимательства в инновационной сфере: Материалы международной научно-практической конференции «Инновационная стратегия модернизации экономических систем». – Орел, ГИЭТ, 2007.
12. Issledovanie spesifiki vedeniya v Azerbaydzhane predprinimatelskoy dejatelnosti. Obzor rynkov tovarov i uslug v Azerbaydyane. Permskaya torgovo-promyshlennaya palata. Perm, 2014.
Исследование специфики ведения в Азербайджане предпринимательской деятельности. Обзор рынков товаров и услуг в Азербайджане. Пермская торгово-промышленная палата. Пермь, 2014.
13. **Lutuj I.A., Kuliev R.A.** Investicionnaja dejatelnost. – Baku, 2009.
Лютый И.А., Кулиев Р.А. Инвестиционная деятельность. – Баку, 2009.
14. **Naumov V.N.** Organizaciya predprinimatelstva. – SPb: «Piter», 2010.
Наумов В.Н. Организация предпринимательства. – СПб: «Питер», 2010.
15. Organizaciya predprinimatelskoy dejatelnosti (pod red. prof. A.S. Peliha). - M: MarT» 2003.
Организация предпринимательской деятельности (под ред. проф. А.С. Пелиха). - М: МарТ» 2003.
16. “Osnovy predprinimatelskoy dejatelnosti”. Pod redakciei Ju.M. Osipova. - Moskva, 2000.
“Основы предпринимательской деятельности”. Под редакцией Ю.М. Осипова. - Москва, 2000.
17. **Eminov N.O.** Problemy razvitiya innovacionnoy predprinimatelskoy dejatelnosti v Azerbaydzhane. Zhurnal «Kreativnaya ekonomika», №5 (65), 2012. s. 18-24
Эминов Н.О. Проблемы развития инновационной предпринимательской деятельности в Азербайджане. Журнал «Креативная экономика», №5 (65), 2012. с. 18-24
18. **Auty R.** Sustaining Development in Mineral Economies: The Resource Curse Thesis. L.: Routledge, 1993.
19. **T.L. Friedman.** The First Law of Petropolitics//Foreign Policy [Электронный ресурс].
http://www.foreignpolicy.com/articles/2006/04/25/the_first_law_of_petropolitics?page=0,0

NEW SOURCES OF BUSINESS FINANCING IN AZERBAIJAN

Q.S. SULEYMANOV, R.H. QARAYEV, S.A. MAMEDOVA

The article develops the sources of business financing in Azerbaijan taking into account the international experience. The authors propose alternative sources of financing the business and entrepreneurial activities.

Key words: business, finances, enterprise, income, competition, market.

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

Г.С. СУЛЕЙМАНОВ, Р.Г. ГАРАЕВ, С.А. МАМЕДОВА

В статье разработаны источники финансирования предпринимательской деятельности нашей страны с учетом мирового опыта в этой сфере. Предлагаются и научно обосновываются новые источники финансирования предпринимательской деятельности.

Ключевые слова: предпринимательство, финансы, предприятие, прибыль, конкуренция, рынок.

UOT: 637.144

ƏHALİ İSTEHLAKININ STATİSTİK VƏ ARTIM MODELİ

V.S. ƏLİYEVA*

Məqalədə əhali istehlakının təmin olunmasının statistik və artım modeli vasitəsilə həlli məsələsinə baxılır. Əhali istehlakına təsir edən meyarlar iqtisadi-riyazi metodlar vasitəsilə öyrənilir. Eyni zamanda idxlərin, ixracın yiğim və istehlaka təsiri təhlil edilir.

Açar sözlər: istehlak, istehsal, yiğim, əhali, model.

Əhali istehlakının formalaşması və dinamik inkişafi çox meyarlı proses olmaqla, bir sıra parametrlər və sosial-iqtisadi nəticələr ilə ifadə olunur. Bunlar parametrik meyllər olmaqla ÜDM, onun bölgüsü və yaxud istehlakın məcmu göstəricisini əks etdirməklə tələbat üçün zəruri olan məcmu tələb və təklif qiymətləndirilir. Təbii ki, bu istehlaka təsir edən ümumiləşmiş amillərin statistik göstəricisi kimi qiymətləndirilməsi, onun dinamik dəyişməsi və minimum-maksimum həddinin verilməsi ilə mümkün olur. Əhali istehlakının statistik təhlili istehlak olunan məcmu əmtəə və xidmətləri və onların adambاشına düşən səviyyəsi ilə müəyyən olunur. Hər bir ərazi və əhali qrupları üzrə ayrı-ayrı əmtəə və xidmətləri istehlak səviyyəsi uyğun olaraq zamandan və digər amillərdən asılı olaraq formalaşır. Ərzaq və qeyri-ərzaq əmtəələr üçün statistik təhlil fərqli amillərin nəzərə alınması ilə həyata keçirilir. Ərzaq istehlakı hər bir ailədə, ailə üzvlərinin sayı və həmin ailənin məcmu gəliri, həmçinin ərzaqın yiğimi üçün ayrılan vəsaitlərlə ölçülür.

