



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 8. № 3

Vol. 8. № 3

Том 8. № 3

BAKİ – 2016

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

BAŞ REDAKTOR – AKADEMİK A.M. PAŞAYEV

Baş redaktorun müavini – akademik A.Ş. Mehdiyev

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, müxbir üzv N.A. Əliyev

REDAKSİYA ŞURASI:

akademik B.V. Qusev (Rusiya), prof. N. Antoneski (Rumınıya), akademik Saqdeyev R.Z. (ABŞ),

prof. Bravu Konstantin (İsrail), prof. Baur Reinhard (Almaniya), prof. F. Franek (Avstriya),

akademik B.T. Jumaqulov (Qazaxıstan), prof. P. Jost (Böyük Britaniya), prof. Junq – Younq Son (Koreya),

akademik A.V. Kərimov (Özbəkistan), prof. D. Mavrakis (Yunanistan), akademik N.K. Mişkin (Belarusiya),

prof. Nejdet Sağlam (Türkiye), akademik V.E. Panin ((Rusiya), prof. S. Pytko (Polşa),

akademik A.İ. Vasiliyev (Ukrayna)

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

CHIEF EDITOR – A.M. PASHAYEV, ACADEMICIAN

Deputy editor – A.Sh. Mehtiyev, 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, **N.A. Aliyev**, member of correspondent

EDITORIAL ADVISORY BOARD:

B.V. Gusev, academician (Russia), **N. Antonesku**, professor (Romania), **R.Z. Saqdeev**, academician

(USA), **Bravu Konstantin**, professor (Israel), **Baur Reinhard**, professor (Germany), **F. Franek**,

professor (Austria), **B.T. Zhumagulov**, academician (Kazakhstan), **Piter Jost**, professor (Great Britain),

Jung – Young Son, professor (Korea), **A.V. Karimov**, academician (Uzbekistan), **D. Mavrakis**,

professor (Greece), **N.K. Mishkin**, academician (Belarus), **Nejdet Saglam**, professor (Turkey),

V.E. Panin, academician (Russia), **S. Pytko**, professor (Poland), **A.I. Vasiliyev**, academician (Ukraine)

TƏSİSÇİ:

“Azərbaycan Mühəndislik Akademiyası” ictimai birligi.

Jurnal 2009-cu ilin noyabr ayından nəşr olunur.

Dövriliyi ildə 4 dəfədir.

Azərbaycan Respublikası Ədliyyə Nazirliyi tərəfindən rəsmi 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 Beynəlxalq elmi sitat sistemi SCOPUS və Thomson Reuters qeydiyyatı prosesindədir.

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

Jurnalda abunə “Azərpocht” ASC-nin poçt bölmələrində yazılmış olar. Abunə il boyu davam edir.

Abunə indeksi: Hüquqi və fiziki şəxslər üçün – 1156

Redaksiyanın ünvani: Azərbaycan Respublikası, AZ 1010,

Bakı şəhəri, K.Səfərəliyeva 22.

Tel/Faks: (+99412) 598 24 52
(dax. 6-59)

E-mail: amaxeber@yahoo.com
<http://ama.com.az>

REKLAMALARIN YERLƏŞDİRİLMƏSİ
İLƏ ƏLAQƏDAR REDAKSİYAYA
MÜRACİƏT EDƏ BİLƏRSİNİZ

FOUNDER:

Public union “Azerbaijan Engineering Academy”

Journal published since November, 2009.

Issued 4 times a year.

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

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

The journal is in the process of registration in the international system of scientific citing SCOPUS and 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 “Azerpocht” 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.

Официально 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 находится в процессе регистрации в международной системе научного цитирования SCOPUS и 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://www.ama.com.az>

ПО ВОПРОСАМ РАЗМЕЩЕНИЯ
РЕКЛАМЫ ОБРАЩАТЬСЯ
В РЕДАКЦИЮ

ISSN 2076-0515

© Azərbaycan Mühəndislik Akademiyası, 2016

© Azerbaijan Engineering Academy, 2016

© Азербайджанская Инженерная Академия, 2016

M Ü N D Ə R İ C A T

C i h a z q a y i r m a

Paşayev A.M., Abdullayev X.İ., Muxtarov R.M.

Mikropikselli selvari fotodiodların parametrlərinin təyin edilməsi üçün
miller düsturunun tətbiqi 7

A v i a s i y a

Kərimli T.İ.

Müasir girostabilizatorlar və onların tətbiq sahələri 14

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

Canəhmədov Ə.X., Volçenko A.İ., Cavadov M.Y., Vozniy A.V.,

Kurlyak Ya.V., Stadnik O.B.

Tribosistemlərin metal-polimer cütlərinin diskret omik kontaktlarında
elektrik boşalma zamanı nanotriboloji proseslər 24

Aslanov Z.Y.

Reduktorun işgörmə qabiliyyətinə istismar amillərinin təsiri 35

Şirzadov F.M., Sadıxov Ə.H.

Elektroqövs üstəritmə üsulu ilə səthə yeyilməyə davamlı örtüklərin çəkilməsi
və tig üstəritmə üsulu ilə səthin modifikasiyası 45

M ö h k e m l i k f i z i k a sı

Bədəlov A.Z., Sərdarlı R.M., Vəzirova T.N., Yusifov M.Y., Orucova A.A.

TlInS₂ və 0,3%-li <Co, Fe, Mn və Cr> aşqarları ilə aşqarlanmış TlInS₂ kristallarının
udulma və eks olunma əmsallarının müəyyənləşdirilməsi 56

N e f t v ə q a z

Perminov B.A., Perminov V.B., Yaqubov Z.X., Yaqubov E.Z.

"Qazına borusu – intiqal" sistemində enerji göstəricilərinin nisbəti 63

Nurullayev V.X.

Mazutun kavitaşıya texnologiyası ilə nəqli 74

Mürvətov F.T., Kərimova A.Q., Məmmədova G.G.

Monoklinal neft yataqlarının işlənməsi prosesində yaranan bəzi mürəkkəbləşmələr 85

Rəhimova M.S.

Fontan quyularının istismar xüsusiyyətlərini nəzərə almaqla qaldırıcının hesabı 89

Əliyeva O.Ə.

Qaz saxlama anbarlarının təsnifikasi 94

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

Rəsulov S.R., Rzayev A.H., Orucov V.V., Mustafayeva G.R.

Neftin çıxarılması və nəqli zamanı struktur əmələ gəlməsi prosesinin riyazi
modelləşdirilməsi 98

E n e r g e t i k a

Məmmədov F.F.

Faza keçidli material əsaslı günəş istilikdəyişdirici – helioreaktor akkumulyasiya
sisteminin təcrübə nəticələrinin analizi 102

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

Rzayev R.R., Əliyev E.T., Həsənov V.İ., Camalov Z.R.

Ərzaq təhlükəsizliyinin kompleksli qiymətləndirilməsi üçün qeyri-səlis koqnitiv model 109

Həsənov C.Q.

Ölkəmizin xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla klaster nəqliyyat-logistika
modellərinin işlənməsi 124

S u t e s e r r ü f a tı

Əğarzayev T.M.

Sərfölçənlərdən istifadə olunmaqla su itkilərinin təyin edilməsinin tədqiqi 132

Akademik Əhəd Canəhmədovun ad gününə

137

C O N T E N T S

Instrumentation

Pashayev A.M., Abdullaev Kh.I., Mukhtarov R.M.

Application of miller formula for determination of parameters
of micropixel avalanche photodiodes 7

Aviation

Karimli T.I.

Modern gyrostabilizers and their applications 14

Mechanics and mechanical engineering

Janahmadov A.Kh., Volchenko A.I., Javadov M.Y., Voznyi A.V.,

Kurylyak Y.V., Stadnyk O.B.

Nanotribological processes at electric discharge in discrete ohmic
contacts of metal-polymer pairs of tribosystems 24

Aslanov Z.Y.

Influence of operational factors on gearbox performance 35

Shirzadov F.M., Sadikhov A.H.

Wear-resistant coating by electric arc cladding 45

Physics of durability

Badalov A.Z., Sardarli R.M., Vazirova T.N., Yusifov M.Y., Orujova A.A.

Determining the coefficients of absorption and refraction of the crystal

TlInS₂ and TlInS₂ with 0.3% impurities <Co, Fe, Mn and Cr> 56

Oil and gas

Perminov B.A., Perminov V.B., Yagubov Z.H., Yagubov E.Z.

Ratio of power indicators in the system «drill string – drive» 63

Nurullayev V.H.

Transportation of mazut using cavitation Technologies 74

Murvatov F.T., Kerimova A.Q., Mamedova G.G.

Aspects of complications occurring in of monoclonal oil
fields (in the example of Siyazan field) 85

Ragimova M.S.

Calculation of the hoisting tube with respect to operational properties of gushing wells 89

Alieva O.A.

Classification of underground gas storages 94

Chemical technology

Rasulov S.R., Rzaev A.G., Orujev V.V., Mustafaeva G.R.

Mathematical modelling of oil formation in the collector layer of oil deposits 98

Energetics

Mammadov F.F.

Analysis of experimental results of storage systems for solar heat
exchanger – solar reactor based phase change material 102

Information Technology

Rzayev R.R., Aliyev E.T., Hasanov V.I., Jamalov Z.R.

Fuzzy cognitive model for a comprehensive food security assessment based 109

Hasanov J.G.

Modelling of country based transport-logistics clusters 124

Water Industry

Agharzayev T.M.

Research of water losses by using water meters 132

To birthday of academician Ahad Janahmadov

СОДЕРЖАНИЕ

Приборостроение

Пашаев А.М., Абдуллаев Х.И., Мухтаров Р.М.

Применение формулы Миллера для определения параметров микропиксельных лавинных фотодиодов 7

Авиация

Каримли Т.И.

Современные гиростабилизаторы и области их применения 14

Механика и машиностроение

Джанахмедов А.Х., Вольченко А.И., Джавадов М.Я., Возный А.В.,

Курылляк Я.В., Стаднык О.Б.

Нанотрибологические процессы при электрическом разряде в дискретных омических контактах металлополимерных пар трибосистем 24

Асланов З.Ю.

Влияние эксплуатационных факторов на работоспособность редуктора 35

Ширзадов Ф.М., Садыхов А.Х.

Нанесение износостойких покрытий методом электродуговой наплавки 45

Физика прочности

Бадалов А.З., Сардарлы Р.М., Везирова Т.Н., Юсифов М.Ю., Оруджева А.А.

Определение коэффициентов поглощения и преломления кристаллов $TlInS_2$ и $TlInS_2$ с 0.3% примесями <Co, Fe, Mn и Cr> 56

Нефть и газ

Перминов Б.А., Перминов В.Б., Ягубов З.Х., Ягубов Э.З.

Соотношение энергетических показателей в системе «бурильная колонна – привод» 63

Нуруллаев В.Х.

Транспортировка мазута кавитационными технологиями 74

Мурватов Ф.Т., Керимова А.Г., Мамедова Г.Г.

Об осложнениях в процессе эксплуатации моноклинальных нефтяных месторождений 85

Рагимова М.С.

Расчет подъемника с учетом эксплуатационных свойств фонтанных скважин 89

Алиева О.А.

Классификация подземных газохранилищ 94

Нефтехимические технологии

Расулов С.Р., Рзаев А.Г., Оруджев В.В., Мустафаева Г.Р.

Математическое моделирование процесса структурообразования нефти в пласте – коллекторе нефтяных месторождений 98

Энергетика

Мамедов Ф.Ф.

Анализ экспериментальных результатов аккумулирующих систем солнечного теплообменника – гелиореактора на основе материала фазового перехода 102

Информационные технологии

Рзаев Р.Р., Алиев Э.Т., Гасанов В.И., Джамалов З.Р.

Нечёткая когнитивная модель для комплексной оценки продовольственной безопасности 109

Гасанов Дж.Г.

Разработка моделей транспортно-логистических кластеров с учетом особенностей страны 124

Водное хозяйство

Агарзаев Т.М.

Исследование потери воды при использовании счетчика 132

К 70-летию академика А.Х. Джанахмедова 137

ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМУЛЫ МИЛЛЕРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОПИКСЕЛЬНЫХ ЛАВИННЫХ ФОТОДИОДОВ

А.М. ПАШАЕВ*, Х.И. АБДУЛЛАЕВ*, Р.М. МУХТАРОВ*

Рассмотрена модифицированная формула Миллера, эмпирически описывающая зависимость коэффициента умножения лавинного фотодиода и учитывающая падение напряжения в последовательном сопротивлении прибора. Экспериментально показано, что данная формула может с хорошей точностью описывать работу как обычных, так и микропиксельных лавинных фотодиодов. Для этого необходимо определить параметр Миллера из стационарной вольт-амперной характеристики (ВАХ) фототока в лавинном фотодиоде. Показано, что линейная экстраполяция стационарной ВАХ лавинных фотодиодов, работающих как в обычном режиме, так и в режиме Гейгера, позволяет определить рабочие параметры приборов.

Ключевые слова: лавинный фотодиод, кремниевые фотоумножители, напряжение пробоя, МЛФД.

Введение. Микропиксельные лавинные фотодиоды (МЛФД), также известные как кремниевые фотоэлектронные умножители, широко обсуждаются в научной литературе. В ближайшие годы ожидается массовое применение МЛФД в приборах для научных исследований и промышленном оборудовании [1, 2]. В ряде экспериментов физики высоких энергий, в том числе в рамках международных проектов, таких как HL-LHC, COMPASS (ЦЕРН, Швейцария) и NICA/MPD (ОИЯИ, Дубна, Россия), предполагается их использование в составе детекторов частиц [3]. Необходимость разработки новых методов определения характеристик МЛФД вызвано тем, что их конструкция и принцип работы значительно отличаются от традиционных лавинных фотодиодов (ЛФД). Рабочая поверхность МЛФД состоит из независимых р-п-переходов (микропикселей) с размерами не более $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$, соединенных с общей шиной через индивидуальные микро-сопротивления. Каждый микропиксель способен работать в так называемом режиме Гейгера, т.е. приложенном напряжении выше пробойного – в этом режиме коэффициент умножения фотоэлектронов в них может превышать 10^6 . По этой причине не все методы измерения параметров ЛФД применимы в случае МЛФД.

В данной работе показана возможность применения известной эмпирической формулы Миллера [4] для определения рабочих параметров МЛФД. Для лучшего совпа-

* Азербайджанская Национальная академия авиации

дения расчетной зависимости коэффициента лавинного умножения M от приложенного к фотодиоду напряжения U_d с экспериментальными данными, нами предлагается использовать модификацию формулы Миллера, учитывающую падение напряжения на последовательном сопротивлении R_0 электрической цепи прибора [5, т. 2].

$$M = \frac{1}{1 - \left(\frac{U_{pn}}{U_{br}} \right)^k}, \quad (1)$$

где U_{br} – напряжение пробоя р-п-перехода лавинного фотодиода, $U_{pn} = U_d - J_t \cdot R_0$ – напряжение, непосредственно падающее на р-п-переходе, U_d – приложенное к прибору напряжение, J_t – полный ток в фотодиоде, R_0 – эффективное сопротивление резистора, последовательно соединенного с лавинным фотодиодом, k – эмпирический параметр Миллера.

Вывод рабочих формул. Полный ток J_t лавинного фотодиода в рабочем режиме можно выразить как

$$J_t = J_s + M \cdot (I_d + I_{ph}), \quad (2)$$

где J_s – поверхностный ток утечки, не участвующий в лавинном процессе, I_d – инициирующий лавину объемный темновой генерационный ток, I_{ph} – инициирующий лавину фототок. Величину I_{ph} следует измерять при низких напряжениях на фотодиоде (обычно $U_d \sim U_{br}/5$), при которых заведомо $M = 1$. Длина волны источника света (например, светодиода) должна быть такой, чтобы свет полностью поглощался в обедненной области р-п-перехода прибора.

Рассмотрим процесс усиления постоянного фототока. Для усиленного фототока J_{ph} можно записать

$$J_{ph} = M \cdot I_{ph}. \quad (3)$$

Формула (1) показывает, что при $M \gg 1$ (например, при $M > 10$) величины U_{pn} и U_{br} достаточно близки, т.е. удовлетворяется условие $\Delta U / U_{br} \ll 1$, где $\Delta U = U_{br} - U_{pn}$, и выражение $(U_{pn} / U_{br})^k$ в знаменателе формулы (1) можно разложить в ряд по малой величине $(\Delta U / U_{br})$. В результате, удовлетворившись первым членом разложения, получим упрощенную формулу Миллера:

$$M = \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{1 - \frac{U_d - M \cdot I_{ph} \cdot R_0}{U_{br}}}, \quad (4)$$

из которой следует уравнение для определения коэффициента умножения фототока M :

$$J_{ph} R_0 \cdot M^2 - (U_d - U_{br}) \cdot M - \frac{U_{br}}{k} = 0. \quad (5)$$

Решив уравнение (5), получаем следующие выражения для коэффициента умножения и лавинного фототока в приборе:

$$M = \sqrt{\left(\frac{U_{br} - U_d}{2I_{ph}R_0}\right)^2 - \left(\frac{U_{br}}{kI_{ph}R_0}\right)} - \frac{U_{br} - U_d}{2I_{ph}R_0} \quad (6)$$

$$J_{ph} = I_{ph} \cdot \sqrt{\left(\frac{U_{br} - U_d}{2I_{ph}R_0}\right)^2 - \left(\frac{U_{br}}{kI_{ph}R_0}\right)} - I_{ph} \cdot \frac{U_{br} - U_d}{2I_{ph}R_0}. \quad (7)$$

Неизвестные параметры U_{br} и k можно определить из ВАХ прибора при известных величинах U_d и I_{ph} . Однако выражения (6) и (7) достаточно сложны для практического применения.

В области напряжений $U_d < U_{br}$ можно пренебречь величиной падения напряжения на последовательном резисторе R_0 . Тогда из выражений (3) и (4) получим

$$\frac{1}{J_{ph}} = \frac{k}{I_{ph}U_{br}} \cdot (U_{br} - U_d). \quad (8)$$

Выражение (8) позволяет определить параметры U_{br} и k , используя линейную экстраполяцию экспериментальной зависимости $1/J_{ph}$ от напряжения U_d .

В области напряжений $U_d > U_{br}$ нельзя пренебречь величиной падения напряжения на последовательном резисторе R_0 из-за значительной величины коэффициента умножения. В этом случае в уравнении (5) можно пренебречь третьим членом. Тогда получим линейные зависимости M и J_{ph} от приложенного к лавинному диоду напряжения:

$$M = \frac{(U_d - U_{br})}{I_{ph}R_0}. \quad (9)$$

$$J_{ph} = \frac{(U_d - U_{br})}{R_0}. \quad (10)$$

Следует отметить тот факт, что выражения (8-10) могут быть получены также из более точной формулы для коэффициента умножения, являющейся решением уравнения непрерывности тока в лавинном фотодиоде [5, том. 1, с.107]:

$$M = \frac{1}{1 - I_{int}}, \quad (11)$$

где $I_{int} = \int_0^W a \cdot \exp\left[-\int_x^W (\alpha - \beta) dy\right] dx$ – интеграл ионизации, W – толщина обедненного слоя

р-п-перехода фотодиода, α и β – коэффициенты ионизации для электронов и дырок соответственно. Напряжение пробоя определяется из условия $I_{int}(U_{pn} = U_{br}) = 1$.

Очевидно, что величина I_{int} зависит от приложенного напряжения U_d , и поэтому выражение (11) можно разложить в ряд малого аргумента $z = ((U_{br} - U_{pn})/U_{br}) \ll 1$, т.е.

можно записать: $I_{int}(z) = 1 + a \cdot z + \dots$, где a – производная I_{int} в точке пробоя ($U_{pn} = U_{br}$). Удовлетворившись первым членом разложения, получим

$$M = \frac{1}{a} \cdot \frac{1}{1 - \frac{U_{pn}}{U_{br}}} , \quad (12)$$

где $U_{pn} = U_d - J_t \cdot R_0 \approx U_d - J_{ph} \cdot R_0$ – величина напряжения, непосредственно падающего на р-п-переходе прибора. При $a = k$ выражение (12) полностью совпадает с выражением (4). Это означает, что упрощенная формула Миллера (4), будучи предложенной эмпирически, имеет достаточное физическое обоснование. Здесь параметр k (или a) определяется скоростью изменения интеграла ионизации I_{int} .

Сравнение с экспериментальными данными. В качестве экспериментальных образцов для проверки справедливости вышеуказанной методики были выбраны три типа лавинных фотодиодов от разных производителей: МЛФД S10362-11-025U от фирмы Hamamatsu [6], однопиксельный лавинный фотодиод, изготовленный итальянской коллаборацией “ITC-irst” [7] и лавинный фотодиод APD-33-128V, изготовленный нами совместно с компанией Zecotek [8]. Прибор S10362-11-025U имел рабочую площадь $1\text{mm} \times 1\text{mm}$, на которой располагались 1600 пикселей с размерами $25\mu\text{m} \times 25\mu\text{m}$. Прибор от “ITC-irst” состоял из единичного пикселя размером $40\mu\text{m} \times 40\mu\text{m}$ с последовательным гасящим микрорезистором $R_0 = 350 \text{ k}\Omega$. Фотодиод APD-33-128V являлся обычным лавинным фотодиодом с рабочей площадью $3\text{mm} \times 3\text{mm}$.

Полный темновой ток J_t лавинного фотодиода S10362-11-025U, измеренный при $U_d = 15\text{V}$, не превышал 30pA . В качестве источника постоянного света использовался полупроводниковый светодиод с длиной волны около 450nm . Величина инициирующего лавину фототока, измеренная при $U_d = 15\text{V}$, составляла $I_{ph} = 120\text{pA}$. Затем в области $U_d > 15\text{V}$ измерялась зависимость величины фототока J_{ph} от приложенного напряжения.

На рисунке 1 представлен график зависимости обратного значения фототока $1/J_{ph}$ лавинного фотодиода S10362-11-025U от приложенного напряжения (кривая 1). Экстраполяцией линейной части экспериментальной кривой и с использованием выражения (8) были определены параметры $U_{br} = 68.78\text{V}$ и $k=1.64$. Полученные данные были использованы при построении аналогичной зависимости (кривая 2) на основе формулы (7), в которой эффективное сопротивление R_0 принималось равным последовательному сопротивлению пикселей $R_p = 220\text{k}\Omega$.

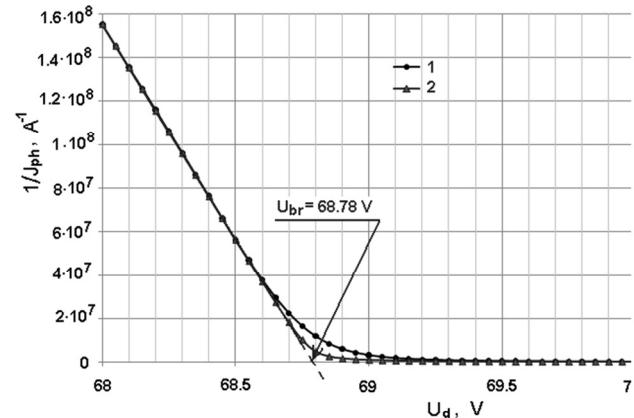


Рис. 1. Зависимость обратной величины фототока от приложенного напряжения: 1 – экспериментальная кривая; 2 – расчетная кривая на основе формулы Миллера

Величина R_p определялась с помощью прямой ВАХ прибора. Было установлено, что увеличение величины последовательного сопротивления R_0 до $3\text{M}\Omega$ не приводит к заметному изменению характера кривых в области напряжений $U_d < U_{br}$.

Как видно из рисунка 1, наблюдается хорошее совпадение расчетных и экспериментальных кривых в области $U_d < U_{br}$, т.е. в данной области напряжений основные характеристики (фототок и коэффициент умножения) лавинного фотодиода достаточно точно описываются формулой Миллера.

В области напряжений $U_d > U_{br}$ расчетные и экспериментальные кривые существенно отличаются (рис. 2). Здесь формула Миллера дает линейную зависимость фототока от величины U_d , а экспериментальная кривая имеет форму, близкую к параболической зависимости. Связано это с конструкцией и принципом работы МЛФД, к которым относится исследуемый фотодиод S10362-11-025U. Известно, что МЛФД состоит из матрицы независимых р-п-переходов (пикселей), причем каждый пиксель соединен с общей шиной через индивидуальный микрорезистор R_p . Несмотря на то, что образец освещается светом постоянной интенсивности, каждый пиксель работает в импульсном режиме, усиливая единичные фотоэлектроны. Кроме того, при фиксированной мощности света число сработавших пикселей увеличивается пропорционально величине $U_d - U_{br}$, и поэтому эффективная проводимость ($1/R_0$) в цепи прибора увеличивается с ростом величины $U_d - U_{br}$. Если зависимость величины $1/R_0$ от приложенного напряжения представить в виде степенного ряда $A + B \cdot (U_d - U_{br})$, то из выражения (10) получим

$$J_{ph} = \frac{(U_d - U_{br})}{R_0} \sim (U_d - U_{br})^\delta , \quad (13)$$

где $\delta > 1$, A и B – коэффициенты разложения. Это означает, что если экспериментальные данные, приведенные на рис. 2a, перестроить в виде функции $\sqrt[\delta]{J_{ph}} \sim U_d$, то должна быть область линейной зависимости, экстраполяция которой пересекает ось X в точке U_{br} .

Правомерность такого подхода доказывают данные на рис. 2b, где приведена зависимость $\sqrt[\delta]{J_{ph}}$ от U_d при $\delta = 1.64$.

Видно, что экстраполяция линейного участка кривой пересекает ось X в точке напряжения пробоя прибора. Таким образом, мы имеем еще один способ определения напряжения пробоя МЛФД.

Теперь рассмотрим описанный в работе [7] однопиксельный лавинный фотодиод с последовательным микрорезистором. На рисунке 3 (кривая 1) приведена зависи-

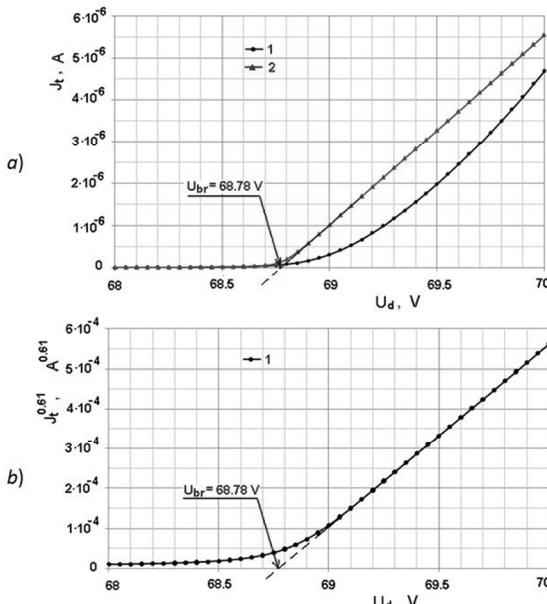


Рис. 2. Зависимость фототока от приложенного напряжения: 1 – экспериментальная кривая, 2 – расчетная кривая на основе формулы Миллера

мость коэффициента усиления M такого фотодиода от приложенного напряжения U_d , взятая из работы [7]. Прибор работал в режиме Гейгера ($U_d > U_{br} = 30.85\text{V}$), при котором фотодиод регистрировал единичные фотоэлектроны. Если за средний фототок I_{ph} взять величину $q/R_0 \cdot C_p = 8.47\text{pA}$, то выражение (9), полученное из формулы Миллера, хорошо описывает экспериментальную зависимость M от U_d (кривая 2, рис. 3). Здесь q – заряд электрона, $R_0 = 350\text{k}\Omega$ – сопротивление последовательно включенного микрорезистора, $C_p = q \cdot \frac{\partial M}{\partial V_d} = 54\text{fF}$ – эффективная емкость диода, определяемая из наклона экспериментальной зависимости M от U_d .

Предложенная выше методика была также использована для описания экспериментальных результатов, полученных с помощью лавинного фотодиода APD-33-128V, работающего в обычном режиме (т.е. не в режиме Гейгера) [8]. На рисунке 4 представлен график зависимости обратной величины фототока от приложенного напряжения. Инициирующий лавину постоянный фототок, измеренный при потенциале $U_d = 30\text{V}$, составил 0.2nA . Экстраполяцией кривой 1 были определены напряжение пробоя прибора $U_{br} = 129.1\text{V}$ и параметр Миллера $k = 0.81$. Эти данные были использованы для построения расчетной зависимости на основе формулы (7) при нагрузочном сопротивлении $R_0 = 1\text{k}\Omega$. Из рис. 4 видно, что расчетная кривая 2 достаточно хорошо согласуется с экспериментальной.

Выводы. Таким образом, можно сделать следующие выводы о применимости модифицированной формулы Миллера и о возможности определения параметров лавинных фотодиодов. Модифицированная формула Миллера, в которой учтено падение напряжения в последовательном сопротивлении, может с достаточно хорошей точностью описывать характеристики как обычных, так и микропиксельных лавинных фотодиодов. Для этого параметр Миллера следует определить из стационарной ВАХ фототока в лавинном фотодиоде.

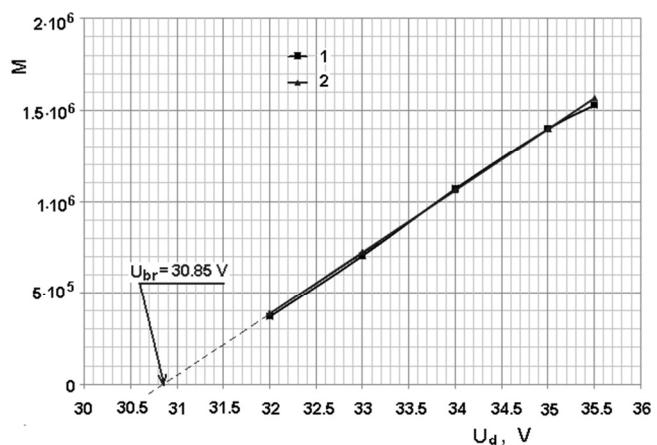


Рис. 3. Зависимость коэффициента усиления однопиксельного фотодиода от приложенного напряжения: 1 – экспериментальная кривая [7], 2 – расчетная кривая на основе формулы Миллера

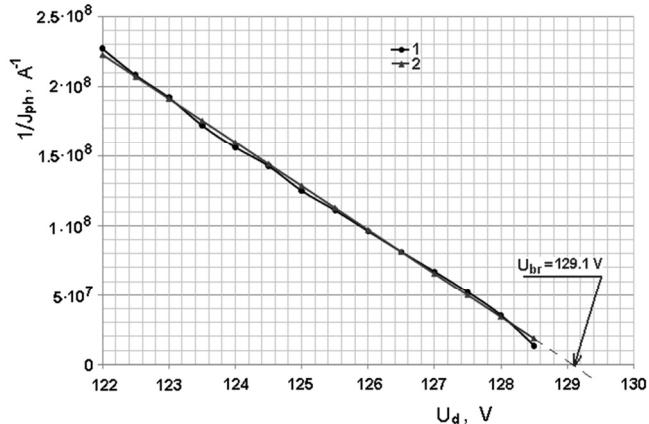


Рис. 4. Зависимость обратной величины фототока от приложенного напряжения к APD-33-128V: 1 – экспериментальная кривая, 2 – расчетная кривая на основе формулы Миллера

Инициирующий лавину постоянный фототок, измеренный при потенциале $U_d = 30\text{V}$, составил 0.2nA . Экстраполяцией кривой 1 были определены напряжение пробоя прибора $U_{br} = 129.1\text{V}$ и параметр Миллера $k = 0.81$. Эти данные были использованы для построения расчетной зависимости на основе формулы (7) при нагрузочном сопротивлении $R_0 = 1\text{k}\Omega$. Из рис. 4 видно, что расчетная кривая 2 достаточно хорошо согласуется с экспериментальной.

Таким образом, можно сделать следующие выводы о применимости модифицированной формулы Миллера и о возможности определения параметров лавинных фотодиодов. Модифицированная формула Миллера, в которой учтено падение напряжения в последовательном сопротивлении, может с достаточно хорошей точностью описывать характеристики как обычных, так и микропиксельных лавинных фотодиодов. Для этого параметр Миллера следует определить из стационарной ВАХ фототока в лавинном фотодиоде.

С помощью линейной экстраполяции стационарной ВАХ лавинных фотодиодов, работающих как в обычном режиме, так и в режиме Гейгера, можно определить напряжение пробоя прибора.

REFERENCE

1. Sadygov Z., Olshevski A., Chirikov I., Zheleznykh I., Novikov A. Nucl. Instr. and Meth. A, 2006, v. 567, p. 70, doi:10.1016/j.nima.2006.05.215.
2. D.Renker, E.Lorenz. J. Instrumentation, 2009, v. 4, p. 04004, doi:10.1088/1748-0221/4/04/P04004.
3. Anfimov N., Chirikov-Zorin I., Dovlatov A., Gavrilchuk O., Guskov A., Khovanskiy N., Krumshtein Z., Leitner R., Meshcheryakov G., Nagaytsev A., Olchevski A., Rezinko T., Sadvovskiy A., Sadygov Z., Savin I., Tchalyshhev V., Tyapkin I., Yarygin G., Zerrouk F. Nucl. Instr. and Meth. A, 2010, v. 617, p. 78, doi:10.1016/j.nima.2009.10.019.
4. Miller S.L. Phys. Rev., 1995, 99, p. 1234.
5. Zi S. Fizika poluprovodnikovyh priborov: v 2 tomah. M.: Mir, 1984.
Зи С. Физика полупроводниковых приборов: в 2-х томах. М.: Мир, 1984.
6. <http://www.hamamatsu.com>
7. Piemonte C., Battiston R., Boscardin, M., Dalla-Betta, G.-F., Del Guerra, A., Dinu, N., Pozza, A., Zorzi, N. IEEE Transaction Nucl. Science, 2007, V.54, No.1, pp.236-244, doi:10.1109/TNS.2006.887115.
8. Sadygov Z., Abdullaev H., Anfimov N., Ahmedov F., Madatov R., Muhtarov R., Olshevskij A., Titov A. Pisma v ZhTF, 2013, tom 39, vyp. 11, c.7.
Садыгов З., Абдуллаев Х., Анфимов Н., Ахмедов Ф., Мадатов Р., Мухтаров Р., Ольшевский А., Титов А. Письма в ЖТФ, 2013, том 39, вып. 11, с.7.

MİKROPIKSELLİ SELVARİ FOTODİODLARIN PARAMETRLƏRİNİN TƏYİN EDİLMƏSİ ÜÇÜN MILLER DÜSTURUNUN TƏTBİQİ

A.M. PAŞAYEV, X.İ. ABDULLAYEV, R.M. MUXTAROV

Selvari fotodiordan gülənmə əmsalını təsvir edən və cihazın ardıcıl müqavimətində gərginlik düşgüsünü nəzərə alan modifikasiya edilmiş empirik Miller düsturuna baxılmışdır. Eksperimental olaraq göstərilmişdir ki, bu düstur həm adı, həm də mikropikselli selvari fotodioların işini yüksək dəqiqliklə təsvir edə bilər. Bunun üçün selvari fotodioda fotocərəyanın stasionar volt-amper xarakteristikasından (VAX) Miller parametrini müəyyən etmək lazımdır. Göstərilmişdir ki, həm adı rejimdə, həm də Heyger rejimində işləyən selvari fotodioların stasionar VAX-nın xətti ekstrapolyasiyası cihazların işçi parametrlərini müəyyən etməyə imkan verir.

Açar sözlər: selvari fotodiód, silisium fotovurucular, deşilmə gərginliyi, MSFD.

APPLICATION OF MILLER FORMULA FOR DETERMINATION OF PARAMETERS OF MICROPIXEL AVALANCHE PHOTODIODES

A.M. PASHAYEV, Kh.I. ABDULLAEV, R.M. MUKHTAROV

The modified Miller formula is reviewed which takes into account the voltage drops in the serial resistor of the avalanche photodiode. It is proven by experimental data that the modified Miller formula can describe operations both on the regular and micropixel avalanche photodiodes with a good enough precision. The Miller parameter must be determined from a static voltage-current curve of the photocurrent in the avalanche photodiode. It is shown that operation parameters of the devices can be determined using a linear extrapolation of the voltage-current curve for both the regular avalanche photodiode and one operating in the Geiger mode.

Key words: avalanche photodiode, silicon photomultiplier, breakdown voltage, MAPD.

MÜASİR GIROSTABİLİZATORLAR VƏ ONLARIN TƏTBİQ SAHƏLƏRİ

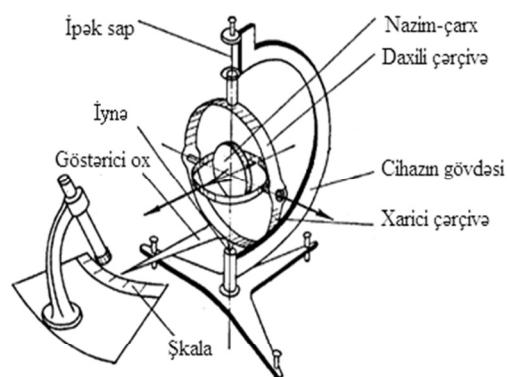
T.İ. KƏRİMLİ*

Məqalədə giroskopik stabilizasiya sistemlərinin müqayisəli təhlili aparılmış, uçuş aparatlarında tətbiq edilən stabilizasiya qurğularının dayanıqlığını və idarə olunma cədliliyini artırmaq üçün təkliflər verilmişdir.

Açar sözlər: *giroskop, girostabilizator, rotor, sərbəstlik dərəcəsi, kinetik moment, giroskopik moment, ətalət momenti, inersial naviqasiya sistemi, kosmik aparat.*

Giriş. Giroskop və giroskopik stabilizatorlar müasir aviasiyada olduqca geniş tətbiq edilən qurğulardan olub, işləmə prinsipi, konstruktiv və digər əlamətlərə görə olduqca çeşidli təsnifata malikdir. Bu əlamətlərdən biri də giroskopun rotorunun sərbəstlik dərəcəsidir ki, ondan asılı olaraq, giroskopik qurğular, uyğun olaraq bir, iki və üç sərbəstlik dərəcəli giroskoplara bölünür. Amerika Birləşmiş Ştatlarının (ABŞ) və Böyük Britaniyanın (BB) elmi-tədris və mühəndis ədəbiyyatlarında isə giroskopik cihazlar yalnız ölçülən sərbəstlik dərəcəsinə görə sıfır, bir və iki sərbəstlik dərəcəli giroskoplara bölünür [1].

Giroskop sözünü elmə ilk dəfə fransız alimi Leon Fuko götirmiştir (yunan dilindən tərcümədə “giros”-fırlanma, “skopeo” müşahidə edirəm mənasını verir). 1852-ci ildə Paris Elmlər Akademiyasında L.Fuko düzəltdiyi giroskopla Yerin fırlanmasını təcrübi olaraq nümayiş etdirmiştir (şəkil 1). Daxili çərçivədə quraşdırılmış nazimçarx (rotor) işçi vəziyyətdə üfüqi müstəvidə yerləşmiş fırlanma oxu ətrafında yüksək sürətlə fırladılarkən xarici çərçivəyə nəzərən nazimçarxın fırlanma oxu sabit qalmışdır. Fırlana bilən daxili çərçivə (daxili Kardan asqısı) xarici çərçivənin daxilində quraşdırılmışdır. Xarici çərçivə (xarici Kardan asqısı) cihazın



Şəkil 1. L. Fukonun ilk giroskopunun sxemi

* Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası

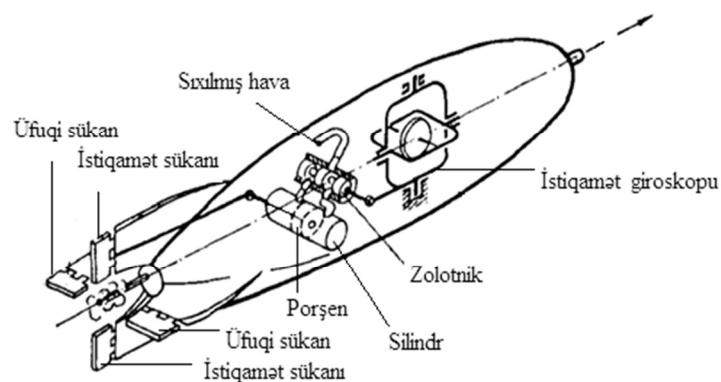
gövdəsinə yuxarı tərəfdən ipək sapla asılmış, aşağı tərəfdən isə iynə ilə gövdəyə söykənmişdir. Fukonun yaratdığı giroskopik qurğu üç sərbəstlik dərəcəsinə (ABŞ və BB-də iki sərbəstlik dərəcəli adlanır) malik idi. Yer kürəsinin səthinə nəzərən giroskopun dönməsinin müşahidə olunması üçün nazimçarxın firlanma oxunun ucunda quraşdırılmış uzun əqrəb (göstərici ox) vasitəsilə şkalaya nəzərən hərəkət təcrübənin uğurla keçməsini sübut etmişdir [2,3].

1880-ci ildə Avstriya ordusunun leytenantı Lyudviq Obri ingilis mühəndisi Henri Uatxeyd tərəfindən yaradılmış torpedonun (saltı mərmi) yön üzrə istiqamətlənməsini təmin edən giroskopik stabilizasiya sistemini ilk dəfə olaraq praktiki məqsədlə tətbiq etmişdir (şəkil 2). Stabilizasiya sisteminin iş prinsipinə görə atəş açmamışdan əvvəl torpedo və sıxlımlı hava ilə yüksək sürətlə fırladılan giroskop hədəflə eyni istiqamətə tuşlanır.

Atəş açıldıqda torpedonun tapşırılmış yönəndən kənara meyl etməsinə baxmayaraq giroskopun tuşlanmış istiqaməti hədəf istiqamətində qalır. Meylətmədən asılı olaraq, giroskop zolotnikə təsir edərək, silindr, porşen və istiqamət sükanı vasitəsilə torpedonun hərəkət istiqamətini hədəf istiqaməti üzrə yönəltməyə başlayır və bu, torpedonun istiqaməti giroskopun tuşlanması istiqaməti ilə üst-üstə düşənə qədər davam edir. Torpedo hədəf istiqaməti üzrə hərəkət etdikdə zolotnik və istiqamət sükanı neytral vəziyyətdə qalır. Torpedo hədəfdən yayındıqda daxildə quraşdırılmış üç sərbəstlik dərəcəli giroskop zolotnikni sola və ya sağa hərəkət etdirməklə, sıxlımlı havanın enerjisindən istifadə edərək porşeni müvafiq olaraq sağ və ya sola yerdəyişməyə məruz qoyaraq, istiqamət sükanını sola və ya sağa hərəkət etdirib torpedonu tapşırılmış yön üzrə istiqamətləndirmişdir [3].

1886-ci ildə fransız admirali Fleriz tərəfindən gəminin yırğalanması zamanı göy cisimlərinə nəzərən gəminin yerləşməsinin coğrafi en dairəsini sekstanla müəyyən etmək məqsədilə pnevmatik intiqallı giroskopla səni yaradılmış üfüqi meydançalı optik təklif edilmişdir [3].

Yırğalanma zamanı üfüqi meydançalı optik cihazla göy cisimlərinə nəzərən gəminin yerləşməsinin coğrafi en dairəsini müəyyən etmək və gəmidə yerləşən toplardan atılmış atəşlərin dəqiqləşdirilməsi məqsədilə 1904-cü ildə alman mühəndisi Otto Şlik gəmini bütövlükdə böyük giroskopla stabillaşdırmaq qərarına gəlmişdir. Onun təklif etdiyi giroskopik yırğalanma sakitləşdiricisinin sadələşdirilmiş sxemi şəkil 3-də verilmişdir. 56000 kq. kütləyə malik gəminin daxilində 502 kq. kütləli giroskop və onun rotoru olan nazimçarx şaquli firlanma oxu istiqamətində quraşdırılmışdır. Tufanlı dənizdə qurğunun sınağı zamanı kinetik momentin $-H$ çox olmasından və dalğa ilə gəminin yana əyilmə sürətindən asılı olan

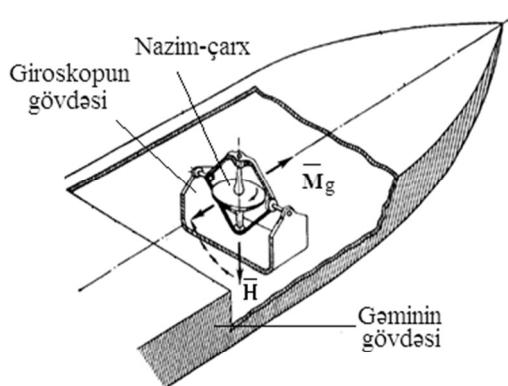


Şəkil 2. Torpedonun (saltı mərminin) istiqamətlənməsini təmin edən giroskopik stabilizasiya sistemi

giroskopik momentin $-\bar{M}_g$ gəminin uzununa oxu boyunca böyük qiymətə çatması hesabına gəminin yırgalanmasını $1\div2^0$ qiymətə qədər azaltmaq mümkün olmuşdur.

Təyyarə pilotu Lourens Sperry təyyarənin idarə edilməsi zamanı yaranmış çətinliyin təyyarənin kifayət qədər dayanıqlı olmaması ilə əlaqədar bildirdiyi narazılılığı onun atası Elmer Sperrini kren və tanqaj üzrə avtomatik stabilizasiya sisteminin-avtopilotun prototipinin yaratmağa sövq etmişdir.

1914-cü ildə Parisdə dünya sərgisi zamanı pilot L. Sperrinin idarə etdiyi giroskopik stabilizatorun quraşdırıldığı hidrotəyyarədə 100 m. hündürlükdə hakimlərin iştirakı ilə uçuşun yerinə yetirilməsi zamanı təyyarə mexaniki qanadın üstünə çıxmaqla əyici kren momenti yaratmasına və bu zaman pilotun qalxaraq əllərini yuxarı qaldırmamasına baxmayaraq, təyyarə üfüqi vəziyyətdən kənara çıxmamışdır.



Şəkil 3. Otto Slikin giroskopik yırgalanma sakitləşdiricisi

cihazların və sistemlərin müasir səviyyəsinin müqayisəli təhlili təqdim edilir.

Əsas hissə. Fəzada baza istiqamətlərinin modelləşdirilməsi metodundan asılı olaraq giroskopik sistemlər platformalı (fiziki modelləşdirilmə) və platformasız (analitik modelləşdirilmə) növlərə bölünür. Platformalı giroskopik sistemlər isə öz növbəsində stabillaşdırılmış oxların sayına görə biroxlu, ikioxlu və üçoxlu ola bilər.

Qurulma prinsiplərinə və giroskopların roluna görə platformalı giroskopik stabilizasiya sistemləri aşağıdakı tiplərə bölünür [4,5]:

- Bilavasiteli giroskopik stabilizatorlar (BQS);
- İnduktorlu giroskopik stabilizatorlar (İQS);
- Qüvvəli giroskopik stabilizatorlar (QQS);
- İndikatorlu-qüvvəli giroskopik stabilizatorlar (İQQS)

BQS xarici stabillaşdırıcı eks əlaqəyə malik deyil. Belə QS hədəf koordinatorlarında kosmik aparatların bilavasitə stabilizasiyaları üçün istifadə edilir. BQS bir qayda olaraq, stabillaşdırılən elementi və ya platformanı bir ox üzrə idarə edərək (biroxlu), əslində mahiyyətinə görə böyük kinetik momentə malik iki və ya üç sərbəstlik dərəcəli giroskopu özündə eks etdirir. BQS-stabilizasiya obyekti bilavasitə təsir edərək, həyəcanlandırıcı momenti tam, yaxud qismən kompensasiya etmək məqsədi ilə, yalnız giroskopik momentdən

istifadə edib, birbaşa stabilizasiya məsələsini yerinə yetirmək üçündür. Bu tip girostabilizatorların konstruksiyalarında, adətən, stabilizasiya oxları istiqamətində moment yaranan giroskopdan başqa, digər bir təsiredici konstruksiya olmur.

İQS daxili əks əlaqəyə malik deyil. Burada həyəcanlandırıcı momentin kompensasiyası yalnız və yalnız, yüksüzləşdirici mühərrikin yaratdığı moment vasitəsi ilə mümkündür, belə ki, həyəcanlandırıcı moment stabilizasiya oxunun presessiyasını yaratır. İQS-in həssas elementini platformanın tələb olunan vəziyyətdən meyl etməsini ölçən üç sərbəstlik dərəcəli giroskop və ya dinamik sazlanan giroskop təşkil edir. Belə İQS İmersial naviqasiya sistemlərində (INS) geniş tətbiq edilir.

QQS daxili və xarici stabilidəşdirici əlaqələrə malikdir. Əlaqələrin effektivliyini artırmaq məqsədilə giroskopların kinetik momentlərinin mümkün qədər böyük qiymətə malik olmasına çalışır. Bu məqsədlə giroskopların rotorları sıxlığı çox olan materiallardan xüsusi formada hazırlanır. Kinetik momentə nəzərən giromühərrikin gücü, kütləsi və həcmi xarakterizə edilir [6]. QQS-nin həssas elementi, adətən, iki və ya üç sərbəstlik dərəcəli giroblok üzərində yaradılır. Belə QS böyük kütləyə malik cihaz və qurğuların (tuşlama qurğuları, teleskoplar, qravimetrlər, özüistiqamətlənən başlıqlar və s.) fəzada stabilizasiyası üçün və ya kobud sistemlərdə ilkin istiqamətlənmə vericiləri kimi tətbiq edilir.

İQQS daxili və xarici stabilizasiya əlaqələrinə malikdir. Belə QS stabilizasiya oxuna təsir edən xarici həyəcanlandırıcı momentin xarakterindən asılı olaraq özünü ya indikatorlu QS ya da qüvvəli QS kimi aparır. İQQS-nin həssas elementini bucaq sürəti vericisi və ya integrallayıcı-diferensiallayıcı giroskop təşkil edir. İQQS-nin kinematik sxeminə görə həyəcanlandırıcı momentin kompensasiyası əsasən yüksüzləşdirici mühərrikin yaratdığı moment vasitəsi ilə mümkündür. İQS, QQS, İQQS-də istifadə edilən və yüksüzləşdirici mühərrikin bazasında qurulan intiqalların növləri isə elektrohidravlik, elektropnevmatik və elektromexaniki ola bilər. Əlbəttə, ən yüksək xüsusi güc göstəricisinə görə elektrohidravlik intiqallar olsa da, cəldliyinə və tərkib elementlərinin və konstruksiyanın minimallaşdırılması baxımından elektrik intiqalları daha müasirdir [7].

Girostabilizatorlar INS-də geniş tətbiq edilir. INS fəzada yerləşmə vəziyyətinin təyin edilməsinin elə üsuluna aid edilir ki, bu zaman heç bir kənar cisimlərdən və əlamətlərdən istifadə edilmir. Yəni, bütün həssas elementlər bilavasitə uçan aparatın (UA) bortunda yerləşdirilir. Xətti təcili inersial ölçmə cihazları olan akselerometrlər girostabilizatorlu platformalarda quraşdırılır. Girostabilizatorlu platforma giroskopun əsas xassəsi əsasında, yəni, fəzada öz oxunun mövqeyini dəyişməz saxlamaq xassəsi əsasında akselerometrlərin həssas oxlarının dəyişməz üfüqi vəziyyətlərini təmin edir. Bu şərtlər daxilində ölçülən təcil iki dəfə ardıcıl olaraq integrallanır və UA-nın vəziyyətinin koordinatlarının dəyişməsi müəyyən edilir. Beləliklə, koordinatların təyin edilməsi tapşırığı ilə bir qovşaqda yığılmış girostabilizatorlu platforma və akselerometrlər INS-i yaratmış olur. Bu əsas tapşırığa, həmçinin kren, tanqaj və vurnuxma (yon) bucaqlarının təyin edilməsi məsələsi də daxildir. Amma giroskopik stabilizatorlu platformaya (QSP) malik müasir INS-lərin müasir konstruksiyaları dəqiq mexanika, avtomatik idarəetmə nəzəriyyəsinin, elektronika, mikroelektronika və hesablama texnikasının son nailiyyətləri əsasında demək olar ki, bir intellektual mexatronik sistem

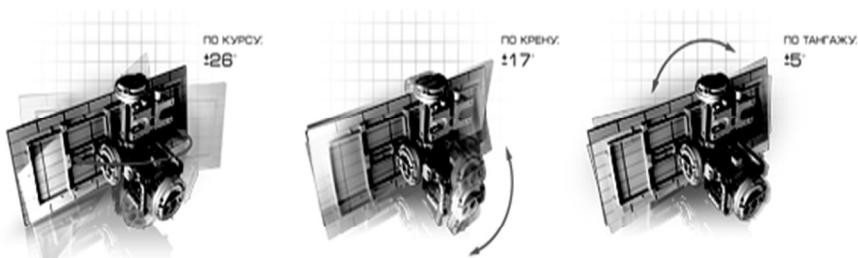
səviyyəsində yaradılır. Lakin istənilən halda, İNS-in konstruksiyasını müəyyən edən təsnifat yenə də QSP-in reallaşması növündən asılıdır. Əgər QSP fiziki olaraq, ənənəvi, firlanan rotorlu giroskop əsasında, üç sərbəstlik dərəcəli kardanlı asqının çərçivəsi formasında yaradılıbsa, onda bu, platformalı İNS-dir, əgər QSP, daha doğrusu, İNS-in üfüqi müstəvisi giroskop və akcelerometrlərin verilənləri əsasında riyazi model formasında yaradılıbsa, platformasız, yaxud kardansız İNS-dir. Belə İNS-də lazerli və lifli-optik giroskoplar tətbiq edilir [8,9,10].

Girostabilizatorlar tapşırılmış koordinat sistemində faydalı yükün stabilizasiyası və vəziyyətini idarə etmək üçün tətbiq edilir. Stabilizasiya obyekti olaraq, radiotexniki antenalar, optik cihazlar və onların tərkib hissələri (teleskoplar, periskoplар, güzgülər, prizmalar), raket və mərmilərin özüyönəltmə başlıqları, platformalı İNS-in akcelerometrləri, maqnitometrlər, təyyarələrin cütləşdirilmiş top lülələri, uçan, o cümlədən kosmik aparatlar (necə ki, özlərinin hərəkətinin, eləcə də tərkib avadanlıqlarının vəziyyətlərinin stabilizasiyası üçün), və istənilən təyinatlı müxtəlif ölçü cihazları ola bilər.

Yeni layihələrdən biri pilotsuz uçuş aparatında (PUA), yan görünüşün radiolokasiya stansiya antenasının stabilizasiya sistemində tətbiq edilən üçoxlu girostabilizator olub, antennin vəziyyətini stabilizasiya edir (Şəkil 4), onu kənar təsirlərdən, zərbələrdən və vibrasiyalardan mühafizə edir [11].

Olduqca kompaktlığı ilə seçilən A-VIEW videomüşahidə sistemi helikopterlərdə və kiçik təyyarələrdə uçuşların təhlükəsizliyini təmin etmək məqsədi ilə, pilotların uçuş tapşırığının yerinə yetirilməsini asanlaşdırmaq, sutkanın gecə saatlarında vizual görünüşü təmin etmək məqsədi ilə tətbiq edilir, həmcinin oturtma meydancalarında, axtarış və xilasetmə tədbirləri zamanı istifadə edilə bilər. Lakin iş prosesi zamanı videomüşahidə kameralarının vəziyyətlərinin yüksək səviyyədə stabilizasiyası tələb olunur ki, bu məqsədlə 3 ədəd kardanlı girostabilizator tətbiq edilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, faydalı yükün fəzada stabilizasiyası zamanı bir üçoxlu girostabilizator əvəzinə üç ədəd biroxlü stabilizatorun tətbiq edilməsi xarakterik haldır. Belə ki, bu zaman vəziyyətin stabilizasiyasını hər bir ox üzrə ayrıraqda yerinə yetirmək imkanı yaranır. Doğrudur, bu zaman konstruktiv mürəkkəbliyin və qabarit ölçülərin nisbətən artması məsələləri yaranır, lakin mümkün olan hallarda bu principdən istifadə etmək olduqca əlverişlidir. Haqqında danışılan A-VIEW videomüşahidə sisteminin videokameralarının vəziyyətlərinin fəzada stabilizasiyasını tətbiq etmək məqsədi ilə bu principdən istifadə edilmişdir [12].

Müasir PUA-da istifadə edilən digər bir optik-elektron sistem (Şəkil 5.) girostabilizatorlu optik-elektron sistem adlanır və PUA-da bütöv sutka ərzində yerli ərazidə



Şəkil 4. PUA-nın yan görünüşün radiolokasiya stansiyasının antenin stabilizasiya sistemində tətbiq edilən üçoxlu girostabilizator

müşahidə aparmaq, uçuşda olarkən obyektlərin axtarışı və aşkarlanması, məsafələrin ölçülməsi məqsədi ilə quraşdırılır.

Bu optik-elektron sistemin əsas texniki göstəriciləri çərçivəsində (obyektlərin və insanın məsafədən aşkar edilməsi üçün maksimal məsafə 3000 km; görmə sahəsi uyğun olaraq, $57.0^\circ \times 46.0^\circ - 1.7^\circ \times 1.3^\circ$ və $12.0^\circ \times 9.0^\circ$; lazerli məsafə ölçənlər üçün ölçmə məsafəsi 50-3000 m; ölçmə dəqiqliyi: ± 2 m və s.) tələb olunan istismar göstəricilərini təmin etmək məqsədi ilə optik sistemin vəziyyətinin stabilizasiyasını təmin edən girostabilizator tətbiq edilmişdir.

Onun texniki göstəriciləri isə aşağıdakı kimidir: yellənmə bucaqları: üfüqi ox üzrə qeyriməhdud; şaquli ox üzrə $-130^\circ \dots + 20^\circ$; vizirləmə xəttinin üfüqi və şaquli oxlar üzrə bucaq sürəti: 100 dər/san ; bucaq təcili 90 dər/san^2 [13].

PUA-nın telekameralarının müasir girostabilizatorlarının tipik nümunələrindən biri şəkil 6-da göstərilmişdir.

Bu girostabilizator telekameranın optik oxunun tapşırılmış vizirləmə istiqamətinə nəzərən stabilizasiyası üçün, həmçinin telekameranın PUA-nın gövdəsinə nəzərən mövqeləşmə bucaqlarını ölçmək üçün tətbiq edilir. Girostabilizatorun faydalı yükü, yəni stabilizasiya obyekti PUA-da quraşdırılan Samsung SCZ- 2370 modelli telekameradır. Onun texniki göstəriciləri isə aşağıdakı kimidir: yellənmə bucaqları: kurs üzrə $\pm 110^\circ$; tanqaj üzrə $80^\circ (+10 \dots -70^\circ)$; tanqaj üzrə qurulma bucağı 40° ; bucaq stabilizasiyasının dəqiqliyi $\pm 1 \text{ dər/dəq}$; maksimal idarəetmə sürəti 30 dər/san ; istifadəyə hazırlılma müddəti ən çoxu 10 san. , kütləsi 2 kg , qabarit ölçüsü 210 mm , elektrik qidalanma gərginliyi $12-24 \text{ V}$ təşkil edir.

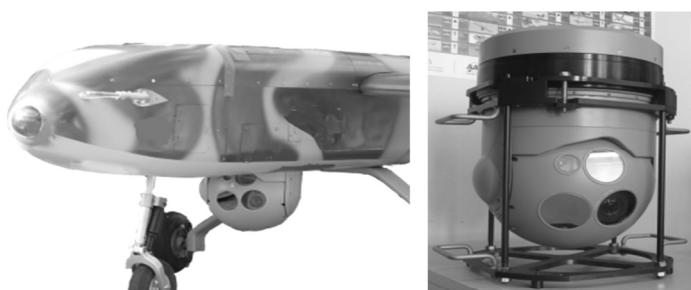
Girostabilizatorun idarə edilməsi ikikoordinatlı coystik tərəfindən, yaxud stabilizasiya oxlarında yerləşən vericilərdən daxil olan siqnallar əsasında yerinə yetirilir.

Girostabilizator aşağıdakı iş rejimlərinə malikdir:

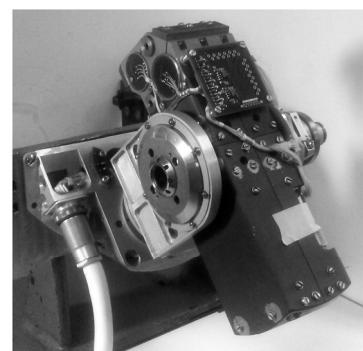
- start, enmə və çəkiliş yerinə yaxınlaşma zamanı telekameranın gövdəyə nəzərən iki ox üzrə stabilizasiyası;

- iki ox üzrə telekameranın mövqeləşməsinin giroskopik stabilizasiyası və idarə edilməsi;
- giroskopik stabilizasiya rejimində gövdənin izlənilməsi [14].

“Orlan-10” PUA kompleksi mürəkkəb coğrafi və iqlim şəraitində obyektlərin kəşfiyyatı məqsədi ilə təyin edilmişdir, həmçinin axtarış-xilasetmə əməliyyatlarında istifadə edilə bilər (şəkil 7.).



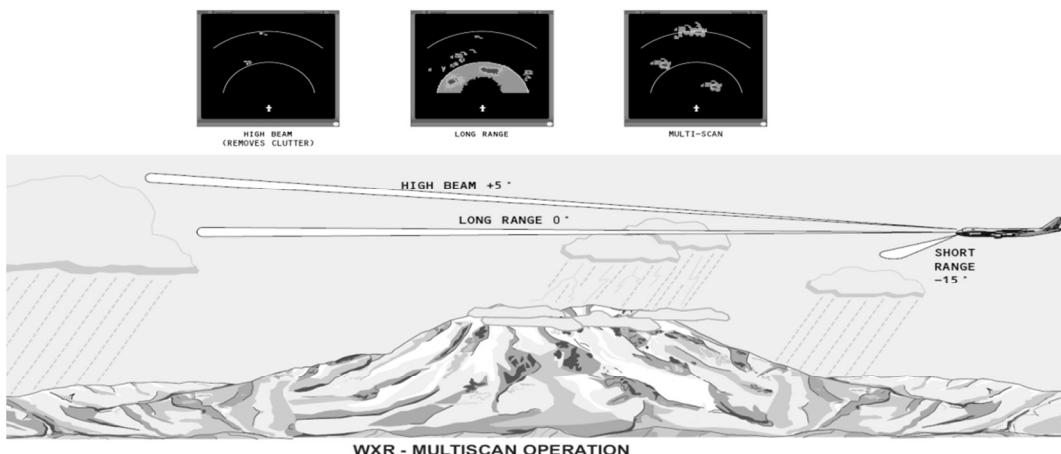
Şəkil 5. PUA-da istifadə edilən qirastabilizatorlu optik-elektron sistem



Şəkil 6. PUA-nın telekameralarının müasir girostabilizatorlarının tipik nümunəsi. Samsung SCZ- 2370

Mürəkkəb coğrafi iqlim şəraitində kifayət qədər etibarlı istismarın mümkünlüyünün əsas səbəblərindən biri də yüksək dayanıqlı səviyyəyə malik olmasıdır. Kompleks modul prinsipi ilə hazırlanmış olduğu üçün sistemin yüksək etibarlığının ən əsas təminatçısı ayrı-ayrı modullarının dayanıqlığıdır. Məhz, telekamera modulunun etibarlılığı və dayanıqlığı girostabilizatorlar vasitəsi ilə təmin edilmişdir [15]. Mürəkkəb meteoroloji şəraitdə (külekli havada və turbulentlikdə) yüksək sürətli kəşfiyyat işlərinin və çəkilişlərin aparılması üçün telekameraların idarə edilmə cəldliyini, stabilizasiyasını və dayanıqlı işini təmin etmək qarşıya qoyulan məqsədlərdən hesab olunur.

Müasir hava gəmilərinin uçuşunun avtomatik idarə edilməsi, həmçinin onların meteoroloji antenalar ilə skanerlənmə məsələlərinin həlli prosesində fəza vəziyyətlərinin kren və tanqaj üzrə idarəedilməsi və stabilizasiyası İNS-in siqnalları əsasında yerinə yetirilir [16,17,18,19,20,21].



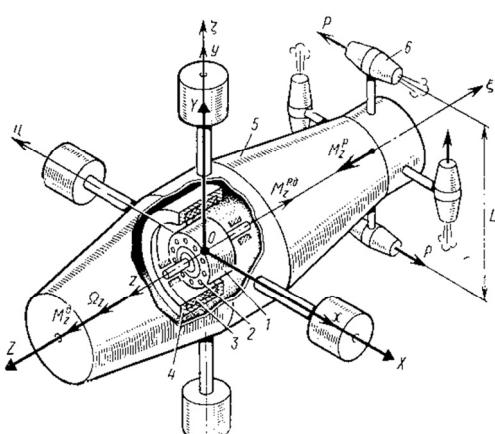
Şəkil 7. "Orlan-10" PUA kompleksi

Şəkil 8. Meteoroloji antenanın skanerlənmə rejimləri

Şəkil 8-də uçuş hündürlüğünün müxtəlif səviyyələri (yüksek şüa, uzaq məsafə, yaxın məsafə) üzrə meteoroloji antenanın skanerlənmə rejimləri təqdim edilmişdir.

Kosmik aparatların (KA) vəziyyətinin stabilizasiyası üçün müxtəlif metodlardan istifadə edilir [22,23]. Raket-daşıyıcıdan ayrılan peyk də müəyyən bucaq sürəti əldə edilir. Bu zaman radiosistemlərin antenalarını düzgün istiqamətləndirmək məqsədilə peykin firlanmasını dayandırmaq lazımdır [24]. Ağır və orta kosmik aparatların (KA), peyklərin stabilizasiyası və istiqamətlənməsinin etibarlığını artırmaq məqsədi ilə qüvvəli giroskopik komplekslər (QQK) tətbiq edilir [25,26]. QQK giroskopik momentlərlə KA-da stabillaşdırma və dayaq koordinat sistemində nəzərən programla dönmə rejimlərində idarəedici momentlər yaradır. Yüksək kinetik moment əldə etmək məqsədilə giroskopun rotorunun ətalət momenti böyük qiymətə malik olur.

Belə rotorun çatışmayan cəhəti kinetik momenti az olan adi rotorlu mühərriklə müqayisədə işədüşmə və tormozlanma müddətinin xeyli çox olmasıdır.



Şəkil 9. Giroskop vasitəsilə orbitdə stabilizasiya edilən peyk

Şəkil 9-da giroskop vasitəsilə stabilizasiya edilən peykin sxemi verilmişdir [26]. Giroskopun 1-rotoru peykin 5-gövdəsinə nəzərən bir sərbəstlik dərəcəsinə malikdir. Rotor OZ oxu ətrafında 2 və 3-elektrik mühərriklərinin köməyi ilə giroskopun 4-gövdəsində quraşdırılmışdır. Peyklə birgə giroskop üç sərbəstlik dərəcəsinə malikdir. Giroskopun rotoru sürəti yığan zamanı firlanmadan yaranan reaktiv moment peykin gövdəsinə rotorun firlanmasının əksi istiqamətində döndərməyə məruz qoyur. Peykin gövdəsinin dönməməsi üçün rotorun $M_Z^{R\theta}$ reaktiv momentini yaradan yüksəzləşdirmə qurğularından istifadə edilir. Bu qurğuların

yaratdığı momentləri o cümlədən, 6-mayeli-reakтив mühərriklərinin P cüt qüvvələrinin L qoluna təsir göstərdiyi M_Z^P momenti ilə kompensasiya edilir. Qərarlaşmış rejimdə giroskopun rotoru OZ oxu üzrə sabit $\Omega_Z^0 = \text{const}$ bucaq sürəti ilə firlandıqda rotorun $M_Z^{R\theta}$ reaksiya momenti giroskopun rotorunun və elektrik mühərrikinin firlanma dayaqlarında yaranan M_Z^θ müqavimət momenti ilə tarazlaşdırılır. Belə halda rotor sabit sürət ilə firlandıqda yüksəzləşdirici mühərrik və mayeli-reaktiv moment söndürüldükdə artıq peykin gövdəsi OZ oxu ətrafında firlanmir. Təklif edilir ki, giroskopun rotoru dəyişən ətalət momentə malik nazim-çarxla əvəzlənsin. Belə olan halda giroskopun rotoru sürət yığma anında adi rotorlu giroskopla müqayisədə daha kiçik ətalət momentinə malik olarsa, onda rotorun reaktiv momenti də kiçik qiymətə malik olar. Bununla da rotor nominal firlanma sürətinə daha tez çatmaqla yanaşı, peykin gövdəsinin dönməməsini təmin etmək məqsədilə rotorun reaktiv momentini azaltmaq üçün yüksəzləşdirmə mühərrikin və ya mayeli-reaktiv mühərriklərin tələb olunan kompensasiya momentləri də azalacaq. Nəticədə kompensasiya üçün sərf edilən əlavə enerji də azalacaq. Qərarlaşmış rejimdə rotor nominal stabil sürətlə firlandıqda ətalət momentinin mexaniki olaraq artırılması kinetik momentin, bununla da dayanıqlığın yüksək olmasını təmin edər. Rotorun dövrlər sayını azaltdıqda, ətalət momentinin mexaniki olaraq azalması tormozlanma müddətini kifayət qədər azaltmaqla yanaşı, yüksəzləşdirmə momentlərini yaradan qurğuların enerjilərinə qənaət etməsinə, peykin xidmət müddətinin artmasına və stabilizasiya cəldliyinin yüksəlməsinə səbəb olar.

Nəticə. Uçan aparatlarda, o cümlədən, pilotsuz uçuş aparatlarında, kosmik aparatlarda tətbiq edilmiş girostabilizatorların qısa xülasəsi əsasında, texnoloji, konstruktiv və digər müxtəlifliklərlə bağlı xüsusiyyətlərinin müqayisəli təhlili aparılarkən məlum olmuşdur ki, küləkli və turbulentli hava şəraitində yüksək sürətlə uçan PUA-nın və onun hissələrinin

istiqamətləndirilməsinin dəqiqliyini, cəldliyini və dayanıqlığını artırmaq məqsədilə özündə indikatorlu və qüvvəli stabilizasiya sxemlərinin müsbət xüsusiyyətlərini əks etdirən stabilizatorların kombinasiya olunmuş sxemindən istifadə daha məqsədə uyğundur. Belə ki, qüvvəli stabilizatorun cəldliyi, indikatorlu stabilizatorun isə dəqiqliyi daha yüksək qiymətə malikdir. Bununla yanaşı, giroskopun rotorunun kinetik momentini artırmaq məqsədilə rotorun ətalət momentini çoxaltmaq cəhdləri nəticə etibarilə giroskopların işədüşmə və tormozlanma müddətlərinin nisbətən artmasına və bununla da müxtəlif təyinatlı stabilizasiya qurğularının və kosmik aparatlarının stabillaşdırılmasının cəldliyini aşağı salır. Bu məqsədlə giroskopların işədüşmə və tormozlanma rejimlərində rotorların ətalət momentini mexaniki olaraq azaltmaq, rotor nominal sürətə çatdıqda isə kinetik momenti artırmaq məqsədilə ətalət momentini mexaniki artırmaq üçün yüksək dinamiki xarakteristikaya malik dəyişən ətalət momentli rotorların layihələndirilməsinə ehtiyac duyulur.

Qeyd etmək lazımdır ki, MAA-da son illər ərzində bu istiqamətdə aparılan tədqiqat işlərinindən biri də PUA-da tətbiq edilməsi nəzərdə tutulan, ətalət momenti dəyişən yeni növ girostabilazatorun yaradılmasına həsr edilmişdir.

REFERENCE

1. **K. Magnus.** Giroskop. Teoriya i primenenie. - M., Mir, 1974. 526 s.
К. Магнус. Гирокоп. Теория и применение. - М., Мир, 1974. 526 с.
2. **Matveev V.A.** Giroskop – eto prosto. – M., MGTU im. N.E.Baumana. 2012. 209 s.
Матвеев В.А. Гирокоп – это просто. – М., МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2012. 209 с.
3. **Shestov S.A.** Giroskop na zemle, v nebesah i na more. – M., Znanie, 1989. 192 s.
Шестов С.А. Гирокоп на земле, в небесах и на море. – М., Знание, 1989. 192 с.
4. **Seregin V.V.** Prikladnaya teoriya i principy postroeniya girokopicheskikh sistem. Uchebnoe posobie. – SPb., SPbGU ITMO, 2007. 78 s.
Серегин В.В. Прикладная теория и принципы построения гирокопических систем. Учебное пособие. – СПб., СПбГУ ИТМО, 2007. 78 с.
5. **Lysov A.N., Lysova A.A.** Teoriya girokopicheskikh stabilizatorov. Uchebnoe posobie. – Chelyabinsk. JuUrGU, 2009. 117 s.
Лысов А.Н., Лысова А.А. Теория гирокопических стабилизаторов. Учебное пособие. – Челябинск. ЮУрГУ, 2009. 117 с.
6. **Nikitin E.A., Shestov S.A., Matveev V.A.** Girokopicheskie sistemy. Elementy girokopicheskikh priborov. Uchebnoe posobie. – M., Vysshaya shkola, 1988. 432 s.
Никитин Е.А., Шестов С.А., Матвеев В.А. Гирокопические системы. Элементы гирокопических приборов. Учебное пособие. – М., Высшая школа, 1988. 432 с.
7. http://fullref.ru/job_d55d7672a1a482fdb145fc3a554da10.html.
8. **Lysenko L.N.** Navedenie i navigaciya ballisticheskikh raket. Uchebnoe posobie. – M., MGTU im. N.E. Baumana, 2007. 672 s.
Лысенко Л.Н. Наведение и навигация баллистических ракет. Учебное пособие. – М., МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 672 с.
9. Strapdown Inertial Navigation Technology. David H.Titterton and John L.Weston. The Institute of Electrical Engineers. 2004. 581p.
10. http://www.0zd.ru/fizika_i_energetika/primenenie_giroskopov.html.
11. <http://www.npo-karat.ru/catalog/8-36>.
12. <http://fl-systems.su/rubricator/12923>.

13. <http://lemt.by/girostabilizirovannaya-optiko-elektronnaya-sistema-dlya-bespilotnogo-letatelnogo-apparata>.
14. <http://iu2.bmstu.ru/razr/gsbpla.html>.
15. <http://www.zelezki.ru/bplacatalog/russia/3012-orlan-10.html#ixzz3xChka8mS>.
16. ATR42/72-500 Maintenance Training Notes. Navigation Systems. 2008.
17. Embraer E-Jets. Navigation Systems. 2011. <http://www.embraer.com.br>.
18. Airbus A340-500/600 Technical Training Manual. Navigation. 2003.
19. Boeing 767 Aircraft Maintenance Manual. Navigation. 2012.
20. Boeing 787 Maintenance Training Manual. Navigation Systems. 2010.
21. Boeing 747-8 Aircraft Maintenance Manual. Navigation Systems. 2015.
22. **Ishlinskiy A.J.** Orientaciya, giroskopy i inercialnaya navigaciya. – M.:Nauka, 1976. 670 s.
Ишлинский А.Ю. Ориентация, гироскопы и инерциальная навигация. – М.:Наука, 1976. 670 с.
23. **Popov V.I.** Sistemy orientacii i stabilizacii kosmicheskikh apparatov. – M.:Mashinostroenie, 1986. 184 s.
Попов В.И. Системы ориентации и стабилизации космических аппаратов. М.:Машиностроение, 1986. 184 с.
24. **Ishlinskiy A.J., Borzov V.I., Stepanenko N.P.** Lekcii po teorii girokopov. MGU, 1983. 248 s.
Ишлинский А.Ю., Борзов В.И., Степаненко Н.П. Лекции по теории гироскопов. МГУ, 1983. 248 с.
25. **Brovkin A.G., Burdygov B.G., Gordiyko S.V. i dr.** Bortovye sistemy upravleniya kosmicheskimi apparatami. Uchebnoe posobie. Pod redakciey A.S. Syrova M. MAI, 2010. s. 80-98.
Бровкин А.Г., Бурдыгов Б.Г., Гордийко С.В. и др. Бортовые системы управления космическими аппаратами. Учебное пособие. Под редакцией А.С. Сырова М. МАИ, 2010. с. 80-98.
26. **Pelpor D.S.** Giroskopicheskie sistemy orientacii i stabilizacii. – M.: Mashinostroenie, 1982. 165 s.
Пельпор Д.С. Гироскопические системы ориентации и стабилизации. М.: Машиностроение, 1982. 165 с.

СОВРЕМЕННЫЕ ГИРОСТАБИЛИЗАТОРЫ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Т.И. КАРИМЛИ

В статье проводится критический обзор гироскопических систем стабилизаций, представлены рекомендации для увеличения устойчивости и быстроты управляемости стабилизирующих устройств, применяемых на летательных аппаратах.

Ключевые слова: гироскоп, гиростабилизатор, ротор, степень свободы, кинетический момент, гироскопический момент, инерционный момент, инерциальная навигационная система, космический аппарат.

MODERN GYROSTABILIZERS AND THEIR APPLICATIONS

T.I. KARIMLI

The article gives a critical review of gyroscopic stabilization systems and provides recommendations to increase the stability and controllability of stabilizing devices used in air planes and space shuttles.

Key words: gyroscope, gyrostabilizer, rotor, degrees of freedom, angular momentum, gyroscopic moment, moment of inertia, inertial navigation system, space shuttle.

НАНОТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ РАЗРЯДЕ В ДИСКРЕТНЫХ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТАХ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ПАР ТРИБОСИСТЕМ

А.Х. ДЖАНАХМЕДОВ*, А.И. ВОЛЬЧЕНКО*, М.Я.ДЖАВАДОВ*,
А.В. ВОЗНЫЙ**, Я.В. КУРЫЛЯК**, О.Б. СТАДНЫК**

Рассмотрены нанотрибологические процессы при электрическом разряде в дискретных омических контактах металлополимерных пар трибосистемы. Раскрыта природа разрушения полимерных пленок накладок.

Ключевые слова: нанотрибологические процессы, электрический разряд, полимерная пленка, омический контакт, инжектирующие электроны, объемный заряд.

Введение. Противоречивые гипотезы о зарождении, развитии и реализации взрыва и искрового разряда [1] применительно к металлическим теплопроводным частицам полимерного слоя накладки в трибосистеме и полимерной пленки в трибосопряжении при электротермомеханическом трении заставили нас обратиться к нанотрибологическим процессам. Последние имеют место в дискретных омических контактах металлополимерных пар трибосистемы.

Состояние проблемы. Под электрической долговечностью полимерной пленки, образовавшейся на рабочей поверхности накладки при фрикционном взаимодействии двухслойных структур или оказавшейся на рабочей поверхности металлического элемента за счет массопереноса, подразумевается время их существования в электрическом поле, т.е. время от момента приложения по величине постоянного или переменного напряжения до пробоя пленок.

Величина, обратная долговечности, характеризует темп процесса подготовки пробоя пленки. Последняя стадия электрического разрушения пленки полимера – собственно пробой – развивается за время 10^{-8} - 10^{-7} с [2, 3].

В результате исследований установлено, что величина пробивной напряженности зависит от материала микровыступов металлического фрикционного элемента. Величина U_e (температура увеличения напряжения) ($U_e = U/d$, где U - напряжение приложенное к плен-

* Азербайджанская Национальная академия авиации

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

ке; d – толщина пленки)) растет с увеличением работы выхода электронов с поверхности пятен контактов микровыступов металлического трикционного элемента. Этот факт свидетельствует о том, что инжекционные процессы на омических контактах в металлополимерных трибосистемах играют важную роль в разрушении полимеров в электрическом поле.

Что касается газовых разрядов, имеющих место между микровыступами металло-полимерных пар трения, то они подавляются зарядными свойствами микроконденсаторов, которые образуются между боковыми поверхностями их микровыступов. Кроме того, газовые промежутки 1,0 мкм в полях с напряженностью $\sim 10^6$ В/см не пробиваются [4]. Поэтому при анализе данных, полученных при изучении электропрочностных свойств тонких ($d < 1,0$ мкм) пленок полимеров, воздействие газовых разрядов на пленки можно не учитывать даже тогда, когда в экспериментах не предусматривались специальные меры по подавлению частичных разрядов между боковыми поверхностями микровыступов.

По мнению авторов [5, 6], в работах с пониженной плотностью, вызванной деструкцией макромолекул в поверхностных слоях пары «металл-полимер», увеличивается длина свободного пробега электронов. Это обстоятельство создает условия для ударной ионизации молекул, усиленной сродством к электрону иона, что в свою очередь, вызывает возрастание электрического тока (омического) (см. рис. 1). Выделяющаяся при этом теплота инициирует разрушение полимерного слоя и образования в нем каналов пробоя. Заметное снижение плотности полимерного слоя происходит только в результате его массопереноса на рабочую поверхность металлического трикционного элемента (перемещение макромолекул).

Необходимо обратить внимание еще на ряд обстоятельств. Во-первых, образование разрыхленной области (области с пониженной плотностью, в пределе – полости между боковыми поверхностями микровыступов) около омического контакта микровыступов приведет к повышения потенциального барьера на величину, определяемую положением уровня проводимости материала, прилегающего к металлическому микровыступу и, следовательно, снижению интенсивности инжеции.

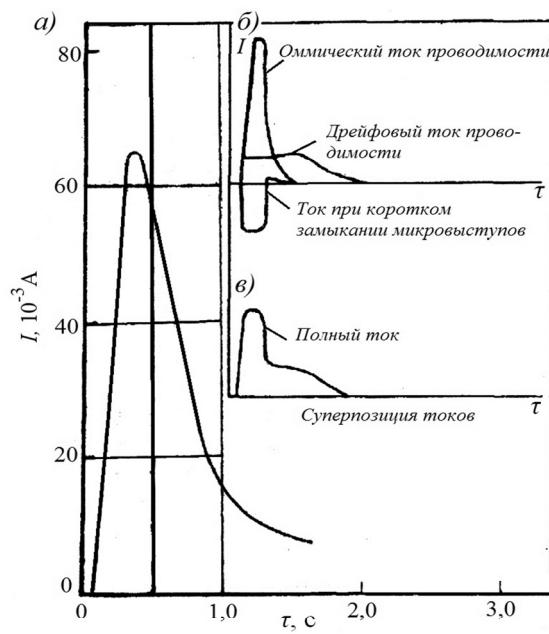


Рис. 1 а, б, в. Графические зависимости термостимулированных разрядных токов, генерируемых на поверхностях двухслойных структур, от времени:

а – импульсного тока; б – токов: омической и дрейфовой проводимости, и короткого замыкания микровыступов; в – полного тока; при удельных нагрузках 0,4 МПа и поверхностной температуре 180°C пар трения модельного ленточно-колодочного тормоза

Во-вторых, в тонких пленках нельзя ожидать большого (лавинного) усиления тока только за счет ударной ионизации макромолекул по той же причине, по которой затруднен пробой коротких газовых промежутков. При толщине пленки $d = 100$ нм для создания электрического поля с напряженностью $\sim 10^6$ В/см достаточно напряжения ~ 10 В. Очевидно, что в этих условиях многоступенчатый процесс умножения числа электронов (усиления тока) не реализуется, поскольку энергия ионизации молекул сравнима с величиной 10эВ. Наконец, необходимо учитывать, что образование области с пониженней плотностью может произойти лишь за вполне определенное время. Следовательно, в течение некоторого времени должно наблюдаться и усилие тока. Экспериментально такого постепенного усиления тока не наблюдается. Известно, что катастрофическое нарастание тока (пробой) происходит за время $\sim 10^{-8}$ – 10^{-7} с [2, 3].

Приведенные выше данные необходимо учитывать при разработке механизма пробоя тонких пленок полимеров накладок в трибосистемах. Механизм обсуждался в работах [5, 7, 8] применительно к «чистым» полимерным пленкам. Авторы указанных работ опираются на гипотезу Кao о разрушении пленки полимеров в электрическом поле, изложенную в работе [6]. В последней предложен механизм разрыва, в основе которого лежит предположение об образовании горячих электронов, способных инициировать разрыв химических связей. При этом рассматривался многостадийный процесс, включающий инжекцию электронов из поверхностей пятен контактов микровыступов металлического фрикционного элемента в поверхностный слой полимерной накладки путем захвата инжектированных электронов на ловушки, вызывающим освобождением в каждом акте энергии на глубине расположения ловушки, передачу этой энергии другому электрону, т.е. возникновение горячих электронов, взаимодействие последних с макромолекулами, разрыв макромолекул на свободные радикалы, захват потерявших энергию электронов ловушками и т.д.

В своих рассуждениях Кao не учитывает следующие вопросы:

- количественные данные о темпах протекания отдельных стадий энергетической цепной реакции;
- вероятность передачи всей освобождаемой при захвате электрона ловушкой энергии другому электрону;
- вероятность рассеивания указанной выше энергии по колебательным степеням свободы макромолекул без передачи ее электрону;
- механизм передачи энергии электрону и вероятность передачи энергии в зависимости от расстояния между ловушкой и электроном;
- вероятность разрыва связей между ловушкой и электроном при воздействии на них сравнительно низкоэнергетических электронов;
- возможность протекания энергетических цепных реакций в полимерах по свободнорадикальному пути.

Задачи исследований:

- электрические токи в поверхностных и подповерхностных слоях полимерной накладки;

- электропробой в дискретных омических контактах металлополимерных пар трибосистемы;
- локальное разрушение полимерных пленок в омических контактах трибосопряжения.

Цель работы – обоснование механизма пробоя тонких полимерных пленок в металлополимерных пар трения трибосистемы.

Электрические токи в поверхностных и подповерхностных слоях полимерной накладки. Физическая картина процесса электризации поверхности полимерной накладки при электротермомеханическом трении сводится к следующему. Ударяясь о поверхность полимерной накладки, электроны металлического фрикционного элемента при дискретном омическом контакте выбивают несколько вторичных электронов, приводя к образованию вблизи поверхности положительно заряженного слоя. Выход эмиссии вторичных электронов, определяемый отношением числа эмитированных электронов к числу первичных, зависит от энергии электронов и свойств поверхности. Для большинства полимеров его максимальные значения достигают 2 - 5 при энергиях первичных электронов 150 - 300 эВ, а при больших энергиях выход спадает по закону V^1 [9]. Можно ожидать, что при энергиях $V \geq 10$ кэВ выход эмиссии не превысит 0,2. Проникая в глубь поверхностного слоя накладки электроны генерируют пары вторичных носителей с относительно небольшой энергией, так что последние довольно быстро захватываются. Присутствие вторичных электронов обуславливает проводимость, которая оказывается, таким образом, индуцированной облучением (радиационная проводимость). Она на несколько порядков величины превышает собственную проводимость материала. Например, для тефлона значения этих проводимостей составляют соответственно 10^{-13} и 10^{-22} Ом $^{-1} \cdot$ см $^{-1}$. Вследствие столкновений первичные электроны замедляются и в конце концов захватываются, что и приводит к образованию начального распределения отрицательного заряда, простирающегося на глубину поверхностного слоя накладки.

Электрические токи в полимерных накладках, которые являются электретами, могут быть вызваны целым рядом причин, в первую очередь, процессами трения за счет изменения электрического поля или заряда электрета со временем или просто его присутствием в поверхностном и подповерхностном слоях накладки. В общем случае ток складывается из двух компонент: одна из них – ток проводимости – обусловлена физическим движением зарядов через поперечное сечение подповерхностного слоя накладки, а вторая – ток смещения – появляется вследствие реактивных эффектов. Для расчета этих токов необходимо обратиться к временной зависимости некоторых из величин.

Плотность тока проводимости $i_c(x, t)$ связана с плотностью реальных зарядов $\rho_r(x, t)$ уравнением непрерывности

$$d\rho_r(x, t)/dt = -di_c(x, t)/dx, \quad (1)$$

где x – координата; t – время.

Уравнение Пуассона вида $\varepsilon_0 \varepsilon dE / dx = \rho(x)$ вместе с объемной плотностью заряда $\rho = \rho_r + \rho_p$ позволяет исключить из уравнения (1) плотность ρ_r . Интегрируем затем по x с учетом $\rho_p = -dP_p/dx$, получим уравнение для не зависящей от координат величины – полной плотности тока $i(t)$:

$$i(t) = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{dE(x,t)}{dt} + \frac{dP_p(x,t)}{dt} + i_c(x,t), \quad (2)$$

где ε_0 , ε – диэлектрическая проницаемость: вакуума; полимерных материалов; $E(x)$ – напряженность приложенного внешнего электрического поля, действующая на поверхностный слой накладки; $P_p(x)$ – квазипостоянная микроскопически смещенных зарядов.

Стоящие в правой части члены представляют, соответственно, плотности тока смещения, тока деполяризации и тока проводимости. Последнее слагаемое также разбиваются на компоненты, соответствующие движению носителей разного знака

$$i_c(x,t) = [g + \mu_+ \rho_{r+}(x,t) + \mu_- \rho_{r-}(x,t)] E(x,t), \quad (3)$$

где $g = e(n_+ \mu_+ + n_- \mu_-)$ – проводимость поверхностного слоя полимера; μ_+ , μ_- – подвижность положительных и отрицательных зарядов с учетом их возможного захвата.

Плотность этих носителей $en_+ + \rho_{r+}$ и $en_- + \rho_{r-}$ складываются из однородных по пространству собственных компонент en_+ и en_- и, вообще говоря, зависящих от координат избыточных компонент ρ_{r+} и ρ_{r-} . В (3) члены в квадратных скобках определяют омический ток и токи избыточного заряда положительных и отрицательных носителей.

Помимо независимости от x внутри поверхностных и подповерхностных слоев накладок полный ток $i(t)$ принимает то же значение и в воздушных зазорах между металлокомпозитными парами трения, и во внешней цепи. Ток в воздушном зазоре между металлокомпозитными парами трения, и во внешней цепи. Ток в воздушном зазоре между боковыми поверхностями – это чистый ток смещения, поэтому

$$i(t) = \varepsilon_0 \varepsilon_1 dE_1(t) / dt. \quad (4)$$

Необходимо рассмотреть (2) на самой границе «рабочая поверхность накладки – воздушный зазор». Запишем условие непрерывности электрического смещения на границе $x=0$

$$\varepsilon_0 \varepsilon E(0,t) - \varepsilon_0 \varepsilon_1 E_1(t) = \sigma_r(0,t) - P_p(0,t), \quad (5)$$

предполагая при этом наличие на этой поверхности реальных зарядов с плотностью σ_r и поляризационного заряда P_p . Подставим теперь найденное из (5) поле E в (2), тогда при $x=0$ будем иметь

$$i(t) = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{dE_1(t)}{dt} + \frac{d\sigma_r(0,t)}{dt} + i_c(0,t). \quad (6)$$

С учетом (4) это равенство приобретает вид

$$i_c(0,t) = -d\sigma_r(0,t) / dt. \quad (7)$$

Отсюда видно, что ток из поверхностного слоя определяется скоростью убывания поверхностного заряда со временем.

В отсутствие зазоров между металлополимерными парами трения при электро-термомеханическом, фрикционном взаимодействии с учетом связи при $x=0+\Delta x$ получаем

$$\int_0^{\Delta x} \rho(x, t) dx = -P_p(0, t)$$

(принимаем, что в начальный момент контакта рабочей поверхности полимерной накладки с металлическим фрикционным элементом реальные заряды на ней отсутствуют) поле E описывается выражением

$$\varepsilon_0 \varepsilon E(0, t) = -\hat{\sigma}_1(t) - P_p(0, t)$$

Подстановка этого результата в (2) дает при $x=0$ (на основании второго правила Кирхгофа) следующее выражение

$$i(t) = d\sigma_{il}(t)/dt + i_c(0, t). \quad (8)$$

В выражении (8) произведена замена $\hat{\sigma}_1(t)$ индуцированным зарядом $\sigma_{il}(t)$ с учетом того что $\sigma_{il} = -\hat{\sigma}_1$ при взаимодействии пар трения.

На основании знания токов, являющихся характерными, перейдем к явлению электропробоя.

Электропробой в дискретных омических контактов металлополимерных пар трибосистем. В работах [5, 7, 8] показано, что в полимерном слое накладки имеет место шнурование тока, который является инжекционным и протекает нитевидными каналами малого сечения. Диаметр каналов пробоя равнялся ~ 10 мкм [7]. Благодаря выделению теплоты при пробое происходит карбонизация стенок канала пробоя. При этом величина 10^{-6} см² рассматривается как верхний предел площади сечения тонких нитевидных каналов полимерных пленок, по которым протекает ток.

Одной из причин возникновения таких каналов является неоднородность поверхности пятен контактов микровыступов металлического фрикционного элемента, а именно наличие на них выступов, вызывающих усиление электрического поля. В табл. 1 приведены формулы (9)-(12) для определения коэффициентов усиления электрического поля в зависимости от формы электродов на микровыступах и при их расположении относительно друг друга.

Анализ приведенных зависимостей (9)-(12) показывает, что наибольшее влияние на величину коэффициента усиления поля оказывает уменьшение расстояния между микровыступами, ведущее к его увеличению. Однако, выполненные расчеты показали, что при $d_1/h=2,0$ (d_1 – расстояние между плоскими электродами) увеличение коэффициента усиления поля по сравнению со случаем когда $d_1/h \gg 1,0$, не превышает 10,0%.