Əgər əhalinin artımı və ərzaq artımı arasında regressiya müəyyən dövr dəyişirsə, müəyyən dövrdən sonra bu dəyişmə üstlü funksiya ilə dəyişir. Gəlirlərin 2-3 dəfə artması ərzaq istehlakına sabit və yaxud azalma istiqamətində təsir edir. Bu zaman orta aylıq artım tempi gəlirlərin orta aylıq tempindən geri qalır.

Əhali istehlakının təhlili və proqnozu formal və konstruktiv əhəmiyyət kəsb etməklə yanaşma məqsədinə, informasiya bazarına görə aparılır. Ölkədə olan istehlak potensialı istehsal və ehtiyatların istifadəsi baxımından qiymətləndirilir. Ümum Daxili Məhsulun istehsal strukturu istehsal istehlakını və son məhsulun həcmini potensial imkanlarını müəyyən edir. İstehlak həcmi həmçinin ölkəyə gətirilmiş avans edilmiş kapital və resursların təhlili istehsal yanaşması və gətirilən məhsulların xərcləri ilə deyil bir başa istehlak üçün istifadəsi nəticəsində formalaşır.

* Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası

Əhalinin istehlakının mənbələri və onların rolü baxımından ayrı-ayrı sahələrin məhsullarını götürmək olar. Aşağıdakı cədvəldə istehlakı formalaşdırın göstəricilərin dinamikası verilmişdir:

Istehlakı formalaşdırın göstəricilərin dinamikası. (mln. manat)

sıra №-si	Göstəricilər	2009	2010	2011	2012	2013
1	Ümum daxili məhsul	35601,5	42465,0	52082,0	54743,7	57708,2
2	Faktiki son istehlak	191102,1	21336,1	24679,7	27370,2	30838,2
3	Ümumi yiğim	6746,0	7669,0	10555,9	12217,0	14258,4
4	Sənaye məhsulu	22563,6	27978,2	35026,9	34565,0	33898,1
5	Kənd, meşə və balıqçılıq təsərrüfatı məhsulları	3895,2	3968,1	4685,0	5037,1	5446,2
6	Əhaliyə göstərilən pullu xidmətlər	4088,2	4724,5	5332,4	5828,1	6527,3
7	Dövlət bütçəsinin gəlirləri	10325,9	11403,0	15700,7	172815	19496,3
8	Ümum daxili məhsulda %-la	29,5	27,7	29,6	31,8	33,2
9	İqtisadiyyatda mənfəət	13933,9	19112,1	26364,2	26462,6	25636,5
10	Geniş mənada pul kütləsi	8469,2	10527,5	13903,2	16775,3	19289,4

Mənbə: Azərbaycanın statistik göstəriciləri 2014.

Cədvəlin təhlili göstərir ki, statistik dəyişmələr uyğun olaraq idarəetmə tədbirlərinin və qərar qəbulunun nəticələrini və təsirini əks etdirir. 2009-2014-cü illərdə ÜDM- 1,62, son milli məhsul 1,60 dəfə, dövlət bütçəsinin gəlirləri 1,89 dəfə artmışdır. Dövlət bütçəsinin artımı uyğun olaraq xərc strukturunu artırır. Dövriyyədə olan pulun miqdarı aliciliq qabiliyyətini və nəğd haqq-hesabları artırmaqla, istehlak dövriyyəsində əmtəə və xidmət təklifini yüksəldir. Belə ki, dövriyyədə nəğd pul 2,28 dəfə artmışdır. Pul kütləsinin artımının əsas səbəbləri əhalinin pul gəlirləri onların xərcləri və həmçinin məcmu pul kütləsinin artımında xarici valyutanın artımı əsas rol oynayır. Əhalinin istehlakında, onun sərəncamına düşən pul kütləsi və həmçinin əmtəə və xidmətlər ilə təminat səviyyəsi əsas rol oynayır.

İqtisadi artımın amillər üzrə təhlili həmin amilləri prioritətiyi müəyyənləşdirir. İstehlakın artırılması tələbat sistemi və liberal iqtisadiyyat şəraitində bir sıra əmtəə və xidmətlərin istehlak xarakteristikasının dəyişmə meylləri ilə ölçülür. O cümlədən, bazar tələbatına uyğun olaraq kommersiya mənfəəti, həmin məhsulların həcminin artırılmasını müəyyən edir.