Таблица 1

Выражения для определения коэффициентов усиления электрического поля в зависимости от формы электродов на микровыступах и их расположении

Форма электродов на микровыступах и их расположение	Коэффициент усиления поля, q	Условные обозначения
Плоские [10]	$q = U_{loc} / U,$ (9)	где: U_{loc} , U - напряженности локальных полей на вершине выступа
С вершиной в виде полусферы [10]	$q = 1,2 \left(\frac{h}{r} + 2,15 \right)^{0,9},$ (10)	где: h, r – высота и радиус выступа;
Наличие полуэллипсоидального выступа на одном из плоских электродов [11]	$q(\Delta x) = \frac{\beta}{1 + 2\Delta x / r} \cdot \frac{h}{r} + 1,0,$ (11)	где: Δx – расстояние от вершины выступа;
Близко расположенные шероховатости микровыступов [10]	$q_1 = q \left[1 - \exp(-2,32 \frac{S}{h}) \right],$ (12) при $\Delta x=0; q=1+\beta h/r;$ $\beta = [\text{arth}(c/h) - c/h]^{-1}$	где: S – расстояние между выступами; c – половина расстояния между фокусами эллипса $r=(h^2-c^2)/(h)$ при небольших значениях отношения h/r значение $\beta \approx 1$ и $q \approx 1+h/r$

Расчеты, выполнены по зависимостям (9)-(12) представленных в табл.1, позволили получить графические закономерности проиллюстрированные на рис. 2 а, б. Из анализа последних выходит следующее:

– во всех случаях фрикционного взаимодействия с увеличением геометрического соотношения микровыступа h/r имело место увеличение коэффициента усиления электрического поля q ; на прямых 1, 4 и 5 заметного увеличения коэффициентов q не наблюдалось (см. рис. 2 а);

– наибольшее увеличение коэффициента q имело место при соотношении $h/r=2,0$ при наличии полуэллипсоидального выступа на одном из плоских электродов и составило 4,3;

– минимальное увеличение коэффициента q наблюдалось в интервале изменения $h/r=0,77-2,0$ при наличии полуэллипсоидального выступа на одном из плоских электродов и изменялся от 1,0 до 2,0.

Таким образом, локальная напряженность поля может в несколько раз превышать среднюю напряженность. Для реализации средней пробивной напряженности поля ($2,0-6,0 \cdot 10^6$ В/см необходимо, чтобы в начальный момент времени приложенное напряжение составило примерно 10^7 В/см. В столь сильных полях возникает интенсивная инжекция носителей заряда из омических контактов микровыступов металлического фрикционного элемента в полимерный слой накладки. При этом происходит захват носителей заряда

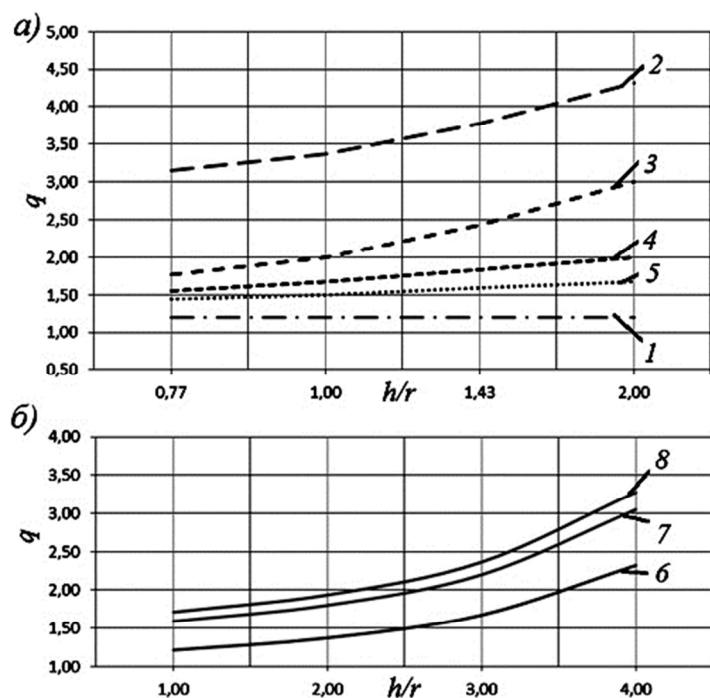


Рис. 2 а, б. Закономерности изменения коэффициентов усиления (q) электрического поля от формы электродов на микровыступах и при их расположении относительно друг друга, а также соотношения геометрических параметров: а – прямая 1 – плоских; кривая 2 – с вершинами в виде полусфер; кривые 3, 4 и 5 – при наличии полуэллипсоидальных выступов на одном из плоских электродов; б – кривые 6, 7, 8 – близко расположенных шероховатостей микровыступов

него поля и поля объемного заряда;

- локальными процессами, развивающимися в месте усиления электрического тока, которое и способствует локальному разрушению полимера;
- эволюцией объемного заряда, который инициирует локальное усиление напряженности электрического поля;
- мощным всплеском электрического тока, приводящего к образованию в полимерной пленке канала пробоя (последняя стадия электрического разрушения пленки полимера);

Темп процесса накопления изменений в полимерном слое, заканчивающегося собственно пробоем, можно характеризовать величиной, обратной долговечности полимерного слоя [12].

Как уже отмечалось, время формирования канала пробоя в поверхностном слое полимерной накладки составляет 10^{-8} - 10^{-7} с. Считается, что разрушение полимера (образование полого канала с проводящими стенками в результате испарения компонентов полимера и образования сажи) происходит вследствие выделения джоулевой теплоты и разогрева материалов при высоких температурах вспышки при резком возрастании элек-

глубокими ловушками полимера, способствуя тем самым накапливаемую объемного заряда. Образование последнего снижает напряженность электрического поля у микровыступов, что в свою очередь, ведет к резкому снижению инжекционных токов.

Низкий уровень токов утечки в сильных полях из-за ограничения инжекции носителей объемного заряда является тем свойством, которое отличает полимерные накладки от полимерных материалов с хорошими транспортными свойствами.

Исходя из вышеизложенного можно констатировать, что пробой тонких полимерных пленок вызван:

- действием в полимере поля, которое является результатом сложения внеш-

трического тока. Карбонизация полимера (сажеобразование) происходит при температуре 1800К [13]. При этой температуре за время $5 \cdot 10^{-8}$ с (будем считать, что таково время развития пробоя) в выделенном объеме разрывается 2/3 химических связей с энергией $\sim 2,0$ эВ. Для разогрева полимера до этой температуры в адиабатическом процессе, т.е. без учета теплообмена с окружающей средой, необходимо затратить примерно $3,0$ кДж/см³ (удельная теплоемкость полимера принята равной $2,0$ Дж/(г·К)), что соответствует удельной мощности тепловыделения во время пробоя $6 \cdot 10^4$ МВт/см³. Эта величина в поле напряженности 10^7 В/см соответствует плотности тока $6 \cdot 10^3$ А/см². Однако величин тока, по-видимому, недостаточно для быстрого разрушения полимера, поскольку в реальных условиях необходимо учитывать мгновенный отток теплоты от разогреваемого током канала даже при времени $\sim 10^{-8}$ с.

Локальное разрушение полимерных пленок в омических контактах трибосопряжения. Проведение оценки показывают, что разрушение полимерной пленки (образование канала пробоя) обусловлено не только импульсным действием нормально-го усилия при электротермомеханическом трении в сопряжении, но и протеканием в течении короткого времени токов очень большой плотности ($\sim 10^7$ А/см²). Очевидно, что высокая плотность инжекционных токов в омических контактах в двухслойстых структурах «полимер-металл» может наблюдаться только тогда, когда напряженность полей (создаваемых микроконденсаторами) около боковых сторон микровыступов близка к указанной величине. Естественно полагать, что возникновение сильных локальных полей в предпробивном состоянии обусловлено достаточно длительной перестройкой в полимерном слое накладки, формированием и возникновением в нем нитевидных каналов с высокой плотностью объемных зарядов, усиленных поверхностными зарядами. Тогда механизм электрического разрушения полимерных пленок (зарождение и развитие процессов, подготавливающих образование проводящих каналов, и собственно пробой полимера, имеющего впадины от действия импульсных нормальных усилий и пробой полимера из-за протекания тока высокой плотности) на качественном уровне представить следующим образом.

Примем для определенности, что условия для инжекции электронов из омического пятна контакта металлического выступа трибосопряжения в полимер более благоприятна, чем для инжекции дырок из пятна контакта полимерного микровыступа, из-за того, что барьер, сквозь который электроны туннелируют в металл (проще, работа выхода электронов из металла больше за работу выхода ионов из полимера, т.е. $W_M > W_P$). Тогда при действующей разности потенциалов в трибосопряжении начинается инжекция электронов в полимер. Туннелирование происходит не со всей поверхности пятна контакта микровыступа, а лишь с отдельных расположенных на нем микроострий, на которых величина напряженности электрического поля превосходит среднее значение. Электроны захватываются ловушками в полимерном слое. Образующийся отрицательный объемный заряд понижает напряженность поля у вершины микроострий на пятне контакта микровыступа, в результате чего достаточно быстро, за время 10^{-6} - 10^{-5} с, происходит уменьшение инжекционного тока. При плотности отрицательного остаточного заряда

~ 10^{13} см⁻² его поле будет сравнимо с полем пятна контакта металлического микровыступа, и инжекционный ток станет очень малым. В то же время при увеличении напряженности поля у пятен контактов металлических микровыступов на 10,0% ток инжекции, как показывают оценки по зависимости Фаулера-Нордгейма для реальных барьеров, возрастает в ~ 10 раз при высоте барьера 2,0-2,5эВ.

Вследствие выгорания связующих компонентов из полимерного слоя накладки при достижении им температуры выше допустимой для материалов возникают на рабочей поверхности накладки островки жидкости. Последние обладают большой электропроводностью, способствуя тем самым инжекции дырок в полимер. В результате этого формируется облако положительного объемного заряда, которое начнет двигаться в сторону пятен контактов металлических микровыступов, усиливая у них поверхностей поле, что в свою очередь, приведет к увеличению интенсивности инжекции электронов и т.д. Таким образом, можно констатировать о наличии положительной обратной связи, которая является необходимым условием резкого усиления тока, приводящего к разрушению твердого полимера, находящегося между островками жидкости. Поскольку инжекционные токи экспоненциально зависят от напряженности поля на границе омического контакта «металл-полимер», даже небольшое увеличение напряженности поля у микровыступов приводит к существенному возрастанию плотности инжекционного тока. Это обстоятельство и обуславливает при наличии указанной выше положительной обратной связи, наблюдающееся на опыте, резкое возрастание тока, приводящееся к пробою полимера. Электронно-дырочная рекомбинация способствует ускорению пробоя вследствие компенсации объемного заряда за счет впадин в полимерных пленках под действием импульсных нормальных усилий, возникновением микроконденсаторов между боковыми поверхностями микровыступов и т.д., так и за счет выделения энергии.

Вывод. Таким образом, проиллюстрированы нанотрибологические процессы (инжектирование зарядов, возникновение микроконденсаторов, возникновение поверхностных и объемных зарядов различных знаков и т.д.) при электрических разрядах, возникающих в полимерных пленках дискретных омических контактах металлополимерных пар трибосистем.

REFERENCE

1. Frikcionnoe vzaimodeystvie v elektricheskikh i teplovyyh polyah metallopolimernyh par treniya [A.Kh. Janahmadov, A.I. Volchenko, E.S. Pirverdiev i dr.]. // Vestnik Azerbaydzhanskoy inzheinernoy akademii. – Baku, 2014. Vyp.2 (6). – с. 30-53.
Фрикционное взаимодействие в электрических и тепловых полях металлокомпозитных пар трения [А.Х. Джанахмедов, А.И. Вольченко, Э.С. Пирвердиев и др.]. // Вестник Азербайджанской инженерной академии. – Баку, 2014. Вып.2 (6). – с. 30-53.
2. P.P. Budenstein, P.J. Hayes, J.L. Smith, W.B. Smith. J. Vac. Sci. Technol. 6, 2, 289 (1969).
3. Ajvazov V.Ja. Elektronnaya tehnika / V.Ja. Ayvazov, B.O. Bertush, V.G. Kobka. - Ser. VI. Mikroelektronika 1, 94. - 1971.
Айвазов В.Я. Электронная техника / В.Я. Айвазов, Б.О. Бертуш, В.Г. Кобка. - Сер. VI. Микроэлектроника 1, 94. - 1971.

4. **Skanavi G.I.** Fizika dielektrikov (oblast silnyh poley) / G.I. Skanavi. - M.: GIFML, 1958. - 908 s.
Сканави Г.И. Физика диэлектриков (область сильных полей) / Г.И. Сканави. - М.: ГИФМЛ, 1958. - 908 с.
5. **N.R. Tu, K.C. Kao.** J. Appl. Phys. 85, 10, 7267 (1999).
6. **K.C. Kao.** J. Appl. Phys. 55, 3, 752 (1984).
7. **D. Lin, K.C. Kao.** J. Appl. Phys. 69, 4, 2489 (1991).
8. **D. Linfu, Kao.** J. Appl. Phys. 85, 2, 1089 (1999).
9. Gradientnye polimernye materialy / [A.A. Askadskiy, L.M. Goleneva, K.A. Bychko i dr.] Ros. him. zh. (Zhurnal. Ros. him. ob-va im. D.I. Mendeleeva), 2001, t. XLV, №3. – s. 123–129.
Градиентные полимерные материалы / [А.А. Аскадский, Л.М. Голенева, К.А. Бычко и др.] Рос. хим. ж. (Журнал. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 2001, т. XLV, №3. – с. 123–129.
10. **S.H. Jo, Y. Tu, Z.P. Huang, D.L. Carnahan, D.Z. Wang, Z.F. Ren.** Appl. Phys. Lett. 82, 20, 352 (2003).
11. **Slivkov I.N.** Processy pri vysokom napryazhenii v vakuumme / I.N. Slivkov. - M.: Energoatomizdat, 1986. - 256 s.
Сливков И.Н. Процессы при высоком напряжении в вакууме / И.Н. Сливков. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 256 с.
12. **Janahmadov A.Kh.** Tempy nagrevaniya metallopolimernyh par treniya pri impulsnom i dlitelnom podvode teploty treniya v lentochno-kolodochnom tormoze [A.Kh. Janahmadov, A.I. Volchenko, D.A. Volchenko i dr.] // Problemy treniya i iznosa: nauchn.–tehn. sb. – K.: NAU, 2013. Vyp. 2(61). s. 20–28.
Джанахмедов А.Х. Темпы нагревания металлополимерных пар трения при импульсном и длительном подводе температуры трения в ленточно-колодочном тормозе [А.Х. Джанахмедов, А.И. Вольченко, Д.А. Вольченко и др.] // Проблемы трения и износа: научн.–техн. сб. – К.: НАУ, 2013. Вып. 2(61). С. 20–28.
13. Novye materialy. Pod red. Ju.S. Karabaeva. - M.: MISIS, 2002. - 381 s.
Новые материалы. Под ред. Ю.С. Карабаева. - М.: МИСИС, 2002. - 381 с.

TRİBOSİSTEMLƏRİN METAL-POLİMER CÜTLƏRİNİN DİSKRET OMİK KONTAKTLARINDA ELEKTRİK BOŞALMA ZAMANI NANOTRİBOLOJİ PROSESLƏR

Ə.X. CANƏHMƏDOV, A.İ. VOLÇENKO, M.Y. CAVADOV,
A.V. VOZNIY, Ya.V. KURILYAK, O.B. STADNIK

Tribosistemlərin metal polimer cütlərinin diskret omik kontaktlarında elektrik boşalma zamanı nanotriboloji proseslər tədqiq olunub. Kündələrin polimer pərdələrinin dağılımasının təbəti aşkarlanmışdır.

Açar sözlər: nanotriboloji proseslər, elektrik boşalma, polimer pərdə, omik kontakt, injektləşdirilən elektronlar, həcmi yük.

NANOTRIBOLOGICAL PROCESSES AT ELECTRIC DISCHARGE IN DISCRETE OHMIC CONTACTS OF METAL-POLYMER PAIRS OF TRIBOSYSTEMS

A.Kh. JANAHMADOV, A.I. VOLCHENKO, M.Y. JAVADOV,
A.V. VOZNYI, Y.V. KURYLYAK, O.B. STADNYK

The nanotribological processes are examined during the electric discharge in the ohmic contacts of the metal-polymer pairs of tribosystems. The nature of destruction in the polymer film coating is discovered.

Key words: nanotribological processes, electrical discharge, polymer film, ohmic contact, injected electrons, volumetric charge.

ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РЕДУКТОРА

З.Ю. АСЛАНОВ*

В статье определяется корреляционная зависимость напряжений в редукторах от величины окружного мертвого хода. Представлены характерные тензограммы напряжений в деталях редуктора при различных величинах окружного мертвого хода, зависимость между окружным мертвым ходом редуктора и напряжением в зубьях зубчатых колес.

Ключевые слова: тензограмма, тензометр, тензодатчики, редуктор, мертвый ход, поле коррекции, регрессия.

Установлено, что увеличение окружного мертвого хода при эксплуатации ухудшает работоспособность редуктора и отрицательно влияет на работу всего изделия (1-3). Поэтому при анализе эксплуатационных факторов были определены следующие задачи:

- оценить влияние величины окружного мертвого хода (OMX) на динамику напряжений в деталях редуктора;
- оценить влияние величины OMX редуктора на надежность работы изделия;
- определить предельную величину окружного хода редуктора.

Оценка влияния величины окружного мертвого хода (OMX) редуктора на неравномерность передачи крутящего момента кривошипом, величину и характер напряжений в зубчатых колесах и коническом роликоподшипнике осуществлялась тензометром.

Передаваемая нагрузка на стенде, имитирующем работу редуктора в условиях эксплуатации на кривошип, контролировалась с помощью проволочных датчиков. Главными напряжениями на поверхности кривошипа, подвергаемого скручиванию в зависимости от направления отчета угла, могут быть напряжения, вызванные деформацией сжатия или деформацией растяжения. Поэтому на кривошип наклеивались четыре датчика под углом 45⁰ к его оси и расположенные попарно на диаметрально противоположных образующих вала.

При исследовании суммарных напряжений проволочные датчики наклеивались на элементы, испытывающие наибольшие деформации. Для зубчатых колес такими элементами являются зубья, на торцы которых и наклеивались датчики. Причем датчики

* Азербайджанский государственный экономический университет

наклеивались на зубья колеса, посаженного на кривошип ($Z=65$) и сопрягаемого с ним ($Z=23$). Тензометрирование зубьев проводилось по мостовой схеме.

Измерение осевых нагрузок, действующих на конический роликоподшипник 7207, расположенный на шейке кривошипа, осуществлялось с помощью специально изготовленных динамометрических колец.

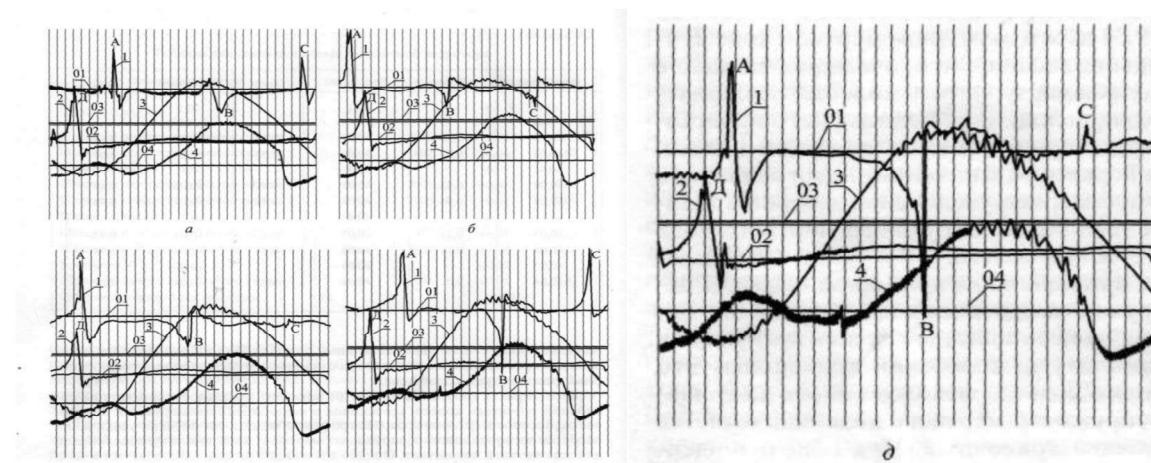
Изменение величины окружного мертвого хода имитировалось износом шлицевых валов. Отсутствие износов у всех других деталей редуктора позволяло исключить влияние посторонних факторов. Размеры в шлицевых соединениях редуктора изменились в соответствии с табл.1.

Таблица 1.**Таблица размеров шлицевых соединений редуктора**

Наименование детали	Отклонения	Зазор	Отклонения	Зазор
Шлицевой вал П	-0,03		-0,1	
Шлицевое отверстие зубчатого колеса 2	+0,03	0,06	+0,03	0,13
Шлицевое отверстие зубчатого колеса 3	+0,04	0,07	+0,04	0,07
Шлицевой вал Ш	-0,02		-0,05	
Шлицевое отверстие зубчатого колеса 4	+0,03	0,05	+0,03	0,08
Шлицевое отверстие зубчатого колеса 5	+0,04	0,06	+0,04	0,09
Шлицевой вал IV	+0,03		-0,1	
Шлицевое отверстие зубчатого колеса 6	+0,03	0	+0,03	0,13
Шлицевое отверстие зубчатого колеса 7	+0,04	0,01	+0,04	0,14
Кривошип V	+0,03		+0,03	
Шлицевое отверстие зубчатого колеса 8	+0,04	0,01	+0,04	0,01
Окружной мертвый ход редуктора		115^0		210^0

Измерение окружного мертвого хода проводились при постоянном статическом моменте трения редуктора, равном 0,3 Нм. Каждая замена шлицевых валов, обеспечивающих очередную величину окружного мертвого хода, сопровождалась осмотром редуктора с целью выявления и устранения возможных дефектов и его приработкой [4,5].

Характерные тензограммы, полученные за один оборот кривошипа при различных величинах окружного мертвого хода и постоянной нагрузке 350 Нм, показаны на рис.1. На тензограммах нанесены обозначения нулевых линий осциллографа, записанных относительно них. Поперечными линиями показана запись отметчика времени. Расстояние между двумя соседними отметками времени соответствует пути перемещения ленты за 0,1 сек. Тензограммы наглядно отразили влияние кривошипа и окружного мертвого хода на напряжения в деталях редуктора. Изображенные на тензограммах графики 1 и 2 отражают напряжение в зube зубчатых колес. Графики имеют характерный для эвольвентного зацепления вид. Датчики были наклеены только на один зуб каждого колеса. Зуб малого зубчатого колеса 7 за один оборот кривошипа вступает в зацепление три раза, что отражается точками А,Б,С графика 1. Зуб большого зубчатого колеса 8 за один оборот кривошипа совершает один оборот, что нашло отражение на графике 2 точкой D.



01 - нулевая линия зубчатого колеса; 02 - запись напряжений в зубе; 03 - нулевая линия кривошипа; 04 - запись напряжений в кривошипе; А, В, С, Д - характерные точки

Рис.1. Характерные тензограммы напряжений в деталях редуктора при окружном мертвом ходе: а - 115°; б - 210°; в - 305°; г - 430°; д - 570°

По мере увеличения окружного мертвого хода напряжения в зубьях сопрягаемых зубчатых колес увеличиваются, о чем свидетельствует характерный всплеск (точка В), переходящий от плавного до пилообразного. Пилообразный характер напряжения в зубе свидетельствует о появлении ударов при увеличении окружного мертвого хода, и особенно при его значении 430-570°.

Изучение тензограмм позволило выявить характер зависимости напряжений в зубе зубчатого колеса от величины окружного мертвого хода.

На основе тензограмм построен график, отражающий зависимость напряжений в зубе зубчатого колеса от окружного мертвого хода при максимальной нагрузке (рис 2). С увеличением окружного мертвого хода редуктора напряжение на зубе зубчатого колеса резко возрастает. Так, если при окружном мертвом ходе 115° принять напряжения за 100%, то при 570° они будут составлять 220%.

График напряжения в кри-

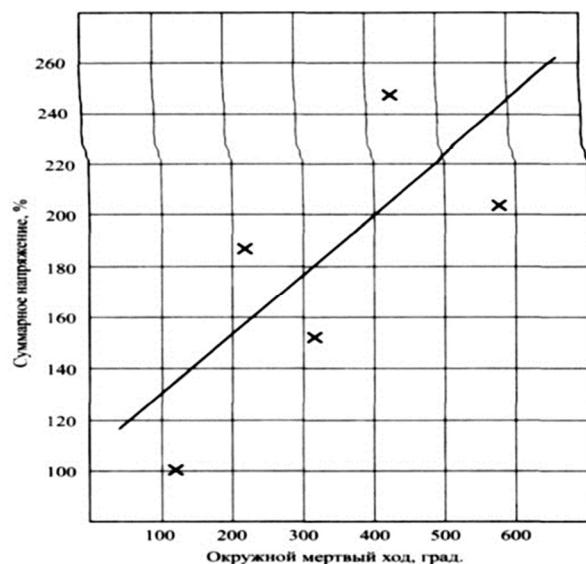


Рис.2. Зависимость изменения напряжений на зубе зубчатого колеса от величины окружного мертвого хода при нагрузке $M=350 \text{ Нм}$

вошипе (кривая 3, рис.1) имеет синусоидальный характер, что свидетельствует о знакопеременных нагрузках. Напряжение в кривошипе в приделах одного изменяется и зависит от положения шипа «К» (рис.3). В точках 1 и 3 напряжения в кривошипе соответствуют нулевым значениям. В точках 2 и 4 напряжения максимальные, но различные по направлению, причем в точке 2 ее величина больше, что объясняется влиянием сил инерции подвешиваемого груза и подвески. Изменение напряжений в подшипнике (кривая 4, рис. 2) носит также синусоидальный характер, но имеет в левой нижней части тензограммы искаженную форму. Синусоидальный характер напряжения в подшипнике находится в соответствии с направлением и величиной напряжений на кривошипе. [3, 4, 5]. Искажение нижней левой ветви связано с действием на подшипник осевых нагрузок от косозубого зубчатого колеса 8 (см. рис. 5). При наличии на кривошипе косозубого зубчатого колеса и знакопеременной нагрузки происходит изменение направления усилия, создаваемого колесом, и, соответственно, нагружение или разоружение подшипника, что и фиксировалось тензодатчиками.

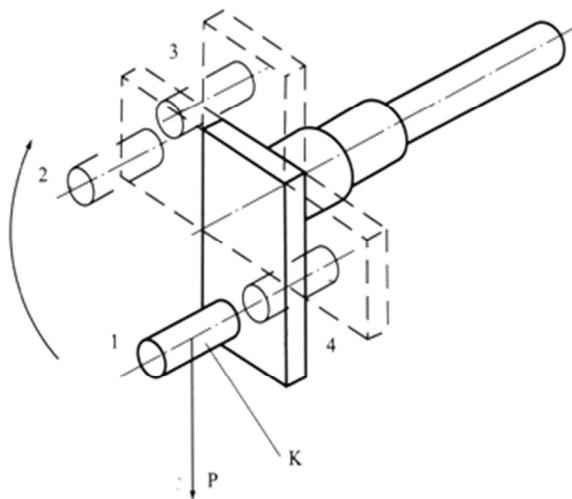


Рис.3. Основные положения кривошипа за один оборот

Исследование вибрации выполнялось также на основе анализа тензограмм, на которых зарегистрирован колебательный процесс деталей редуктора. На тензограммах (рис.1) различимы кривые, отражающие колебания деталей редуктора. Кривые 1, 2 характеризуют колебания зубчатых колес. На графиках, отражающих запись напряжения в кривошипе (кривая 3) и подшипнике (кривая 4), в местах наибольшего удаления от нулевой линии наблюдается колебание, записанное в виде зубцов. Обработка записи колебаний проводилась в соответствии с основными положениями теории виброметрии и теории колебаний (табл.2).

На графиках (рис. 4, 5) показана зависимость амплитуды колебаний зубчатого колеса, кривошипа и подшипника от нагрузки и величины окружного мертвого хода. Из графиков видно, что по мере увеличения нагрузки на кривошипе и окружного мертвого хода амплитуда колебаний для всех деталей возрастает.

Однако для каждой детали наблюдаются и свои особенности: так, амплитуда колебаний зубчатого колеса при увеличении окружного мертвого хода от 115^0 до 305^0 несколько снижается, а от 305^0 до 570^0 резко возрастает. При нагрузке 9,35 кГм и окружном мертвом ходе 210^0 зафиксировано возрастание амплитуды колебаний, что, очевидно, связано с явлением резонанса.

Таблица 2.

Результаты обработки записи колебаний

Отклонения	Зазор	Отклонения	Зазор	Отклонения	Зазор
-0,1		-0,1		-0,1	
(-0,03)		(-0,03)		(-0,03)	
+0,03	0,13	+0,03	0,13	+0,03	0,13
+0,04	0,07	+0,04	0,07	+0,04	0,07
-0,4		-0,4		-0,4	
+0,03	0,43	+0,03	0,43	+0,06	0,46
+0,04	0,44	+0,04	0,44	+0,04	0,44
-0,1		-0,4		-0,7	
+0,03	0,13	+0,03	0,43	+0,03	0,73
+0,04	0,14	+0,04	0,44	+0,04	0,74
+0,03		+0,03		+0,03	
+0,04	0,01	+0,04	0,1	+0,04	0,1
305 ⁰		430 ⁰		570 ⁰	

На амплитуде колебаний зубчатого колеса благоприятно сказываются зазоры в шлицевом соединении, в результате чего происходит компенсация погрешностей изготовления и монтажа зубчатого колеса. Получается своего рода «плавающая подвеска», способствующая снижению амплитуды колебания.

Вместе с тем чрезмерное увеличение зазоров в шлицевом соединении и связанное с ним увеличение окружного мертвого хода увеличивает амплитуду колебаний зубчатого колеса [4, 5, 8].

Амплитуда колебаний кривошипа и подшипника при малой нагрузке незначительно зависит от величины окружного мертвого хода. Увеличение окружного мертвого хода от 115⁰ до 305⁰ в большинстве случаев нагружения приводит к некоторому снижению амплитуды снижению амплитуды колебаний кривошипа.

Это явление связано с колебаниями зубчатого колеса, расположенного на кривошипе. При дальнейшем увеличении окружного мертвого хода наблюдается резкое возрастание амплитуды колебаний кривошипа. При общей тенденции плавного возрастания амплитуды колебаний кривошипа и подшипника по мере увеличения окружного мертвого хода в нескольких точках зафиксировано резкое возрастание амплитуды колебаний, вызванных явлениями резонанса.

Амплитуда колебаний деталей редуктора показана на рис.1. Характерные тензограммы напряжений в деталях редуктора при окружном мертвом ходе:

$$a - 115^0; b - 210^0; v - 305^0; g - 430^0; d - 570^0.$$

Увеличением величины окружного мертвого хода от 115⁰ до 570⁰ увеличивается в 3-3,5 раза. Частота колебаний основных деталей редуктора отражена на графиках (рис. 6, 7, 8, 9).

На рис. 6 видно, что частота колебаний зубчатого колеса снижается вдвое при увеличении окружного мертвого хода от 115⁰ до 210⁰. Однако при дальнейшем увеличении

нии как нагрузки, так и окружного мертвого хода, частота колебаний практически остается неизменной. Частота колебаний зубчатого колеса изменяется кратно числу зубьев и количеству оборотов. Двукратное снижение частоты колебаний зубчатого колеса объясняется благоприятным влиянием зазоров в шлицевом соединении.

Частота колебаний подшипника на основных режимах испытания мало изменялась с увеличением окружного мертвого хода. Лишь при нагрузке 350 Нм она снижалась по мере увеличения окружного мертвого хода, как это видно из графика на рис.7.

Снижение частоты колебаний совпадает с резким возрастанием амплитуды колебаний подшипника, показанного на рис.6. Частота колебаний кривошипа заметно снижается по мере увеличения окружного мертвого хода при значительных нагрузках. Явление резонанса отразилось на частоте колебаний кривошипа при малой нагрузке. Характер колебаний основных деталей редуктора, их амплитуда и частота зависят как от нагрузки, так и от окружного мертвого хода.

Наибольшему влиянию подвержена амплитуда колебаний, возрастающая по мере увеличения окружного мертвого хода. Наибольшему влиянию подвержена амплитуда колебаний, возрастающая по мере увеличения окружного мертвого хода [1, 2, 4, 8, 9].

На характере колебаний также сказываются резонансные явления, периодически вызывающие резкое увеличение амплитуды колебаний основных деталей редуктора. Увеличение вибрации основных деталей редуктора приводит к повышению неравномерности передачи крутящего момента кривошипом.

В течение оборота кривошипа происходит изменение знака нагружения в деталях редуктора, в связи с этим дважды выбирается окружной мертвый ход. В момент выборки зазоров в кинематической цепи редуктора скорость движения кривошипа увеличивается. Скорость этого движения определяется формулой:

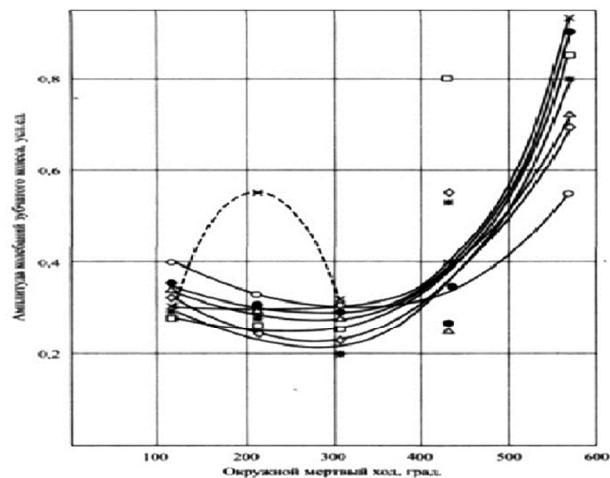
$$V = V_0 + \varpi_\tau t, \quad (1)$$

где: V_0 - рабочая скорость кривошипа; $\varpi_\tau = \text{const}$ - касательное ускорение; t - время выборки окружного мертвого хода.

С увеличением окружного мертвого хода редуктора время его выборки возрастает, а следовательно, увеличивается и скорость V . В конечный момент выборки кривошипом окружного мертвого хода происходит изменение скорости до V_0 за весьма малый промежуток времени, т.е. удар. При ударе изменение количества движения кривошипом примет вид:

$$m(V - V_0) = \sum S_k \quad (2)$$

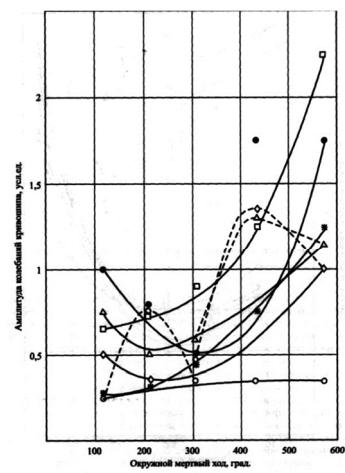
Изменение количества движения кривошипа ударных импульсов во много раз больше импульсов за то же время всех внешних сил, приложенных к кривошипу. С увеличением окружного мертвого хода сумма действующих на кривошип ударных импульсов увеличивается, а следовательно, увеличиваются деформация и амплитуда колебаний деталей редуктора, а также неравномерность передачи крутящего момента кривошипом. Это приводит к резкому увеличению износа деталей редуктора и потере его служебных свойств.



Испытания при нагрузке:

- - $M = 54 \text{ Нм}$
- - $M = 134,1 \text{ Нм}$
- Х - $M = 93,5 \text{ Нм}$
- Δ - $M = 175,4 \text{ Нм}$
- ◊ - $M = 227,7 \text{ Нм}$
- * - $M=281 \text{ Нм}$
- - $M=350 \text{ Нм}$
- - - резонанс

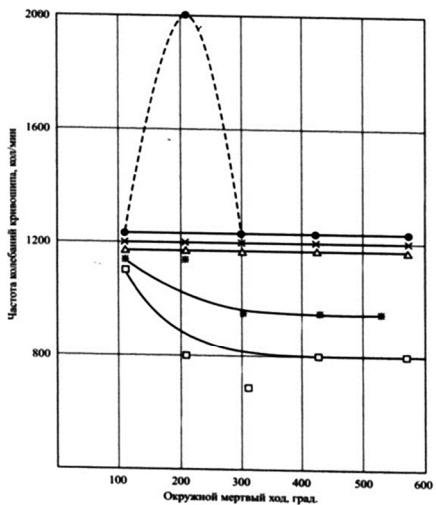
Рис.4. Изменение амплитуды колебания зубчатого колеса от нагрузки и окружного мертвого хода



Испытания при нагрузке:

- - $M = 54 \text{ Нм}$
- - $M = 134,1 \text{ Нм}$
- Х - $M = 93,5 \text{ Нм}$
- Δ - $M = 175,4 \text{ Нм}$
- ◊ - $M = 227,7 \text{ Нм}$
- * - $M=281 \text{ Нм}$
- - $M=350 \text{ Нм}$
- - - резонанс

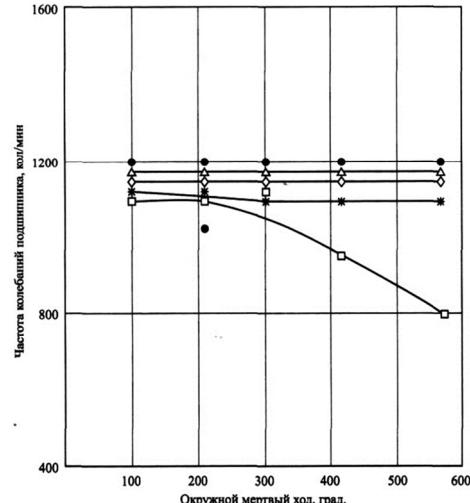
Рис.5. Изменение амплитуды колебания кривошипа и окружного мертвого хода



Испытания при нагрузке:

- - $M = 134,1 \text{ Нм}$
- Х - $M = 93,5 \text{ Нм}$
- Δ - $M = 175,4 \text{ Нм}$
- ◊ - $M = 227,7 \text{ Нм}$
- * - $M=281 \text{ Нм}$
- - $M=350 \text{ Нм}$
- - - резонанс

Рис.6. Изменение частоты колебания кривошипа и окружного мертвого хода



Испытания при нагрузке:

- ◊ - $M = 227,7 \text{ Нм}$
- - $M = 134,1 \text{ Нм}$
- - $M=350 \text{ Нм}$
- * - $M=281 \text{ Нм}$
- Δ - $M = 175,4 \text{ Нм}$

Рис.7. Изменение частоты колебания подшипника от нагрузки и окружного мертвого хода

Определение корреляционной зависимости напряжений в зубчатых колесах от величины окружного мертвого хода. Одним из основных показателей состояния редуктора является напряжение в зубьях зубчатых колес. Износ зубьев способствует возрастанию динамической составляющей суммарной нагрузки на зубья. Суммарный износ деталей редуктора, т.е. износ зубьев, шлицевых соединений, подшипников и т.д. приводит к увеличению окружного мертвого хода.

Установление зависимости между суммарным напряжением в зубьях зубчатых колес и окружным мертвым ходом редуктора представляет задачу, имеющую практическое значение. По полученным данным построено поле коррекции (рис.8).

Характер расположения точек на коррекционном поле подсказывает, что теоретическая линия регрессии является прямой, т.е. выражается уравнением

$$\bar{y}_x = a + b_x, \quad (3)$$

где a и b - неизвестные параметры [4, 5, 6, 7, 8, 9].

Параметры a определяются из уравнений

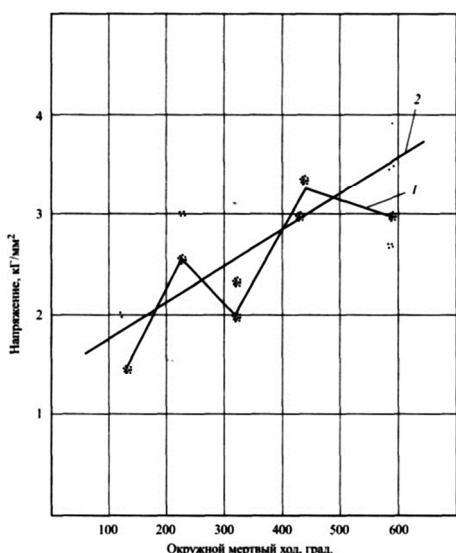


Рис.8. Зависимость между окружным мертвым ходом редуктора и напряжением в зубьях зубчатых колес. Поле коррекции, эмпирическая (1) и теоретическая (2) линия регрессии

Частоты этих значений обозначим соответственно через $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, \dots, h_s$.

$\sum x$ имеет, во-первых, смысл простой суммы $\sum x$, подводящей итог значений x

для всех элементов совокупности, т.е. состоит из n членов x . $\sum x$ имеет, во-вторых,

смысл взвешенной суммы $\sum h_i \cdot x_i$, подводящей итог по S различным значениям x_i ,

$$\sum y = n\alpha + b \sum x, \quad (4)$$

$$\sum yx = \alpha \sum x + b \sum x^2 \quad (5)$$

Однако в корреляционной таблице варианты x , y и их сочетания встречаются с определенными частотами. Поэтому все суммы в уравнениях: $\sum x; \sum x^2; \sum y; \sum xy$ удобнее вычислить во взвешенном виде. Чтобы указать на это, будем ставить точку над обозначением каждой суммы: $\dot{\sum} x; \dot{\sum} x^2; \dot{\sum} y; \dot{\sum} yx$. Каждое

из этих выражений имеет, таким образом, двоякий смысл: простой и взвешенной суммы.

В самом деле, пусть признак $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, \dots, x_s$ (S - число интервалов).

каждое из которых повторяется h_i раз. Эта сумма состоит, таким образом, из S членов вида $x_i h_i$. Аналогично для других сумм $\sum \dot{x}^2; \sum \dot{y}; \sum \dot{x}y$. Тогда система нормальных уравнений (5) запишется в виде

$$\sum \dot{y} = n\alpha + b \sum \dot{x}, \quad \sum \dot{x}y = a \sum \dot{x} + b \sum \dot{x}^2.$$

Система нормальных уравнений для корреляционной табл.3:
 $254=100a+30000b,$

$$83650=30000a+11000000b.$$

Решая эту систему, получим $a=1,43$, $b=0,0037$, откуда:

$$y_x = 0,43 + 0,0037x. \quad (8)$$

По этому уравнению строим прямую регрессии на поле корреляции [4, 5, 6, 7]. Из графиков видно, что увеличению окружного мертвого хода редуктора на 100^0 соответствует средний прирост напряжения на зубах зубчатых колес на 0,4 кГ/мм. Для определения тесноты связи между окружным мертвым ходом и напряжением в зубьях зубчатых колес вычисляем коэффициент корреляции по формуле:

$$r = \frac{n \sum \dot{x}y - \sum \dot{x} \sum \dot{y}}{\sqrt{n \sum \dot{x}^2 - (\sum \dot{x})^2} \sqrt{n \sum \dot{y}^2 - (\sum \dot{y})^2}} = 0,653 \quad (9)$$

Заключение. Таким образом, проведенными исследованиями получены характерные тензограммы напряжений в деталях редуктора при различных значениях окружного мертвого хода. Получены зависимости изменения напряжений на зубьях колеса от величины окружного мертвого хода при различной нагрузке.

Установлены изменения амплитуды колебаний зубчатого колеса от нагрузки и окружного мертвого хода. Определены изменения амплитуды колебания кривошипа и окружного мертвого хода. Установлены изменения частоты колебания кривошипа и окружного мертвого хода и частоты колебания подшипника от нагрузки и окружного мертвого хода.

Определена корреляционная зависимость напряжений в зубчатых колесах от величины окружного мертвого хода. Построена корреляционная таблица для расчета теоретической линии регрессии. Установлена зависимость между окружным мертвым ходом редуктора и напряжением в зубьях зубчатых колес. Определены поля корреляции, эмпирическая и теоретическая линии регрессии.

REFERENCE

1. **Aslanov Z.Ju.** Ob urovne kachestva i konkurentosposobnosti mashinostroitelnoy produkci / XI mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya «Aktualnye voprosy sovremennoy tekhniki i tehnologii». Rossiya, g. Lipeck, 26 aprela 2013.
Асланов З.Ю. Об уровне качества и конкурентоспособности машиностроительной продукции / XI-я международная научная конференция «Актуальные вопросы современной техники и технологии» Россия, г.Липецк, 26 апреля 2013.
2. **Aslanov Z.J.** Opredelenie optimalnogo urovna kachestva v konkurentosposobnosti mashinostroitelnoy produkci / Toshkent Dovlat Iktisodiet Universiteti. «Iktisodiet VA TALIM». 2013, №4.
Асланов З.Ю. Определение оптимального уровня качества в конкурентоспособности машиностроительной продукции / Тошкент Довлат Иктисадиет Университети. «Иктисадиет ВА ТАЛЬИМ». 2013, №4.
3. **Janahmadov A.Kh.** Tribotekhnicheskie problemy v neftegazovom oborudovanii. 1998.
Джанахмедов А.Х. Триботехнические проблемы в нефтегазовом оборудовании. 1998.
4. Development of processes of Quality management system in the Engineering enterprise. European journal of Economics, Finance and Administrative sciences France. Issue 71, January, 2015, 149-157
5. **Hitosi Kume.** Staticheskie metody povysheniya kachestva. / Per.s ang. M.: Finansy i statistika, 1990.
Хитоси Кумэ. Статические методы повышения качества. / Пер.с анг. М.: Финансы и статистика, 1990.
6. **Dmitriev V.A.** Detali mashiny, 1970.
Дмитриев В.А. Детали машины, 1970.
7. **Ershov A.A., Osipov Ju.N., Klochkov V.P.** Puti povysheniya rabotosposobnosti reduktora privoda kachaniya antennoy sistemy // Matematicheskoe modelirovanie i upravlenie v slozhnyh sistemah. M.: MGUPI, 2006.
Ершов А.А., Осипов Ю.Н., Клочков В.П. Пути повышения работоспособности редуктора привода качания антенной системы // Математическое моделирование и управление в сложных системах. М.: МГУПИ, 2006.
8. **Garkunov D.N.** Tribotekhnika. M.: Mashinostroenie, 1985.
Гаркунов Д.Н. Триботехника. М.: Машиностроение, 1985.
9. **Mittag H.I., Rinne H.** Staticheskie metody obespecheniya kachestva / per. s nem., pod. red. B.N. Markova. M.: Mashinostroenie, 1985.
Миттаг Х.И., Ринне Х. Статические методы обеспечения качества / пер. с нем., под. ред. Б.Н. Маркова. М.: Машиностроение, 1985.

REDUKTORUN İŞGÖRMƏ QABİLİYYƏTİNƏ İSTİSMAR AMİLLƏRİNİN TƏSİRİ

Z.Y. ASLANOV

Məqalə Reduktorun işgörmə qabiliyyətinə sınaq amillərinin təsiri və korelyasiya asılılığının təyininə həsr edilib. Dairəvi ölü gedisin müxtəlif qiymətlərində reduktorun detallarında gərginlikləri xarakterik tenzoqramları reduktorun dairəvi gedisi ilə dişli çaxların dişlərində gərginlik arasında asılılıq təqdim edilir.

Açar sözlər: tenzoqram, tenzometr, tenzoverici, reduktor, dairəvi ölü gediş korelyasiya sahəsi, regresiya.

INFLUENCE OF OPERATIONAL FACTORS ON GEARBOX PERFORMANCE

Z.Y. ASLANOV

The article defines the correlation between stresses and peripheral backlash. The properties of the tensor stresses, the relationship between the peripheral backlash of gearbox and stresses in the teeth of gears are presented for the different values of the peripheral backlash.

Key words: tensogram, tensometer, tensosensor, gearbox, backlash, correction field, regression.

ELEKTROQÖVS ÜSTƏRİTMƏ ÜSULU İLƏ SƏTHƏ YEYİLMƏYƏ DAVAMLI ÖRTÜKLƏRİN ÇƏKİLMƏSİ VƏ TİG ÜSTƏRİTMƏ ÜSULU İLƏ SƏTHİN MODİFİKASIYASI

F.M. ŞİRZADOV*, Ə.H. SADIXOV*

İşdə materialların səthlərinin yeyilməyə ve korroziyaya qarşı davamlılığını artırmaq və oların bərpası üçün elektroqövs üstəritmə (üstəritmə) üsulları tətbiq olunaraq, səthə əsasən xromla legirlənmiş örtüklər cəkilmiş və elektrod üsulu ilə cəkilən örtüklər əlavə olaraq TİG (Tungsten İnert Gas) qaynaq üsulu ilə üstəridilərək termik emal olunmuşdur. Alınmış səthlərin dəyərləndirilməsi üçün örtük çəkilmiş və emal olunmuş materialların mikrostruktur və bərkliyi müqayisə olunaraq, qiymətləndirilmişdir. Alınmış yeni təbəqələrin əvvəlki örtüklə müqayisədə mikrostrukturunun nərənşəməsi və bərkliyinin yüksəldilməsi onların tribotexniki xüsusiyyətlərinin yüksəldilməsinə və prosesin səmərəliliyinə əsas verir.

Açar sözlər: tribotexnika, üstəritmə, modifikasiya, TİG (Tungsten-inert-gas).

Giriş və məsələnin aktuallığı. Tribotexniki maşın hissələrində yeyilmənin intensivliyini azaltmaq üçün materialın seçilməsi, səthin emalı və kontakt səthləri arasında yağı təbəqəsinin təmin olunması əsas rol oynayır. Tribotexniki materialın seçilməsində və səthin emalında əsas kriteriya kimi sürtünmə əmsalı və yeyilmə intensivliyi nəzərdə tutulur ki, bu da materialın möhkəmliyindən, səthin tribotexniki xüsusiyyətlərindən, mexaniki, kimyəvi – termiki emalından asılı olub, iqtisadi baxımdan səmərəli olmalıdır.

Materialların yeyilməyə qarşı davamlılığını yüksəltmək üçün konstruktörler çalışırlar ki, sadə və səmərəli üsullar tətbiq etsinlər. İlk olaraq onlar tökmə zamanı və ya səthin emalı ilə problemi həll etməyə cəhd edirlər. Bu səmərəli olmadıqda, səthə yeyilməyə davamlı örtüklərin çəkilməsi təklif olunur. Örtükçəkmə üsulları əməliyyat xərcləri baxımından sonuncu, amma keyfiyyət baxımından çox əhəmiyyətlidir. Burada tələbata uyğun, ən ucuz əsas material seçilir və onun üzərinə yeyilməyə davamlı örtüklər cəkilir. Nəzəri və real tədqiqatlar göstərir ki, əsasən yüksək legirli materiallar adı poladlarla müqayisədə daha da yeyilməyə davamlı olurlar. Amma, belə materiallar yüksək material xərcləri baxımından böyük ölçülü bütöv maşın hissələrində hər zaman tətbiq oluna bilmir. Örtükçəkmə üsulları vasitəsi ilə yalnız hissələrin səthində bu cür örtüklərin alınması material xərclərini azaldır. Bu üsulların mənfi tərəfi, mexaniki emal xərclərinin həcmindən asılıdır. Digər tərəfdən, məsul hissələrə bu cür bərk

* Azərbaycan Texniki Universiteti

örtüklərin çəkilməsi və bahalı emal texnologiyasının tətbiqi onun istismarı zamanı əldə olunan səmərə ilə müqayisə olunmalıdır [1 - 7].

Məşin hissələrinin ömüruzunluluğunu artırmaq üçün, xrom legirli örtüklərin səthə çəkilməsi, əsasən o halda məqsədə uyğundur ki, kontakt səthlərini müntəzəm yaqlamaq mümkün deyildir (yüksək sürüşmə sürətlərində ve ağır yüklenmələrdə). Belə örtüklər yaqlarla yüksək kimyəvi aktivliyə və absorpsia xüsusiyyətlərinə malik olub (poladlarla müqayisədə 4 - 5 dəfə yüksəkdir), kasıb yaqlama şəraitində səthləri quru sürtünmədən qoruyur. Yüksək faizli xromla legirlənmiş materiallar, həmçinin örtükçəkmə əməliyyatları üçün də yararlıdır. Belə materiallar qaynaq vannasına daxil ola biləcək oksigen və azotla birləşdikdə, oyuqlara səbəb olmur və əmələ gələn zərərsiz xrom - oksid və -nitrid birləşmələri tribotexniki baxımdan səmərəlidir [2, 8, 9].

Məqalədə yeyilmiş səthlərin bərpa olunması və səthdə yeyilməyə davamlı təbəqə almaq üçün elektrod və TIG qaynaq üsulları ilə örtükçəkmə və bu üsulların kombinasiyasının mümkünlüyü tədqiq olunmuşdur.

Eksperimentlərin planlaşdırılması və reallaşdırılması. Burada iqtisadi baxımdan səmərəli olan, örtük çəkiləcək əsas materiallar kimi EN-GJV-400 markalı çuqun və 42Cr4 markalı az legirli polad seçilmişdir (cəd. 1).

Cədvəl 1.
Səthlərinə örtük çəkiləcək materialların markası və nəzəri kimyəvi tərkibi

Əsas material	Kimyəvi tərkibi, %						
	C	Si	Al	Mn	Cr	Cu	Ni
EN-GJV-400	2,7 – 3,8	0,5 – 2,9	< 0,1	0,2 – 0,6	< 0,1	0,6 – 1,0	0,2 – 0,6
42Cr4	0,4	0,3	-	0,6	1,0	-	< 0,3

Səthə çəkiləcək örtük materiallarının fiziki-mexaniki, texnoloji və istismar xüsusiyyətləri tərkibdə olan legirləyici elementlərin konsentrasiyasından və örtüyün mikrostrukturundan asılıdır. Yuxarıda qeyd olunan nəzəri məlumatlara əsaslanaraq, yüksək kontakt gərginliklərinə, əlverişsiz yaqlama şəraitinə, korroziyaya, ovulmaya, zərbələrə və abraziv mühitə qarşı davamlı olan örtükçəkmə elektrodları və məftili seçilir [10]. Bu materialların tərkibi və çəkiləcək örtüyün bərkliyinin nəzəri qiymətləri aşağıdakı cədvəllərdə verilmişdir.

Cədvəl 2.
TIG-lə üstəritmə materialının tərkibi və çəkiləcək örtüyün nəzəri bərkliyi

TIG – Məftil	Kimyəvi tərkibi, %					Nəzəri bərklik
	C	Si	Mn	Cr	Rest	
UTP A DUR 600 mislə örtülüb	0,5	3	0,5	9,5	Fe	HRC55

Elektrodlə örtük çəkmədə istifadə olunan materialların növü və tərkibi isə cəd. 3- də təqdim olunmuşdur.

Cədvəl 3.

Elektrodların tərkibi və çəkiləcək örtüyün nəzəri bərkliyi

Elektrodun növü	Kimyəvi tərkibi, %										Nəzəri bərklik
	C	Si	Mn	V	Mo	W	Nb	Cr	B	Qalanı	
Dəmir əsaslı elektrod- UTP 81	1,0	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-		350HB
Nikelsiz xüsusi elektrod- UTP 807	0,05	0,4	0,5	10	-	-	-	-	-		250HB
Rutillə örtülmüş elektrod- UTP 7100	5	-	-	-	-	-	-	35	-		HRC62
Rutillə örtülmüş elektrod- UTP Ledurit 65	4,5	-	-	1,5	6,5	2,2	5,5	23,5	-		HRC65
Qələvi əsaslı materialla örtülmüş elektrod- UTP DUR 600	0,5	2,3	0,4	-	-	-	-	9	-		HRC57
T590 markalı elektrod	3,2	2,2	1,2	-	-	-	-	25	1,0		HRC64

Seçilmiş örtükçəkmə materiallarından bəziləri yüksək miqdarda legirləyici elementlərə malikdirlər ki, (cəd. 3) bu da ilk baxımdan səmərəli deyildir. Qeyd etmək lazımdır ki, tətbiq olunan materialın və texnologiyanın iqtisadi baxımdan nə dərəcədə səmərəli olması, yalnız istehsal xərclərindən ibarət olmayıb, hemçinin ömüruzunluğunun, etibarlığının artmasından və təmir xərclərinin azalmasından irəli gələn səmərə də nəzərə alınaraq, dəyərləndirilməlidir [8].

Experimentlər aşağıdakı şərtlər daxilində aparılmışdır:

- Cuqun nümunələrin ölçüsü 30x25x15mm, polad nümunələrin ölçüsü isə 25x50x10mm-dir. Müstəsna olaraq cuqun nümunənin biri 30x40x400mm ölçüdə qəbul olunur (şək. 3);
- Üstəəritmə üçün elektrod və TİG qaynaq üsulları, astəəritmə isə TİG əritmə texnologiyası ilə həyata keçirilir;
- Örtükçəkmə və əritmə əməliyyatları sabit cərəyanla aparılır;
- Tədqiqatlar otaq temperaturunda aparılır;
- Əsas materiala elektrod və TİG qaynaq üsulları vasitəsi ilə örtüklər çəkilir;
- Elektrodlə örtükçəkilən səthlər TİG əritmə üsulu ilə termik emal olunur;
- TİG qaynağında müdafiə qazı kimi arqon istifadə olunur;
- Səth təbəqəsinin analizi üçün mikrostrukturun və bərkliyin analizi aparılmışdır
- Mikroskop altında mikrostrukturun görünüşünü yaxşılaşdırmaq üçün, xromla legirli olan materiallar beraha -1 (1000 cm³ su – H₂O; 200cm³ xlorid turşusu – HCl; 24g ammoniumhidrogenfluorid – (NH₄)HF₂; 100cm³ əsas həllədici; 1g kaliumdisulfit – K₂S₂O₅), polad, cuqun və aşağı legirli poladlar isə nitrid (nital: 1 – 10 ml azot turşusu HNO₃; 100 ml etanol) və pikrin (pikral: 2 – 4g pikrin turşusu HO·C₆H₂(NO₂)₃; 100 ml etanol) turşuları ilə aşilanmışdır.

Elektrodun örtüyündən və növündən asılı olaraq, qaynaq aparatının mənfi qütbü ya elektroda ya da materiala qoşulur. Qələvi əsaslı örtüklərə malik elektrödlər müsbət, rutillə örtülmüş elektrödlər isə mənfi qütbə qoşulur. Elektrodların əsas istehsal parametrləri cəd. 4- də verilmişdir.

Cədvəl 4.**Örtükçəkmə əməliyyatlarının parametrləri**

Qaynaq elektrodlarının növü	Qaynaq parametrləri					
	Cərəyanın gücü, A	Cərəyanın növü	Qaynaq vəziyyəti	Elektrodun diametri	Qaynaq tikişinin hündürlüyü	Örtükklərin sayı
Dəmir əsaslı elektrod- UTP 81	110	DC	Üfqi	4,0 mm	2-3 mm	Birörtüklü qaynaq
Nikelsiz xüsusi elektrod- UTP 807	110					
Rutillə örtülmüş elektrod- UTP 7100	140					
Rutillə örtülmüş elektrod- UTP Ledurit 65	170					
Qələvi ilə örtülmüş elektrod- UTP DUR 600	160					
T590 markalı elektrod	200					

Cəd. 5- də məftillə TİG örtükçəkmə zamanı tətbiq olunan qaynaq parametrləri təqdim olunmuşdur.

Elektrodlə qaynaq əməliyyatından sonra, qaynaq tikişinin həndəsi parametrlərini və materialın xüsusiyyətlərini dəyişmək məqsədi ilə səth TİG üstəritmə üsulu ilə emal olunmuş, örtüyün qüsurları (çatlar, oyuqlar, həndəsi xətalar) tamamıylə və ya qismən aradan qaldırılmışdır. Bununla yanaşı, həmçinin material termik emal olunmuş və səthdə yeyilməyə davamlılığa imkan verəcək, narın mikrostruktur alınmış, bərklik yüksəldilmişdir.

Cədvəl 5.**UTP A DUR 600 məftili ilə TİG üstəritmə zamanı qaynaq parametrləri**

Qaynaq cərəyanı (DC), A	Tikişin qalınlığı, mm	Qaynaq sürəti, mm/dəq	Qaynaq başlığının rəqsi tezliyi, 1/dəq	Elektrodun səthdən olan məsafəsi, mm	Qaynaq tikişinin eni, mm	Məftilin diametri, mm	Arqon qazın miqdarı, l/dəq
30-130	<3	50-130	20-40	2-2,5	5-6	ø3,2	8

Elektrodlə çəkilən örtükklərin TİG əritmə üsulu ilə emalı iki hissədən ibarətdir (cəd. 6). İlkin olaraq səth $<40A$ cərəyanla qızdırılır, sonra isə qaynaq cərəyanının, ayaqla idarə olunan pedal“ vasitəsi ilə 40-140A hündürlərində tənzimlənməsi ilə səthin əridilməsi aparılır. Əməliyyatın keyfiyyəti əsasən subyektiv amillərdən asılıdır. Belə ki, ərimiş materialın axıcılığını nəzarətdə saxlamaq üçün, qaynaq vannasının axıcılığından və rəngindən asılı olaraq, qaynaqcı qaynaq sürətini, qaynaq cərəyanını, elektrodlə material arasındakı məsafəni və enerji mənbəsinin mövqeyini tənzimləyir.

Cədvəl 6.

Elektrodla çəkilmiş örtüklərin TİG- lə əridilməsi zamanı qaynaq parametrləri

Qaynaq cərəyanı (DC), A	Ərimədən əvvəl qızdırma cərəyanı, A	Qaynaq tikişinin hündürlüyü, mm	Qaynaq sürəti, mm/dəq	Qaynaq başlığıının rəqsisi tezliyi, 1/dəq	Elektrodun səthdən olan məsafəsi, mm	Qaynaq tikişinin eni, mm	Arqonun verilmə həcmi, l/dəq
80-145	20-40	<3,5	40-70	20-70	2-3,5	5-7	6

Verilmiş elektrodlarla üstəəridilmiş örtüklərin ərimə temperaturları yüksək olduğundan, onların TİG –lə əridilməsi zamanı, daha çox qaynaq cərəyanı tələb olunmuşdur (cəd. 6).

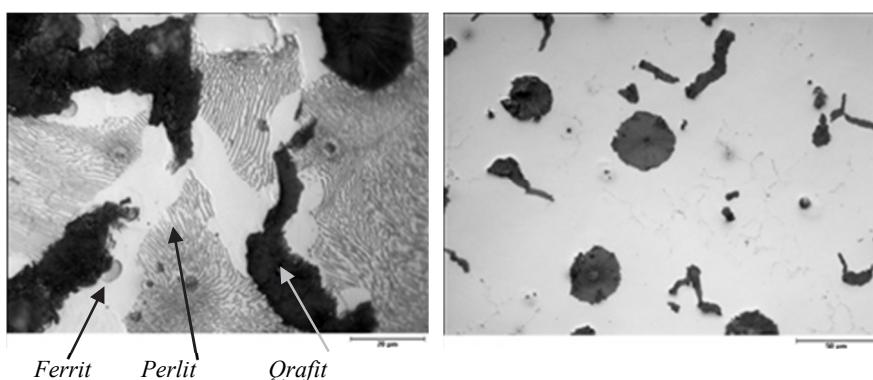
Örtüklərin tədqiqi. Nümunələrin mikrostrukturunun keyfiyyətçə qiymətləndirilməsi və tədqiqi üçün IMATEC şəkil işləmə programlı LEICA DMRM işıq mikroskopu istifadə olunmuşdur. Bərkliyin ölçüməsi isə DURIMET bərklik ölçən cihazla, 100 qram yük altında aparılmış və bərkliyin qiyməti modifikasiya olunmuş təbəqənin səthi üzrə ölçülərək, Vickers üsuluna (HV) əsasən orta qiymətləri müəyyən olunmuşdur.

Örtük çəkilən çuqun- EN-GJV-400 texniki və fiziki xüsusiyyətlərinə görə yarpaqşəkilli və küreformalı qrafitə malik çuqunlar arasında yerləşir (şək. 1). Belə çuqunların mikrostrukturu qrafitdən, ferritdən və perlitdən ibarətdir ki, narın perlit və kiçik ölçülü ferrit yeyilməyə qarşı davamlılıq baxımından arzu olunmazdır.

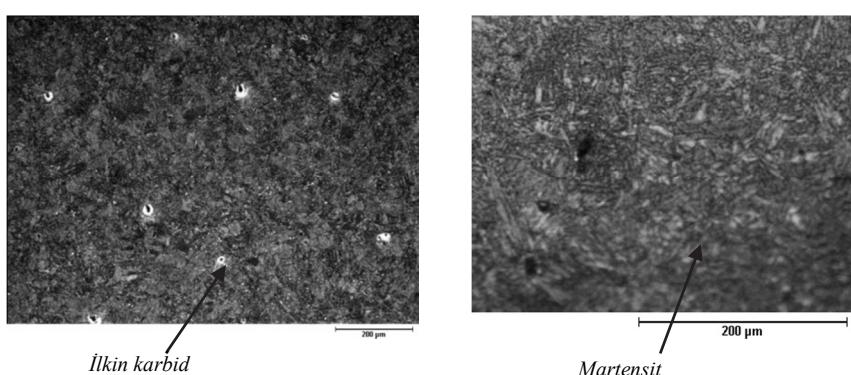
Üstəəritmə üsulu vasitəsi ilə səthinə örtük çəkilmiş 42Cr4 poladının mikrostrukturu şək. 2-də təsvir olunmuşdur.

Şək. 2-də verilmiş 42Cr4 materialın mikrostrukturu əsasən martensitden ibarətdir. Belə bir struktur poladın sürətlə soyudulması nəticəsində alınır və karbonlu poladlar içərisində ən yüksək yeyilməyə davamlılığına malikdirlər [11].

Şək. 3-də EN-



Şəkil 1. EN-GJV-400 çuqunun müxtəlif miqyaslarda mikrostrukturu, ölçülmüş bərklik 375HV



Şəkil 2. Termik emal olunmuş 42Cr4 poladın müxtəlif miqyaslarda mikrostrukturu, ölçülmüş bərklik 312HV

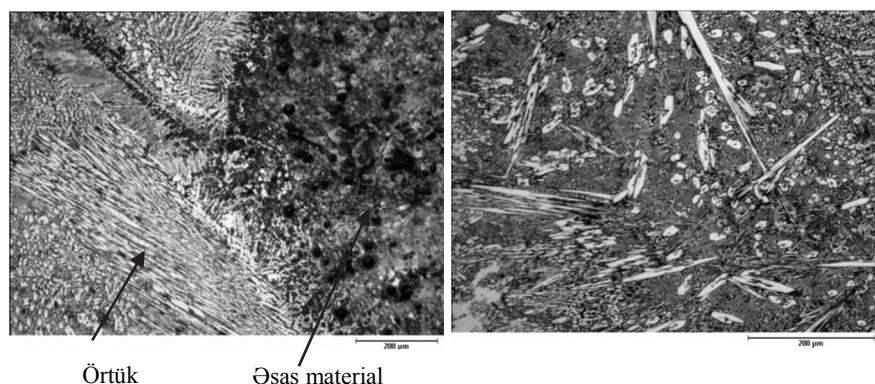
GJV-400 çuqunun səthinə T590 elektrodu ilə çəkilmiş örtüyün mikrostrukturunu təsvir olunmuşdur. Ərintinin soyuma vaxtından və qaynaq üsulundan asılı olaraq, martensit (şək. 3) və ledeburit (şək. 4) strukturlar əldə etmək olar.

Mikrostruktur ərintinin sürətli soyuması ilə əldə olunur və yeyilməyə qarşı yüksək müqavimətə malik olub, burulmaya davamlıdır (şək. 3). Belə bir strukturlar üçün martensit matriksdə qeyri-ardıcıl paylanmış M_7C_3 növ karbidlər xarakterikdir. Tərkibdə martensitlə yanaşı qalıq austenit, beynit və perlitdə vardır ki, martensitin miqdarının növbəti artırılması termiki emalı tələb edir. Termiki emalla bu mümkünür, çünki M_7C_3 qarışiq karbidi termik stabil olub, temperaturun artması ilə qrafitləşmir [12-14].

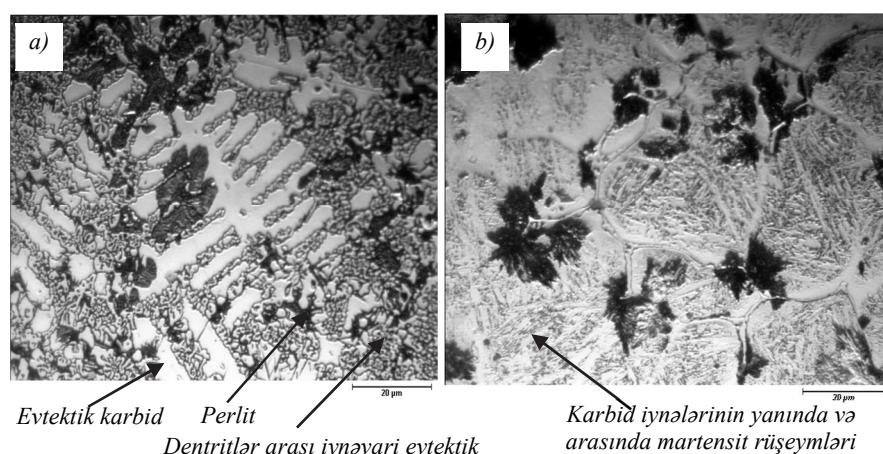
Qeyd etmək lazımdır ki, tərkibində xrom olan örtüklərin strukturu əsasən xrom-karbon-nisbəti ilə müəyyən olunur. Cr>5% olduqda, Cr_7C_3 karbidi sementitlə- Fe_7C_3 birligidə, Cr>10-12% olduqda isə, Cr_7C_3 karbidi strukturda sərbəst ayrılır. Tərkibdə 21-28% xrom olduqda isə $(Cr,Fe)_{23}C_6$ karbidləri üstünlük təşkil edir və dentritlər arası evtektik karbid narın alınır. Hər iki karbid forması dəmirin karbidindən bərkdir və əsasən narın, kürəformalı ayrıldıqda yeyilməyə

müqaviməti artırır. Evtektikdən yuxarı kon-sentrasiyalarda kobud karbidlər əmələ gələ bilər ki, (T590, UTP 7100) bunlar da kontakt yüklenməsi zamanı sinaraq, materialdan ayrıla bilər [12-14].

Əgər nümunənin ölçüsü kiçik olarsa, onda soyuma sürəti azalır və T590 elektrodu ilə çəkilmiş örtüyün strukturunu ledeburitə çevirilir (şək. 4,a). Belə struktur parlaq və olduqça narın iynəvari $(Cr,Fe)_7C_3$ karbid lövhəsinə malik Ferritdən, $(Cr,Fe)_7C_3$ və $(FeCr)_{23}C_6$ -karbidlərindən ibarət austenit qurluşundan ibarətdir (evtektik karbid iynələri arasındaki çox narın ayrılma).



Şəkil 3. T590 markalı elektrodla EN-GJV-400 markalı çuqunun üzərinə çəkilmiş örtüyün mikrostruktur. Nümunənin ölçüsü 30x40x400mm, ölçülmüş bərklik 830HV



Şəkil 4. T590 markalı elektrodla 42Cr4 markalı poladın üzərinə çəkilmiş örtüyün Mikrostrukturu. Nümunənin ölçüsü 30x25x15mm

Əgər səthin strukturunda kobud karbidlər alınarsa, səthin yeyilməyə davamlılığı azalır və yük altında olan səthdə ovulmalar sənmalar müşahidə olunur [13]. TIG üstəritmə üsulu ilə səthlər əlavə olaraq emal olunmuş və səthdə daha da narın mikrostruktur almaqla tribotexniki xsüsiyyətlər yaxşılaşdırılmışdır (şək. 4,b). Həmcinin, TIG üstəritmədən sonra səthin bərkliyi 839HV-dən 933HV-yə qədər artmışdır.

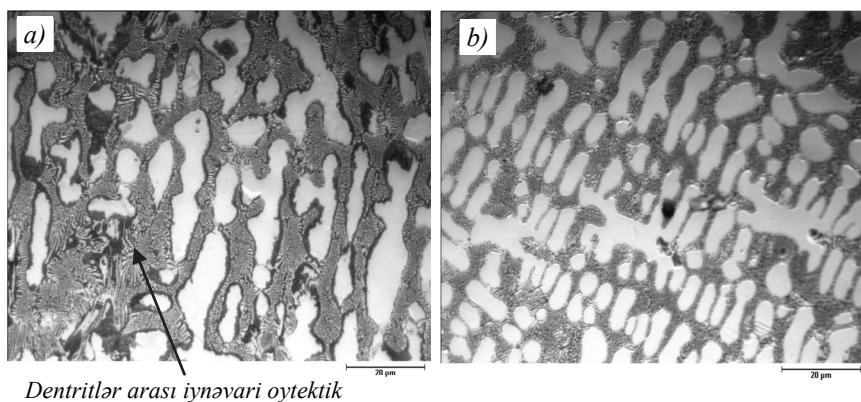
Səthin mexaniki-texnoloji xüsusiyyətlərini daha da yaxşılaşdırmaq üçün, yüksək legirli xrom elektrodları tətbiq olunur. Amma böyük həcmli karbidlər daxili gərginliklərin hesabına asanlıqla mikroçatlar əmələ gətirə bilərlər (şək. 5,a). Tədqiqatlarla sübut olunmuşdur ki, mikroçatlar karbidin miqdarının artırması ilə öncə artır, amma 20-25% karbid həcmindən başlayaraq yenidən azalırlar [13].

UTP 7100 elektrodu ilə səthə çəkilən təbəqənin TIG əritmə üsulundan sonra mikrostrukturu daha da narinlaşmış (şək. 5,b), karbidin miqdarı və bərklik 601 HV-dən 658 HV-yə qədər artmışdır.

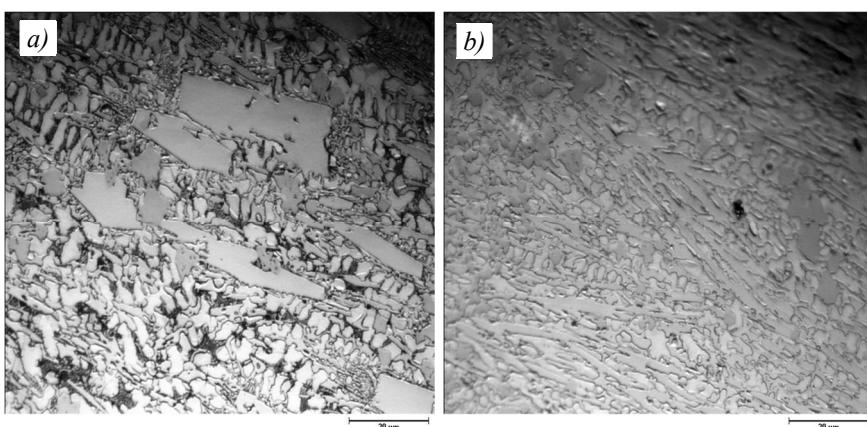
Növbəti olaraq səthə tərkibində digər modifikasiyaedici-legirləyici elementlər olan (cəd. 3) elektrodlarla örtüklər çəkilmişdir (şək. 6). Xüsusi təsiredici element molibdendir. Nikel, mis və manqan da bərkliyi artırır, eyni zamanda qaliq austeniti stabillaşdırır. Bu səbəbdən bu elementlərin tərkibdə maksimal miqdarı məhdudlaşdırılır [13].

Şək. 6- da verilmiş mikrostrukturlardan aydın olur ki, UTP Ledurit 65 elektrodu ilə çəkilmiş örtüyü TIG əritmə üsulu ilə termik emal etdiğdə, dənəciklərin ətrafında olan karbidin miqdarı artır, dənəciklərin birləşməsi yaxşılaşır, narın struktur alınır və bərklik 966HV-dən 1217HV-yə qədər yüksəlir (şək. 6,b).

Yeyilməyə davamlı növbəti örtük UTP DUR 600 elektrodu ilə çəkilmişdir (şək. 7). Alınan funksional örtükdə xrom və



Şəkil 5. UTP 7100 markalı elektrodladək 42Cr4 markalı poladın üzərinə çəkilmiş örtüyün mikrostrukturu



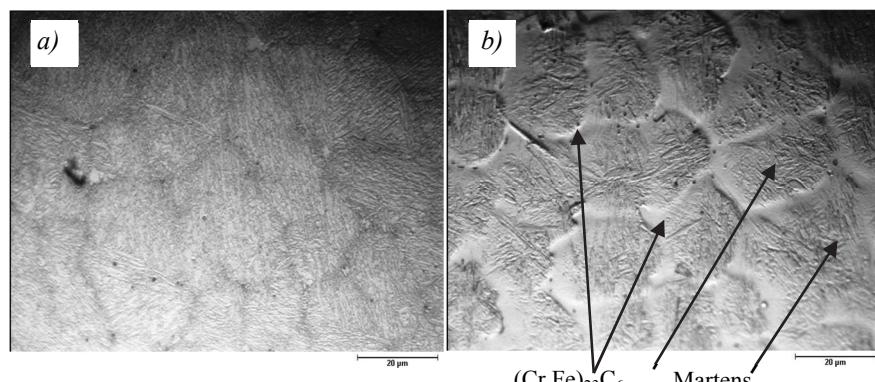
Şəkil 6. UTP Ledurit 65 markalı elektrodladək 42Cr4 markalı poladın üzərinə çəkilmiş örtüyün mikrostrukturu

karbonun miqdarı əvvəlki örtüklərə nisbətən aşağı olsa da silisiumun tərkibdə miqdarının çox olması (cəd. 3), möhkəmlik bərklik və elastiklik kimi xüsusiyyətlərə əhəmiyyətli təsir edir.

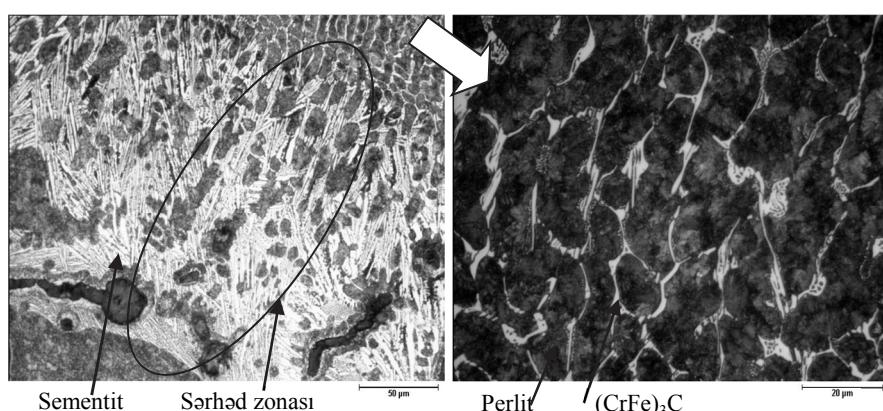
TİG əritmə ilə səthin termik emalından sonra, dənəciklərin birləşməsi yaxşılaşmış (şək. 7,b), amma xrom karbon nisbətinə əsasən bərklik 816HV-dən 787HV-yə qədər azalmışdır. Əritmədən sonra dənəciklərin sərhəddinin korroziyaya müqaviməti artlığından aşılıyıcı maddə bu sahəni tam həll edə bilməmişdir (şək. 7,b).

Material xərclərini nəzərə alaraq, səthlərə UTP 81, UTP 807 elektrodları və UTP A DUR 600 məftili ilə əsas materialdan bərk olan örtüklər çəkilmişdir. UTP A DUR 600 məftilli TİG üstəritmə əməliyyatı üçün nəzərdə tutulur və çəkilən örtüyün mikrostrukturu növbəti şəkildə təsvir olunmuşdur.

Struktur perlidən, xromun və dəmirin karbidindən ibarətdir (şək. 8). Ağ şəbəkə xrom və dəmir karbidlərinin birgə ayrılmamasını təsvir edir. Cünki, tərkibdə 12%-ə qədər xrom olduqda, dəmir və xrom karbidləri birgə ayrırlırlar.



Şəkil 7. UTP DUR 600 markalı elektrodla 42Cr4 markalı poladın üzərinə çəkilmiş örtüyün mikrostrukturu

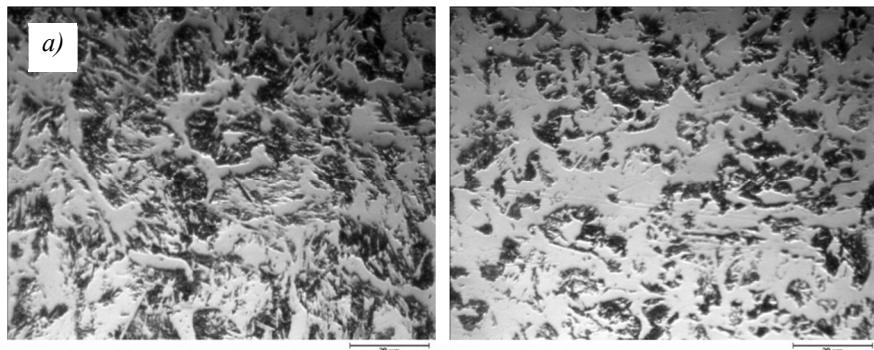


Şəkil 8. UTP A DUR 600 markalı elektrodla EN-GJV-400 markalı çuququnun üzərinə çəkilmiş örtüyün mikrostrukturu. Ölçülmüş bərklik 750HV

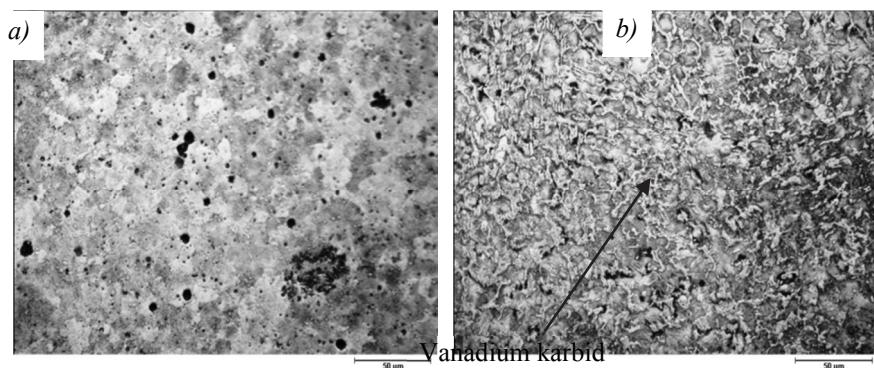
UTP 81 elektroodu örtük materialları içərisində material xərci baxımından ən səmərəlisi olub, onun mikrostrukturu aşağıdakı şəkildə təsvir olunmuşdur.

Elektrodlı örtükçəkmədən sonra mikrostruktur perlit və ferritdən ibarətdir (şək. 9,a). Örtüyün TİG üstəritmə üsulu ilə termiki emalından sonra perlit narınlaşır və ferritin miqdarı artır, bərklik 575HV-dən 684HV-yə qədər yüksəlir (şək. 9,b).

Örtüklərin möhkəmliyini və yorulmaya qarşı müqavimətini artırmaq məqsədi ilə, səthə tərkibində vanadium olan UTP807 elektroodu ilə örtük çəkilmişdir (şək. 10).



Şəkil 9. UTP 81 markalı elektrodla EN-GJV-400 markalı çuqunun üzərinə çəkilmiş örtüyün mikrostrukturu



Şəkil 10. UTP 807 markalı elektrodla EN-GJV-400 markalı çuqunun üzərinə çəkilmiş örtüyün mikrostrukturu

cəkilmiş örtüklər TIG üstəritmə üsulu ilə termik emal olunmuş, qaynaq tikişinin parametrləri və səthin tribotexniki xsusiyyyətləri daha da yaxşılaşdırılmışdır.

Məqalədə əsasən səthə xromla legirlənmiş örtüklərin əridilməsi tədqiqi olunmuşdur. Çünkü, belə örtüklərin yaqlara olan kimyəvi aktivliyi və absorpsiyası poladlara nisbətən yüksək olub, qaynaq və əritmə əməliyyatları üçün üstünlük'lərə malikdirlər.

TIG üstəritmə üsulu ilə termik emal olunan örtüklərdə, tərkibdə olan legirləyici elementlərin miqdarından və ərimiş metalin bərkimə vaxtından asılı olaraq, narın mikrostruktur əldə olunmuş, dənəciklərin sərhəddi/birləşməsi yaxşılaşdırılmış və tərkibdə karbidin miqdarı artırılmışdır. Maraqlı hala T590 və UTPDUR600 elektrodları ilə çəkilən örtüklərin TIG üstəritmə üsulu ilə emalında rast gəlinir. T590 elektrodu ilə cəkilmiş örtüyün ledebür strukturu martensitə çevrilir və bərklik artır. UTPDUR600 elektrodu ilə çəkilmiş örtüyün martensit strukturu modifikasiya olunaraq, dənəciklərin sərhəddinin korroyiyaya davamlığı daha da yaxşılaşır. UTP7100 və UTP Ledurit 65 örtüklərinin mikrostrukturları TIG emalından sonra daha da narınlaşaraq, bərklik artır. UTP807 örtüyündə də TIG emalından sonra bərklik artmaqla yanaşı, vanadium karbidinin ayrılması müşahidə olunmuşdur.

Elektrodlə çəkilən örtüyün strukturu perlit və ferritdən ibaretdir ki, bu da yeyilməyə davamlılıq baxımından əlverişli deyildir. TIG əritmə üsulu ilə səthi termik emal etdikdən sonra, vanadiumun karbidi ayrılır və bərklik

664HV-dən 773HV-yə qədər artır (şək. 10,b).

Nəticə. Yeyilmiş səthlərin yenidən bərpası və səthdə yeyilməyə davamlı örtüklər əldə etmək üçün, elektrod və TIG qaynaq üsulları vasitəsi ilə çuqun - EN-GJV-400 və polad - 42Cr4 dan hazırlanmış materialların səthlərinə örtüklər çəkilmiş və elektrodlə

Təşəkkür. İşin təcrübi hissəsi **Berlin Texniki Universitetinin** „Birləşdirmə və örtükçəkmə texnologiyası“ kafedrasında aparılmışdır. Experimentlərin aparılmasında göstərdiyi qayğıya görə **Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. L. Dorn** - a təşəkkür edirik!

Qaynaq materialları „UTP Qaynaq Materialı MMC“ (**UTP Schweißmaterial GmbH**) tərəfindən təchiz olunmuşdur. Firmanın əməkdaşlarına, xüsusən xanım **Aufmuth Edith** -ə təşəkkür edirik!

REFERENCE

1. **Manfred Merkel, Karl-Heinz Thomas.** Taschenbuch der Werkstoffe, Leipzig 2008. 704 S.
2. **Roslivkera E.G.** Zubchatye peredachi i kulachkovye mehanizmy (Vypusk 5). Rostov-na-Donu, 1961. NIITM. 128 s.
Росливкера Е.Г. Зубчатые передачи и кулачковые механизмы (Выпуск 5). Ростов-на-Дону, 1961. НИИТМ. 128 с.
3. **Shinkarenko I.T.** Povyshenie effektivnosti mehanizmov gazoraspredeleniya posredstvom kompleksnogo vybora parametrov: avtoreferat dis. kandidata tehnicheskikh nauk: 05.02.02 / Lvov. politehn. in-t im. Leninskogo komsomola. - Lvov, 1988. 17 s.
Шинкаренко И.Т. Повышение эффективности механизмов газораспределения посредством комплексного выбора параметров: автореферат дис. кандидата технических наук: 05.02.02 / Львов. политехн. ин-т им. Ленинского комсомола. - Львов, 1988. 17 с.
4. **Rotbart G.A.** Kulachkovye mehanizmy. Proektirovanie, dinamika i voprosy tochnosti izgotovlenija. – Leningrad, 1960. 336 s.
Ротбарт Г.А. Кулачковые механизмы. Проектирование, динамика и вопросы точности изготовления. – Ленинград, 1960. 336 с.
5. **Manfred D. Röhrle.** Die Nockenwelle im Wandel der Zeit. MTZ 3/2002 Jahrgang 63. s. 172-177.
6. **Belashova I.S.** Lazernoe legirovanie instrumentalnyh staley. Sbornik nauchnyh trudov MADI «Resursosberegayushchie tehnologii poverhnostnogo uprochneniya detaley mashin». - Moskva, 1987. s. 112-119.
Белашова И.С. Лазерное легирование инструментальных сталей. Сборник научных трудов МАДИ «Ресурсосберегающие технологии поверхностного упрочнения деталей машин». - Москва, 1987. с. 112-119.
7. **Berkovich I.I., Demkin N.B.** Fizicheskie osnovy treniya i iznosa mashin. - Kalinin, 1978. 85 s.
Беркович И.И., Демкин Н.Б. Физические основы трения и износа машин. - Калинин, 1978. 85 с.
8. **Denisenko E.T., Kalinovich D.F., Kuznecova L.I.** Primenenie iznosostoykikh pokrytiy v mashinostroenii (obzor zarubezhnoy literatury). // Vestnik mashinostroeniya, 1988, № 2. s. 71-77.
Денисенко Э.Т., Калинович Д.Ф., Кузнецова Л.И. Применение износостойких покрытий в машиностроении (обзор зарубежной литературы). // Вестник машиностроения, 1988, № 2. с. 71-77.
9. **Oltwig Pigors.** Werkstoffe in der Tribotechnik. Reibung, Schmierung und Verschleißbeständigkeit von Werkstoffen und Bauteilen, Leipzig – Stuttgart 1993. 546 s.

10. UTP Stabelektroden, Massivdrähte und -stäbe, Fülldrähte, UP-Drähte und UP- Pulver, Lote und Flussmittel, Metallpulver. Schweißzusatzwerkstoffe für Unterhalt, Reparatur und Fertigung, UTP Schweißmaterial GmbH 2004. 434 s.
11. **William A. Glaeser.** Materials for Tribology. Elsevier science publishers1992. 260 p.
12. **L. Habraken** ET J.-L. De Brouwer. Grundlagen der Metallographie. Presses Academiques Europeennes, S.C. Bruxelles 1968. 478 s.
13. **Dieter Wittekopf, Harald Köchling, Otto Liesenberg, Klaus Peukert, Josef Sturm.** Stahlguß- und Gußeisenlegierungen. Leipzig. Stuttgart 1992. 275 S.
14. **W.U. Kopp, M. Kurz.** Fortschritte in der Metallographie. Vortragstexte der 30. Metallographie- Tagung Oberursel: DGM, 1997. Pp. 373-38.

НАНЕСЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ

Ф.М. ШИРЗАДОВ, А.Х. САДЫХОВ

В статье обосновывается целесообразность применения методов наплавки при нанесении покрытий легированным хромом и при термической обработке после сварки методом TiG для повышения устойчивости поверхностей материалов против изнашивания и коррозии, а также для их восстановления. Даются сравнения твердости и микроструктуры нанесенных покрытий материалов до и после обработки. Полученный новый слой, в сравнении с твердостью и микроструктурой предыдущего слоя, значительно повышает его триботехнические характеристики и эффективность.

Ключевые слова: *триботехника, наплавка, модификация, TiG (Tungsten-inert-gas).*

WEAR-RESISTANT COATING BY ELECTRIC ARC CLADDING

F.M. SHIRZADOV, A.H. SADIKHOV

The article explains the feasibility of using the cladding methods for coating the alloyed chromium and follow up the heat treatment after the TiG welding to improve the stability of material surfaces against wear and corrosion, as well as the resoration. The comparions data on hardness and microsturture before and after treatment are provided. The resulting new layer, in comparison with the hardness and microstructure of the previous layer, significantly increases its tribological performance and efficiency.

Key words: *tribotechnics, cladding, modification, TiG (Tungsten-inert-gas).*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОГЛОЩЕНИЯ И ПРЕЛОМЛЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ $TlInS_2$ И $TlInS_2$ с 0.3% ПРИМЕСЯМИ <Co, Fe, Mn и Cr>

А.З. БАДАЛОВ*, Р.М. САРДАРЛЫ*, Т.Н. ВЕЗИРОВА*,
М.Ю. ЮСИФОВ*, А.А. ОРУДЖЕВА*

В работе приводятся результаты исследований оптических констант кристаллов $TlInS_2$ и $TlInS_2$ с 0.3% примесями <Co, Fe, Mn и Cr> в дальней инфракрасной области спектра методами терагерцовой TDS (Time-Domain Spectroscopy). Поскольку эти материалы обладают сильными линиями поглощения в исследуемой терагерцовой области спектра, то для получения данных о коэффициентах преломления и поглощения использовано несколько методик. Получены частотные зависимости коэффициентов преломления и поглощения в терагерцовой области частот 0.2 – 0.4 THz.

Ключевые слова: Time-Domain Spectroscopy, соотношения Крамерса-Кронига, терагерцовая область, коэффициент поглощения, коэффициент преломления, спектры отражения.

Введение. Перестраиваемые и когерентные терагерцовые источники излучения являются одним из ключевых элементов при химической идентификации элементов на расстоянии в биомедицинской диагностике терагерцовой спектроскопии, например, терагерцовое зондирование атмосферы, исследование ДНК, детектирование взрывчатых веществ и CBRN. Терагерцевая TDS спектроскопия записывает временную форму сигнала до и после прохода через кристалл. Затем выполняется численное Фурье-преобразование обоих сигналов. Отношение быстрого Фурье-преобразования прошедшего сигнала к падающему спектру дает коэффициент пропускания кристалла. Если сохранить начальное время между двумя проведенными измерениями, тогда быстрое Фурье-преобразование позволит получить как модуль величины прошедшего сигнала, так и его фазу.

1. Методика расчета спектров поглощения и отражения при помощи соотношений Крамерса-Кронига.

Метод Крамерса-Кронига позволяет определять оптические константы из спектров отражения.