Əhalinin istehlakında baş verən istehsal faktorunu qiymətləndirmək üçün istehsal daxili istehsal funksiyasını tətbiq etməklə yiğimla istehlak arasında nisbətləri tənzimləmək olar. Yəni ümumdaxili məhsulu yiğimla istehlakın cəmi kimi ifadə etmək olar:

$$\begin{aligned} \text{ÜDM}(t) &= Y_{\text{yiğim}}(t) + I_{\text{istehlak}}(t) \\ \frac{\Delta \text{ÜDM}(t)}{\Delta Y_{\text{yiğim}}} &= \alpha(t); \quad \frac{I_{\text{istehlak}}(t)}{Y_{\text{yiğim}}(t)} = \mu; \\ \frac{\Delta \text{ÜDM}(t)}{I_{\text{istehlak}}(t)} &= \beta(t) \text{ olarsa,} \end{aligned}$$

$$\text{Onda } \ddot{\text{ÜDM}}(t) = \alpha \dot{\text{ÜDM}}(t) - \beta \ddot{\text{ÜDM}}(t) + e^{\beta t} \ddot{\text{ÜDM}}(t).$$

Düsturu ilə istehlak və yiğim arasında nisbətlərin dəyişməsinin ÜDM-un qiymətinin dəyişməsinə təsirini qiymətləndirmək olar.

Statistikada $\alpha(t) \cdot \beta(t) > 100\%$ olması istehlak və yiğimin formalaşmasında həmçinin idxlə və ixracın rolunun olmasını göstərir. İstehlakin statistik təhlili əhalii artımı, onun istehlak tipləri kimi formalaşması, perspektivdə əhalinin qütbəşmə dərəcələri ilə müəyyənləşir. Statistik qiymətləndirmə yolu ilə istehlakin dinamikasını və ona təsir edən amillərin dəyişmə meylini xətti funksiya ilə qiymətləndirmək olar. Real həyatda hər bir respublika üçün dəyişmə dinamikası müxtəlif intensivliklə ifadə olunur. Hipotez olaraq qəbul etsək ki, 2015-ci ilə qədər neft gəlirlərinin hesabına istehlak fondu zamandan asılı olaraq kvadratik funksiya ilə ifadə olunursa, onda $y(t) = axb + 2$ daha çox real artıma uyğun gələr.

Əhalii istehlakinin artım modelləri ancaq formal dəyişmə dinamikasını perspektivdə təkrarlanması meylləri kimi deyil, bir sira təşkilati-iqtisadi amillərin və kompleks tədbirlərin nəticəsi kimi qiymətləndirilməsinə görə daha adekvat model üçün onun formalaşmasına təsir edən amillərin hər birini ayrıca proqnozlaşdırmaq, sonradan isə onların təsirinin nəzərə alınmasını planlaşdırır. İndeksləşmə müasir dövrdə ümumi dinamikanın gətirilmiş ölçülərdə bir sira amillərin təsirini neytrallaşdırmaqla, ümumi multiplikasiya səmərəsi kimi harmonik inkişaf tempini müəyyənləşdirmişdir. İstehlakin indeksləşdirilməsi gəlirlər və sosial-demoqrafik tərkibdə əhalinin struktur dəyişməsi ilə qiymətləndirilir. Ona görə də əhalinin istehsalçı kimi istehsal və istehlakçı kimi istehlak funksiyasında iştirak etməsi onun əmək fəallığı ilə istehlak fəallığı, konkret olaraq əmək ölçüsü ilə istehlak ölçüsü arasında tarazlığın əlaqə və eks əlaqə amillərinin seçilməsinə gətirib çıxarıır.

Əhalii istehlakinin artım modeli onun keyfiyyətli marketinq strukturu ilə müəyyənləşir. Ona görə də istehlakçılar istehlakin quruluşunda üstünlüklerin quruluşuna görə tiplərə bölünürlər: Aztəminatlı, orta təminatlı və yuxarı həyat səviyyəsi olan ailələrin istehlak bazarında tələbatı eyni olmayan əmtəə və xidmət çoxluğu və onların qiymətləri ilə ödənilir. Daha çox ərzaq tələbatı prioritet istiqamət kimi fizioloji tələbat iyerarxiyasında əsas yer tutur. Əhalinin həyat səviyyəsinin dəyişmə dinamikası, onun sosial statusu, məşğulluq səviyyəsi və həmçinin konkret maddi vəziyyəti ilə ölçülür.