Исследуемые образцы кристаллов $TlInS_2$ представляют собой пластинки с параллельными сторонами, для таких образцов коэффициенты отражения и поглощения могут

* Азербайджанская Национальная академия авиации

быть с большой точностью определены методом, предложенным авторами в [1]. В материалах, демонстрирующих сильные области оптического поглощения, интенсивность прошедшего через образец сигнала может быть меньше шума. В таких случаях интенсивность прошедшего сигнала почти нулевая и его фаза неизвестна. Обычно такая проблема решается измерением терагерцовых спектров на отражение. Мы использовали комбинированную методику, которая позволяет получить коэффициент поглощения и преломления, используя терагерцовую TDS методику. Последовательно измерялись спектры отражения и пропускания и при помощи соотношений Крамерса-Кронига рассчитывались коэффициенты поглощения и преломления кристалла TlInS₂.

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_1(\omega) + i\varepsilon_2(\omega) \quad (1)$$

$$\varepsilon_1(\omega) = n^2 - k^2 = \varepsilon_\infty + \sum_j \frac{\omega_{ij}^2 4\pi \rho_i (\omega_{ij}^2 - \omega^2)}{(\omega_{ij}^2 - \omega^2)^2 + \gamma_j^2 \omega^2} \quad (2)$$

$$\varepsilon_2(\omega) = 2nk = \sum_j \frac{\omega_{ij}^2 4\pi \rho_i \omega \gamma_j}{(\omega_{ij}^2 - \omega^2)^2 + \gamma_j^2 \omega^2} \quad (3)$$

ε_∞ , ρ_j , ω_{ij} , γ_j - высокочастотная диэлектрическая проницаемость, сила, резонансная частота и затухание j -го осциллятора. Как видно из уравнения (3), функция $\omega \varepsilon_2(\omega)$ принимает максимальное значение при частоте поперечного оптического фонона и максимум функции

$$I_m[-\varepsilon^{-1}(\omega)] = \frac{\varepsilon_2(\omega)}{\varepsilon_1^2(\omega) + \varepsilon_2^2(\omega)} = \frac{\omega_{ij}^2 (\varepsilon_\infty^{-1} - \varepsilon_0^{-1}) \gamma_j}{\omega [4(\omega_{ij}^2 - \omega^2)^2 + \gamma_j^2]} \quad (4)$$

при частотах продольных оптических фононов ω_{lj} . Таким образом, зная дисперсионные соотношения, можно найти частоты продольных и поперечных оптических фононов. Сила j -го осциллятора вычисляется по следующей формуле:

$$\rho_j = \frac{\varepsilon_\infty}{4\pi} \left(\frac{\omega_{li}^2}{\omega_{1i}^2} - 1 \right) \prod_{j \neq i}^n \frac{\omega_{li}^2 - \omega_{1i}^2}{\omega_{1j}^2 - \omega_{li}^2} \quad (5)$$

Параметры осцилляторов находятся из подгонки под экспериментальные спектры отражения. Для этого в качестве подгоночных параметров используются ε_∞ , ρ_j , ω_{ij} , γ_j . Используя выражения (1-5), вычисляется кривая $R(\omega)$. Коэффициент отражения через показатели преломления и поглощения имеет вид:

$$R = \frac{(n_2 - n_1)^2 + k^2}{(n_2 + n_1)^2 + k^2} \quad (6)$$

При этом модуль и фаза коэффициента отражения определяются как

$$\phi = \operatorname{arctg} \frac{2n_1 k_2}{n_1^2 - n_2^2 - k_2^2} \quad (7)$$

В поглощающих средах диэлектрическая проницаемость содержит мнимую часть $\hat{\varepsilon} = \varepsilon_1 + i\varepsilon_2$, в этом случае показатель преломления становится комплексным: $\vec{n} = n + ik$.

Действительная часть показателя преломления описывает дисперсию коэффициента преломления

$$n = \sqrt{\frac{\epsilon_1 + \sqrt{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2}}{2}} \quad (8)$$

а мнимая часть – дисперсию коэффициента поглощения

$$k = \epsilon_2 / 2\pi \quad (9)$$

Анализ спектров при помощи соотношений Крамерса-Кронига позволяет получить дисперсии действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости, а также спектр коэффициентов поглощения и преломления. В некоторых случаях при обработке экспериментальных спектров отражения и поглощения одновременно использовались дисперсионный анализ и анализ Крамерса-Кронига. Предварительно спектры отражения сверялись с рассчитанными спектрами отражения из данных спектров пропускания и корректировались в области низких частот со спектром отражения металлического зеркала. В области прозрачности измерялись как спектры отражения, так и спектры пропускания, при этом коэффициенты поглощения и преломления рассчитывались как при помощи соотношений Крамерса-Кронига, так и из спектров пропускания. Полученные результаты накладывались и сравнивались, далее производилась корректировка, связанная с фазой волны. Преимущество данного метода заключается в том, что он позволяет получить значения оптических констант, с большей точностью используя данные спектров пропускания, при этом данные по фазе, пропущенные в области сильного поглощения, восстанавливались из данных по спектрам отражения. Таким путем были получены данные для коэффициентов преломления в области прозрачности кристаллов с большой точностью и малыми шумами.

Эта методика использовалась для определения коэффициентов преломления и поглощения исследуемых кристаллов TIInS_2 , а также кристаллов TIInS_2 с внедренными примесями Co, Cr, Mn и Fe.

Знание оптических констант в терагерцовой области частот позволяет выяснить возможность использования этих соединений в качестве детекторов, фильтров, источников излучения, поляризаторов и других приборов. Исследование оптических констант при помощи терагерцовой спектроскопии во временной области (THz-TDS) позволяет получать информацию об оптических параметрах (коэффициент преломления n и поглощения α) в довольно широкой спектральной области без использования анализа Крамерса-Кронига. Это связано с тем, что в процессе эксперимента по измерениям спектров пропускания (отражения) измеряются обе составляющие прошедшего через кристалл сигнала – амплитуды и фазы волны.

2. Получение данных об оптических константах из спектров пропускания.

В случае исследования спектров пропускания выполняется следующая последовательность измерений: измеряется опорный терагерцовый сигнал и затем сигнал, прошедший через образец, вычисляется отношение амплитуды прошедшего сигнала к исходному сигналу, что позволяет получить временную форму сигнала. Затем рассчитыва-

ваются значения коэффициентов преломления и поглощения. Спектры пропускания дают наиболее надежную и достоверную информацию об оптических параметрах материала.

Для получения информации об оптических параметрах материала необходимо знание электромагнитного отклика гомогенного, изотропного образца с параллельными плоскостями. При этом амплитуда терагерцового сигнала должна быть достаточно слаба, чтобы электромагнитный отклик был линеен. Для параллельного терагерцового луча комплексный коэффициент пропускания зависит от толщины образца и комплексного коэффициента преломления материала. При нормальном падении луча на кристалл выражение может быть записано в виде:

$$T(\omega) = te^{i\varphi} = \frac{4\bar{n}}{(\bar{n}+1)^2} \exp\left[-j(\bar{n}-1)\frac{\omega}{c}d\right] FP(\omega) \quad (10)$$

Здесь c – скорость света в вакууме, $\omega=2\pi f$ – круговая частота и

$$FP(\omega) = \frac{1}{1 - \left(\frac{\bar{n}-1}{\bar{n}+1}\right)^2 \exp\left(-2j\bar{n}\frac{\omega}{c}d\right)} \quad (11)$$

$FP(\omega)$ соответствует вкладу всех внутренних отражений в образце. Другими словами, это выражение описывает резонанс Фабри-Перо. Коэффициент поглощения (α) пропорционален коэффициенту экстинкции (k), мнимой части комплексного коэффициента преломления \bar{n}

$$\alpha(cm^{-1}) = \frac{4\pi k}{c} \quad (12)$$

Комплексный коэффициент преломления материала получается, когда мы используем соотношения $T_{\text{эксп.}}(\omega) - T_{\text{теор.}}(\omega) = 0$, где $T_{\text{эксп.}}(\omega)$ и $T_{\text{теор.}}(\omega)$ комплексные величины.

3. Получение данных об оптических константах из спектров отражения.

В случае измерения спектров на отражение проводятся измерения спектров отражения от образца и спектры отражения металлического зеркала, закрепленного на месте образца, который принимается за 100%.

При нормальном падении терагерцового излучения на кристалл коэффициент отражения записывается в виде:

$$R(\omega) = re^{i\varphi} = \frac{\bar{n}-1}{\bar{n}+1} \frac{1 - e^{-2j\frac{\omega}{c}nd}}{1 - \left(\frac{\bar{n}-1}{\bar{n}+1}\right)^2 e^{-2j\frac{\omega}{c}nd}} \quad (13)$$

В основном спектры отражения измеряются на образцах или очень толстых, или имеющих большой коэффициент поглощения, то есть на таких образцах проводить измерения спектров пропускания не представляется возможным. Если пренебречь внутренним многократным отражением от обратной поверхности, выражение (13) записывается в виде:

$$R(\omega) = re^{i\varphi} = \frac{\bar{n} - 1}{\bar{n} + 1} \quad (14)$$

Уравнение (14) может быть аналитически решено при помощи равенства $\bar{n} = n - ik$ как функция только коэффициента отражения и фазы волны:

$$n = \frac{1 - r^2}{1 - 2r \cos \varphi_r + r^2}, \quad k = \frac{2r \sin \varphi_r}{1 - 2r \cos \varphi_r + r^2}$$

Согласно приведенным формулам, из спектров пропускания и отражения кристаллов рассчитаны коэффициенты преломления и поглощения кристаллов TlInS₂ и TlInS₂ с 0.3% примесями <Co, Fe, Mn и Cr> (рисунки 1 – 8).

На рисунке 1 приводится частотная зависимость коэффициента поглощения кристалла TlInS₂, полученная из измерений спектра пропускания (кривая 1). Спектр поглощения этого же кристалла, рассчитанный из данных по измерениям спектров отражения (кривая 2). Видны сильные линии поглощения на частотах 0.4, 1.0, 1.5 THz. Эти линии поглощения на частотах выше 2.0 THz связаны с сильным однофононным поглощением кристалла.

На рисунке 2 представлена частотная зависимость коэффициента преломления кристалла TlInS₂, полученная из спектров пропускания, после фазовой корректировки (кривая 1), из спектров отражения (кривая 2) и рассчитанная при помощи соотношений Крамерса-Кронига (кривая 3).

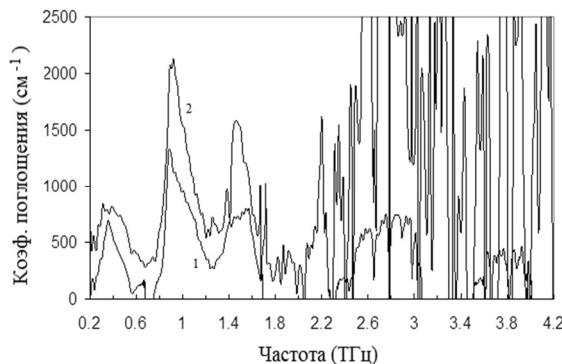


Рис.1. Частотная зависимость коэффициента поглощения кристалла TlInS₂, полученная из измерений спектра пропускания (кривая 1). Спектр поглощения этого же кристалла, рассчитанный из данных по измерениям спектров отражения (кривая 2).

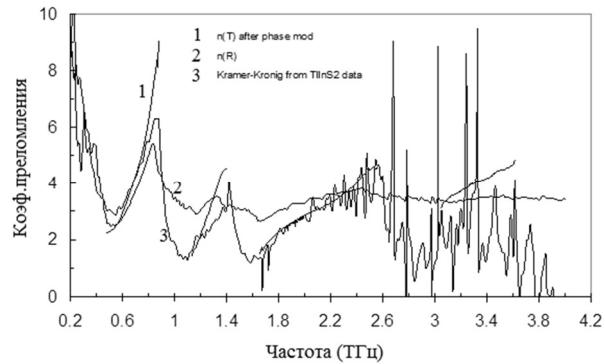


Рис.2. Частотная зависимость коэффициента преломления кристалла TlInS₂:
– полученная из спектров пропускания, после фазовой корректировки (кривая 1);
– из спектров отражения (кривая 2);
– рассчитанная при помощи соотношений Крамерса-Кронига (кривая 3).

На рисунке 3 приводится откорректированный спектр коэффициента преломления (кривая 1) и откорректированный спектр поглощения (кривая 2) кристалла TlInS₂.

На рисунке 4 приводится частотная зависимость коэффициента поглощения кристалла TlInS₂ <Co>, полученная из измерений спектра пропускания (кривая 1). Спектр поглощения этого же кристалла, рассчитанный из данных по измерению спектров отражения (кривая 2).

На рисунках 6-8 приводятся спектры пропускания кристалла $TlInS_2$ легированного 0.3% Cr, Fe и Mn. Как видно из рисунков, 0.3% примеси Cr, Fe и Mn не вносят своих линий в этой области спектра. Терагерцовый спектр формируется за счет сильных линий поглощения B_{2U} симметрии кристалла $TlInS_2$.

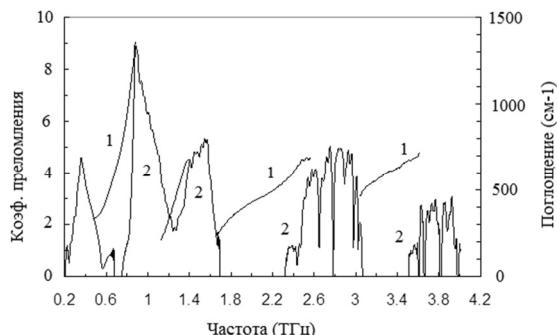


Рис.3. Откорректированный спектр коэффициента преломления (кривая 1) и откорректированный спектр поглощения (кривая 2) кристалла $TlInS_2$.

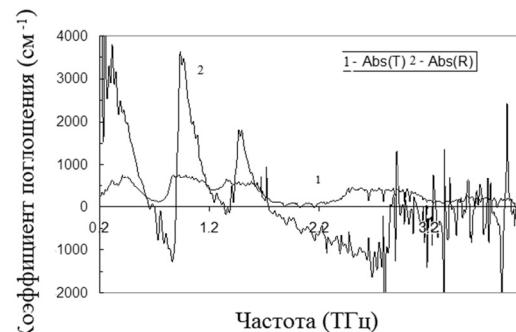


Рис.4. Частотная зависимость коэффициента поглощения кристалла $TlInS_2<\text{Co}>$, полученная из измерений спектра пропускания (кривая 1). Спектр поглощения этого же кристалла, рассчитанный из данных по измерениям спектров отражения (кривая 2).

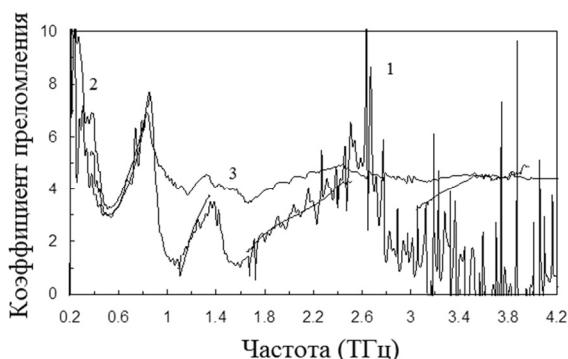


Рис.5. Частотная зависимость коэффициента преломления кристалла $TlInS_2<\text{Co}>$:
– полученная из спектров отражения (1),
– рассчитанная при помощи соотношений Крамерса-Кронига (2),
– полученная из спектров пропускания, после фазовой корректировки (3).

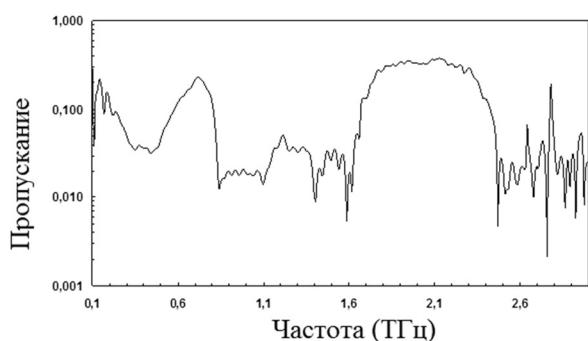


Рис.6. Спектр пропускания кристалла $TlInS_2$ легированного 0.3% Cr.

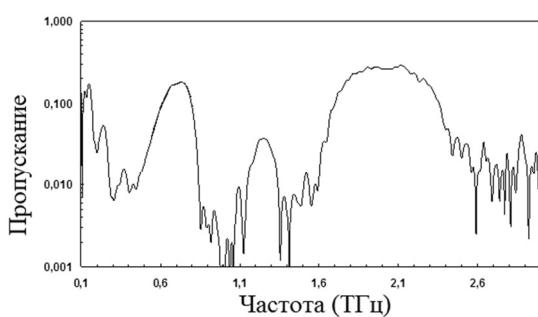


Рис.7. Спектр пропускания кристалла $TlInS_2$ легированного 0.3% Fe.

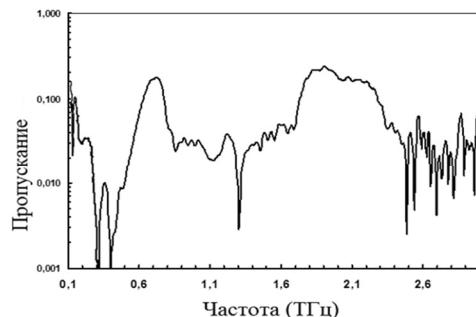


Рис.8. Спектр пропускания кристалла $TlInS_2$ легированного 0.3% Mn.

REFERENCE

1. **L. Duvillaret, F. Garet and J.-L. Coutaz**, "Highly Precise Determination of Optical Constants and Sample Thickness in Terahertz Time-Domain Spectroscopy". Appl. Opt. 38, 409-415, (1996).
2. **L. Duvillaret, F. Garet and J.-L. Coutaz**. A reliable method for extraction of material parameters in terahertz time-domain spectroscopy. IEEE J. Select. Topics Quantum Electron. 2, 739-746 (1996).
3. **Pashkin, M. Kempa, H. Nemeč, F. Kadlec, P. Kuzel** Phase-sensitive time-domain terahertz reflection spectroscopy. Rev. Sci. Instrum., 74, 4711-4717 (2003).
4. **M. Misra, K. Kotani, T. Kiwa, I. Kawayama, H. Murakami, M. Tonouchi** THz time domain spectroscopy of pulsed laser deposited BaTiO₃ thin films. Appl. Surf. Sci. 237, 421, (2004).
5. **F. Garet, Y. Laamiri, J.-L. Coutaz** Using integrated optics techniques in the THz domain. Frequenz 62, 123-127 (2008).
6. **L. Duvillaret, F. Garet and J.-L. Coutaz** Influence of noise on the characterization of materials by terahertz time-domain spectroscopy. J. Opt. Soc. Am. B17, 452-461, (2000).

TlInS₂ VƏ 0,3%-li <Co, Fe, Mn və Cr> AŞQARLARI İLƏ AŞQARLANMIŞ TlInS₂ KRİSTALLARININ UDULMA VƏ ƏKS OLUNMA ƏMSALLARININ MÜƏYYƏNLƏŞDIRİLMƏSİ

A.Z. BƏDƏLOV, R.M. SƏRDARLI, T.N. VƏZİROVA,
M.Y. YUSİFOV, A.A. ORUCOVA

Məqalədə TlInS₂ və 0,3% <Co, Fe, Mn və Cr> aşqarları ilə aşqarlanmış TlInS₂ kristallarının optik konstantlarının spektorun uzaq infraqırmızı oblastında THz spektoroskopiyası (Time-Domain Spectroscopy) metodu ilə tədqiqinin nəticələri verilmişdir. Bu materiallar spektrografen tədqiq olunan teraherts oblastında güclü udulmaya malik olduqlarına görə sinma və udulma əmsalları haqqında məlumat almaq üçün bir neçə metodikadan istifadə edilmişdir. Sinma və udulma əmsallarının teraherts tezliklər oblastında (0.2 – 0.4 THz) tezlik asılılıqları alınmışdır.

Açar sözlər: zaman həll spektoroskopiyası, Kramers-Kroning əlaqəsi, teraherts oblast, sinma əmsali, udulma əmsali, əks olunma spektoru.

DETERMINING THE COEFFICIENTS OF ABSORPTION AND REFRACTION OF THE CRYSTALS TlInS₂ AND TlInS₂ WITH 0.3% IMPURITIES <Co, Fe, Mn and Cr>

A.Z. BADALOV, R.M. SARDARLI, T.N. VAZIROVA, M.Y. YUSIFOV, A.A. ORUJOV

The paper presents the results of studies of the optical constants of crystals TlInS₂ and TlInS₂ with 0.3% impurities <Co, Fe, Mn and Cr> in the far infrared region of the spectrum methods terahertz TDS (to Time-Domain Spectroscopy). Since these materials have strong absorption lines in the study of terahertz spectral range, to obtain data on the refractive index and absorption used several techniques. The frequency dependence of the refractive index and absorption in the terahertz frequency range 0.2 - 0.4 THz.

Key words: time domain spectroscopy, Kramers–Kronig relation, terahertz region, refraction coefficient, absorption coefficient, reflectance spectr.

RATIO OF POWER INDICATORS IN THE SYSTEM «DRILL STRING – DRIVE»

B.A. PERMINOV*, V.B. PERMINOV**, Z.H. YAGUBOV*, E.Z. YAGUBOV*

Work is devoted to research of the power indicators of the drill string in the drilling operation and the definition of the necessary conditions for maintaining the dynamic equilibrium of the system. It was shown that the accumulation of potential energy in the bottom of the column is more than the kinetic energy of the upper part always provokes relaxation oscillations in the system.

Makes recommendation, that to enhance the dynamic stability of the work regime is necessary increase the moment of inertia of the drive of column and reduce the weight of the bottom hole of column.

Key words: *relaxation oscillations; dynamic stability; form stability; strain energy, moment of resistance.*

When you rotate the drill string due to the influence of dissipative forces arise relaxation oscillations of the drill string, which under certain power relations between the drill string and the drive can lead to a regime of forced oscillations of the drive of motor.

Indeed, in the well drilling mode the drill string rotation transmission occurs from the wellhead to the bottom. Thus, due to the impact dissipative forces on the drill string, in the wellbore it becomes possible to stop a certain portion of the column, and twisting of the stretched portion, and, after accumulating a sufficient level of potential energy, disruption of column bottom with acceleration of rotational of column. Stock of potential energy in the elastic column in rotation of upper part of is greater, the greater the resistance force, that hinder of the rotation of the drill string. In [10] it is shown that the drilling process is accompanied by self-oscillations with the costs of power to overcome them is not more than 30% of the motor of drive. However, with an increase in the moment of resistance to rotation of the drill string, these costs can increase dramatically. The sharp increase of moment of resistance can be attributed to an increased axial load on the drill string. According to [10] found that the dynamic balance helically bent drill string, rotating in a borehole, may be provided with three types of movement.

1. The rotation of the considered site the drill string around of an own curved axis:
 - with the sliding, relative to the borehole wall;

* Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта

** ООО «Газпром трансгаз Ухта», г. Ухта

– without sliding, with a reverse rolling on the borehole wall (planetary motion or column circulation).

2. The rotation of the helically curved column around the borehole axis.
3. Transitional kind of movement is disorderly beating of individual sections or the entire drill string.

We compare the energy costs of rotation of the first W_1 and second W_2 types.

The rotation of the column around its own axis is possible in case [4] $W_1 < W_2$. Conditions defining the rotation spirally curved columns around borehole axis, conditioned by $W_1 > W_2$. Transition movement type is characterized by $W_1 = W_2$.

At first type of rotation, energy that expended is the sum of the elastic energy of the helical spiral and the energy that is numerically equal to work of the friction forces in one revolution of the rotor:

$$W_1 = U + A_1 = \frac{P^2 \cdot R^2 \cdot E \cdot I}{2 \cdot (2 \cdot E \cdot I + P \cdot R^2)^2} \cdot l + \pi \cdot d \cdot \frac{P^2 \cdot R \cdot \mu}{4 \cdot E \cdot I} \cdot l. \quad (1)$$

The energy expended at the second form of the rotation is numerically equal to the work to overcome the friction forces in one revolution of the rotor and the energy of pressing with spiral bending and the centrifugal forces of rotation [9]:

$$W_2 = \pi \cdot D \cdot \frac{P^2 \cdot R \cdot \mu}{4 \cdot E \cdot I} \cdot l + \frac{q}{g} \cdot \omega^2 \cdot \pi \cdot R \cdot \mu \cdot D \cdot l. \quad (2)$$

In the formulas (1) and (2) the following notation:

U – the elastic energy of helical spiral; A_1 – work of friction forces in one revolution of the rotor; P – axial load; R – well radius; $E \cdot I$ – elasticity of the drill string; l – length pipe string; μ – resistance coefficient between the pipes and the borehole wall; q – weight of unit of length string; g – acceleration of gravity; ω – angular rotation speed of the pipes; D , d – borehole diameter and diameter of the drill pipe.

From the third conditions of rotating of the drill string, when $W_1 = W_2$, can be find the dependence of the moment of resistance to rotation from the axle load:

$$M_c = \frac{1}{8} \cdot \frac{P^2 \cdot R \cdot \mu \cdot D}{E \cdot I} + \frac{1}{2} \cdot R \cdot P + \frac{1}{32} \cdot \frac{q \cdot \omega^2 \cdot d^2 \cdot D \cdot \mu}{R}. \quad (3)$$

According to expression (3) the dependence of the moment of resistance to rotation is determined by a quadratic equation of the value of the axial load, and the square of the angular velocity ω and coefficient of friction μ . It was noted [5, 6, 7], that the moment of friction, in turn, depends on the angular velocity of the drill string ω and coefficient of friction μ .

Calculate the dependence of friction torque with the bending deformation of the drill string and the different angular velocities is extremely difficult, so in Figure 1 shows the experimental dependence of the moment of resistance to rotation.

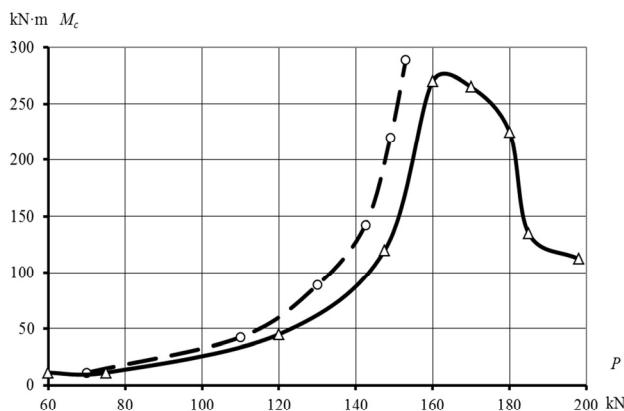


Figure 1 – The dependence of the moment of resistance of the axial load $M_c = f(P)$

The dependence has a distinct falling part with increasing axial load caused by the change in the speed of rotation of the column as a result overlay of relaxation oscillations.

Disruption of mode of operation of the drill string and the occurrence of relaxation oscillations was measured by the variational structure of torque gradient measurement [2, 8].

As noted previously [3, 4], the largest sampling of energy from the engine for the rotation of the drill string occurs at the critical value of the axial load:

$$R_{kp} = \sqrt{\frac{8 \cdot \pi \cdot \mu \cdot E \cdot I \cdot \omega^2 \cdot D \cdot q}{g \cdot (R - 4 \cdot \pi \cdot \mu \cdot r)}}, \quad (4)$$

which is fully consistent with the schedule of the experimental curve $M_c = f(P)$ on figure 1. With further increase of the axial load due to loss of stability of shape drill string under the influence of torque forms the spiral shape of stable equilibrium. Ie, in this case, the stretched portion of the column can be rotated only around the wellbore. Moment of resistance to rotation thus reduced owing to reduction of the moment of friction at the distribution of forces of pressing of large numbers portions of the column of drill pipe to the walls of the well. With an increasing number of bending half wavelengths increases frequency of the relaxation oscillation.

The increase in power consumption on the rotation of the drill string at occurrence of relaxation oscillation leads to disruption of the dynamic equilibrium of the system "drill string – drive". Indeed, according to experimental data at the critical value of axial load of power consumption of energy on rotation of the drill string reaches 57% [3, 4], which is higher than the threshold of energy balance "drive – drill string". Violation of the energy balance can lead to disruption of the dynamic equilibrium system "drill string – drive." To evaluate the dynamic equilibrium is sensible to assess sustainability of the system.

Consider the dynamic conditions of stability of the system "drill string – drive" on the example of the use of the electric drive DC Independent excitation.

The power of the electric drive is made under the scheme thyristor converter-motor (TC-M). Structure of the power part includes: an electric motor, thyristor converter, matching transformer and smoothing reactor (Figure 2).

Management electromechanical characteristics of TC-M system has the form:

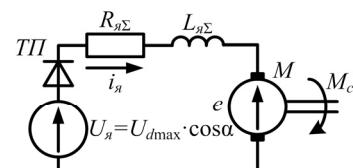


Figure 2 – The equivalent circuit TC-M system

$$\omega = \frac{E_{d\max} \cdot \cos \alpha}{k \cdot \Phi} - I_a \cdot \frac{R_{\alpha\Sigma}}{k \cdot \Phi}, \quad (5)$$

where: $E_{d\max}$ – counter EMF of the armature circuit; k – coupling coefficient; Φ – magnetic flux in the motor circuit; $\cos \alpha$ – motor power factor; $R_{\alpha\Sigma} = R_a + R_k + R_m + R_{s.cp.}$, R_a – motor armature resistance; R_k – switching resistance R_m – active resistance of the transformer; $R_{s.cp.}$ – the average resistance of valves;

The processes of electromechanical energy conversion in the TC-M system are described by the following equations in the operator form of writing:

$$\left. \begin{array}{l} K_{mn} \cdot U_y = (T_{mn} \cdot p + 1) \cdot e_n; \\ e_n - e = R_{\alpha\Sigma} \cdot (T_a \cdot p + 1) \cdot i_a; \\ e = k \cdot \Phi \cdot \omega; \\ M = k \cdot \Phi \cdot i_a; \\ M - M_c = J_1 \cdot \omega \cdot p. \end{array} \right\}, \quad (6)$$

where: U_y – voltage of control on input TC; $K_{mn} = \frac{e_n}{U_y}$ – amplification factor voltage TC;

$T_{mn} = 0,01$ c – small time constant, which consider discreteness, delay and availability of filters in the system phase-impulse control; e , M – counterEMF and electromagnetic torque of the motor; M_c – resistance torque on the motor shaft; J_1 – motor inertia moment.

Structural scheme the open-loop system TC-D has the form shown in Figure 3.

In recording equations by means of the speed of the ideal idling and stiffness of the mechanical characteristics

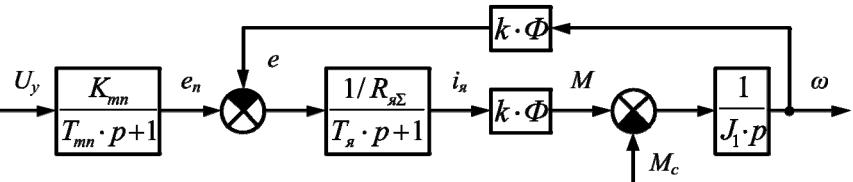


Figure 3 – Structural scheme the open-loop system of electric drive

$$\left. \begin{array}{l} M \cdot (T_a \cdot p + 1) = \beta \cdot (\omega_0 - \omega) \\ K_{mn} \cdot U_y = (T_{mn} \cdot p + 1) \cdot e_n \end{array} \right\}, \quad (7)$$

$$\left. \begin{array}{l} M - M_c = J_1 \cdot \omega_1 \cdot p \\ \omega_0 = \frac{e_n}{k \cdot \Phi} \end{array} \right\}. \quad (8)$$

Structural scheme will be takes the form shown in Figure 4.

For inrush current limiting and torque in the modes when arising for any reason mechanical overload exceed overload capability of the motor, equal to $I_{a,\text{over}} = 2,5 \cdot I_a$, necessary to have an automatic torque limiter, developed by a valid value. Permissible motor torque is

determined by the maximum permissible load mechanism under the terms of the mechanical strength. On the other hand, its multiplicity in relation to the rated torque must not exceed the overload capacity of the motor. Selected of these conditions the torque will be called the retaining torque, and mark as $M_{cmon.}$, and the current, which provides this moment, let's call the retaining current $I_{cmon.} = \frac{M_{cmon.}}{k \cdot \Phi}$.

In the bundled thyristor device used uniform block system of regulators on integrated circuits УБСР-А4. The system consists of unified elements-cells: operational and matching amplifiers, detector with galvanic isolation of input and output circuits, filters of setpoint adjuster, functional converters and power supplies. The cell also includes components for limiting output voltage of amplifiers, one of which is assembled on the transistor and allows you to change limit of voltage of amplifiers in the range 1.5 ... 10 V, and the other - from the diodes and provides a fixed level of limiting.

Parameters of mechanical part of the system.

Gear ratio

$$i_p = \frac{\omega_1}{\omega_6} = \frac{n_1}{n_6},$$

where n_1 , ω_1 , n_6 , ω_6 – frequencies rotational and angular speed of the motor and the drill.

$$i_p = \frac{1000}{500} = 2.$$

The data of drill pipe shown in Table 1.

Table 1
The data of drill pipe shown

Name	Unit of measurement	Value
The outer diameter of the pipe	mm	214
The inner diameter of the pipe	mm	194
The length of pipe	m	12
The weight of unit length of the pipe	kg/m	23,5
Modulus of elasticity	kG/sm ²	$6 \cdot 10^3$

Mass of pipe

$$m = l \cdot \gamma,$$

where l – length of pipe; γ – weight of unit length of the pipe.

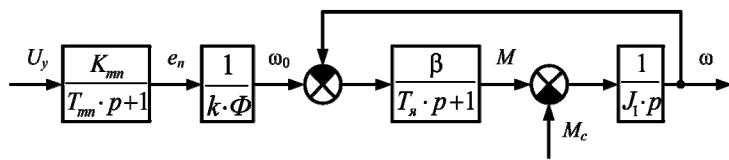


Figure 4 – Transformed structural scheme the open-loop system of electric drive

$$m = 12 \cdot 23,5 = 282 \text{ кГ.}$$

The moment of inertia of the pipe

$$J_{mp} = \frac{m \cdot (D^2 - d^2)}{8},$$

where D, d – outer and inner diameter of the pipe.

$$J_{tp} = \frac{282 \cdot (0,214^2 - 0,191^2)}{8} = 0,325 \text{ кГ} \cdot \text{м}^2.$$

The torsional rigidity of the pipe

$$c_{mp} = \frac{\pi \cdot G \cdot (D^4 - d^4)}{32 \cdot l},$$

where G – modulus of elasticity.

$$c_{mp} = \frac{3,14 \cdot 8 \cdot 10^8 \cdot (0,214^4 - 0,191^4)}{32 \cdot 12} = 500 \cdot 10^3 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}.$$

Under load, in the transmission of torque in the kinematic scheme "output shaft - operating element" radial forces arise, which lead to bending deformations of the pipe string. In the absence of sufficient data, we assume that the torsional pliability (the value inverse to) will be equal to the bending. Then equivalent pliability of the pipe will be equal to the sum of torsional and flexural pliability. The value of the equivalent stiffness of the pipe in such a condition will be:

$$C_{\vartheta,mp} = \frac{c_{mp}}{2} = \frac{500 \cdot 10^3}{2} = 250 \cdot 10^3 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}.$$

The total moment of inertia of the pipe string is determined by expression

$$J_{\kappa} = \frac{l_{\kappa} \cdot J_{mp}}{l_{mp}} = \frac{1000 \cdot 0,325}{12} = 27,1 \text{ кГ} \cdot \text{м}^2.$$

The total hardness coefficient

$$C_{\vartheta,mp} = \frac{l_{mp} \cdot C_{\vartheta,mp}}{l_{\kappa}} = \frac{12 \cdot 250 \cdot 10^3}{1000} = 3 \cdot 10^3 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}.$$

In the transition to a two-mass system, design scheme "electric drive – pipe string – working body" is shown in Figure 5a.

To go to the circuit shown in Figure 5b, necessary adduction the moment of inertia and rigidity coefficient to the motor shaft, while considering that the transfer the engine - output shaft of reductor is absolutely rigid.

The resulted to the motor shaft, moment of inertia of the pipe string is equal

$$J'_{\kappa} = \frac{J_{\kappa}}{i^2} = \frac{27,1}{2^2} = 6,8 \text{ кГ} \cdot \text{м}^2.$$

The reduced hardness

$$C'_k = \frac{C_k}{i^2} = \frac{3 \cdot 10^3}{2^2} = 0,75 \cdot 10^3 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{rad}}.$$

Then, in the final design scheme of mechanical part in Figure 5c

$$J_1 = J_1 + \frac{J'_k}{2} = 175 + \frac{6,8}{2} = 178,4 \text{ kG} \cdot \text{m}^2;$$

$$\text{kG} \cdot \text{m}^2; J_2 = \frac{J'_k}{2} = 3,4 \text{ kG} \cdot \text{m}^2;$$

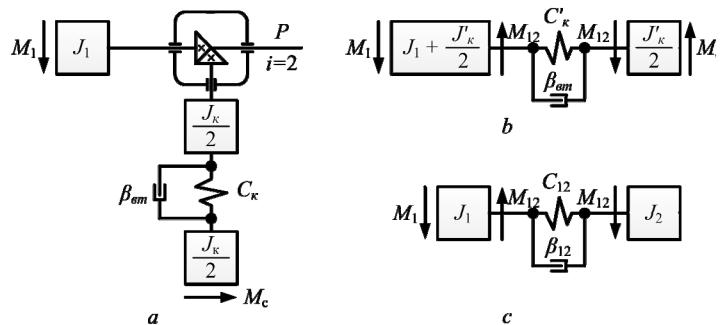


Figure 5 – Initial (a), the reduced (b) and the final (c) the calculated scheme of the mechanical part of the system "electric drive – pipe string – working body"

$$C_{12} = C'_k = 0,75 \cdot 10^3 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{rad}}.$$

The angular frequency of natural oscillations of the considered mechanical part of system

$$\Omega_{12} = \sqrt{\frac{C_{12} \cdot (J_1 + J_2)}{J_1 \cdot J_2}} = \sqrt{\frac{0,75 \cdot 10^3 \cdot (178,4 + 3,4)}{178,4 \cdot 3,4}} = 15 \frac{\text{rad}}{\text{s}}.$$

Period of natural oscillations

$$T_{12} = \frac{2 \cdot \pi}{\Omega_{12}} = \frac{2 \cdot 3,14}{15} = 0,42 \text{ s.}$$

Linear frequency of natural oscillations

$$f_{12} = \frac{1}{T_{12}} = \frac{1}{0,42} = 2,38 \text{ Hz.}$$

Figure 6 shows a complete scheme of the system "drill string – drive".

Given the schemes of drive (Figures 4, 5c, and 6), as well as simulation of DC motor drives [1] and the construction of the structure of the drill string [3, 4] carried out the construction

of the overall structure of the "drill string - drive", examining the drill string as a two-mass model, with taking into account the expressions 5-8 (Figure 7).

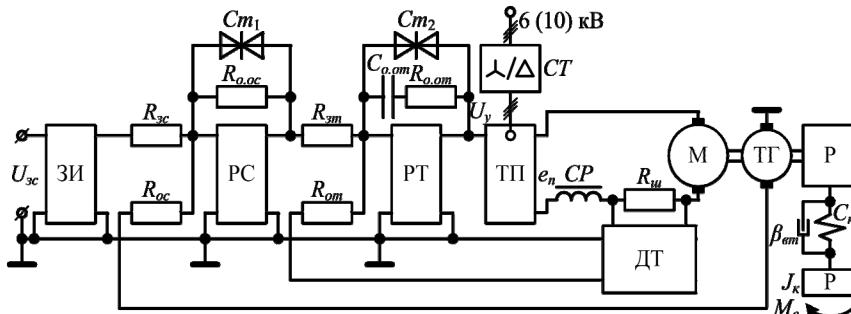


Figure 6 – Scheme a subordinate current control and speed in the system TC-D

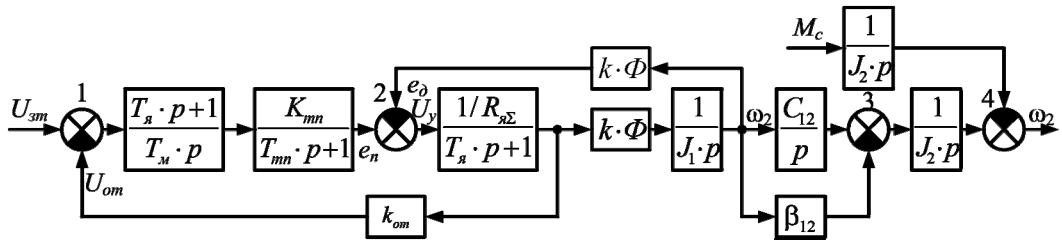


Figure 7 – Structure scheme of the system "drill string – drive"

Here, on the input of the system supplied specific voltage U_{3m} , which determine modal parameter rotational speed of the drive shaft ω_1 . Stabilization of angular velocity is implemented using slave control system with the converter k_{om} in the feedback loop. The electromechanical circuit DC motor includes:

- unit of electromechanical conversion with a transfer function $W_{\alpha n}(p) = \frac{T_a \cdot p + 1}{T_m \cdot p}$;
- unit of thyristor converter type "thyristor converter – drive" TC-D with the transfer function $W_{mn}(p) = \frac{k_{mn}}{T_{mn} \cdot p + 1}$;
- unit of armature circuit $W_{\alpha u}(p) = \frac{1 / R_{\alpha\Sigma}}{T_a \cdot p + 1}$.

Control voltage of the thyristor is defined as $U_y = e_n - e_o$ and read with a feedback adder 2. Output drive circuit consists of a torque converter $k \cdot \Phi$ and the inertial mass of the drive shaft $\frac{1}{J_1 \cdot p}$. The structure is covered feedback with torque conversion in the the EMF.

The mechanical part of drive and drill string are determined by elasticity C_{12} , viscous friction β_{12} , moment of inertia of the second mass J_2 . In the adder 4 is supplied the moment of resistance, which takes into account dissipative forces M_c .

Operator polynomial open-loop system with reduced transformations and lowering order with respect to the moment of resistance can be written as M_c can be written as

$$a_0 \cdot p^3 + a_1 \cdot p^2 + a_2 \cdot p + a_3 = 0, \quad (9)$$

where, taking into account the given numerical data, $a_0 = 3,4$; $a_1 = 197$; $a_2 = 49,82$; $a_3 = 9418$ – для глубины проходки скважины 1000 м.

Moment of inertia of the second mass for this case is $J_2 = 3,4 \cdot 10^3 = 3400 \text{ kG} \cdot \text{m}^2$.

We define the stability of the system, using the criterion of Routh-Hurwitz.

The determinant of the third order:

$$\Delta_1 = |a_1| = |197| = 197 > 0;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 197 & 9418 \\ 3,44 & 49,82 \end{vmatrix} = -22206,66 < 0;$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 197 & 9418 & 0 \\ 3,4 & 49,82 & 0 \\ 0 & 197 & 9418 \end{vmatrix} = -209142324 < 0.$$

Determinants of the second and third order are negative, hence, the system "drill string - drive" in the drilling operation is unsustainable at specified values. It will be appreciated that the coefficient a_3 determined mainly by the value of the moment of inertia, and the ratio - value of the moment of inertia J_2 , and the ratio a_2 – value of the moment of inertia J_1 . The moment of inertia J_2 is a variable quantity and depends on the depth of penetration wells. Obviously, it is possible to find such length of the drill string, at which the the stability boundary of the system occurs. At the same time the first mass moment of inertia remains constant. This case corresponds to equality:

$$a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 = a_0 \cdot a_3 \cdot a_3, \quad (10)$$

from whence, $a_3 = 2887$, which corresponds to depth of the penetration well

$$l = \frac{2887}{2,77 \cdot 3,4} = 306,4 \text{ m.}$$

The ratio of the moments of inertia in this case $m = \frac{J_1}{J_2} = \frac{178,4}{3,4 \cdot 306,4} = 0,17 \approx 0,2$.

It is obvious that for the mode of drilling by an adequate margin of stability, conditions must be observed $J_1 > 0,2 \cdot J_2$

$$J_1 > 0,2 \cdot J_2, \quad (11)$$

Inasmuch as J_2 determined by the depth of penetration, and J_1 for this particular drive is a constant value, that limit value J_1 should be determined by from the condition (3) for the maximum penetration depth and, if necessary, ground part of the drive must be equipped with additional flywheel.

Conclusions:

1. Relaxation oscillations in the system "drill string - drive" appear as a result a violation of the dynamic equilibrium of the system.
2. The dynamic equilibrium system "drill string - drive" determined by the stability of this system.
3. To ensure the stability of the system "drill string - drive" must be observed inequality:

$$\frac{J_1}{J_2} > 0,2.$$

4. Relaxation oscillations in the "drill string - drive" the system can be compensated for through increasing the moment of inertia of the motor drive, for example, the use of a flywheel.

5. Decrease of relaxation oscillations promotes to decrease of the mass of bottom hole assembly, which leads to a substantial reduction of the kinetic energy of the mass m_2 and to a corresponding decrease J_2 .

REFERENCE

1. **Perminov B. A. Perminov V.B., Chumakova N.V., Yagubov Z.Kh., Yagubov E.Z.** Modeling of DC electric drive drilling rig // Concept. – 2015. – Modern scientific research. Issue 3. – ART 85070. – URL: <http://e-koncept.ru/2015/85070.htm>. – ISNN 2304-120X.
Перминов Б.А. Перминов В.Б., Чумакова Н.В., Ягубов З. Х., Ягубов Э.З. Моделирование электропривода постоянного тока буровой установки // Концепт. – 2015. – Современные научные исследования. Выпуск 3. – ART 85070. – URL: <http://e-koncept.ru/2015/85070.htm>. – ISNN 2304-120X.
2. **Perminov B.A. Perminov V.B., Yagubov Z.Kh.** Matching of the inertial properties of variational measurement structure the gradient of torque with drilling control system // Building oil and gas wells on land and at sea. 2015. № 9. Р. 10-14
Перминов Б.А. Перминов В.Б., Ягубов З.Х. Согласование инерционных свойств вариационной структуры измерения градиента крутящего момента с системой управления бурением // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2015. № 9. С. 10-14
3. **Tshadaya N.D., Perminov B.A. Perminov V.B., Yagubov Z.Kh., Yagubov E.Z.** Analysis of the beats of drill string in the process of deepening wells // Oil and gas business. 2015. № 6. Р. 33-56.
Цхадая Н.Д., Перминов Б.А. Перминов В.Б., Ягубов З.Х., Ягубов Э.З. Анализ биений бурильной колонны в процессе углубления скважины // Нефтегазовое дело. 2015. № 6. С. 33-56.
4. **Tshadaya N.D., Perminov B.A. Perminov V.B., Yagubov Z.Kh., Yagubov E.Z.** Influence of the beats of drill string on the mechanical speed of penetration of well // Oil and gas business. 2015. № 6. Р. 57-74.
Цхадая Н.Д., Перминов Б.А. Перминов В.Б., Ягубов З.Х., Ягубов Э.З. Влияние биений бурильной колонны на механическую скорость проводки скважины // Нефтегазовое дело. 2015. № 6. С. 57-74.
5. **Yagubov Z.Kh., Perminov B.A. Perminov V.B., Bykov I.Yu., Zaikin S.F., Poletaev S.V.** Process control method of drilling and the system for its realization // patent RU 2569652 C1. Priority: by 16.05.2014. Published: 27.11.2015. Bulletin № 33.
Ягубов З.Х., Перминов Б.А., Перминов В.Б., Быков И.Ю., Заикин С.Ф., Полетаев С.В. Способ управления процессом бурения и система для его осуществления // патент RU 2569652 C1. Приоритет: от 16.05.2014. Опубликовано: 27.11.2015. Бюлл. № 33.
6. **Yagubov Z.Kh., Perminov B.A. Perminov V.B., Poletaev S.V.** Process control method of drilling and the system for its realization // patent RU 2569651 C1.
Priority: by 16.05.2014. Published: 27.11.2015. Bulletin № 33.
Ягубов З.Х., Перминов Б.А., Перминов В.Б., Полетаев С.В. Способ управления процессом бурения и система для его осуществления // патент RU 2569651 C1. Приоритет: от 16.05.2014. Опубликовано: 27.11.2015. Бюлл. № 33.
7. **Yagubov Z.Kh., Perminov B.A. Perminov V.B., Poletaev S.V.** Process control method of drilling and the system for its realization // patent RU 2569656 C1. Priority: by 16.05.2014. Published: 27.11.2015. Bulletin. № 33.

- Ягубов З.Х., Перминов Б.А., Перминов В.Б., Полетаев С.В.** Способ управления процессом бурения и система для его осуществления // патент RU 2569656 C1. Приоритет: от 16.05.2014. Опубликовано: 27.11.2015. Бюлл. № 33.
8. **Perminov B.A., Perminov V.B., Yagubov Z.Kh** Analysis of the variational structure of the dynamic measurement of torque gradient // Building oil and gas wells on land and at sea. 2015. № 8. С. 15-18.
- Перминов Б.А., Перминов В.Б., Ягубов З.Х.** Анализ вариационной структуры динамического измерителя градиента крутящего момента // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и море. 2015. № 8. С. 15-18.
9. **Bykov I.Yu., Perminov B.A. Perminov V.B., Yagubov Z.Kh., Yagubov E.Z.** Manageability well deepen the process // Petroleum Engineer. 2015. № 1. Р. 12-15.
- Быков И.Ю., Перминов Б.А. Перминов В.Б., Ягубов З.Х., Ягубов Э.З.** Управляемость процесса углубления скважины // Инженер-нефтяник. 2015. № 1. С. 12-15.
10. **Tshadaya N.D., Perminov B.A. Perminov V.B., Yagubov Z.Kh., Yagubov E.Z.** Stability of the drill string in the well deepening mode // Oil and gas business. 2014. № 12-3. Р. 29-36.
- Цхадая Н.Д., Перминов Б.А. Перминов В.Б., Ягубов З.Х., Ягубов Э.З.** Устойчивость бурильной колонны в режиме углубления скважины // Нефтегазовое дело. 2014. № 12-3. С. 29-36.

"QAZIMA BORUSU – İNTİQAL" SİSTEMİNDƏ ENERJİ GÖSTƏRİCİLƏRİNİN NİSBƏTİ

B.A. PERMİNOV, V.B. PERMİNOV, Z.X. YAQUBOV, E.Z. YAQUBOV

Məqalə qazima rejimində qazima borularının enerji vəziyyətinin paylaşdırılmasının tədqiqatına və sistemin dinamik tarazlığının saxlanması üçün vacib şərtlərin təyininə həsr edilmişdir. Göstərilmişdir ki, yuxarı hissənin kinetik enerjisindən yuxarı borunun aşağı hissəsində potensial enerjinin yığımı həmişə sistemdə relaksasiya rəqslərinin yaranmasını təhrik edir.

İş rejiminin dinamik dayanıqlığının artımı üçün, boru intiqalının ətalət momentini artırmağa və boru ucunun kütləsini azaltmaq tövsiyə olunur.

Açar sözlər: relaksasiya rəqsləri, dinamik dayanıqlıq, forma dayanıqlığı, deformasiya enerjisi, müqavimət momenti.

СООТНОШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ «БУРИЛЬНАЯ КОЛОННА – ПРИВОД»

Б.А. ПЕРМИНОВ, В.Б. ПЕРМИНОВ, З.Х. ЯГУБОВ, Э.З. ЯГУБОВ

Работа посвящена исследованию перераспределения энергетических состояний бурильной колонны в режиме бурения и определению необходимых условий для сохранения динамического равновесия системы. Показано, что накопление потенциальной энергии в нижней части колонны выше кинетической энергии верхней части всегда провоцирует возникновение релаксационных колебаний в системе.

Даётся рекомендация для повышения динамической устойчивости режима работы увеличивать момент инерции привода колонны и уменьшать массу низа колонны.

Ключевые слова: релаксационные колебания, динамическая устойчивость, устойчивость формы, энергия деформации, момент сопротивления.

TRANSPORTATION OF MAZUT USING CAVITATION TECHNOLOGIES

V.H. NURULLAYEV*

The paper studies the physical-chemical and rheological properties of mazut, the scientific methods of influencing the admixtures with abnormal properties, an information on the development of new technologies providing the efficiency of admixtures and technologies. The stability of mazut is a most important indicator, that means the ability not to break and separate into two distinct phases – mazut and water.

The physical and chemical properties of mazut and oil products found in Azerbaijan reservoirs at the border of cavitation zone are tested in the laboratory conditions, the results of analysis are given in the tables. The analyses show that a usage of the cavitation technologies with respect to mazut and oil products can improve their rheological and quality indicators. On the basis of these facts it is established the efficiency of using the cavitation technologies for the transportation of mazut.

Key words: cavitation, flash point, asphaltenes, mazut transport, bubbles, cracking.

Introduction. Specifics of pipeline transport of fuel oil are defined by its special chemical composition, structural and mechanical properties, the increased viscosity, high temperature of hardening, anomaly of a curve of a current. Fuel oil is developed from coal, slates, but generally it receive from oil in the course of its direct distillation or at high-temperature processing of intermediate fractions. Cracking fuel oil contains products of deeper oil refining, than straight-run. Quality of oil fuel oil is regulated by GOST 10585 by which distinguish naval F5 and F12 fuel oil, M40 and M100 fuel oil, including fuel oil with the State Quality mark of M40B and M100B. The brand of fuel oil is determined by its conditional viscosity at 50°C, but sometimes and at temperatures of 75 and 80 of °C. Except the naval and furnace special oven fuel oil for metallurgical industry is developed. Depending on density and viscosity distinguish average M40 and M40B easy for F5 and F12 and heavy M100 fuel oil, and according to the content of sulfur – low-sulphurous, sulphurous and high-sulphurous. The properties of fuel oil established by standards are provided with compounding of the remains of oil processing with low-viscous fraction. On the elementary structure oil, fuel oil coincides with initial oil, but differs in the lowered percentage of carbon and hydrogen. Warmth of combustion of oil fuel oil in terms of solid fluctuates on average from 39900 to 41460 kJ/kg and above for light low-sulphurous fuel oil. Flash temperature in an open crucible varies from 90 and 110 °C and in the closed crucible it is 20-40 °C less, temperature of ignition makes 500-600 °C.

* Management oil pipelines “SOCAR”

Density of fuel oil of direct distillation is equal 880-950 kg/m³, but at flood is slightly higher, and because of similarity of density of fuel oil and water its bullshit is complicated. Density cracking fuel oil about 1015 kg/m³, but can reach 1060 kg/m³, with increase in temperature density decreases approximately by 6 kg / m³ in everyone 10 °C.

The thermal capacity averages 2,2 kJ/(kg.°C) and depending on change of temperature changes ranging from 1,6 to 2,5 kJ/(kg.°C). The coefficient of heat conductivity changes within 0,1-0,16 W/(m°C), and its average value makes 0,14 W/(m°C).

Viscosity of fuel oil strongly depends on temperature and can double at decrease in temperature on 10 °C. In such conditions the current of fuel oil qualitatively doesn't differ from a current of usual homogeneous liquid and corresponds to Newton's equation, however demands the raised energy expenses as large viscosity of fuel oil is much higher than viscosity of light oil products [1].

Water contains in fuel oil in quantity from 0,5 to 1,0 % but if at plum open steam is used, water content of fuel oil can reach 3-5 %. During the transporting and storage in capacities quality of fuel oil changes. As a result of continuous oxidation, polymerization, chemical reactions, hydrocarbons of fuel oil turn into the firm products which are dropping out in a deposit.

In cold weather during a warming up of railway tanks sharp steam, the content of water in fuel oil can reach 10-15%. During further storage fuel oil is in addition flooded by atmospheric moisture. Analyses of quality of the fuel oil which is stored in capacities on one of oil depots showed that the content of water in the tests which are selected at the level of 4-5 m from the bottom reaches 5%, and in benthonic layers of-12 %.

Therefore, research of physical and chemical and rheological properties of fuel oil, scientific search of methods of impact on properties of the mixes having abnormal physical and chemical properties development of the new technologies providing profitability of their preparation, and technical means for implementation of these technologies are a paramount task. For black oil emulsions the most important indicator is their stability, that is ability during certain time not to collapse and not to be divided into two forming phases - fuel oil and water. In the conditions of formation of black oil emulsions when transporting fuel oil on limit of the section fuel oil – water can exist more long time of a drop of water therefore the emulsion water in fuel oil is formed. From the thermodynamic point of view water fuel oil emulsions belong to unstable systems [2].

Materials. Taking into account stated, the disperse system formed by liquids with such various properties what are possessed by fuel oil and water has to be the extremely unstable and possess the life time limited minutes. Actually, water black oil emulsions with which it is necessary to deal in trade practice, possess stability, expressed life time in hours, days, and in certain cases emulsions aren't stratified for years.

Studying of the mechanism of stabilization of water fuel oil emulsions allowed to draw a conclusion that stability of emulsions depends not so much on the quantitative maintenance in them of asphalten, how many from that in what state they are. It was established that possess the greatest emulsifying ability of an asphalthena in the colloid-dispersion state which is

coming nearer to a point of their flokulyation, loss from solution. The main factors defining a condition of an aspalthen fuel oil are their hydrocarbonic structure and existence of substances — the deflokulyant interfering coagulation of ashpalthen.

Various mechanical suspensions which are surely present at production have also great influence on increase of stability of water black oil emulsions.

It is possible to explain with the considered features of the mechanism of a current of paraffinic and no parafins fuel oil distinctions of their behavior near hardening temperature. So, cracking remains, not incorporating paraffin, keep the fluidity though which is strongly lowered at a temperature, the smaller maximum temperature of hardening. The analysis of curves of a current of fuel oil, shows that at a temperature over 40-50 of $^{\circ}\text{C}$ fuel oil behaves as the Newtonian liquid, and at lower temperature are noted characteristic for pseudo-plastic liquids of feature.

Deviation degree from the Newtonian properties at different fuel oil various, but at a temperature over 30-40 of $^{\circ}\text{C}$ in general remains small. In the field of temperatures less than 30-40 $^{\circ}\text{C}$ current of fuel oil coincides with a current linearly and nonlinear and viscoplastic liquids.

Noted features of fuel oil as the transported environment define not only economic feasibility, but also technical capability of its transportation through pipelines. Proceeding from it the technology of pumping of fuel oil in the basis coinciding with technology of pumping of low-viscous liquid water, oil, becomes complicated introduction of the operations providing decrease in energy of pumping of fuel oil to expedient level.

Pumping of fuel oil in a ring wall layer from low-viscous liquid, according to this way, high-viscosity and low-viscous liquids move in the pipeline in such a way that liquid with smaller viscosity forms a steady ring in which high-viscosity liquid moves at pipe walls. Increase of capacity at the expense of increase in thickness of a wall layer is smaller than its decrease caused by reduction of a share of high-viscosity liquid in the general stream. Therefore the volume content of low-viscous liquid isn't recommended to increase over 40-45%. Minimum content is limited mainly to stability of a wall layer and makes about 10%. As low-viscous liquid it is possible to apply water, low-viscous oil or oil products, water solution of a high-molecular polymeric compound, for example, ethylene alkohol-oxides, polymers and copolymers of vinyl alcohol, solutions of polymers of acrylamides in combination with the lowest alkilakrilata or methacrylates.

The main difficulty arising when pumping fuel oil in this way consists water in fuel oil which viscosity can be above initial high-viscosity liquid is in danger of violation of integrity of a ring from the low-viscous environment, and also in possibility of education, in case of use of water or water solutions of an emulsion.

Process of storage of fuel oil as reserve fuel often comes to an end with that the need for it occurs later, than expires the regulated period of storage. As a result of evaporation of easy fractions fuel oil loses the standards up to total loss of ability to burning. The technology of cavitation processing of sub-standard fuel oil with its transformation to a homogeneous, resistant fine emulsion with a complete recovery of necessary physical characteristics is of-

ferred. The received emulsion can be again put on storage. In a year processing is recommended to be repeated.

Results and Discussion. As a result not only the resources spent for updating of reserve fuel are saved but also the problem of utilization of sub-standard fuel oil is removed. Process fuel oil plum from tanks in a cold season is characteristic use of steam in quality the heat carrier for its warming up. As a result water content of fuel oil considerably increases and energy-intensive technologies of thermal upholding with the subsequent drainage of oil-contaminated waters are applied further to its decrease to standard sizes. The technology of creation of the water-black oil emulsion (WBOE) guaranteeing reliable operation of the heat unit at water content of fuel to 30 % and excluding operation of thermal upholding of the flooded fuel oil is offered. As a result not only the resources spent for warming up of fuel oil in the course of upholding are saved but also the problem of collecting, cleaning and utilization of oil-contaminated commercial waters is removed. Process of preparation of fuel oil for burning in coppers and technological furnaces is rigidly regulated regarding temperature of heating of the fuel coming to torches. The offered technology of preparation and burning of the water-black oil emulsion (WBOE) allows significantly (on 40-50 °C) to reduce fuel temperature when giving on torches, providing necessary quality of a torch with a secondary raspyl of WBOE micro explosions of the water droplets containing in it, to refuse use couple for a raspyl of fuel oil to provide self-cleaning of surfaces of heating in coppers.

Process of burning of WBOE is characterized by decrease in thermal losses from a chemical and physical nedozhog, and also reduction of losses with the leaving gases owing to decrease in coefficient of excess of air. Thus, use of technology of preparation and burning of WBOE reduces expenses of energy resources on heating of the given fuel, increases efficiency of the boiler equipment and reduces a specific expensedry fuel oil [3-5]. Existence at the enterprise of liquid hydrocarbonic waste or illiquid assets will allow to use them as components of the water-fuel composition (WFC) on the basis of fuel oil. The offered technology of preparation and burning of VTK will give the chance to replace part of regular fuel oil with cheaper raw materials and, thereby, to cut a specific consumption of regular fuel and product cost. The offered technology of preparation and burning of a water black oil emulsion WBOE completely removes a problem of collecting, cleaning, storage and utilization of the commercial waters polluted by oil products. Process of burning of WBOE in fire chambers of coppers and technological furnaces differs from burning of standard fuel oil in reorganization of a torch, replacement from a high-temperature zone of burning of free nitrogen of air and burning of excess of air practically to a stekhiometriya. In general it leads to decrease in emission of nitrogen oxides by 30-40 %. The effects of secondary dispersing realized when burning by WBOE reduce, practically to zero, chemical and physical (soot education and issue benz(a)pyrene) didn't burn up from fuel. The main objective of oil refinery is increase of efficiency of oil refining, including increase in the output of light oil products. At oil refineries technology of allocation from oil of light fractions is cracking (thermal, catalytic or hydrocracking) which cornerstone phase transitions, characteristic for oil disperse systems are. It is possible to influence kinetics of phase transitions chemicals (surface-active substances - surfactant, additives, etc.) and physical

fields (thermal, electromagnetic, hydrodynamic, etc.). As a result of such intervention the radius of a kernel and thickness of the adsorptive solvate covers of difficult structural unit which is an element oil disperse changes systems. The offered technology of cavitated processing of oil before cracking accelerates diffusion of oil in a paraffin cavity, intensify process of its destruction. Acceleration of dissolution of paraffin goes at the expense of an intensification of hashing of oil on border oil-paraffin and actions of impulses of pressure which as if spray paraffin particles. Oil activation by a cavitated field leads to increase in an exit of light fractions by 5 % – 25 %. The problem of pipeline transportation of paraffin of the containing oil is connected with its low fluidity and rather high temperature of hardening. The technology of cavitated processing of oil at a stage of its preparation for transportation through the oil pipeline is offered. Intensive cavitated impact by means of a disperser on the paraffin and asphaltic components containing in oil leads to their partial destruction and increase of degree of dispersion. As a result viscosity of oil decreases by 15-20 %, temperature of hardening goes down on 15-20 °C, deposits of paraffin on walls of oil pipelines becomes less intensive. Application of technology allows to improve conditions and to increase process productivity pipeline transportation of oil to cut a specific consumption of depressor additive. Modern requirements to quality of a paving bring a new type of the bituminous to the market knitting for production of asphalt concrete mixes. These are the polymeric and bituminous knitting (PBK) – bitumen, modified by block copolymers of butadiene and styrene. The existing technologies of receiving PBV based on use as the reactor mixer of colloidal mills are unproductive (5-8 m³/hour), energy-intensive (to 160 KW/hour), demanding introduction to bitumen expensive softener – industrial oil.

Process of hydrodynamic cavitated processing is carried out in the special device a passive hydrodynamic disperser due to the directed and adjustable transformation of potential and kinetic energy of a stream of the liquid which is forcibly pumped over by the hydraulic the pump via the reactionary camera of a disperser. The specified transformations of energy in special zones of a hydrodynamic disperser process of formation of gas, or steam-gas cavitated bubbles (cavities) which in the subsequent at increase of local hydrostatic pressure in liquid are closed results and is supported (collapse). Closing of cavitated bubbles is followed by intensive shock wave processes with emergence of local zones of ultrahigh pressure and temperatures (tens – hundreds of thousands atmospheres and degrees of C, respectively) and the cumulative (sharply directed) pointed shock impact on nearby sites of liquid, surrounding a zone of a collapse of a cavitated bubble [6-7]. Cavitated process in a passive hydrodynamic disperser is realized in such a way that all the shock and wave phenomena occur directly in a liquid stream, without mentioning material of the case and elements of a cavitated lattice of the reactionary camera, than absence of a cavitated erosion and durability of a design of a disperser is providedIn the course of pointed shock and wave influence there are structural and molecular changes in the difficult molecules, agglomerates and the globuls which are initially present at transportion liquid destruction of organic and mineral impurity. The processes accompanying cavitation warm and a mass transfer, and also lead the jet currents arising further on a stream of liquid to intensive hashing and dispersing of multicompo-

uent immiscible liquids and firm inclusions with education homogeneous and resistant in time to stratification of fine emulsions and suspensions. Basic element of the offered resource-saving technologies is passive hydrodynamic cavitational dispersgator of own development.

The energy which is distinguished in the course of a collapse of a bubble has enough for excitement, ionization and dissociation of molecules of liquid, gases and substances with high elasticity of steam in a cavitational cavity. Part from them, for example, destruction and dispersgating of solid bodies, emulsification of liquids, cleaning are obliged by the origin to blows at a to slam of cavities and to microstreams near bubbles. Other effects, for example, calling and acceleration of chemical reactions are connected with ionization at formation of cavities. Cavitational processing allows to increase an exit of fractions at an identical temperature of an fraction. From here it is possible to draw a conclusion that the hydrodynamics and the ultrasonic fluctuations created by it accelerate diffusion of oil in a paraffin cavity, intensify process of its destruction. Acceleration of dissolution of paraffin goes at the expense of an intensification of hashing of oil on border oil-paraffin and actions of impulses of pressure which as if spray paraffin particles.

In the course of cracking the energy which is distinguished at a collapse of cavitational bubbles is used for a rupture of chemical bonds between atoms of big molecules of hydrocarbonic connections. Energy of a rupture of communications changes in hydrocarbons over a wide range, approximately from 40 to 400 kJ/mol. Durability of communication of C₂-H is less, than C-H, atom of hydrogen it is easier to tear off in the middle of a molecule of normal paraffin, than since the end. Energy of a rupture of the C-C communications in molecules of normal paraffin also decreases to the middle of a carbon chain a little, i.e. long hydrocarbonic molecules are automatically broken off in a middle part [8].

Process of cracking proceeds in all oil products. As cavitational bubbles can be generated by means of intensive acoustic radiation in any liquids, it is possible to assume that the rupture of chemical bonds, thus, can be carried out in any chemical compound at intensity of a sound of the corresponding durability of binding energy. In a place of break of a chemical bond any radical has to be connected. At a lack of free radicals of the reactionary environment of a molecule with nonsaturated communication can be curtailed in a ring, forming cyclic or aromatic connections.

The analysis of samples showed that after cavitational processing extent of transformation of any class of organic compounds was insignificant and didn't exceed 1,1 %. Products of cavitational influence are normal alkanes and their isomers and products of an avtookislena oxygen-containing derivatives of the processed organic substrata which are formed as a result of oxidation of an organic phase by the oxygen dissolved in it. On the basis of the obtained experimental data the assessment of power efficiency of cavitation when carrying out cracking of alkanes which made 0,002% is made. Thus, cavitation use directly for initiation of chemical transformations in processes of cracking of various organic compounds. Impact of cavitation is shown first of all in effects of heating of the processed liquids and an intensification the termoliz of processes in them. At a collapse of cavitational bubbles for very short time (less than 1 micro sec.) temperature reaches some thousands of degrees Celsius and pressure more than

1000 atm. develops. Thus, directly in a stream the conditions for oil processing stated above are created. In a consequence of big stability of working frequencies high uniformity of a ready-made product is reached and the output of light oil products to 3-5% raises. It should be noted that this technology allows not to dehydrate crude oil which contains to 20% of water, and, subjecting it to impact of ultrasonic cavitation, to involve in a row the chemical reactions leading to formation of alcohols simple and esters, thus calorific properties of fuel at decrease in its prime cost increase [9,10].

The pilot studies conducted by us show that, when passing through a cavitation zone rheological properties of the Azerbaijani fuel oil improve.

Experiments were made on the device of the cavitation influence established on the line of the pipeline which is the hollow cylindrical case of variable section including the smooth narrowing providing cavitation emergence (figure 1.2). The working part of a hydrodynamic pipe serves for obtaining high speeds of a stream at which pressure falls to value of pressure of saturated steam. Cavitation arises as on the examinee the sample placed in this part of a pipe and on walls of the pipe here. Essential advantage of this method in comparison with others is that circumstance that here we deal with true hydrodynamic cavitation.

Results of the preliminary mathematical modeling and comparison of efficiency of two accepted models of the flowing channel are presented in the table 1.

From results of numerical modeling of a current of liquid it is visible that at low numbers of Reynolds (number 1 and 5) of the running stream cavitation not it is formed, and, respectively, there are no conditions of wave cavitation processing.

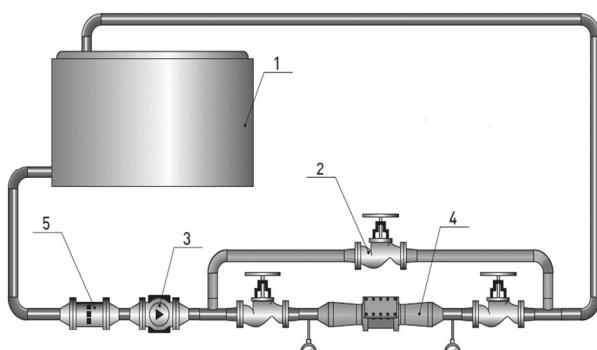


Figure 1. Fuel oil circulation when processing by a cavitator.

1. Tanks for fuel oil storage.
2. Shutoff valves.
3. The pump giving.
4. Cavitator.
5. Filters of thin cleaning.

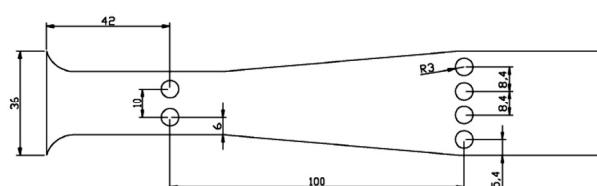


Figure 2. Cavitator for fuel oil.

At increase in Re_{in} there is a growth of a zone of cavitation behind the first row cylinders, but behind the second row the cavitation zone is practically absent. At further increase in Re_{in} behind the second row of cylinders the zone is sharply formed continuous cavitation (it in the table is designated as ∞), which extends on all settlement area.

When modeling it is received that with growth of speed the running stream there is a growth of cavitation zones, so far at some value of speed behind the second row of cylinders the zone the continuous isn't formed cavitations.

Table 1.

Results of preliminary mathematical calculation

Nº	№ Variant	g _{in} m/s	Re _{in} x10 ⁵	g _{max} m/s	P _{in} atm.	v _{vs} 1/c, x10 ³	Re x10 ⁵	Lz ₁ m	Lz ₂ m
1	1	7,32	1,61	19,43	2,21	0	0,88	0	0
2	1	10,25	2,26	28,48	4,34	0,75	1,23	0,019	0
3	1	15,85	3,49	41,38	7,89	0,89	1,90	0,023	0,01
4	1	19,20	4,22	50,61	12,85	1,31	2,30	0,041	∞
5	2	7,66	1,69	18,33	2,21	0	0,46	0	0
6	2	11,29	2,48	28,22	4,34	0,81	0,67	0,005	0
7	2	15,45	3,40	38,63	7,89	0,98	0,93	0,006	∞

g_{in} - Average speed of the running stream before the first row of cylinders; v_{vs} - Frequency of failure of whirlwinds; Lz₁ - The cavitation zone size after the first row of cylinders; Lz₂ - The cavitation zone size after the second row of cylinders.

Though for the first row of cylinders at identical input parameters (number 3 and 7) the cavitation zone, which size, according to authors is formed is more optimum from the point of view of intensity of coarse cavitation processes that promotes creation of the fine qualitative emulsion.

For the accounting of features of hashing in flowing paths it is chosen the criterion of hashing of D_Q based on impurity consumption size the output section carried to a liquid consumption through a continuous platform for the set time interval:

$$Q_i = \frac{S_i}{q_i}, \quad M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i, \quad \sigma_Q = \frac{1}{M} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - M)^2}, \quad D_Q = 1 - \frac{1}{1 + \alpha \cdot \sigma_Q},$$

Where S_i - the area of the markers which passed through h platform in time a, q_i - a consumption of the liquid passing through n platform during δ_t, Q_i - dimensionless consumption of mix during δ_t, n - number of single platforms, M - Q_i - population mean of size, α = 1/3 – the scalar calibration parameter.

After end of the transitional stage connected with start of a current the behavior of vortex structures accepts the pronounced periodic character. It is shown and in dynamics of criterion of D_Q, which for everyone the own period has currents.

Results of a pilot study are shown in the table 2.

Irreversible changes of viscosity, pressure of saturated steam, shares: paraffin, the asfaltenovkh and resinous hydrocarbons, occurs after pass through a cavitation zone for once.

Cavitation in oil is resulted by microcracking process, it leads up molecules to destruction. The share, resinous and the asfaltenovkh of hydrocarbons increases. Thus, if the mass fraction of paraffin hydrocarbons in a stream decreases, as it is known, isn't dependent on a share resinous any more and the asfaltenovkh of hydrocarbons quantity the asfaltosmoloparafins of deposits will decrease. Despite change of parameters oil, its elementary players aren't changed. This give the grounds, at hydrodynamic cavitation in oil occurs phase transformations. At phase transformation, each phase separates from competitive an interface

at which crossing chemical and physical characteristics of fuel oil fractions almost instantly change. Change of such factors by application of cavitation at pipeline transport is one of ways of fight with, asphaltrezin-paraffin deposits.

Table 2.
Results of fuel oil property change in cavitation zone

Nº	Test (name and details)	Before supposed cavitation zone.	After the supposed cavitation zone.	Method
1	Density: 15°C – d ₄ , kg/m ³ Spesific gravity 60/60 °F	918,1 918,6	910,4 868,4	ASTM D1298
2	API Gravity, °API	22,55	38, 84	ASTM D1250
3	Sulphur , %-mass	0,238	0,176	ASTM D4294
4	water, %- mass	0,24	0,15	ASTM D4006
5	Kinematic viscosity, cSt 50 °C-d ₄ 80 °C-d ₄	98,68 12,43	65,39 8,75	ASTM D445
6	Flash point, open cup, °C	96	68	ASTM D92
7	Pour point, °C	+27	+3	ASTM D5853
8	Sediment by extraction, %- mass	0,0334	0,0283	ASTM D375/99
9	Flash point, closed cup, °C	52	43	ASTM D93
10	Merkaptan sulphur, ppm	48,6	40,3	UOP 163
11	Hydrogen sulphide, ppm	5,1	4,8	UOP 163
12	Con. carbon res. %- mass	3,63	2,31	ASTM D189
13	Chlorine in fr. 204 °C, ppm	9,3	7,6	ASTM D4929
14	Total nitrogen, ppm	1225	1195	ASTM D4629
15	Ash content, %-mass	0,083	0,049	ASTM D482
16	Asphaltenes, %-mass	0,73	0,46	İP 143
17	Brome (Iodine) num. gr. of brome (iodine) in 100 gr. frac. 360 °C, q/100gr	8,5	10,2	ASTM D1159/1160
18	Vannadium, ppm	5,3	4,9	ASTM D 5708
19	Nickel, ppm	11,3	10,5	ASTM D 5708
20	Iron, ppm	13,9	11,7	ASTM D 5708
21	Arsenic, ppm	12,2	12, 4	ASTM D 5708
22	Copper, ppm	1,6	1,3	ASTM D 5708
23	Lead, ppm	2,2	1,9	ASTM D 5708
24	Sodium, ppm	9,2	8,7	ASTM D 5708
25	Silicon, ppm	17,7	16,8	ASTM D 5708
26	Aluminum, ppm	27,1	25,2	ASTM D 5708
27	Calsium, ppb	18,4	17,6	ASTM D 5708
28	Molecular weight, q/Mol	443,94	374,58	ASTM D2502
29	Characterization factor, SU	11,96	13,16	UOP 375
30	Distillation (in vakuum, 6 mm Hg.), °C Initial boiling point 10 % - distilled at 50 % - distilled at 80 % - distilled at Final recovered, % v/v	176 258 397 540 565	142 214 352 463 493>	GOST 2177

But, despite improvement of rheological properties of fuel oil if process happens long time, it can lead to emergencies in petrowire systems. The main lack of this device is intensive

cavitation wear of its working surfaces generating cavitation bubbles which most part collapses on these surfaces. As shown in the table the general the number of sulphurous connections and metals at cavitation don't change, and it brings to corrosion of working surfaces. Besides because of presence of metals as a part of porphyrines, cavitation processes influences relaxation properties of the nefty. And also mass the ballast share as a part of fuel oil (mechanical impurity, chloride salts and water) at dynamic and static measurements decreases that influences on commodity qualities of fuel oil.

Conclusions. On the basis of the made supervision and studying of nature of impact of cavitation on oil, it is possible to draw a conclusion that cavitation leads to destruction of paraffin and supramolecular structures of oil, associates, micelles and reduction of their size that promotes decrease in viscosity. But eventually, the shattered particles reestablish intermolecular communication that leads to restoration of dynamic viscosity of oil. The working part of a hydrodynamic pipe serves for obtaining high speeds of a stream. However the erosion begins in 16-24 hour after the beginning of tests, and for its emergence stream speed higher than 40 m/s is necessary. After cavitation zones in pipes there is a water hammer. On the basis of the made supervision and studying of nature of impact of cavitation on oil, it is possible to draw a conclusion that cavitation leads to destruction of paraffin and supramolecular structures of oil, associates, micelles and reduction of their size that promotes decrease in viscosity. But eventually, the shattered particles reestablish intermolecular communication that leads to restoration of dynamic viscosity of fuel oil.

Experiments showed that after cavitation processes dynamic viscosity of the Azerbaijani fuel oil decreases by 11%. For oil restoration of initial value of viscosity within 68 hours after processes is characteristic.

It follows from this that on the basis of cavitation processes it is possible will determine the general consistent patterns of regulation of physical and chemical properties of oil for use in technology of pipeline transport of the fuel oils.

REFERENCE

1. Specialized Training for Oil Tankers. International Maritime Organization, Model Course 1.02, Edition (TB102E), London. 2006.-324p.
2. **Lord D. L., Rudeen D. K.** Strategic Petroleum Reserve Crude Oil Equation of State Model Development - Current Performance Against Measured. Data, Research Report, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM & Livermore, CA, 2010. -245 p.
3. **Earls Brennen.** (1995). Cavitation and bubble dynamics by Christopher © Oxford University Press. 1995. – 450 p.
4. **Parmon V.N.** Research of chemical transformations of organic compounds at cavitation influence. Chemical physics, vol.29. № 3. 2010. pp. 43-51.
5. **Nurullayev V.H.** The Theoretical analysis of crude oil vapour pressure and cavitation technologies studying of physical and chemical properties of transported oil in the course of cavitation. Science and applied engineering quarterly. № 5. 2014 pp. 23-29.
6. **Fomitchev-Zamilov M.I.** Fluid Hammers, Hydrodynamic Sirens, Stream Reactors, Implementation of Same, and Methods for Treatment of Fluids. PCT Application #13/869,017. 2014. 300 p.

7. **Fomitchev-Zamilov M.I.** Hydrodynamic Siren Theory, <http://www.quantumvortex> Hydrodynamic no 20, Siren no 20 Theory. pdf. Accessed 21 june 2013. pp. 48-54.
8. **Flanigan D., Suslick K.** Internally confined plasma in an imploding bubble. Nature Physics. №6. 2010. pp. 598-601.
9. **Niazi S., Hasshembadi S.** CFD Simulation of Acoustic Cavitation in a Crude Oil Upgrading Sonoreactor and Prediction of Collapse Temperature and Pressure of a Cavitation Bubble. Chemical Engineering Research and Design, in press. 2013. 546 p.
10. **Chakma A. Berruti F.** The Effects of Ultrasonic Treatment on the Viscosity of Athabasca Bitumen and Bitumen-solvent Mixtures. The Journal of Canadian Petroleum Technology. vol.5. № 32. 1993. pp. 48-53.

MAZUTUN KAVİTASIYA TEKNOLOGİYASI İLƏ NƏQLİ

V. X. NURULLAYEV

Məqalədə mazutun fiziki-kimyəvi və realoji xassələri təhlil edilmişdir. Anomal fiziki-kimyəvi xassəli sistemlərə yeni texnologiyaların tətbiq edilməsi ilə iqtisadi səmərəliliyin artırılmasının mümkünüyü göstərilmişdir. Mazut emulsiyalarının əsas göstəriciləri onların davamlı olması və zaman keçidkə dağılmayaraq iki fazaya –mazut, suya ayrılmamasıdır.

Laboratoriya şəraitində kavitasianın kecid sərhədlərində Azərbaycan neftindən alınmış mazutunun fiziki və kimyəvi xassələrinin təhlili aparılmışdır, həmin nöticələr cədvəldə verilmişdir. Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, neft və neft məhsullarına kavitasiya prosesini tətbiq etməklə onların reoloji xarakteristikalarını və keyfiyyət göstəricilərini yaxşılaşdırmaq mümkündür. Bütün göstərilən müddəalara əsaslanaraq, mazutun nəqli zamanı kavitasiya texnologiyalarının tətbiqinin perspektivliyi vurgulanır.

Açar sözlər: kavitasiya, alışma temperaturu, asfaltenlər, mazutun nəqli, qabarciqlar, kreking.

ТРАНСПОРТИРОВКА МАЗУТА КАВИТАЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

В.Х. НУРУЛЛАЕВ

В статье приведены исследования физико-химических и реологических свойств мазута, научный поиск методов воздействия на свойства смесей, имеющих аномальные физико-химические свойства, сведения о разработке новых технологий, обеспечивающих экономичность подготовки смесей и технических средств для внедрения технологий. Для мазутных эмульсий самым важным показателем является их устойчивость, т. е. способность в течение определенного времени не разрушаться и не разделяться на две образующие фазы – мазут и воду. В лабораторных условиях проанализированы физико-химические особенности мазута и нефтепродуктов Азербайджана на границе кавитационной зоны, результаты приведены в таблице. Проведенные исследования показывают, что, применив кавитационные технологии к мазутам и нефтепродуктам, можно улучшить их реологические характеристики и качественные показатели. На основе приведенных фактов утверждается перспективность применения кавитационных технологий при транспортировке мазута.

Ключевые слова: кавитация, температура вспышки, асфальтены, транспортировка мазута, пузыри, крекинг.

MONOKLİNAL NEFT YATAQLARININ İŞLƏNMƏSİ PROSESİNDƏ YARANAN BƏZİ MÜRƏKKƏBLƏŞMƏLƏR

(Siyəzən monoklinal neft yatağı timsalında)

F.T. MÜRVƏTOV*, A.Q. KƏRİMOVA*, G.G. MƏMMƏDOVA**

Məqalədə, Siyəzən monoklinal neft yatağının işlənməsi prosesində baş verən bir sıra mürəkkəbləşmələr və yaranma səbəbləri araşdırılır. Problemin həlli məqsədilə neft hasilatının artırılmasında yeni qazılacaq quyularda intervallı süzgəclərdən istifadə edilməsi ilə yanaşı, köhnə quyularda istifadə olunan ənənəvi tədbirlərin təsir mexanizmi ilə fərqlənən daha səmərəli üsul və texnologiyalar tövsiyyə olunur.

Açar sözlər: uzun süzgəclər, qatranlıq, mexaniki qarışıqlar, özlülük, neftin təmizliyi, sulaşma.

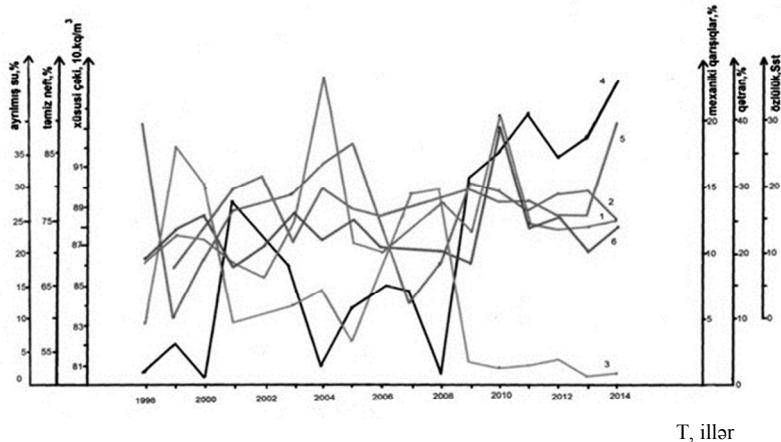
Neft yataqlarının istismarı prosesində müxtəlif geoloji–fiziki və texnoloji səbəblərdən bir sıra mürəkkəbləşmələr yaranır ki, bunlar da hasilatı azaldaraq, digər texniki–iqtisadi göstəricilərə öz mənfi təsirini göstərir.

Siyəzən monoklinal neft yataqlarında (SMNY) müxtəlif rejimli, təzyiqli, məhsuldarlıq və həcm süzülmə xarakteristikasına malik bir neçə layın eyni vaxtda sistemsiz halda istismar olunması praktiki olaraq uyğunsuzluqlarla müşahidə olunur. Belə olan halda müxtəlif səciyyəli suxurlar kompleksindən quyuya doğru güclü axım nəticəsində aralıq, tavan və daban sularının neftlə-qazla birlikdə hərəkətinə sünü imkanlar yaranır. Layların təbii təcrid olunması pozulur, müxtəlif xüsusiyyətlərə malik lay fluidlərinin teması ilə tərkibi və xüsusiyyətləri dəyişir, lay neftinin strukturu pişləşir, keyfiyyət göstəriciləri aşağı düşür, suların aqressivlik xassələri əhəmiyyətli dərəcədə artır. Yeraltı və yerüstü avadanlıq korroziyaya uğrayır, tez-tez sıradan çıxır [1, 2].

SMNY-da 1998-ci ildən 2014-cü ilə qədər olan dövrə hasil olunan neftin tərkib və fiziki-kimyəvi xassələrinin illər üzrə dəyişmə dinamikası şəkil 1-də verilmişdir.

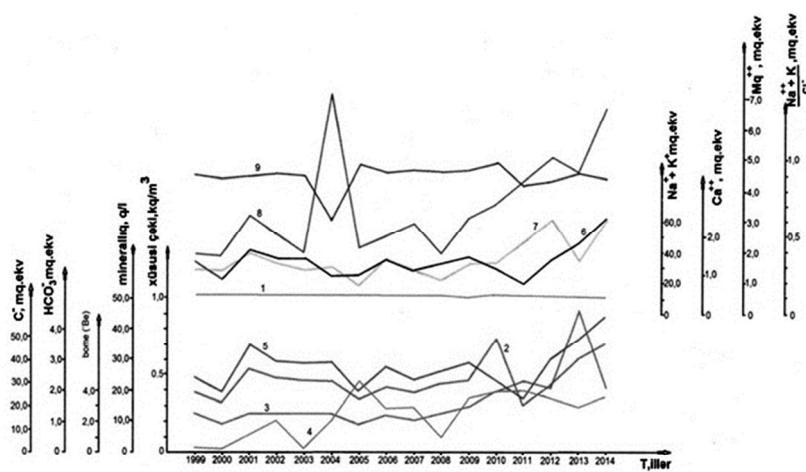
Dinamikadan da göründüyü kimi həmin ərefədə neftin sıxlığı $855,0 - 905,0 \text{ kq/m}^3$, özlülüyü $8,2 - 29,8 \text{ sst}$, tərkibində qatranın miqdarı $16,0 - 40,0 \%$, mexaniki qarışıqların miqdarı $1,0 - 23,3 \%$ intervalında dəyişir. Bu analoji tendensiya yatağın bütün sahələrində özünü göstərir.

* Neftin, qazın geotexnoloji problemləri və Kimya Elmi Tədqiqat institutu
** Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye universiteti



Şəkil 1. Siyəzən monoklinal neft yatağının işlənilməsi prosesində neftin fiziki-kimyəvi xassələrinin dəyişməsi:

1-xüsusi çəki; 2-təmiz neft; 3-ayırılmış su; 4-mexaniki qarışqlar; 5-qətran; 6-özüllük



Şəkil 2. Siyəzən monoklinal Sədan sahəsinin işlənilməsi prosesində lay suyunun fiziki-kimyəvi xassələrinin dəyişməsi:

1-xüsusi çəki; 2-mineralliqliq; 3-bome (${}^0\text{Be}$);
4- HSO_3^- ; 5-Cl $^-$; 6-Na $^+$ +K $^+$; 7-Ca; 8-Mg; 9- $\frac{\text{Na}^++\text{K}^+}{\text{CL}}$

məhsulunun sulaşması sürətlənir. Məsələyə yataqdə istismarda olan 1702 sayılı quyunun timsalında baxaq: quyu 27.01.2007-ci il tarixində istismara verilmişdir. İstismar obyekti Maykop və Koun çöküntülərindən ibarətdir. İstismar kəməri (5 $||$) 1250m-ə endirilmişdir. İlk süzgəcin intervalı 1250 – 488 m-dir (süzgəcin uzunluğu 762 m). Quyu üçün bəzi istismar göstəricilərinin dəyişmə dinamikası şəkil 3-də verilmişdir.

Dinamikadan da göründüyü kimi istismarının ilk ilində quyunun hasilatı 4,9 t/gün neft, 3,8 t/gün su olmuşdur (sulaşma 44%). 2007-cü ildən 2013-cü ilə qədər olan müddətdə quyunun neft hasilatı 0,3 t/gün-ə düşməklə, su hasilatı 4,9 t/gün-ə qalxmışdır (sulaşma 94%).

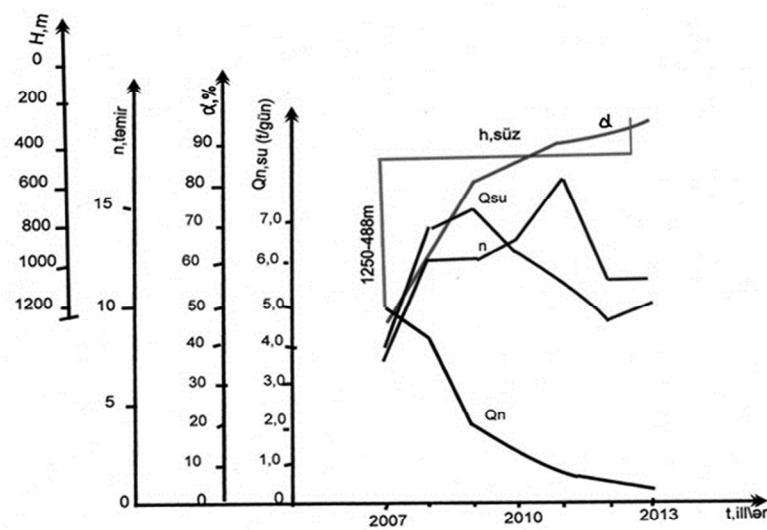
Lay nefti ilə yanaşı, lay suyunun da xassələri və tərkibi işlənilmə prosesində xeyli dəyişir. Yatağın Sədan neftli-qazlı sahəsi üçün bu baxımdan verilən dinamika deyilənləri bir daha təsdiqləyir (şəkil 2).

Qeyd olunan səbəblər (quyudibi ətraf zonasında temperatur rejimin pozulması və aşağı düşməsi, lay təzyiqinin azalması və s.) ilə əlaqədar olaraq asfalten – parafin – qatran (APQ) maddələri kristallaşaraq əvvəlcə quyudibinə yaxın zonalağa çökür və getdikcə quyudibindən uzaq məsafələrdə layın içərisinə doğru yayılır, keçiriciliyi əhəmiyyətli dərəcədə azaldaraq, quyuların neft hasilatını minimuma endirir, su hasilatı da da artır, quyu

Quyuda 05.08.2013-

cü il tarixində aparılmış
əlavə süzgəcin açılması
tədbiri ilə əlaqədar olaraq,
süzgəcin intervalı
 $1250 \div 295$ m çatdırılmışdır
(süzgəcin uzunluğu 955m).

Tədbir səmərəsizliklə nəticələnməklə, quyu tədbirdən sonra 10t/gün su hasilatı ilə istismar olunmuşdur. Quyudan müxtəlif dövrlərdə götürülmüş neft nümunələrinin fiziki-kimyəvi analizlərinin nəticələri bir-birindən kəskin olaraq fərqlənir (cədvəl).