İstehlakin özü artım modeli olaraq dövlət büdcəsinin gəlir və xərclərinin bələdiyyə bütçəsinin ayrı-ayrı sahibkarlar və sahələrin resurslarının artımı ilə bağlıdır. Ona görə də istehlak həcmiinin maksimumlaşdırılması meyarı daha çox daxili imkanlar hesabına baş verdikdə, bu artım multiplikasiya səmərəsi əldə edir, daha çox iş yerlərinin açılmasına xidmət edir. Əmək haqqı və gəlirlərin artımı həmçinin bütçədən maliyələşdirilən təşkilatların sosial təminatı yaxşılaşır. Bunun da nəticəsində əhalinin qütbəşməsi azalır, sosial müdafiə və dövlətin sosial təminat sistemi genişləşmiş olur.

REFERENCE

1. **Q.Armstrong, F.Kotler.** Marketinq: ilk addım, 7-ci nəşr Bakı, 2005
2. **Evans J., Berman B.** Marketinq. - M.: Ekonomika, 1990
Эванс Дж., Берман Б. Marketinq. - М.: Экономика, 1990
3. **Rajackas R., Balois O.** Analiz ekonomiceskogo rosta i ocenka dolgosrochnyh prognozov. - Vilnus, 1979.
Раяцкас Р., Балоис О. Анализ экономического роста и оценка долгосрочных прогнозов. - Вильнюс, 1979.
4. **Anchishkin A.** Prognozirovanie ekonomiceskogo rosta. - M.,1982.
Анчишкін А. Прогнозирование экономического роста. - М.,1982.
5. **Əliyeva V.** Əhali istehlakının tədqiqi və proqnozlaşdırılması sistemi. Gənc alimlərin və doktorantların XX Respublika elmi konfransı. - Bakı, 2016.
6. **Əliyeva V.** Əhali istehlakının iqtisadi-riyazi modellər sistemi vasitəsilə proqnozlaşdırılması “Odlar Yurdu” jurnalı, dekabr 2016.

MODELS OF DEVELOPMENT AND STATISTICS IN CONSUMER DEMANDS

V.S. ALIYEVA

This article deals with the problems of consumer demands using the growthe model and statics. In this article, the factor affecting the consumer demands and the application of economics, i.e. mathematical methods, are investigated. The effect of import and exports on formation of accumulation and consumption are also studied.

Key words: *consumption, production, collection, population, model.*

МОДЕЛИ РОСТА И СТАТИСТИКИ ПОТРЕБЛЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ

B.C. ALIYEVA

В статье рассматриваются вопросы потребительской деятельности населения с помощью моделей роста и статистики. Изучаются факторы, влияющие на потребительский спрос с применением экономико-математических методов. Рассматривается влияние импорта и экспорта на формирование сбора и потребления.

Ключевые слова: *потребление, производство, сбор, население, модели.*

UOT: 574.42;581.5;581.5; 519.873

EKOLOJİ SİSTEMLƏRDƏ BIOMÜXTƏLİFLİK DƏRƏCƏSİNİN QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİNİN OPTİMAL ÜSULU

Y.N. ƏLİYEVA *

Biomüxtəlifliyin daha çox tədqiq olunan indeksləri kritik analiz edilmiş və onların çatışmamazlıqları göstərilmişdir.

Ekoloji sistemin biomüxtəlifliyinin yeni qiymətləndirmə konsepsiyası təklif edilmiş, harada ki, Simpsonun modifikasiya olunmuş indeksinin qiyməti və Şennon-Viner indeksinin minimum qiyməti müəyyən olunmuşdur. İndekslərlə idarə etmənin mümkünüyü göstərilmişdir.

Təklif edilmiş biomüxtəlifliyin qiymətləndirilməsinin yeni konsepsiyasının duallığı göstərilmişdir.

Açar sözlər: lansaft, biomüxtəliflik, Simpson indeksi, Şennon-Viner indeksi.

Hal-hazırda insanın fəaliyyəti bu və ya digər dərəcədə yer lansaftının 30-50%-ni əhatə edir [1]. Bu şəraitdə biomüxtəliflik və onun elementlərinin yadda saxlanması məsələsi xüsusən vacibdir. Ancaq quraqlıq, böyük həcmli yanğınlar, qeyri-adi istehsalat fəaliyyətləri və s. kimi çoxlu sayda təbii və antropogen faktorlar, lansaftda ümumi, xoşagəlməz biomüxtəlifliyin azalması tendensiyasına gətirib çıxarır. Bu tendensiyani nəzərə almaqla bütün dünya ekoloqları qarşısında duran əsas məsələ, təbiətdə biomüxtəlifliyin qorunub saxlanılmasıdır. Bu məsələnin həlli birinci növbədə biomüxtəlifliyin sayının qiymətləndirilməsi üçün düzgün amillərin işlənilməsi vacibdir.