Şəkil 3. 1702 N-li quyu üçün istismar göstəricilərinin dinamikası:

Q_n – neft hasilatı; Q_{su} – su hasilatı; α – su faizi; h_{suz} – süzgəcin uzunluğu; $n_{təmir}$ – təmirlerin sayı.

Cədvəl

Quyu №	Analizin aparılma tarixi	Təmiz neft, %	Xüsusi çəki, kq/m^3	Ayrılmış su, %	Neftin özlülüyü, Sst	Qətranın miqdarı, %	Neftin tərkibində mexaniki qarışqların miqdarı, %
1704	15.05.2007	99,5	847,1	0,4	1,3	16	0,1
	27.08.2013	6,23	898,7	7,7	13	24	23,07
1702	14.02.2007	88,5	876,06	11	9,7	18	0,5
	27.08.2013	77,33	892,92	2,67	19	30	24,0
1761	06.06.2008	43,5	897,8	55,5	11,3	12	1,0
	26.08.2013	12,0	899,1	16	37,5	20	72,0

Cədvəldən göründüyü kimi 2007-ci ildən 2013-cü ilə qədər olan dövrdə quyu neftinin xüsusi çekisi $16,9 \text{ kq}/\text{m}^3$, tərkibindəki mexaniki qarışqların miqdarı $23,5\%$, qatranın miqdarı 12% , özlülüyü $9,3 \text{ Sst}$ ($48,9\%$) artmaqla, neftin təmizliyi $11,17\%$ azalmışdır.

Bu anoloji mənfi tendensiya yataqda istismarda olan digər çoxsaylı quyularda (1704, 1760, 1761, 1762, 1763, 1768 və s.) da özünü göstərmişdir (bax cədvəl).

Beləliklə, sözügedən yataqda tətbiq olunan tamamlanma texnologiyası (hazır uzun süzgəclər) neftin kolloid strukturuna, reoloji xassələrinə mənfi təsir göstərir, özlülüğünü artırır və nefti çətin çıxarılabilənə çevirir [3].

Belə olan halda yatağın işlənilməsi prosesində geoloji, hasilat, ekoloji və s. risklərin azaldılması, neft hasilatının stabillaşdırılması üçün yeni qazılacaq quyularда hazır üzün süzgəclərin tətbiqindən imtina etməklə, intervallı süzgəclərdən istifadə edilməsi ilə yanaşı, köhnə quyularda istifadə olunan ənənəvi tədbirlərdən təsir mexanizmi ilə fərqlənən daha innovativ üsul, metod və texnologiyaların işlənilməsi və tətbiqi tövsiyyə olunur.

REFERENCE

1. İsmayılov Q.Q., Mürvətov F.T. Siyəzən monoklinal neft yatağında istismar quyularının sulaşmasının bəzi ekoloji nəticələri // Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərinin Xəbərləri, 2002. N5(21). səh. 72–77.
2. İsmayılov Q.Q., Ələkbərova Q.Ə., Mürvətov F.T. Əlavə süzgəclərin açılmasının bəzi ekoloji aspektləri // Azərbaycan neft təsərrüfatı. 2005. N5. səh. 62-63.
3. Shabanov A.A., Ramazanova Je.Je., Rzaeva A.K., Murvatov F.T., Gasanova U.A. Samoobrazovanie nanostruktur i nanoassociyanov nefti // Neftepomyslovoe delo, 2014. c.36-38.
Шабанов А.А., Рамазанова Э.Э., Рзаева А.К., Мурватов Ф.Т., Гасанова У.А. Самообразование наноструктур и наноассоцианов нефти // Нефтепромысловое дело, 2014. c.36-38.

ОБ ОСЛОЖНЕНИЯХ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОНОКЛИНАЛЬНЫХ НЕФТИНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (Но примере Сиязанского месторождения)

Ф.Т. МУРВАТОВ, А.Г. КЕРИМОВА, Г.Г. МАМЕДОВА

В статье анализируются некоторые осложнения, возникающие в процессе эксплуатации Сиязанского моноклинального нефтяного месторождения и причины их возникновения.

С целью решения проблемы, для увеличения добычи нефти на вновь пробуренных скважинах, наряду с использованием интервальных фильтров рекомендуется применение более эффективных методик и технологий, которые отличаются от механизма воздействия традиционных методов на старых скважинах.

Ключевые слова: длинные фильтры, смолистость, механические смеси, вязкость, чистота нефти, обводненность.

ASPECTS OF COMPLICATIONS OCCURRING IN OF MONOCLONAL OIL FIELDS (in the example of Siyazan field)

F.T. MURVATOV, A.Q. KERIMOVA, G.G. MAMEDOVA

The article analysis the aspects of complications arising in the Siyazan monoclonal oilfields and their causes.

In order to address these problems and increase the production of newly drilled oil wells, along with the interval filters it is recommended to use more efficient methods and technologies, which are different from the traditional of impact on old wells.

Key words: long filters, gummosis, mechanical mixtures, viscosity, oil purity, water encroachment.

FONTAN QUYULARININ İSTİSMAR XÜSUSİYYƏTLƏRİNİ NƏZƏRƏ ALMAQLA QALDIRICININ HESABI

M.S. RƏHİMOVA*

Məqalədə, istismar şəraitində gözlənilən debiti, lay təzyiqini, quyu dərinliyini nəzərə almaqla hər məhsuldar qat üçün qaldırıcı boru kəmərinin diametri və uzunluğu təyin olunmuşdur.

Açar sözlər: quyu, təzyiq, boru kəməri, fontanetmə, diametr.

Fontan armaturunun etibarlı işləməsi qaldırıcı boruların möhkəmliyindən, diametrinin ölçüsünün düzgün hesablanmasıdan, qaldırıcı borularında yaranan təzyiq itgilərindən və sairədən asılıdır.

Belə ki, qaldırıcı boruların möhkəmliyi lazımi dərəcədə olmasa borular qırıla bilər, armatur boltlardan ayrılib yerə düşə bilər və müxtəlif mürəkkəb proseslər yaranar.

Ona görə də qaldırıcı borularla bağlı qiymətləndirmə hesabatı aparmaqla bərabər texnoloji rejimində seçiminə diqqət verilməlidir.

Fontan armaturları konstruktiv və möhkəmlik əlamətlərinə görə aşağıdakı xüsusiyyətləri nəzərə almaqla qiymətləndirmə hesabatının aparılması:

1. İşçi təzyiqə görə. İstismar zamanı gözlənilən təzyiqin qiymətindən asılı olaraq quyu ağızında verilmiş işçi təzyiqə hesablanmış fontan armaturu qurulur.

2. İcra sxeminə görə.

3. Quyuya endirilən qaldırıcı boruların cərgələrinin sayına görə.

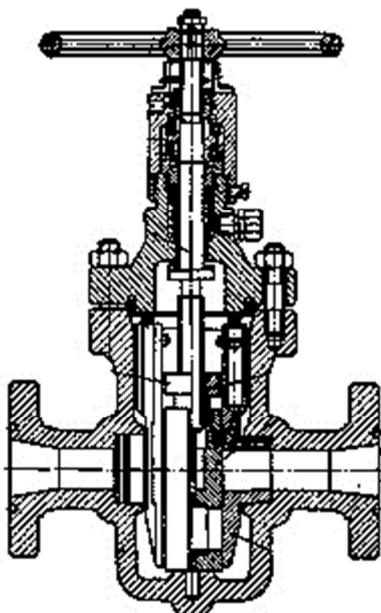
Qaldırıcı borular kəmərinin diametрini və uzunluğunu hər bir məhsuldar lay üçün gözlənilən debitdən, lay təzyiqindən, quyunun dərinliyindən və istismar şəraitlərindən istifadə edərək təcrübə yolu ilə müəyyən olunur. Qaldırıcı boruların şərti diametrləri 33-dən 114 mm-ə qədərdir [1,2].

Fontan quyularında iki cərgələrin boruların tətbiqi genişlənən qazın enerjisindən daha da səmərəli istifadə etməyə və quyu dibində qum tixaclarının əmələ gəlməsini aradan qaldırmağa imkan verir.

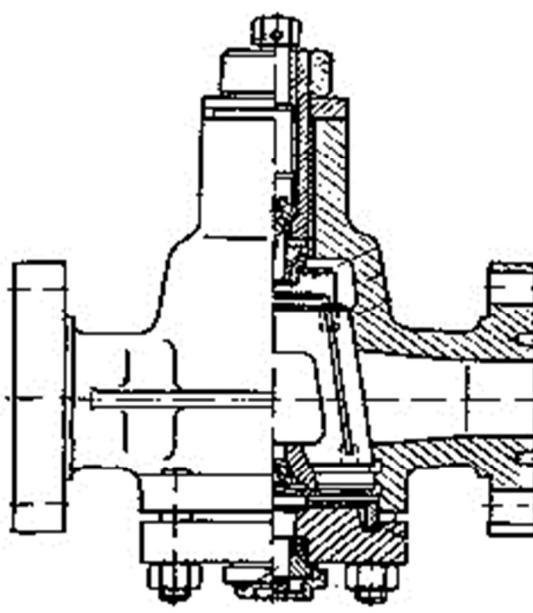
* Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye universiteti

Adətən fontan quyularına eyniölçülü kəmər endirilir. Əksər hallarda diametri 73 mm olan borulardan, yaxud müxtəlif diametrli boruların kombinasiyasından ibarət olan pilləli kəmərdən istifadə olunur.

4. Bağlayıcı tərtibatların konstruksiyasına görə. Bağlayıcı tərtibatlara tıxaclı kranlar, yaxud düzaxınlı (şək 1) tıxaclı kranlar (şək.2) və pazlı siyirtmələr aiddirlər.



Şək.1. Düzaxınlı siyirtmə



Şək.2. Tıxaclı kran

Düzaxınlı siyirtmənin xüsusiyyətləri ondan ibarətdir ki, maye axınının hərəkəti zamanı neft və qaz kipləndirici səthlərlə toxunurlar və bunun sayəsində onların yeyilməsi az olur.

Pazlı siyirtmə ilə müqayisədə keçid tıxaclı kranı böyük korroziya dəyanətliliyinə malik olmaqla, kiçik əndəzə ölçüləri və kiçik kütləsi olur.

5. Armatur gövdəsinin keçid kəsiyinin və yan çıxış xətlərinin ölçüsünə görə. Keçid kəsiklərinin diametrləri 50-dən 150 mm-ə qədərdir. Yan çıxışlarının diametrləri 50-dən 100 mm-ə qədərdir.

Quyunun fontanetməsi müəyyən texnoloji rejimdə mümkündür ki, bu da quyunun debitinin, quyudibi P_q , quyuağzı P_2 və boruarxası P_{ba} təzyiqlərin qiymətlərilə xarakterizə olunur. Zaman keçdikcə qaldırıcı dəyişdirilə bilərdi. Lakin bir tərəfdən başlanğıc dövrdə lay təzyiqi olur ki, bunun da göstəricisi quyuağzı təzyiq P_2 -dir. Digər tərəfdən qaldırıcının dəyişdirilməsi mürəkkəb prosesdir. Ona görə qaldırıcısını bütün fontan etmə dövrünə layihələndirirlər. Bu zaman fontan qaldırıcısını fotntan etmənin

optimal rejimdə son şərait üçün hesablanır, sonra isə başlangıç şəraitlər üçün maksimal rejimdə maye buraxma qabiliyyətinə yoxlanılır.

Əgər hesablanmış qaldırıcı ilk debiti buraxa bilmirsə, onda onu başlangıç şəraitlər üçün maksimal rejimdə yenidən hesablanılır. Fontan qaldırıcısının hesabatının əsasını quyuların müxtəlif tipli fontanetmə şərtləri təşkil edir. Boruların uzunluğu L , az və diametri böyük olarsa, təzyiq itgisi $\Delta P_{sür}$ bir qədər az olar. Buna uyğun olaraq quyudibi təzyiqi P_1 az tələb olunan və debiti bir qədər çox olar:

$$\Delta P_{cup} = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2} \rho \quad (1)$$

burada λ – hidravlik müqavimət əmsalıdır; v – borularda mayenin hərəkət sürətidir.

$$P_{lay} - \left(\frac{Q}{k_0} \right)^{1/n} = Hg\rho + \Delta P_{sür} + P_2 \quad (2)$$

n – mayenin süzülməsi rejiminin göstəricisi, k_0 – mütənasiblik əmsalıdır.

İstismar kəmərində böyük olmayan uzunluqlu və mümkün olan maksimal diametrli fontan boruları endirilir. Quyuda müxtəlif yumaların mümkünlüyünü mənimsəmə və boğma vaxtı mayelərin dəyişdirilməsi, digər texnoloji əməliyyatların aparılması, istismar kəməri korroziyasının azalması və səmin olunur [3,4].

Məhsulda qum olduqda (qumlu quyular) boruları perforasiyanın (süzgəc) aşağı deşiklərinə qədər, parafin olduqda isə parafinin gövdədə çökməsi dərinliyinə qədər endirilməlidir. (2) ifadəsindən quyunun Q debitini və uyğun minimal quyudibi fontanetmə $P_{q min}$ təzyiqini təyin etmək olar. Məhsulun n_{b_1} sulaşmasının fontanetmənin sonunda hesablamaq üçün texniki-iqtisadi hesabnamaları məqsədə uyğundur. Fontan quyularında NKB-nin başlığı o dərinlikdə olmalıdır ki, orada neftdən qazın ayrılması başlasın. Fontan borularının L uzunluğunun və fontanetmənin minimal quyudibi $P_{q min}$ təzyiqinin hesabı qazlift fontanetməsi şərtinin istifadəsilə yerinə yetirilir [5,6].

Boruların d diametrilə bu hesabatın aparılması zamanı debit Q -dən asılı olaraq ($P_q \approx 6 MPa$): Q t/gün 100-200>200d mm (şərti) 43,60,73,89,102.

Şərti diametri 73 mm olmaqla, uzunluğa və $P_{q min}$ -un hesabatı nəticəsində az təsir edir. Fontanetmənin sonu üçün optimal rejimdə məhsuldarlıq düsturundan istifadə etməklə tapmaq olar.

$$d_k = 0,263 \sqrt{\frac{L\rho g}{P_1 - P_2}} \sqrt[3]{\frac{Q_k L\rho g}{L\rho g - (P_1 - P_2)}} \quad (3)$$

Fontanetmənin sonunda $Q_k = Q_{opt}$ debitini və sulaşmanı işlənmə layihəsinə əsasən qəbul etsək. Təzyiq P_2 -ni məhsulun neftqaz yığma şərtinə əsasən hesablanılır.

Əgər boruların hesablanmış diametri standart qiymətinə bərabər deyilsə onda kiçik standart diametri qəbul edilir. Pilləli boru kəməri aşağıdakı kimi hesablanır:

$$l_2 = \frac{(d_k - d_1)L}{(d_2 - d_1)} \quad (4)$$

$$l_1 = L - l_2 \quad (5)$$

l_1, l_2 - kiçik d_1 və böyük d_2 standart diametrlərə uyğun gələn NKB-nin aşağı və yuxarı seksiyalarının uzunluqlarıdır.

NKB-nin hesablanmış diametri fontanetmənin başlanğıc dövründə $Q_{başl}$ debitləri təmin etməlidir ki, bunu da biz işlənmənin kompleks layihəsinə əsasən alırıq.

Fontanetmənin başlanğıcında maksimal rejimdə qazlift fontanetməsinin şərtlərinə əsasən hesablama üçün məlum olmayan quyuağzı P_2 təzyiqini təyin edək [6]:

$$G_{q,f} = R_{0\max} \quad (6)$$

$$\left[G_0 - \alpha_p \frac{P_1 + P_2}{2} - P_0 \right] (1 - n_b) = \frac{0,282(L\rho g)^2}{d^{0,5}(P_1 - P_2)P_0 \ln \frac{P_1}{P_2}} \quad (7)$$

uyğun olaraq $P_1 = P_n, P_1 = P_{q\min}$ olar.

Fontanetmənin başlanğıcında $n_b = 0$ -dır. (7) ifadəsini qrafoanalitik yolla yaxud da iterasiyalar (dəfələrlə təkrarlamalar) üsulu ilə həll edilir. $Q_{\max} \geq Q_{başl}$ olarsa, onda fontanetmənin başlanğıc və son şərtlərini ödəyən d_0 diametrli borular endirilir. Əgər $Q_{\max} < Q_{başl}$ olarsa, onda (3) ifadəsini maksimal məhsuldarlığının başlanğıc şəraitlərinə əsasən yenidən hesablamaqla aparılır və buradan da $Q_{\max} = Q_{başl}$ qəbul edilir, yəni

$$d_{\max} = 0,263 \sqrt{\frac{L\rho g}{P_1 - P_2}} \sqrt[3]{Q_{\max}} \quad (8)$$

$d_{başl}$ diametri standart diametrə üst-üstə düşmürsə, onda alınan qiymətə yaxın diametrli boru seçilir.

Nəticə. $d_{başl}$ diametrli boruların maksimal diametrindən böyük olarsa, istismar kəmərini endirməklə quyunun borularla və həlqəvi fəza üzrə quyunun fontanetməsini həll etmək müsbət nəticə verir.

Gövdədə parafinin, duzların, çöküntülərin, laydan qumun daxil olması və s. hallarında boruarxası fəza üzrə istismarı məqsədə uyğudur.

REFERENCE

1. **Mirzadzhanzade A.H., Ogibalov P.M., Kerimov Z.G.** Termovjazkouprugost i plastichnost v neftepromyslovoj mehanike. - M., «Nedra», 1983. - 280 s.
Мирзаджанзаде А.Х., Огibalов П.М., Керимов З.Г. Термовязкоупругость и пластичность в нефтепромысловом механике. - М., «Недра», 1983. - 280 с.
2. **Molchanov G.V., Molchanov A.G.** Mashiny i oborudovanie dlja dobychi nefti i gaza. Uchebnik. – M.: «Nedra», 1984. - 464 s.
Молчанов Г.В., Молчанов А.Г. Машины и оборудование для добычи нефти и газа. Учебник. – М.: «Недра», 1984. - 464 с.
3. **Mihelson-Tkar V.L.** Povyshenie tehnologichnosti konstrukcij. - M.: «Mashinostroenie», 1988. - 104 s.
Михельсон-Ткар В.Л. Повышение технологичности конструкций. - М.: «Машиностроение», 1988. - 104 с.
4. See our forest forjonr trees. Journal of Petroleum Texnology. Business reply card (США). January. 1981.
5. **Janahmadov A.H., Dyshin O.A., Javadov M.Ja.** Sinergetika i fraktaly v tribologii. – Baku: «APOSTROFF», 2014. – 504 s.
Джанахмедов А.Х., Дышин О.А., Джавадов М.Я. Синергетика и фракталы в трибологии. – Баку: «АПОСТРОФ», 2014. – 504 с.
6. **Janahmadov A.H., Neftjanaja tribologija.** – Baku: Elm, 2003. – 326 s.
Джанахмедов А.Х., Нефтяная трибология. – Баку: Элм, 2003. – 326 с.

РАСЧЕТ ПОДЪЕМНИКА С УЧЕТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ФОНТАННЫХ СКВАЖИН

М.С. РАГИМОВА

В статье определяются диаметр и длина подъемного трубопровода для каждого продуктивного слоя, с учетом ожидаемого дебита, пластового давления, глубины скважины и эксплуатационных условий.

Ключевые слова: скважина, давление, трубопровод, фонтан, диаметр.

CALCULATION OF THE HOISTING tube WITH RESPECT TO OPERATIONAL PROPERTIES OF GUSHING WELLS

M.S. RAGIMOVA

The article defines the diameter and length of the hoisting tube for every productive layer in reservoir with respect to the expected flow rate, the reservoir pressure, the well depth and the operational conditions.

Key words: wells, pressure, pipelines, gushing, diameter.

QAZ SAXLAMA ANBARLARININ TƏSNİFATI

O.Ə. ƏLİYEVA*

Məqalədə qaz saxlama anbarlarının təsnifatı haqqında ətraflı məlumat verilmişdir. Eyni zamanda məqalədə bütün qaz anbarlarından təcrübü əhəmiyyəti olan tükənmış və tükənməyə işləyən neftqaz, qaz və qazkondensat yataqlarında yaradılmış qaz anbarlarının üstünlüyü verilmişdir. Qaz saxlama anbarlarının tutumunun və çıxarıla bilən qazın miqdarının hesablanması qaydaları məqalədə öz əksini tapmışdır. Məqalədə qazsaxlama anbarlarına vurulan aktiv qazın hesablanması qaydası da göstərilmişdir. Məqalədə qaz yatağı ilə qaz saxlama anbarının fərqi də aydınlaşdırılmışdır. Qaz saxlama qaz anbarının yaradılması üçün yer üstü avadanlıqlar kompleksinin sxemi də verilmişdir.

Açar sözlər: tükənmış neft (qaz) yatağı, yeraltı qazsaxlama anbarları (YQA), texnoloji sxem, təsnifat.

Məlumdur ki, şəhər və sənaye müəssisələrinin təbii qaza olan tələbatı fəsillərdən asılı olaraq müxtəlif olur. Bununla əlaqədar olaraq il boyu, xüsusilə də qış aylarında bütün tələbatçıların qaza olan ehtiyacını ödəmək üçün əlavə mənbələrin yaradılmasına ehtiyac yaranır. Bu çətinliklərin qarşısını almaq üçün ehtiyat mənbəyi kimi yeraltı qaz anbarlarından istifadə edir.

Müxtəlif qrup işlədiciilərin qaza olan tələbatının zamana görə dəyişməsi (yay, qış) aylar, həftələr, günlərlə və saatlarla xarakterizə olunur. Xüsusi olaraq qazın tələbatının yay-qış aylarında dəyişməsi böyükdür. Bunun da səbəbi qazın istilik üçün istifadəsi ilə əlaqədardır (qaz peçləri, mənzillərin və rayonların kotel qurğuları və İEM) kotel = sənaye müəssisələri. Qaz tələbatının aylıq dəyişmə əmsali, $K_{t.m}$ - aylıq faktiki tələbatın orta aylıq faktiki tələbata olan nisbətinə deyilir

$$K_{t.m} = \frac{K_{t.m}}{K_{s.m}}$$
$$Q_{s.m} = \frac{Q_q}{12}; \quad (1)$$

Burada Q_q - qazın illik tələbatı, m^3 .

Yay zamanı artıq qazın hansı ki, qış zamanı işlədiciilərə verilir, onu saxlamaq üçün (qaz kəmərinin ritmik işi zamanı) orta illik buraxma qabiliyyəti illik tələbata uyğun yeraltı qaz saxlama anbarları qurulur.

Qaz tələbatının fəsillərdən asılı olaraq dəyişməsini düzəltmək üçün lazıim olan qazı üç üsulla təyin etmək olar.

* Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye universiteti

1. Temperaturun dərəcə-gün çatışmayan sayına görə.
2. İşlədilərin bütün qrupları üzrə, istilik üçün qaz normasına görə.
3. Qaz tələbatının aylıq dəyişmə norma əmsalına görə.

Qaz yatağının yeraltı qaz saxlama anbarından fərqi odur ki, qaz yatağından qaz çıxarılır, yeraltı qaz anbarına isə qaz vurulur. Yeraltı qaz anbarının yerüstü avadanlığı şəkil №1-də verilmişdir. Qaz magistral qaz kəməri 1-dən 2 №-li boru kəməri ilə 3 - kompressor stansiyasına daxil olur.

Burada o toz təmizləyici ilə təmizlənir sonra isə lazımı təzyiqə kimi sıxılır. Eyni zamanda qaz kompressorlarda yağıla çirkənir və $80\div120^{\circ}\text{C}$ temperatura kimi qızır. Qazı, yeraltı qaz anbarına vurmamışdan qabaq, onu 5 №-li seperator da, qradirne 6, kunclu asorber 7-də, süzgəc 8-də təmizləyib soyudub, hazırlanmış qazı qazpaylayıcı punkt vasitəsilə 10 №-li quyuya vurmaq üçün istiqamətləndirirlər. Quyudan götürülən qaz ayrı atqı ilə qaz paylayıcı punkta (QPP) daxil olur, harada ki, seperator 11 və 12 – də sudan, suxurdan və kondensatdan təmizlənir, sonra isə studəlser 13-dən, sərfəlçən 14-dən və 15 - kollektor vasitəsi ilə 9 - quruducuya daxil edilir.

Qaz magistral qaz kəmərinə sonra isə kompressorun qəbuluna verilir. Əgər onun təzyiqi kifayət etmir (böyükdürsə) onda, yeraltı qaz anbarından birbaşa qaz kəmərinə vermək lazımdır. Yeraltı qaz anbarına qaz vurmaq və götürmək üçün qazın miqdarını, qaz yatağının lahiyələndirilməsi və işlənilməsində istifadə edilən düstur vasitəsi ilə təyin etmək olar (qazın sərfi onlarda + işarəsi ilə qazın vurulması isə – işarəsi ilə qəbul olunur).

Qaz anbarının aktiv qaz tutumu balans əlaqəsi ilə ifadə olunur.

$$Q_a = \Omega \frac{T_{st}}{T_{lay} \cdot P_{st}} \left(\frac{P_{max}}{Z_{max}} - \frac{P_{min}}{Z_{min}} \right) \quad (2)$$

burada Ω - qazla doymuş məsaməli sahənin həcmi.

P_{max} və P_{min} - qaz anbarında max və min orta təzyiqin qiymət

Z - yüksək sıxılma əmsal

Əgər lay rejimi subasqılı rejimdirsə, onda (2) düsturuna α əlavə edilir. Onda

$$Q_a = \Omega \cdot \lambda \frac{T_{st}}{P_{lay} \cdot P_{st}} \left(\frac{P_{max}}{Z_{max}} - \frac{P_{min}}{Z_{min}} \right) \quad (3)$$

λ - qiyməti 1-dən $2\div3$ -ə kimi dəyişir.

Bu əmsallar üçün təqribi qiymətləri qəbul etmək olar. Əgər lay kollektorun həcmi süzülmə göstəriciləri qazdoyma sahəsinin göstəriciləri kimidirsə, onun qalınlığı qazdoyma sahəsinin qalınlığına yaxındırsa, onda λ -ni 1,05 - 1,1 qəbul etmək olar. Sulu sahə qaz doyma sahəsi kimi yüksəkdirsə, hesablama qalınlığına görə məsələn λ -nın birdən artması, λ əmsalının 1,5 - 2 hətta 3-ə bərabər qəbul etmək olar.

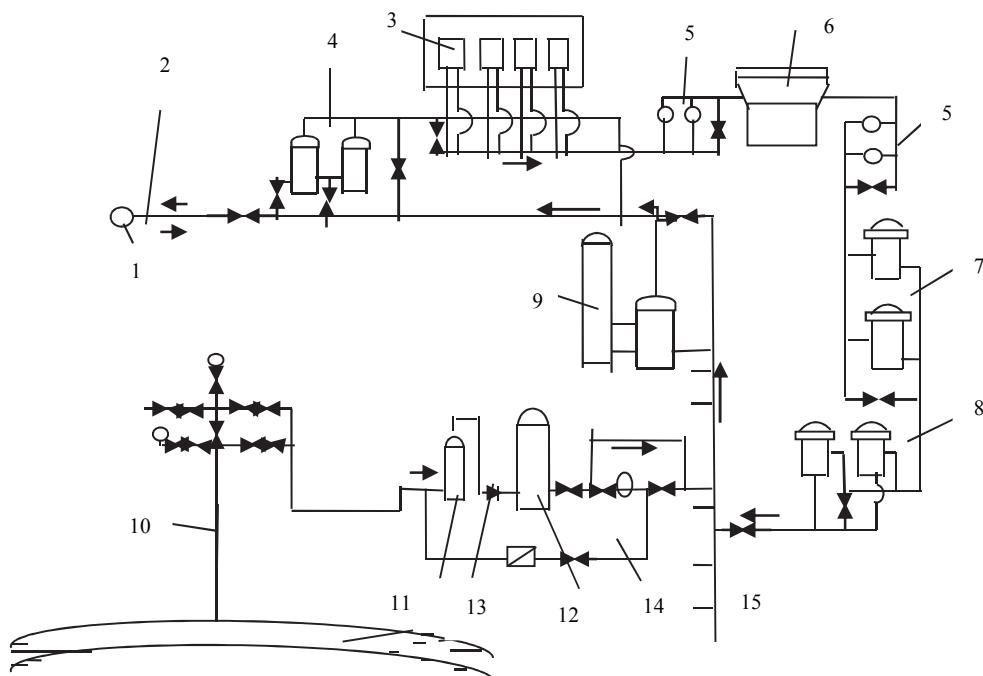
Tükənməyə işlənmiş yatağın qaz saxlama anbarına çevrilməsinin prinsipcə sadəliyinə baxmayaraq, faktiki olaraq tez-tez ciddi çətinliklər baş verir.

1-ci - ola bilsin ki, qaz yatağı, qaz anbarının tikintisinin zəruri yerində yerləşməsin.

2-ci - yatağın avadanlığı köhnə olsun və qaz anbarının istismarı üçün yararsız olsun. Onda hamisini yenidən tikmək lazımdır və eyni zamanda köhnə quyuları da ləğv etmək

zəruriyyəti yaranır. Nəticədə yeni quyuların qazılması tələb olunur ki, bu da kapital xərclərinin artmasına səbəb olur.

3-cü - mədən yatağı olduqca böyük aşkar oluna bilər.



Şəkil. Yerüstü avadanlıqlar kompleksinin sxemi

Böyük yataqlarda yaradılan qaz anbarlarında bufer qazının həcmidə böyük olur. Buna görə də qaz anbarı baha başa gəlir. Əgər bu həcmi azaltsaq, təzyiq azalacaq və onda daha çox miqdarda quyular tələb olunacaq və kompressor stansiyasının (KS) gücü artırılacaq. Bundan başqa bufer qazının təzyiqinin azalması ilə yatağa daxil olan suyun miqdarı artacaq və quyular sulaşib sıradan çıxacaqdır. Başqa vacib əhəmiyyətli səbəblərdə var. Buna görə tükənməyə işləmiş yataqlarda qaz saxlama anbarı yaradılanda, mütləq tədqiqat və hesabat aparılmalıdır.

Qazsaxlama anbarlarının tutumunu təyin etmək üçün işlədicilərin qaz sərfinin xarakterini bilmək zəruridir. İl ərzində qazsaxlama anbarına hesabatla vurulan qazın həcmi və bu müddət ərzində çıxarılan qazın həcmi aktiv qaz həcmi adlanır.

Adətən hesabat üçün aşağıdakı müxtəliflik əmsalları qəbul edilir.

Sezon əmsali K_{sez} ; gün K_{sut} ; saatlıq K_{saat}

$$K_{sez} = q_{s.m}/q_{s.q} \quad K_{sut} = q_{sq}/q_{s.m} \quad K_{saat} = q_s/q_{sq}$$

Burada q_{sm} , q_{sq} , q_s - uyğun olaraq qazın orta ay, gün və saatlıq sərfidir.

Qaz saxlama anbarının aktiv tutumunu Q_a -ni aşağıdakı düsturla təyin etmək olar.

$$Q_a = \frac{Q_q}{12} \sum_{i=1}^n (K_{sez} - 1) \quad (4)$$

Q_q – il ərzində tələb olan qazın miqdarı n- əmsalların sayı, $n > 1$ (adətən 5 - 6)

Q_a – qiyməti il ərzində istilik sisteminin yükündən asılı olaraq, buda Q_q -in 10 %-ni təşkil edir.

Qazsaxlama qaz anbarının yaradılması üçün əsas etibarı ilə aşağıdakı şərtlər olmalıdır.

Qaz tutumu (tükənmiş qaz və qazkondensat yatağı); qazı qazsaxlama anbarına vurmaq üçün quyu fondu; qazsaxlama anbarına vurulan və çıxarılaçaq qazın miqdarı; lazımı qazın vurulması üçün yüksək təzyiqli qazkompressor stansiyası.

Qaz tutumunu hesablamaq üçün tutum kimi istifadə ediləcək tükənmiş qaz və qazkondensat yatağın cari göstəriciləri (məsaməliyi, keçiriciliyi, yatağın rejimi, yatağın neftlə, su, qazla doyma əmsalları, lay təzyiqi, temperatur, yatağın quyu fondu, tutumun laya vurulacaq qazın mənbəyi, mənbəyin qazsaxlama anbarı ilə əlaqəsi, qaz kəməri, kompressor stansiyası. Qazsaxlama anbarı kimi istifadə olunacaq yataqda müəyyən tədqiqat işləri aparılır. Qaz anbarının işlənilmə layihəsi hazırlanmalıdır. Layihədə birinci növbədə layın işlənilmə rejimi təyin edilməlidir. Və bundan sonra işlənmə rejimindən asılı olaraq layihə üzrə başqa göstəricilər təyin edilməlidir.

REFERENCE

1. **Aslanov V.D.** Geologicheskie osnovy sozdaniya podzemnyh hranilish gaza v svyazi s resheniem problemy gazosnabzhenija. – Baku, 2001. - 161s.
Асланов В.Д. Геологические основы создания подземных хранилищ газа в связи с решением проблемы газоснабжения. – Баку, 2001, 161с.
2. **Shirkovskij A.I.** Razrabotka i ekspluataciya gazovyh i gazokondensatnyh mestorozhdenij. – Moskva: "Nedra", 1987.
Ширковский А.И. Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений. – Москва: "Недра", 1987.
3. **Gimatudinov Sh.K.** Razrabotka i ekspluataciya neftjanyh, gazokondensatnyh mestorozhdenij. – Moskva: "Nedra", 1988
Гиматудинов Ш.К. Разработка и эксплуатация нефтяных, газоконденсатных месторождений. – Москва: "Недра", 1988.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГАЗОХРАНИЛИЩ

O.A. ALIEVA

В статье отражены преимущества газохранилищ, созданных на истощённых и истощающихся нефтегазовых и газоконденсатных месторождениях, а также методы вычисления объема газохранилищ и количества добывающегося газа. Даны методы вычисления активного газа, подающегося в газохранилища. Рассмотрена схема комплекса поверхностного оборудования для создания газохранилища.

Ключевые слова: истощенные нефтяные (газ) месторождения, подземное газохранилище (ПГХ), технологическая схема, классификация.

CLASSIFICATION OF UNDERGROUND GAS STORAGES

O.A. ALIEVA

The article describes the advantages of storage facilities built on depleted and depleting oil and gas condensate fields, as well as methods of calculating gas storage volume and the amount of gas produced. The methods of calculating the active gas fed into the gas storage are given. The scheme of the complex surface equipment to build gas storage facilities is reviewed.

Key words: depleted oil (gas) field, underground gas storage (UGS), technological scheme, classification.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ НЕФТИ В ПЛАСТЕ – КОЛЛЕКТОРЕ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

С.Р. РАСУЛОВ*, Аб.Г. РЗАЕВ*, В.В. ОРУДЖЕВ*, Г.Р. МУСТАФАЕВА*

В статье показано, что процесс структурообразования нефти в капиллярах пласта коллекто-ра можно описать при помощи изменения вязкости во времени. Предлагается математиче-ская модель экспоненциального характера, адекватно описывающая вышеуказанное изменение с учетом существенного влияния вязкость нефти на остаточную нефтенасыщенность пластов. Полученная математическая модель может быть использована для решения проблемы разра-ботки трудноизвлекаемых запасов нефтяных месторождений.

Ключевые слова: *математическая модель, вязкость, пласт, процесс структурообразования, трубопровод.*

Одной из основных проблем разработки нефтедобывающей промышленности яв-ляется проблема увеличения нефтеотдачи. Известно, что коэффициент извлечения нефти из пласта изменяется в пределах от 0,2 до 0,7, часто не превышает 0,5.

Как отмечено в работе [1], одной из причин трудноизвлекаемости нефти из пласта, следует считать молекулярно–поверхностные процессы, происходящие на границе раз-дела нефть – породообразующие минералы – погребенная вода. Распределение гидро-фильтральных и гидрофобных участков, их число и чередование зависят от природы породо-образующих минералов, физико – химических свойств, насыщающих пласт жидкостей и со-держание в них погребенной воды. При этом следует отметить, что основная часть поровых каналов (65-85%) является гидрофобной и гидрофобизированной нефтью и газом. С целью исследования этих процессов, происходящих на границе раздела жидкости и газа с породообразующими минералами, академиком Ребендером П.А. и его школой [2], Маркасиным И.Л. [1] и др. создана специальная область науки «физико-химическая ме-ханика».

С учетом вышеприведенного, процесс структурообразования нефти в капиллярах пласта – коллекто-ра можно описать при помощи изменения вязкости во времени. Харак-тер этого изменения приведен на рисунке. Из рисунка видно, что существует четкая связь между временем нахождения нефти в зазоре (капилляре) и вязкостью, которая за-висит от свойства нефти (содержания в ней ПАВ – асфальтенов) и величины зазора

* Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

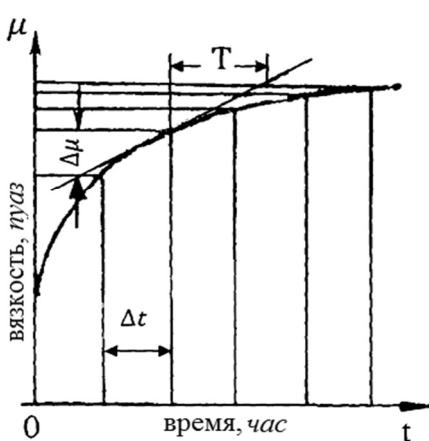


Рис. Графическая зависимость кривой разгона вязкости нефти от времени прохождения ее в зазоре (капилляре)

между твердыми поверхностями или радиусом капилляра. С увеличением времени прохождения (t) изменение вязкости (μ) происходит по кривой, стремящейся к насыщению, где μ – вязкость нефти, которая не имеет структуры.

Ввиду существенного влияния вязкости пластовой нефти на остаточную нефтенасыщенность продуктивных пластов и того, что вязкость является одним из важнейших свойств пластовых флюидов, в данной статье предлагается математическая модель экспоненциального характера, адекватно (с погрешностью 3%) описывающая кривую, представленную на рисунке.

$$\mu(t) = \mu_0 + (\mu_1 - \mu_0) \left(1 - \exp \left(-\frac{t}{T} \right) \right) \quad (1)$$

где $\mu(t)$ – величина вязкости в момент времени t , μ_0 и μ_1 – соответственно нижняя и верхняя границы интервала изменения вязкости, T – характеристическое время, определяемое по кривой с использованием метода касательной.

Как видно из формулы, теоретическое время переходного процесса равно бесконечности. Практически же по кривому разгону (рис.) определяется фактическое время проведения эксперимента. С этой целью, проводится касательная и перпендикуляр в любой точке (обычно ближе к середине) кривой до пересечения ее с линией $\mu_1 (t = \infty)$. Тогда проекция отрезка касательной на оси времени и будет величиной T , которая как видно из рис. равна $1,43\Delta t$. При этом, время переходного процесса (время опыта) $t_{\text{пер}}$ с вероятностью 0,95 будет определяться как $4T$.

Таким образом, полученная математическая модель может быть использована для решения проблемы разработки трудноизвлекаемых запасов нефтяных месторождений.

Наряду с вышеизложенным, актуальным является также рациональная транспортировка добываемой нефтяной эмульсии (НЭ) по трубопроводу до установки подготовки нефти, которая требует разработки математических моделей для расчета характеристик потока НЭ (неньютоновской жидкости).

Вышепоставленная задача решается следующим образом. Сначала с использованием баланса сил, действующих на цилиндрический элемент жидкости радиуса r и длины l опишем [4]

$$2\pi r l \tau = \pi r^2 \Delta P \quad (2)$$

или

$$\tau = \frac{r \Delta P}{2l}$$

где τ – напряжение трения (сдвига); ΔP – перепад давления в участке l трубопровода.

Для напряжения трения на стенке получаем:

$$\tau_w = \frac{R \Delta P}{2l} \quad (3)$$

где R – радиус трубопровода.

Следовательно, $\tau = \tau_w r/R$ и градиент скорости определяется следующим образом:

$$-\frac{du}{dr} = f(\tau) = f(\tau_w r/R) \quad (4)$$

После интегрирования получается

$$u(r) = \int_r^R f(\tau_w \frac{r}{R}) dr \quad (4a)$$

Поскольку $u(r) = 0$ при допущении условия прилипания жидкости к стенке (отсутствие скольжения) далее находим:

$$Q = \int_0^R 2\pi r u(r) dr = \pi \int_0^R u(r) dr^2 \quad (5)$$

Q – расход нефтяной эмульсии.

Интегрирование по частям дает

$$Q = \pi \left[r^2 u(r) \Big|_0^R - \int_0^R r^2 du(r) \right],$$

так, как $u(r) = 0$, тогда

$$Q = \pi \int_0^R r^2 f(r_w \frac{r}{R}) dr \quad (6)$$

Подставив $r = R\tau/\tau_w$, получим

$$\frac{Q}{\pi R^3} = \frac{1}{\tau_w^3} \int_0^{\tau_w} \tau^2 f(\tau) d\tau \quad (7)$$

Соотношение между скоростью и перепадом давления может быть выведено из формулы (7) путем численного интегрирования с использованием полученных из опытов зависимостей $f(\tau)$.

Для математического описания экспериментальных данных зависимости напряжения сдвига (τ) от скорости сдвига $\dot{\gamma}$, приведенных в [5] предлагается экспоненциальный закон в следующем виде:

$$\tau = A \left[1 - \exp \left(\frac{\dot{\gamma}}{\lambda} \right) \right] + B \quad (8)$$

A , B и λ – экспериментальные коэффициенты, определяемые из данных [5].

Причем размерность A и B является Па, λ – 1/сек.

В результате оценки этих коэффициентов формула (8) приобретает следующий вид:

$$\tau = 1000 \left[1 - \exp \left(-\frac{\dot{\gamma}}{\lambda} \right) \right] + 300 \quad (9)$$

Следует отметить, что идентификация по данным [5] с относительной погрешностью 6,5% адекватно описывает экспериментальные данные [5] и может быть использо-

вана для описания аномальных (структурированных) нефтей и НЭ с неньютоновским характером течения.

REFERENCE

1. **Markasin I.L.** Fiziko-himicheskaja mehanika neftjanogo plasta. – M.:Nedra, 1977, 214 s.
Маркасин И.Л. Физико-химическая механика нефтяного пласта. – М.:Недра, 1977, 214 с.
2. **Rebinder P.A.** Izbrannye trudy. Poverhnostnye javlenija v dispersnyh sistemah. Fiziko-himicheskaja mehanika. – M.:Nauka, 1979.
Ребиндер П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. – М.:Наука, 1979.
3. **Rzaev Ab.G., Guluev G.A.** Kosvennyj metod opredelenija debita nefti // Izvestija VTUZ Azerbajdzhana, 2012, tom 14, № 1, s.79-84
Рзаев Аб.Г., Гулув Г.А. Косвенный метод определения дебита нефти // Известия ВТУЗ Азербайджана, 2012, том 14, № 1, с.79-84
4. **Uilkinson U.L.** Nenjutonovskie zhidkosti. Gidromehanika, peremeshhenie i teploobmen. Per. s angl. M.: Mir, 1964, 185s.
Уилкинсон У.Л. Неньютоновские жидкости. Гидромеханика, перемещение и теплообмен. Пер. с англ. М.: Мир, 1964, 185с.
5. **Judina N.V., Loskunova Ju.V., Bashagina E.V.** Sostav i reologicheskie svojstva asfaltosmoloparafinovyh otlozhenij // Neftjanoe hozjajstvo, 2012, №2, s.69-71
Юдина Н.В., Лоскунова Ю.В., Башагина Е.В. Состав и реологические свойства асфальтосмолопарафиновых отложений // Нефтяное хозяйство, 2012, №2, с.69-71

NEFTİN ÇIXARILMASI VƏ NƏQLİ ZAMANI STRUKTUR ƏMƏLƏ GƏLMƏSİ PROSESİNİN RİYAZİ MODELLƏŞDİRİLMƏSİ

S.R. RƏSULOV, A.H. RZAYEV, V.V. ORUCOV, G.R. MUSTAFAYEVA

Məqalədə neftin lay-kollektor kapillyarlarında struktur əmələ gəlməsi prosesini özlülüyün zamandan asılı olaraq dəyişməsi vasitəsi ilə ifadə etmək mümkündür. Lay neftlərin özlülüyünün qalıq neftlərin çıxarılmasına ciddi təsirini nəzərə alaraq, onun zamandan asılılığını adekvat ifadə edən eksponential xarakterli riyazi model təklif olunmuşdur.

Təklif olunan model neft yataqlarının çətin çıxarılan ehtiyatlarının işlənilməsi probleminin həlli üçün istifadə oluna bilər.

Açar sözlər: riyazi model, özlülük, lay, struktur əmələ gəlməsi prosesi, boru xətti.

MATHEMATICAL MODELLING OF OIL FORMATION IN THE COLLECTOR LAYER OF OIL DEPOSITS

S.R. RASULOV, A.G. RZAYEV, V.V. ORUDJEV, G.R. MUSTAFAYEVA

The oil formation process in the collector layer of reservoir can be described by the changes of viscosity over the time.

The mathematical model of exponential nature adequately describes the abovementioned changes by considering an influence of the oil viscosity on the residue oil saturation of the reservoirs.

The obtained mathematical model can be used for solving the problems of the heavily extracted reserves of oil deposits.

Key words: mathematical model, viscosity, reservoir, structure formation process, pipeline.

FAZA KEÇİDLİ MATERIAL ƏSASLI GÜNƏŞ İSTİLİKDƏYİŞDİRİCİ – HELİOREAKTOR AKKUMULASIYA SİSTEMİNİN TƏCRÜBİ NƏTİCƏLƏRİNİN ANALİZİ

F.F. MƏMMƏDOV*

Məqalədə günəş istilik enerji sistemlərində müxtəlif faza keçidli materiallardan istifadə etməklə istiliyin uzunmüddətli saxlanması prosesinə baxılmışdır. Universal helioreaktorda aparılmış təcrübələr əsasında sistemin istilik effektivliyinin, istilik-energetik parametrləri və mövcud istilik itkiləri təyin edilmişdir.

Açar sözlər: *günəş istilik enerji sistemləri, faza keçidli material, helireaktor, istilik-energetik parametrlər, istilik akkumulyatoru.*

Günəş istilik-enerji sistemlərində istiliyin akkumulyasiya edilməsi hər zaman aktual məsələlərdən hesab olunur. İndiki zamanda da, müxtəlif üslub və vəsitələrdən istifadə etməklə, günəş enerji sistemlərində istiliyin akkumulyasiyası həyata keçirilir [1,2]. Belə üsullar daha çox böyük gücə malik günəş istilik-elektrik stansiyalarında öz tətbiqini tapır. İstilik akkumulyasiya materialının seçilməsi zamanı, orta və yüksək temperatur və təzyiq intervalllarında onun istilik-fiziki xassələrinin necə dəyişməsini bilmək vacibdir. İstilik akkumulyasiya materialları qaya və ya çay daşlarından ibarət olmaqla, isti havanın saxlanması üçün [3] və yüksək istilik tutumuna malik müxtəlif mayelərdən ibarət olmaqla isti su və ya digər istilikdaşıyıcıları qızdırmaq üçün istifadə edilir [4].