Təbii sahələrin qiymətləndirilməsi üçün, adətən iki müxtəlif sahənin qiymətləndirilməsini özündə birləşdirən indekslərdən istifadə olunur. 1. Sərvət, növlərin müxtəlifliyi; 2. Növlərin eyni bərabər paylanması.

Bu zaman müxtəlifliyin sayının qiymətləndirilməsi üçün adətən aşağıdakı düsturdan istifadə olunur:

1. Şennon-Viner indeksi

$$H = - \sum_{i=1}^m p_i \ln p_i , \quad (1)$$

Burada p_i - növünə nisbətən individlərin yaranma ehtimalı; m -növlərin ümumi sayıdır.

2. Simpson indeksi

$$d = \sum_{i=1}^m p_i^2 \quad (2)$$

Yuxarıda göstərilən biomüxtəlifliklərin indeksləri lansaftda bioloji növlərin həm müxtəlifliyini, həm də stabil inkişafını birgə qiymətləndirməyə imkan verir. Biomüxtəlifliyin

* Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

sərvəti göstərir ki, landşaftda müxtəlif növ torpaq örtükləri mövcuddur. Ona görə də nə qədər çox növ olarsa, bir o qədər də çox biomüxtəliflik olar. O biri tərəfdən baxdıqda landşaftda müxtəlif növlərin eyni bərabərdə paylanması bu növlərin faiz mütənasibliyinə görə müəyyən edilir.

Bununla yanaşı yuxarıda sadalanan indekslər biodəyişmənin iki sahəsində eyni qiymətləndirilməni təmin edir. Məsələn [1]: A landşaftının iki növü var, onların hər biri 50%-dir. Başqa B landşaftın on növü var, harada ki, birinci bütün cəmi 91%-ni təşkil edir, qalan doqquz növ cəmi bir faiz təşkil edir. Məlumdur ki, müxtəliflik baxımından B landşaftı daha müxtəlif sayılacaq. Ancaq (1) düsturuna görə A landşaft B-yə nisbətən daha müxtəlif göstəriləcək, baxmayaraq ki, orada cəmi bir növ mövcuddur.

Mövcud klassik müxtəliflik indekslərində daima yuxarıdakı çatışmazlıqları aradan qaldırmağa çalışıblar. Məs: [2,3] – də miqyaslaşdırılan indeks təklif olunub

$$D(\varepsilon, r, t) = -\frac{\ln \left\{ \sum_{i=1}^{m(\varepsilon, r, t)} [P_i(\varepsilon, r, t)]^{1/2} \right\}^2}{\ln \varepsilon} \quad (3)$$

Burada $P_i(\varepsilon, r, t)$ – növlü individlərin (fəndlərin) yaranma ehtimalı; $m(\varepsilon, r, t)$ -baxılan növlərin ümumi sayı ; t -zaman; $\varepsilon = (e+A)^{-1}$, A - baxılan rayonun sahəsi ; r -fəzadan buraxma qabiliyyəti; $e=2,718$.

Laqranj üsuluna uyğun uyğun olaraq $D(\varepsilon, t)$ -nin qiymətinin maksimuma çatması aşağıdakı düstur ilə hesablanır [2].

$$\frac{\partial D(\varepsilon, r, t)}{\partial p_i(\varepsilon, r, t)} + \lambda \frac{\partial k[p_1(\varepsilon, r, t), \dots, p_m(\varepsilon, r, t)]}{\partial p_j(\varepsilon, r, t)} = 0 \quad (4)$$

Burada $j = 1, 2, \dots, m$;

$$k[p_1(\varepsilon, r, t), \dots, p_m(\varepsilon, r, t)] = 1 - \sum_{i=1}^{m(\varepsilon, r, t)} p_i(\varepsilon, r, t); \quad \lambda = \text{const.}$$

(4) differensial bərabərliyin həlli [4] şəkilində alınıb:

$$P_j(\varepsilon, r, t) = \frac{1}{m(\varepsilon, r, t)} \quad (5)$$

Bu onu göstərir ki, əgər növlər bərabər paylanıbsa, onda $-\frac{\ln m(\varepsilon, r, t)}{\ln \varepsilon}$ olduqda $D(\varepsilon, r, t)$ öz maksimum qiymətinə çatır

$$\sum_{j=1}^{m(\varepsilon, r, t)} P_j(\varepsilon, r, t) = 1.$$

$P_j(\varepsilon, t) > 0$ ($j = 1, 2, \dots, m$) olduğunda $\frac{\partial D(\varepsilon, r, t)}{\partial P_j(\varepsilon, r, t)} > 0$, olur. Yəni $D(\varepsilon, r, t)$ funksiyası $P_j(\varepsilon, r, t)$ -

nin artan funksiyasıdır. Deməli $D(\varepsilon, r, t)$ indeksi biomüxtəlifliyin “bərabərlik” əlamətini göstərə bilər.

[2,3] bizə təklif olunmuş düsturun həlli ciddi konseptual çatışmazlıqlara malikdir. Bu, daha geniş yayılmış indekslərin köməyi ilə alınmış qiymətlərin siyahıya alınmamasıdır. Bu da biomüxtəlifliyin müxtəlif indekslərindən istifadə zamanı müxtəlif təbii sahələrin böyük qiymət itkisinə gətirib çıxara bilər.

Bu göstərilən çatışmazlığı aradan qaldırmaq üçün biomüxtəliflik indeksinin kompleks şəkilində formallaşma qaydası təklif edilmişdir:

1. Şennon – Viner indeksinin şəkilinin dəyişmələri həyata keçirilir. Sonra Şennon – Vinerin biomüxtəlifliyinin şəkilinin dəyişməsinə baxılır, bu aşağıdakı kimi olacaq

$$H_m = - \sum_{i=1}^m P_i \cdot \ln [P_i + \varphi(P_i)] \quad (6)$$

burada $\varphi(P_i)$ – stabilləşmənin yenidən daxil edilən funksiyasıdır.

2. Simpson indeksinin şəkilinin dəyişməsi həyata keçirilir. Simpson biomüxtəliflik indeksinin şəkilinin dəyişməsinə aşağıdakı kimi baxılır

$$S_m = \sum_{i=1}^m [P_i + \varphi(P_i)]^2 \quad (7)$$

3. $\varphi(P_i)$ stabilləşmə funksiyasının müəyyən edilməsi üçün növbəti şərtlər qəbul edilir.

$$S_m = \sum_{i=1}^m [P_i + \varphi(P_i)]^2 = const. \quad (8)$$

4. (8) şərtinə uyğun olaraq elə $\varphi(P_i)$ funksiyası tapılır ki, bu zaman H_m indeksi minimum qiymətə çatır.

Beləliklə, təklifin əsas məğzi ondan ibarətdir ki, stabilləşmənin xüsusi seçilmiş funksiyasına modernlaşmış indekslərin daxil edilməsidir. Bu da Simpson indeksinin stabil verilmiş qiymətini və Şennon – Viner indeksinin minimum qiymətini təmin edir.

$\varphi(P_i)$ stabilləşmə funksiyasının axtarış qaydasına baxaq.

$\varphi(P_i)$ funksiyasının optimal vidinin seçilməsi üçün şərti olaraq P dəyişənin fasıləsiz olmasını götürürük, ondan (6) və (7) bərabərlikləri aşağıdakı şəkili alır

$$H_m = - \int_{P=0}^{P_{max}} P \cdot \ln [P + \varphi(P)] dP, \quad (9)$$

$$S_m = \int_{P=0}^{P_{max}} [P + \varphi(p)]^2 dP. \quad (10)$$

(9) və (10) bərabərliklərini nəzərə alaraq variasiyalı optimallaşma məsələsi üçün aşağıdakını alırıq:

$$F = \int_0^{P_{max}} M[P, \varphi(P)] dP = - \int_0^{P_{max}} P \cdot \ln [P + \varphi(P)] dP + \lambda \int_0^{P_{max}} [P + \varphi(P)]^2 dP \quad (11)$$

$$\int_0^{P_{max}} [P + \varphi(P)]^2 dP = C = const. \quad (12)$$

Eyler qaydasına əsasən $\varphi(P_i)$ optimal funksiyasının tapılması şəraitində

$$\frac{\partial M[P, \varphi(P)]}{\partial \varphi(P)} = 0 \quad (13)$$

(12) və (13) bərabərliklərindən alırıq:

$$-\frac{P}{P+\varphi(P)} + 2\lambda[P+\varphi(P)] = 0 \quad (14)$$

(14)-ifadəsindən

$$[P[P+\varphi(P)]^2 = \frac{P}{2\lambda} \quad (15)$$

alınır.

(12) və (15)-ifadələrini hesablaşdırıqda aşağıdakını alırıq

$$\int_0^{P_{max}} \left[\frac{P}{2\lambda} \right] dP = C \quad (16)$$

(16)-dən aşağıdakını tapırıq.

$$\lambda = \frac{P_m^2}{4C} \quad (17)$$

(14) və (17) bərabərliklərindən alırıq

$$\frac{P}{P+\varphi(P)} = \frac{P_m^2[P+\varphi(P)]}{4C} \quad (18)$$

(18) bərabərliyini aşağıdakı şəkildə yazaq

$$P_m^2[P+\varphi(P)] = \frac{4C}{P_m^2} \quad (19)$$

(19)-dən son olaraq aşağıdakını alırıq.

$$\varphi(P) = \frac{2}{P_m} \sqrt{CP} - P. \quad (20)$$

Beləliklə, (20) bərabərliyi, S_m sabit-verilmiş kəmiyyəti və H_m minimum kəmiyyəti təmin edən, təkrar daxil edilmiş stabilşəmə funksiyasının növünü müəyyən edir.

(11) funksiyasının özünün minimum qiymətinə çatması üçün, $\varphi(P)$ -yə görə (11)-in törəməsini götürmək kifayətdir ki, o, həmişə müsbət olsun.

(9) və (20) bərabərliklərindən aşağıdakını alırıq:

$$H_m = - \int_{P=0}^{P_{max}} P \ln \left[\frac{2}{P_m} \sqrt{CP} \right] dP \quad (21)$$

(21) bərabərliyindən alırıq:

$$H_m = - \frac{P_m^2}{2} \cdot \ln \left(\frac{2\sqrt{C}}{P_m} \right) - \int_{P=0}^{P_{max}} P \ln \sqrt{P} dP \quad (22)$$

(12) və (22) bərabərliklərindən göründüyü kimi təsadüfi verilmiş C sabit kəmiyyəti, təkrar daxil edilmiş S_m və H_m indekslərinə müxtəlif cür təsir göstərir.

Qeyd etmək lazımdır ki, təklif olunan biomüxtəlifiyi qiymətləndirmə konsepsiyası dualdır. Bu o deməkdir ki, H_m stabil kəmiyyətini və S_m minimum qiymətini təmin edə bilən stabillaşdırıcı funksiyarı tapan dual məsələni formalasdırmaq olar.

Nəticə. Nəticədə keçirilən tədqiqatın əsas nəticələrini və vəziyyətlərini formalasdırıq. Biomüxtəlifiyin daha çox tədqiq olunan indeksləri kritik analiz edilib və onların çatışmazlıqları göstərilib. Ekoloji sistemin biomüxtəlifiyinin yeni qiymətləndirmə konsepsiyası təklif edilib, harada ki, Simpsonun modifikasiya olunmuş indeksinin qiyməti və Şennon-Viner indeksinin minimum qiyməti müəyyən olunur. İndekslərlə idarə etmənin mümkünlüyü göstərilib. Təklif edilmiş biomüxtəlifiyin qiymətləndirilməsinin yeni konsepsiyasının duallığı göstərilib.

REFERENCE

1. Nagendra H. Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity // Applied Geography, 2002, Vol. 22, pp. 175-186
2. Yue T.X., Liu J.Y., Jorgensen S.E., Gao Z.Q., Zhang S.H., Deng X.Z. Changes of Holdridje life zone diversity in all of China over a half century // Ecological Modeling, 2001, Vol. 144, pp. 153-162
3. Yue T.X., Ye Q.H., Liu J.Y., Gong Z.H. Studies on models for landscape connectivity // Journal of Geographical Science, 2002, Vol. 12, pp. 186-195
4. Yue T.X., Ma S.-N., Wu S.-X., Zhan J.-Y. Comparative analyses of the scaling diversity index and its applicability <http://www.tandfonline.com/loi/tres20>

METHOD FOR OPTIMAL ASSESSMENT OF BIODIVERSITY IN ECOLOGICAL SYSTEMS

Y.N. ALIEVA

The most used indices of biodiversity are analyzed and their shortages are stressed out.

The new concept for assessment the biodiversity is suggested. The concept provides for inclusion of stabilization function with given stable value of the modified Simpson index and determines the minimal value of the Shannon index. The capability to control indices in direction of their equalizing is shown.

The dual feature of the suggested new concept for estimation of biodiversity is shown.

Key words: *Landscape, Shannon index, Simpson index, biodiversity.*

МЕТОД ОПТИМАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ БИОРАЗНООБРАЗИЯ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Е.Н. АЛИЕВА

Критически проанализированы наиболее употребляемые индексы биоразнообразия, указаны их недостатки.

Предложена новая концепция оценки биоразнообразия, заключающаяся во введении функции стабилизации, определяющей заданное значение модифицированного индекса Симпсона и минимальную величину индекса Шеннона-Винера. Показана возможность управления индексами в сторону их выравнивания.

Указана дуальность предложенной новой концепции оценки биоразнообразия.

Ключевые слова: ландшафт, индекс Шеннона-Винера, индекс Симпсона, биоразнообразие.

MƏQALƏLƏRİN TƏRTİBATI QAYDALARI

Jurnalın redaksiya heyəti jurnalın elmi istiqamətinə uyğun gələn, heç bir yerdə nəşr olunmayan, digər jurnallara verilməyən məqalələrin əlyazmalarına baxır.

Məqalə azərbaycan, rus və ya ingilis dillərində yazılı bilər və onun bir nüsxəsi redaksiyaya təqdim olunmaqla, aşağıdakılardı özündə eks etdirməlidir:

1. Məqalənin adı, müəlliflərin adı (3 dildə tərcüməsi), işin yerinə yetirildiyi müəssisənin adı;
2. UDK kodu;
3. Annotasiya, 5 cümlədən çox olmayıraq (3 dildə tərcüməsi);
4. Açıq sözlər, 10 sözdən çox olmayıraq (3 dildə tərcüməsi);
5. Məqalənin mətni;
6. Ədəbiyyat siyahısı (mənbə haqqında tam məlumat);

7. Şəkilaltı yazılar və cədvəllər;

8. Müəlliflər haqqında məlumatlar (adı, soyadı, atasının adı, elmi dərəcəsi, elmi rütbəsi, vəzifəsi, telefon nömrəsi, e-mail adresi), hansı müəlliflə yazışma aparılmış olduğu qeyd edilməli;

Məqalənin əlyazmasına müəssisə rəhbərinin imzası ilə razılıq məktubu əlavə olunmalıdır.

Mətnin yenidən yiğilması zamanı yarana biləcək nöqsanları aradan qaldırmaq məqsədi ilə məqalə mətni Word for Windows formatında, Times New Roman şrifti ilə elektron şəklində də redaksiyaya təqdim edilməlidir.

Əlyazmanın nəşri üçün müəlliflərdən ödəniş alınmır.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Редколлегия журнала рассматривает рукописи статей, которые соответствуют научному профилю журнала, нигде не опубликованы и не переданы в редакции других журналов.

В редакцию следует представить 1 экземпляр статьи на азербайджанском, русском или английском языке, который включает:

1. Название статьи, имена авторов (с переводом на три языка), наименования учреждений, где была выполнена работа;
2. Коды UDK;
3. Аннотацию, до 5 предложений (с переводом на три языка);
4. Ключевые слова, до 10 слов (с переводом на три языка);
5. Текст статьи;

6. Список литературы (с указанием полных сведений об источнике);

7. Подрисуночные подписи и надписи к таблицам.

8. Сведения об авторах (фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, должность, телефон, e-mail) с указанием автора для переписки.

К рукописи необходимо приложить сопроводительное письмо с подписью руководителя учреждения.

С целью исключения опечатки при верстке статьи просьба прислать текст и рисунки в электронном виде в формате Word for Windows, шрифт Times New Roman.

Плата с авторов за публикацию рукописи не взымается.

ARTICLE FORMATTING RULES

The Editorial Board reviews manuscripts of potential articles matching the profile of scientific journal, never were published or submitted for review to other publications.

The Author/s should submit one copy of article in Azerbaijani, Russian or English, including next:

1. Title, authors' names (translated into three languages), name where the actual research was conducted;
2. UDK codes;
3. Annotations up to 5 sentences (translated into three languages);
4. Keywords, up to 10 words (translated into three languages);

5. Article full text;
6. References (with full information about sources);

7. Captions to figures and tables;

8. Informations about authors (surname, first name, academic degree, academic rank, position, phone, e-mail) with correspondence detail.

It is necessary to include a cover letter with a signature of head of institution.

In order to avoid typographical errors in a layout article, please send text and pictures electronical Word format, and Times New Roman font.

No fees charged for the manuscript publication.

**Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının
XƏBƏRLƏRİ**

**HERALD
of the Azerbaijan Engineering Academy**

**ВЕСТНИК
Азербайджанской Инженерной Академии**

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

Cild 9. № 3
Vol. 9. № 3
Том 9. № 3

BAKİ – 2017

İnformasiya şöbəsinin müdürü

N.Z. Əskərova

Nəşriyyat və yayım şöbəsinin müdürü

A.M. Dənziyev

**“Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının
XƏBƏRLƏRİ”**

jurnalı redaksiyanın kompyuterlərində yiğilmiş və
hazır deopozitivlərdən “**Apostroff**”
mətbəəsində ofset üsulu ilə çap olunmuşdur.

*Çapa imzalanmış 12.09.2017,
formatı 60x84 1/8,
kağız təbaşirli, f.ç.v. 17
Tirajı 1245 əd.*