Hazırkı tədqiqatda gecə də daxil olmaqla, günün istənilən vaxtında günəş şüası selinin sıxlığının və ətraf mühit temperaturunun dəyişdiyi zaman, isti su və buxar alınması kimi texnoloji proseslər üzrə tələb olunan temperaturun təmin olunması üçün, termiki xüsusiyyətləri davamlı olan istilik akkumulyasiya materialından istifadə edilməsi nəzərdə tutulmuşdur.

Övvəlki tədqiqatlarda [5,6,7] müxtəlif faza keçidlərinə malik istilik akkumulyasiya materiallarından istifadə edilmişdir. Bu tədqiqatlara əsasən, demək olar ki, bütün hallarda, istilik akkumulyasiya materialı ilə doldurulmuş həcm günəş energetik qurğusu ilə yalnız istilik mübadilə aparatı ilə əlaqələndirilmişdir. Bu isə, əlavə olaraq, istilik və elektrik enerji itkilərinin yaranmasına səbəb olur. Bu şəkildə, istiliyin saxlanması və tədricən istifadə edilməsi zamanı aşağıdakı çatışmamazlıqlar meydana gəlir.

* Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti



Şəkil 1. Günəş istilikdəyişdirici – helioreaktor akkumulyasiya sisteminin laboratoriya qurğusunun ümumi görünüşü.

hazırlanmışdır. Təcrübə qurğusunun ümumi görünüşü şəkil 1-də verilmişdir.

Bu qurğuda $20 - 350^{\circ}\text{C}$ temperatur intervalında istilik akkumulyasiya materiallarının müxtəlif istilik-energetik parametrlərini tədqiq etmək mümkündür. Tədqiqatların aparılması stasionar rejimdə nəzərdə tutulmuşdur.

Günəş istilikdəyişdirici – helioreaktor akkumulyasiya sisteminin ilkin olaraq, bir neçə dəfə yoxlanılması məqsədilə su – su sistemi üzrə təcrübələr aparılmışdır. Hazırkı tədqiqatda isə, "XC" növlü təmiz parafin və mum götürülmüşdür. Bu istilik - akkumulyasiya materialları təbiətdə zəngin olmaqla yanaşı, yüksək istilik-energetik parametrlərə malikdirlər [8]. Parafin və mumun əsas parametrləri aşağıda verilmişdir.

Cədvəl

İstilik akkumulyasiya materialları olan parafin və mumun istilik – fiziki xassələri

Parametrlər	Parafin			Mum		
	I növ	II növ	III növ	I növ	II növ	III növ
Ərimə temperaturu, $^{\circ}\text{C}$	28	35	100	79	86	125
Soyuma temperaturu, $^{\circ}\text{C}$	26	36	102	76	84	122
20°C -də sıxlığı, kq/m^3	875	888	954	961	964	966
İstilik tutumu, $-5 - 18^{\circ}\text{C}$ -də, $\text{kC}/(\text{kq})$	180	165	172	168	171	176
Xüsusi istilik tutumu, $-5 - 18^{\circ}\text{C}$ -də, $\text{kC}/(\text{kq K})$	1,8/2,4	1,8/2,4	1,8/2,4	-	-	-
Həcmi genişlənmə, %	11	10	10	8	8	9
İstilikkeçirmə, 25°C -də $\text{Vt}(\text{mK})$	0,25	0,22	0,2	0,64	0,61	0,7
Kinetik özlülük 40°C -də, mm^2/s	4,5	3,4	18,5	6,9	8,8	8,9
Alışma temperaturu, $^{\circ}\text{C}$	166	181	311	-	-	-

Göstərilən parametrlərlə yanaşı, parafin və mumun digər müsbət fiziki-kimyəvi xassələrə də malikdirlər.

Fiziki xassələri:

- Faza keçidi üçün böyük istiliyin olması; İfrat soyuma effektinin olmaması; Kiçik özlülük əmsalına malik olması; Cüzi elektrikkeçirmə qabliyyətinə malik olması; Regenerativ sistemlərdə daha fəal istifadəyə malik olması; Maye halında qeyri – polyar olduğu üçün digər maddələrlə qarışa bilməməsi.

Kimyəvi xassələri:

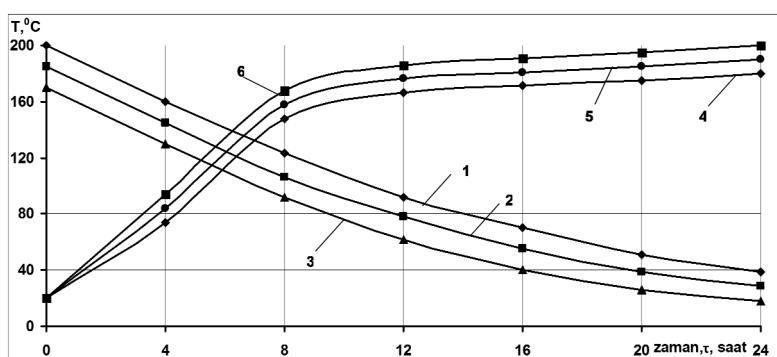
- Bütün materiallara qarşı kimyəvi inertdirilər; Aqreqat halının tsiklik dəyişməsi zamanı uzunömürlü və stabil şəkildə qalırlar; $250 - 270^{\circ}\text{C}$ temperatura qədər qızdırıldıqda stabillik pozulmur; Toksiki deyildir; Korroziyaya uğramır; Kimyəvi sabit və dayanıqlıdır; Qaynama halı olmadığı üçün yüksək temperatur və təzyiqlərdə təhlükə yoxdur.

Ekoloji tərəfləri:

- 100 % təbii məhsuldur; Ekoloji təhlükəsiz maddələr olmaqla, heç bir şəkildə təbiətə və mikroorganizmə mənfi təsir göstərmir; İnsan sağlamlığı üçün toksiki və zərərli xassələrə malik deyildir; İstənilən şəkildə qida sənayesində də istifadə oluna bilər; Təmizlənmiş şəkildə yenidən dəfələrlə istifadə qabliyyətinə malikdirlər.

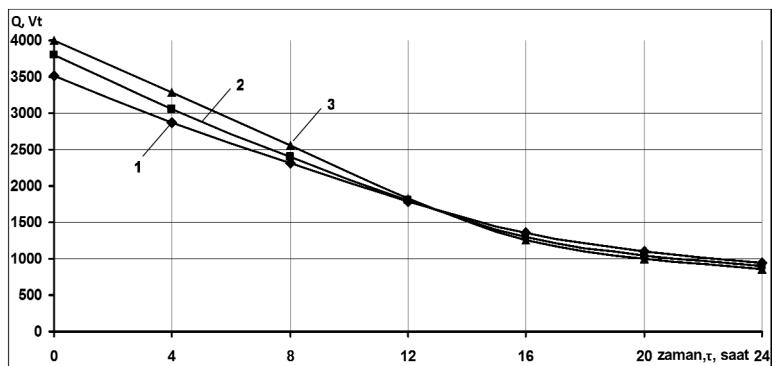
Konstruksiyanın istilik effektivliyinin qiymətləndirilməsi.

Ödəbiyyatda [9] verilmiş prinsipial sxem üzrə günəş istilikdəyişdirici – helioreaktor akkumulyasiya sistemində asılılıqların təyin edilməsi məqsədilə bir sıra texnoloji parametrlərin dəyişdirilməsi ilə təcrübələr aparılmışdır. Qızdırılan su və havanın vahid zaman ərzində, stasionar rejimdə sərfi uyğun olaraq $\text{kq/saat}; \text{m}^3/\text{saat}$ və sürəti m/san ölçülümdür. Qurğu daxilindəki istilik akkumulyasiya materialının temperaturuna nəzarət edilməsi üçün 1 ədəd LATR və 2 ədəd termovericidən istifadə edilmişdir. Müxtəlif temperatur intervallarında qızdırılan su və havanın istilikdəyişdiricinin daxili borusu ilə düz və əks axın istiqamətlərində hərəkəti təmin edilərkən texnoloji sxem üzrə alınan nəticələr qeyd edilmişdir. Bu məqsədlə, təcrübə qurğusunda daxili boru üzrə hava axını rejiminə baxaq: Burada təcrübələr, havanın sürətinin $1; 1,5; 2\text{m/san}$ qiymətlərində və $20 - 200^{\circ}\text{C}$ temperatur intervallarında aparılmışdır. Temperatur addımının hər biri 20°C götürülməklə, eksperimentlər stasionar rejimlərdə aparılmışdır. Eksperimentlər hər bir stasionar rejimdə minimal olaraq 6,8,10, maksimum 24 saat müddətində yerinə yetirilmişdir. Maye axınında isə sürət diapazonu çox kiçik olmaqla laminar özlü-qravitasıya rejimi müşahidə olunur ki, burada da istilikvermə əmsalı $\alpha = 4256Vt/(m^2 \cdot ^\circ\text{C})$ təşkil edir. Buna əsasən, qurğudakı daxili borunun uzunluğu boyu daxili $T_{d.d}$ və xarici $T_{d.x}$ divarın temperaturu ölçülümdür.



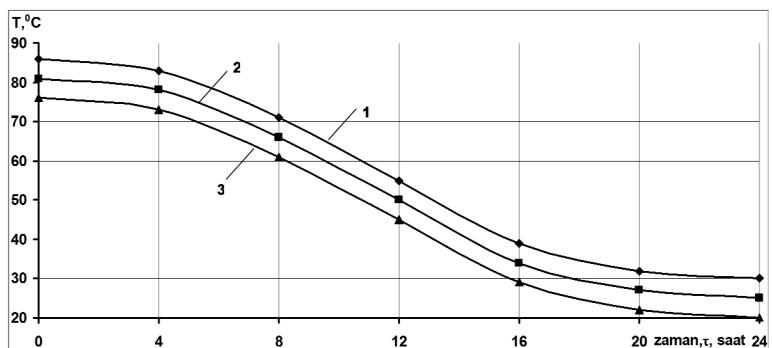
Şəkil 2. İstilik akkumulyasiya sistemində zamandan asılı olaraq temperaturun dəyişmə dinamikası.

Burada, 1,2,3 əyriləri uyğun olaraq, hava axınının 1; 1,5; 2 m/san sürətlərində qızması nəticəsində sistemin soyumasının zamandan asılılığı; 4,5,6 əyriləri uyğun olaraq, hava axınının 1; 1,5; 2 m/san sürətlərində sistemin stasionar rejimə çıxma müddətinin zamandan asılılığı verilmişdir.



Şəkil 3. Daxili borunun divarından qızdırılan hava axınına olan istilik selinin zamandan asılılığı.

1,2,3 əyriləri uyğun olaraq, hava axınının 1; 1,5; 2 m/san sürətlərində verilmişdir.



Şəkil 4. Qurğunun izoliyasiya səthinin temperaturunun zamandan asılı olaraq dəyişməsi.

1,2,3 əyriləri uyğun olaraq, hava axınının 1; 1,5; 2 m/san sürətlərində verilmişdir.

Şəkil 2-dən göründüyü kimi sistem maksimal olaraq, 200°C-yə qədər qızdırılır. Stasionar rejim əldə edildikdən sonra isə 3 müxtəlif sürətli hava axını daxili boru ilə hərəkət etdirilir. Zaman keçdikcə sistemin soyuma dinamikası baş verir. Digər tərəfdən daxili boru ilə hava axınının hərəkəti təmin edilən zaman da qurğunun stasionar rejimə çıxma zamanı da təyin edilmişdir.

Şəkil 3-də istilik akkumulyasiya materialı ilə əhatə olunmuş daxili borunun divarının səthindən qızdırılan hava axınına təsir edən istilik selinin zamandan asılı olaraq, azalması müşahidə edilmişdir. Temperatur azaldıqca, istilik selinin də təsiri azalır. Şəkil 4 – də isə helioreaktorun üzərindəki izolyasiya qatının daxili səthinin temperaturunun zamandan asılı olaraq, azalma qrafiki verilmişdir. Göründüyü kimi, bu asılılıq da qanuna uyğun olaraq, zaman keçdikcə soyuma baş verir və istilik itkiləri azalır.

Sistemin istilik-energetik hesabatı.

Sistemin istilik-energetik hesabatında əsas problem istilik akkumulyasiya materialından daxili boruya və qızdırılan mühitə verilən istiliyin miqdarının təyin edilməsidir [10]. Bunun üçün istilik akku-

mulyasiya materialından daxili boruya olan istilik paylanmasıının təyin edilməsi üçün aşağıdakı asılılıqdan istifadə edək [11]:

$$T_{b.d.\tau_s} = T_{b.d.\tau-1} e^{-m\tau_s} (0,92 \div 0,94) ; \quad q_{TEQ} = \frac{\lambda_1}{\delta} (T_{b.d.\tau_q} - T_{b.d.\tau_{q-1}} (0,92 \div 0,94))$$

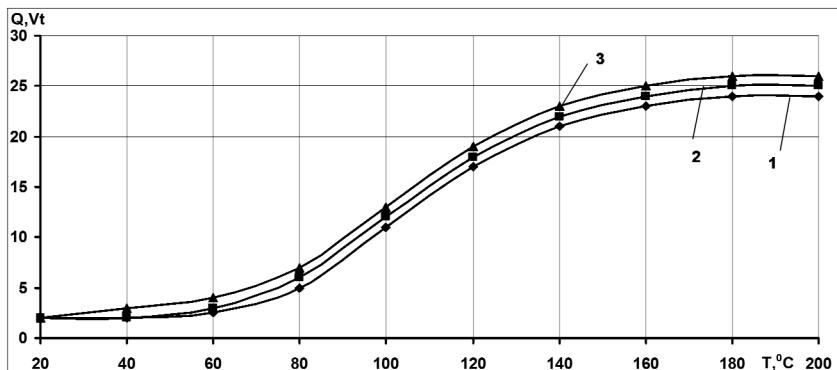
Burada, $T_{b.d.\tau}$ - qızdırmanın (son) τ müddəti ərzində boru divarının səthinin temperaturudur, 0C ; $T_{b.d.\tau-1}$ - qızdırmanın (başlangıç) $\tau-1$ müddəti ərzində boru divarının səthinin temperaturudur, 0C ; $m = \frac{\alpha_b F_b n}{c_1 \rho_1 V}$ - sistemdəki istilik akkumulyasiya materialının soyuma temp-

idir, c^{-1} ; α_b - boru divarından istiliyin verilməsi müddətində istilikvermə əmsalıdır, $Vt / (m^2 \cdot ^0C)$; F_b - daxili borunun səthinin sahəsidir, m^2 ; n - istilik akkumulyasiya qurğusunda olan boruların sayıdır, bizim halda bu $n=1$ təşkil edir; c_1 - istilik akkumulyasiya materialının istilik tutumudur, $C / (kq \cdot ^0C)$; ρ_1 - istilik akkumulyasiya materialının sıxlığıdır, kq / m^3 ; V - istilik akkumulyasiya materialının həcmidir, m^3 ; λ_1 - istilik akkumulyasiya materialının istilikkeçirmə əmsalıdır, $Vt / (m \cdot ^0C)$; δ - istilik akkumulyasiya materialının yerləşdiyi həcmin yarısının enidir, m ; τ_s və τ_q - uyğun olaraq, soyuma və qızdırma müddətləridir, san;

$q_{TEQ} = \frac{I^2 R}{S_{TEQ}}$ - Termo elektrik qızdırıcıının (TEQ) səthindən ayrılan istilik selinin miqdarıdır, Vt / m^2 ; I - TEQ-dan keçən cərəyan şiddətidir, A ; R - TEQ-nın müqavimətidir, Om ; S_{TEQ} - TEQ-nın səthinin sahəsidir, m^2 ; $(0,92 \div 0,94)$ - istilik akkumulyasiya sistemində əmələ gələn ümumi istiliyin miqdarıdır, hansı ki, bu istilikdən ümumi istilik itkiləri çıxılır, yəni, sistemin sırf özündə səmərəlilik $0,92 \div 0,94$ arasında dəyişir. İstilik akkumulyasiya sistemində mövcud olan istilik akkumulyasiya materialının akkumulyasiya qabliyyətini (b), $Vt \cdot s^{0,5} / (m^2 \cdot ^0C)$ aşağıdakı düsturla hesabla-maq olar:

$$b = \sqrt{\lambda_1 C_1 \rho_1}$$

Seçilmiş faza kecidli materialın akkumulyasiya qabliyyəti imkan verir ki, bu sistem üçün tələb olunan temperatur intervalında effektiv işləyə bilsin.



Şəkil 5. Ümumi sistemdə yaranan istilik itkilərinin temperaturdan asılılığı.
1,2,3 əyrləri uyğun olaraq, hava axınının 1; 1,5; 2 m/san sürətlərində verilmişdir.

İstilik itkilərinin təyini.

Günəş istilikdəyişdirici – helioreaktor akkumulyasiya sistemində baş verə biləcək itkilərin təyin edilməsi məqsədilə, müəyyən metodiki yanaşma nəzərdən keçirilmişdir [12,13,14]. Bunun üçün, istilik akkumulyasiya sistemində istilik itkilərini təyin edək:

$$\Delta Q = m_{ak} c_p (T_{ak} - T_h)$$

Burada, T_{ak} - akkumulyasiya sistemində yaranan temperaturdur, $^{\circ}\text{C}$; T_h - ətraf mühitin, havanın temperaturudur, $^{\circ}\text{C}$; m_{ak} - faza keçidli akkumulyasiya materialının kütləsidir, kq ; c_p - faza keçidli akkumulyasiya materialının xüsusi istilik tutumudur, $\text{C} / (\text{kq} \cdot \text{K})$

Günəş istilikdəyişdirici – helioreaktor akkumulyasiya sisteminin üzərindəki izoliyasiya qatının olmasına baxmayaraq, istilik itkilərinin yaranması labüddür. Əsasən konvektiv üsulla baş verən istilik itkisini, yəni helioreaktorun səthindən ətraf mühitə olan istilik itkisini təyin edək:

$$Q = dQ / dz = -kA(T_{ak} - T_h)$$

Burada, k - istilikötürmə əmsalıdır, $Vt / (\text{mK})$; A - istilik ayrılan səthin sahəsidir, m^2 ; z - zamandır, saat.

Hər iki bərabərliyi birləşdirsək, onda alarıq:

$$T(z) - T_h = [T(z=0) - T_h] \exp(-zkA / m_{ak} c_p)$$

Belə sistemlərin f.i.ə.-ni hesablamaq üçün xüsusi həl nəzərə almaq lazımdır: İlkin olaraq, bilmək lazımdır ki, sistem hansı texnoloji proses üçün tətbiq ediləcək. Bu, iki hal üçün ola bilər: 1-cisi yüksək temperaturlu texnoloji proses, 2-cisi aşağı temperaturlu texnoloji proses.

$$\xi_{ak} = \exp(-Z^*) = \nu_{ak}$$

$$\xi_{ak}^2 = \exp(-2Z^*) = \nu_{ak}^2$$

Burada, Z^* - ölçüsüz zamandır; ν_{ak} - akkumulyasiya sisteminin f.i.ə.-dır.

Aparılmış hesablama və təcrübələrin analizi göstərir ki, enerjiyə qənaət və ekoloji təmiz texnologiyaların inkişaf etdirilməsində müstəsna əhəmiyyət kəsb edən alternativ enerji qurğularında istiliyin uzunmüddətli saxlanması və texnoloji prosesə ötürülməsi prosesinin tədqiq edilməsi digər sənaye sahələrində də geniş miqyaslı və böyük səmərə əldə edilməsinə imkan yaradır.

REFERENCE

1. Agyenim F., Eames P., Smyth M. A comparison of heat transfer enhancement in a medium temperature thermal energy storage heat exchanger using fins. Solar Energy 83, 2009, pp. 1509–1520.
2. Trp A. An experimental and numerical investigation of heat transfer during technical grade paraffin melting and solidification in a shell-and-tube latent thermal energy storage unit. Solar Energy 79, 2005, pp. 648–660.
3. Məmmədov F. Günəş havaqızdırıcı kollektor və günəş istilik akkumulyatorunun işlənməsi. Energetikanın Problemləri. Bakı, 2012, №4. s. 38-45.

4. **Agyenim F., Hewitt N., Eames P., Smyth M.** A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS). Renewable and Sustainable Energy Reviews 14, 2010, pp. 615–628.
5. **Esen M., Durmus A.** Geometric design of solar-aided latent heat store depending on various parameters and phase change materials. Solar Energy 62, 1998, pp. 19–28.
6. **Adine H., Qarnia H.** Numerical analysis of the thermal behaviour of a shell-and-tube heat storage unit using phase change materials. Applied Mathematical Modelling 33, 2009, pp. 2132–2144
7. **Felix Regin, Solanki S.C., Saini J.S.** Heat transfer characteristics of thermal energy storage system using PCM capsules. Renewable and Sustainable Energy Reviews 12, 2008, pp. 2438–2458.
8. **Xia L., Zhang P., Wang R.** Preparation and thermal characterization of expanded graphite -paraffin composite phase change material. Carbon 48, 2010, pp. 2538-2548
9. **Məmmədov F.** Günəş energetik qurğusunda istiliyi akkumulyasiya edən rekuperativ tipli istilik-dəyişdiriciyə malik yeni universal helioreaktor. Energetikanın Problemləri. Bakı, 2011, №4. s. 52-57
10. **Agyenim F., Eames P., Smyth M.** Heat transfer enhancement in medium temperature thermal energy storage system using a multitube heat transfer array. Renewable Energy 35, 2010, pp. 198–207.
11. **Himenko A.V.** Ocenna i analiz teplovyyh parametrov tverdyh teploakkumulirujushhih elementov v rezhime zarjada i otdachi tepla elektricheskogo teplovogo akkumuljatora. // Vestnik NTU «HPI». 2014. №13.s. 156-161.
12. **Beckmann G. Gilli P.** Thermal energy storage. Springer – Verlag – Wien – New-York. 1984. p.230.
13. **Arkar C., Vidrihb B., Medveda S.** Efficiency of free cooling using latent heat storage integrated into the ventilation system of a low energy building. International Journal of Refrigeration 30, 2007, pp. 134–143.
14. **Benmansour A., Hamdan M., Bengeuddach A.** Experimental and numerical investigation of solid particles thermal energy storage unit. Applied Thermal Energy 26, 2006, pp. 513–518.

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ АККУМУЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ ГЕЛИОРЕАКТОРА НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛА ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

Ф.Ф. МАМЕДОВ

В статье рассматриваются процессы долговременного аккумулирования теплоты с использованием различных материалов фазового перехода в солнечных теплоэнергетических системах. На основе проведенных экспериментов в универсальном гелиореакторе определены такие показатели, как тепловая эффективность, теплоэнергетические параметры и тепловые потери.

Ключевые слова: солнечные тепловые энергетические системы, материал фазового перехода, гелиореактор, теплоэнергетические параметры, тепловой аккумулятор.

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESULTS OF STORAGE SYSTEMS FOR SOLAR HEAT EXCHANGER – SOLAR REACTOR BASED PHASE CHANGE MATERIAL

F.F. MAMMADOV

The article examines the processes of long-term heat storage using the different phase change material in the solar thermal power systems. On the basis of experiments in the universal solar reactor such factors as thermal efficiency, heat and power parameters and thermal losses were identified.

Key words: solar heat energy systems, phase change material, solar reactor, heat energy parameters, heat accumulator.

НЕЧЁТКАЯ КОГНИТИВНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Р.Р. РЗАЕВ*, Э.Т. АЛИЕВ,* В.И. ГАСАНОВ*, З.Р. ДЖАМАЛОВ*

Разработана и описана типовая нечёткая когнитивная модель для оценки уровня продовольственной безопасности для стран, где отсутствует гарантированный регулярный доступ населения к высококачественной пище, необходимой для ведения активного и здорового образа жизни. За основу выбрана когнитивная карта, охватывающая достаточно большой спектр факторов влияния на продовольственную безопасность, утвержденных Стратегической рамочной программой FAO UN (продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН FAO UN – Food and Agriculture Organization of the United Nations) на 2014-2017 годы. Для формализации причинно-следственных связей между указанными факторами использованы ограниченные наборы нечётких логических правил.

Ключевые слова: продовольственная безопасность, когнитивная карта, нечёткая когнитивная модель, система нечёткого вывода.

Введение. В Стратегической рамочной программе и среднесрочном плане FAO UN на 2014-2017 годы [1] сформулированы глобальные тенденции и основные вызовы в плане продовольствия и сельского хозяйства, которые подразумевают существенный рост спроса на продукты питания, затяжное отсутствие продовольственной безопасности, неправильное питание, в том числе продолжающееся распространение ожирения среди населения, бедность в сельских районах, усложнение систем сельскохозяйственного производства и производства продовольствия, более динамичные потоки в торговле сельскохозяйственными товарами и изменяющиеся правила их регулирования, изменение климата, а также необходимость в более совершенном управлении в условиях нарастающей сложности процесса сельскохозяйственного развития.

В настоящее время FAO осуществляет меры институционального характера, направленные на завершение перехода от формулирования результатов на основе подхода, предполагающего использование так называемой статической матрицы, к носящему более стратегический характер подходу, основанному на «управлении, направленном на достижение конкретных результатов». Согласно этому подходу становится возможной концентрация усилий вокруг действий, необходимых для достижения желаемых результатов на всех уровнях, что, в свою очередь, требует наличия научных основ управления эффективностью работы, отчетности по результатам и использования информации в целях совершенствования принятия решений.

* Институт Систем Управления НАНА

Базовой основой управления эффективностью работы FAO может служить модель (а впоследствии и система) для комплексной оценки промежуточных (тактических), стратегических и глобальных решений в области обеспечения продовольственной безопасности, составляющими которой должны быть ориентировочные результаты FAO [1, стр.16]. Поэтому в целях совершенствования мониторинга результатов и соответствующей отчетности возникает необходимость в формировании системы для определения и комплексной оценки индикаторов для стратегических целей (результатов в области развития) FAO, организационных результатов и итогов.

Как и любая организационно-технологическая система, система мониторинга результатов и отчетностей FAO (СМРО FAO) является системой гуманистического типа, т.е. системой, в которой существенная роль принадлежит суждениям и знаниям человека [2]. В отличие от механистических систем, поведение которых допускает численное описание, гуманистические системы являются слабо структурируемыми и гораздо более сложными. Поэтому адекватное управление СМРО FAO является весьма сложной, слабо структурированной и, соответственно, трудно формализуемой процедурой.

Существующие разработки подобных систем предусматривают применение системного подхода, позволяющего консолидировать разные по своей природе процессы, протекающие в информационной системе. Тем не менее, на сегодняшний день одним из наиболее адекватных инструментов для описания и исследования слабо структурированных систем (СС) является *когнитивное моделирование* (КМ), которое активно применяется при построении систем поддержки принятия решений в условиях неопределенности [3-5]. При этом основным преимуществом математического аппарата когнитивного анализа является предоставляемая им возможность адаптации моделируемой системы к возможным изменениям во внешней среде [6].

На современной стадии развития информационной и смежных технологий любая система, подобная СМРО, является всего лишь автоматизированной, т.е. не может существовать сама по себе или, другими словами, в отрыве от человека. Она служит человеку и им же оценивается. Поэтому определение и комплексная оценка индикаторов для стратегических целей (СЦ) FAO, организационных результатов и итогов имеет не только объективную, но и субъективную составляющую, поскольку в конечном итоге такие оценки осуществляются самим человеком. Это является достаточно важным фактором, который обуславливает необходимость применения качественных категорий для оценки решений, т.е. термов лингвистических переменных, являющихся основными структурными единицами естественного языка субъекта управления. Как следствие, именно данная парадигма и объясняет необходимость применения математического аппарата нечеткой логики. В конечном итоге, субъективное мышление ответственного за принятие решений становится причиной появления диапазона так называемой «условной приемлемости» в шкале оценок индикаторов целей, организационных результатов и итогов FAO [7].

Постановка задачи. Основными шагами на пути создания системы мониторинга и оценки результатов и отчетностей FAO являются: предвидение, предотвращение, лока-

лизация и устранение неправильных решений. При этом определение и оценка индикаторов стратегических целей, организационных результатов и итогов всегда относительна, а желание приписать ей числовое значение неприемлемо с точки зрения дальнейшей интерпретации комплексных результатов. Мониторинг результатов и отчетностей FAO – понятие комплексное и не может рассматриваться в виде простой совокупности своих взаимосвязанных и/или взаимозависимых составляющих, т.к. каждая из них критически значима. Поэтому при комплексной оценке результатов и отчетностей численное описание (или усреднение) составных индикаторов является совершенно неприемлемым.

Отличительными особенностями, которые необходимо учитывать при создании СМРО, являются: 1) неполнота и неопределенность исходной информации о составе и характере факторов, определяющих стратегические цели; 2) наличие многокритериальных задач выбора альтернатив, связанных с необходимостью учета большого числа факторов, определяющих стратегические цели; 3) наличие большого числа качественных показателей, которые необходимо учитывать при решении задач разработки и внедрения систем комплексной оценки факторов, определяющих СЦ; 4) невозможность применения классических методов оптимизации.

Учитывая приведенные требования, необходимо разработать такую модель для комплексной оценки промежуточных (тактических), стратегических и глобальных решений в области обеспечения продовольственной безопасности, составляющими которой должны быть ориентировочные результаты FAO.

Нечёткая когнитивная модель СС: общие принципы построения. КМ СС предусматривает разработку формальных моделей и методов, позволяющих учитывать так называемые когнитивные возможности субъекта управления, подразумевающие его восприятие, представление, познание в предметной области, понимание и объяснение промежуточных проблем при решении задач управления. При этом основным инструментом такого исследования является когнитивная карта (КК), которая отражает индивидуальные и/или субъективные представления исследуемой проблемы, явления. КК включает в себя базисные факторы (компоненты) и причинно-следственные связи между ними [7]. С содержательной точки зрения базисные факторы отождествляют и ограничивают наблюдаемые явления как внутри исследуемой системы, так и в окружающей ее среде. Эти факторы интерпретируются субъектом управления как существенные, ключевые параметры или, другими словами, как признаки наблюдаемых экзогенных и эндогенных явлений и процессов.

По сути КК – это ориентированный граф над множеством факторов, отражающий, в нашем случае, способ структурирования СС и состояний. Изучение взаимодействия факторов в рамках КК позволяет оценивать распространение их влияний и, тем самым, описывать поведение (состояния) исследуемой системы. В свою очередь, анализ КК поведения исследуемой системы подразумевает нахождение наиболее значимых факторов влияния и оценку воздействие этих факторов друг на друга. Это предоставляет возможность применять классические методы теории систем, в частности, для моделирования, анализа динамики и управления.

Рассмотрим нечёткую когнитивную модель (НКМ) на основе тривиального примера КК, позволяющей в общих чертах анализировать проблему мониторинга тактических, стратегических и глобальных решений в области обеспечения продовольственной безопасности (ПБ) при обработке данных с использованием средств вычислительной техники (рис. 1).



Рис. 1. Когнитивная карта для анализа проблемы обеспечения ПБ

Как видно из рис. 1, проблема мониторинга тактических, стратегических и глобальных решений в области обеспечения ПБ в упрощенной форме описывается в виде неполносвязной структуры, состоящей из факторов A, B, C, D, E, F, G и дуг, отражающих соответствующие причинно-следственные связи между отдельными из них. В данном случае это знаковый граф: знак «-» означает, что при увеличении исходного фактора значение зависящего от него фактора уменьшается, и наоборот. А знак «+» означает, что увеличение исходного фактора влечет за собой увеличение зависимого.

Рассмотрим поведение замкнутой подсистемы A→B→C→D→A при увеличении масштабов применения организационных решений FAO. Очевидно, что увеличение этих масштабов повлечет за собой увеличение масштабов достижения стратегических результатов, а это, в свою очередь, существенно расширит спектр глобальных задач, что неминуемо будет способствовать понижению уровня ПБ и, как следствие, понизит необходимость применения организационных решений FAO. Это означает, что процесс «затухания» воздействующего на подсистему через фактор B сигнала приведет к стабилизации всего контура, т.е. будет осуществляться противодействие отклонению.

Представленная на рис. 1 схема мониторинга тактических, стратегических и глобальных решений в области обеспечения ПБ является все же тривиальной, т.к. на практике взаимодействия двух факторов, например, B и C осуществляются по более сложным функциональным закономерностям, которые в привычной традиционно математической форме очень трудно формализовать. Поэтому возникает необходимость применять механизм нечёткого логического вывода для описания причинно-следственных связей между концептами такого мониторинга, а сам анализ проводить на основе так называемых нечётких когнитивных карт (НКК) [8]. При этом узловые факторы НКК интерпретируются как нечёткие множества (НМ), а причинно-следственные связи между ни-

ми устанавливаются на основе ограниченного набора нечётких лингвистических правил (НЛП), определяющих в том числе и весовые коэффициенты связей между факторами. Подобное формальное описание поведения СС и, в частности, проблемы мониторинга тактических, стратегических и глобальных решений в области обеспечения ПБ назовём НКМ.

НЛП формируются в импликативной форме «Если ..., тогда ...», например, в виде: «Если x_{k1} есть A_{k1} и x_{k2} есть A_{k2} и и x_{kn} есть A_{kn} , тогда y есть B_k », где x_{kj} ($j=1 \dots n$; $k=1, 2, \dots$) – входные характеристики, представленные как лингвистические переменные (ЛП); y – выходная ЛП; A_{kj} и B_k – термы (значения) соответствующих ЛП, описываемых в виде НМ.

Типовая когнитивная карта для формирования СМРО. Одной из важных функций FAO является сбор, анализ и мониторинг данных и информации в областях, связанных с мандатом FAO, и улучшение доступа к ним [1]. Эта функция включает разработку и развитие мировых и региональных тенденций, перспектив, проектов и реакции на них правительств и других заинтересованных сторон (например, в части политики, законодательства и практических действий), а также прямую поддержку стран в развитии институционального потенциала, необходимого для реагирования на обнаруженные вызовы и поиска возможных вариантов. Очевидно, что данная функция является важнейшим инструментом, с помощью которого FAO организовывает и проводит собственную работу для достижения своих СЦ.

На рис. 1 представлена упрощенная КК для анализа проблемы обеспечения ПБ в целом. Однако, например, для оценки СЦ и вытекающих из них глобальных задач FAO необходимо учитывать исключительно большое количество разноплановых факторов, определяющих, собственно, сами СЦ. Поэтому для организации и направления своей работы FAO сформировала [1] матрицу, включающую 5 структурных целей (СЦ), обозначаемых y_k ($k = 1, 2, \dots, 5$), и факторов, определяющих СЦ, обозначаемых x_{kj} ($j = 1, \dots, n_k$):

при $k = 1$ (голод, проблемы отсутствия ПБ и нищета – y_1):

x_{11} – физическая доступность ресурсов; x_{12} – экономическая доступность ресурсов; x_{13} – доходы населения; x_{14} – доступ населения к производственным активам; x_{15} – экономические и другие кризисы; x_{16} – политические обязательства страны; x_{17} – общее понимание проблем и решений; x_{18} – механизмы управления и координации; x_{19} – согласованность стратегий, программ и инвестиций; $x_{1,10}$ – гендерное неравенство;

при $k = 2$ (предоставление товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйств устойчивым образом – y_2):

x_{21} – нехватка и деградация базы природных ресурсов; x_{22} – экосистемные услуги и биологическое разнообразие; x_{23} – изменение климата; x_{24} – миграция; x_{25} – новые угрозы; x_{26} – узкие места в части управления и разработки политики; x_{27} – устойчивость экоразвития; x_{29} – устойчивость соцразвития;

при $k = 3$ (масштабы нищеты в сельских районах – y_3):

x_{31} – ориентированность политики; x_{32} – доступ к производственным активам и ресурсам; x_{33} – доступ к услугам; x_{34} – общественные организации (социальный капитал); x_{35} – возможности занятости; x_{36} – условия труда; x_{37} – социальная защита;

при $k = 4$ (предпосылки к созданию на местном, государственном, региональном и международном уровнях более широких по охвату и более эффективных сельскохозяйственных и продовольственных систем – y_4):

x_{41} – благоприятность условия; x_{42} – потенциал (с учетом привлечения частного сектора); x_{43} – глобальные рыночные системы;

при $k = 5$ (устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами – y_5):

x_{51} – вероятность стихийных бедствий; x_{52} – вероятность чрезвычайных ситуаций в продовольственных цепочках; x_{53} – вероятность социально-экономических кризисов; x_{54} – вероятность вооруженных конфликтов; x_{55} – вероятность затяжных кризисов; x_{56} – параметры устойчивости (уязвимость); x_{57} – потребности; x_{58} – гуманитарная защита и защита в переходный период; x_{59} – уровень стратегического партнерства в достижении результатов.

В [1] представлена классификация факторов влияния по соответствующим СЦ и структуризация принимаемых ими возможных значений, исполненная в виде термов соответствующих ЛП. Перечисленные здесь факторы будем считать ЛП, каждая из которых в качестве своего значения принимает одно из указанных в терм-множестве. В привычном смысле представленная в [1] классификация факторов сопряжена с решением комбинаторной задачи весьма большой размерности и с высоким уровнем неопределенности. Поэтому, исходя из неё, задачу оценки уровня ПБ рассмотрим посредством НКМ [8], в основе которого лежит представленная на рис. 2 НКК, охватывающая все факторы из перечня СЦ FAO.

Описание причинно-следственных связей в НКК. Представленные на рис. 2 причинно-следственные связи можно описать с помощью достаточного набора НЛП. Для этого по каждому из оснований для СЦ FAO за основу выберем следующие непротиворечивые высказывания.

СЦ1. Уровень голода и нищеты:

a_1 : «Если физическая и экономическая доступности неограниченные, доходы населения высокие, доступ к производственным активам неограничен, экономические и другие кризисы неощущимые, политические обязательства соблюдаются в достаточном объеме и имеет место полное понимание проблем и решений ПБ, используются эффективные механизмы управления и координации, согласованность стратегии программ и инвестиций высокая, а также отсутствует гендерное неравенство, тогда проблема голода и нищеты абсолютно нечувствительная»;

a_2 : «Если физическая и экономическая доступности неограниченные, доходы населения высокие, политические обязательства соблюдаются в достаточном объеме и имеет место полное понимание проблем и решений ПБ, используются эффективные механизмы управления и координации, согласованность стратегии программ и инвестиций высокая, а также отсутствует гендерное неравенство, тогда проблема голода и нищеты очень нечувствительная»;

a_3 : «Если физическая и экономическая доступности неограниченные, политические обязательства соблюдаются в достаточном объеме и имеет место полное понимание проблем и решений ПБ, используются эффективные механизмы управления и координации, а также согласован-

ность стратегии программ и инвестиций высокая, тогда проблема голода и нищеты более чем нечувствительная»;

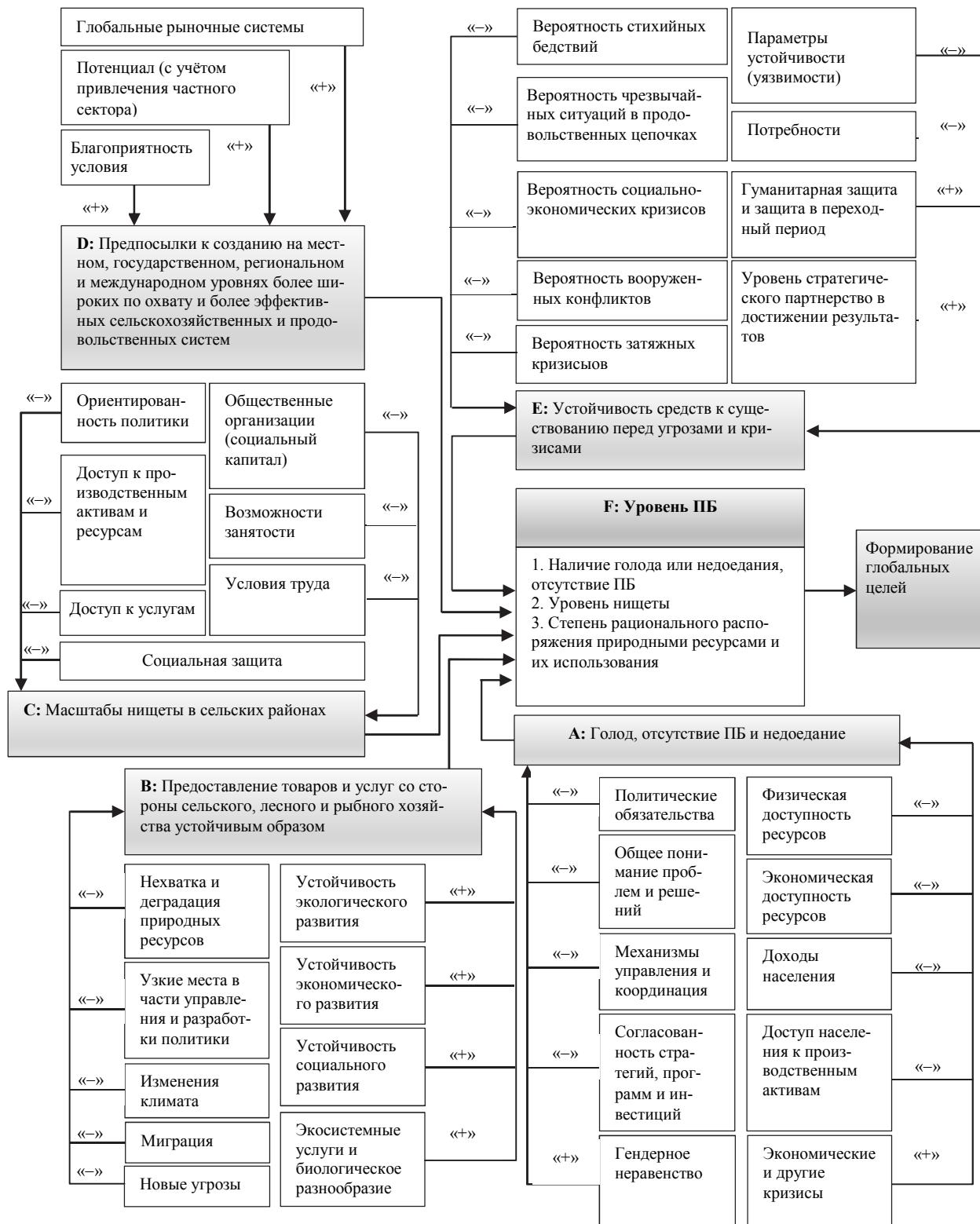


Рис. 2. Нечёткая когнитивная карта для анализа ПБ

a₄: «Если физическая и экономическая доступности неограниченные, доходы населения высокие, доступ к производственным активам неограничен, тогда проблема голода и нищеты нечувствительная»;

a₅: «Если физическая и экономическая доступности ограниченные, доходы населения низкие, доступ к производственным активам ограниченный, тогда проблема голода и нищеты чувствительная»;

a₆: «Если физическая и экономическая доступности ограниченные, политические обязательства соблюдаются в недостаточном объеме и имеет место слабое понимание проблем и решений ПБ, используются неэффективные механизмы управления и координации, а также согласованность стратегии программ и инвестиций низкая, тогда проблема голода и нищеты более чем чувствительная»;

a₇: «Если физическая и экономическая доступности ограниченные, доходы населения низкие, политические обязательства соблюдаются в недостаточном объеме и имеет место слабое понимание проблем и решений ПБ, используются неэффективные механизмы управления и координации, согласованность стратегии программ и инвестиций низкая, а также гендерное неравенство заметное, тогда проблема голода и нищеты очень чувствительная»;

a₈: «Если физическая и экономическая доступности ограниченные, доходы населения низкие, доступ к производственным активам ограничен, экономические и другие кризисы ощущимые, политические обязательства соблюдаются в недостаточном объеме и имеет место полное непонимание проблем и решений ПБ, используются неэффективные механизмы управления и координации, согласованность стратегии программ и инвестиций низкая, а также гендерное неравенство заметное, тогда проблема голода и нищеты слишком чувствительная».

Анализ этих высказываний, как причинно-следственных связей между факторами влияния, с одной стороны, и уровнем голода и недоедания, с другой, позволяет определить входные характеристики (критерии) в виде термов ЛП x_{1k} ($k=1 \dots 10$) (см. Табл. 1) и выходной ЛП y_1 – *чувствительность проблемы голода и недоедания*. Тогда высказывания $a_1 \dots a_8$ можно записать виде следующих НЛП:

a₁: «Если x_{11} =НЕОГРАНИЧЕННАЯ и x_{12} =НЕОГРАНИЧЕННАЯ и x_{13} =ВЫСОКИЕ и x_{14} =НЕОГРАНИЧЕННЫЙ и x_{15} =НЕОЩУТИМЫЕ и x_{16} =ДОСТАТОЧНЫЕ и x_{17} =ПОЛНОЕ и x_{18} =ЭФФЕКТИВНЫЕ и x_{19} =СИЛЬНАЯ и $x_{1,10}$ =ОТСУТСТВУЕТ, тогда y_1 =АБСОЛЮТНО НЕЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ»;

a₂: «Если x_{11} =НЕОГРАНИЧЕННАЯ и x_{12} =НЕОГРАНИЧЕННАЯ и x_{13} =ВЫСОКИЕ и x_{16} =ДОСТАТОЧНЫЕ и x_{17} =ПОЛНОЕ и x_{18} =ЭФФЕКТИВНЫЕ и x_{19} =СИЛЬНАЯ и $x_{1,10}$ =ОТСУТСТВУЕТ, тогда y_1 =ОЧЕНЬ НЕЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ»;

a₃: «Если x_{11} =НЕОГРАНИЧЕННАЯ и x_{12} =НЕОГРАНИЧЕННАЯ и x_{16} =ДОСТАТОЧНЫЕ и x_{17} =ПОЛНОЕ и x_{18} =ЭФФЕКТИВНЫЕ и x_{19} =СИЛЬНАЯ, тогда y_1 =БОЛЕЕ ЧЕМ НЕЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ»;

a₄: «Если x_{11} =НЕОГРАНИЧЕННАЯ и x_{12} =НЕОГРАНИЧЕННАЯ и x_{13} =ВЫСОКИЕ и x_{14} =НЕОГРАНИЧЕННЫЙ, тогда y_1 =НЕЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ»;

a₅: «Если x_{11} =ОГРАНИЧЕННАЯ и x_{12} =ОГРАНИЧЕННАЯ и x_{13} =НИЗКИЕ и x_{14} =ОГРАНИЧЕННЫЙ, тогда y_1 =ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ»;

a₆: «Если x_{11} =ОГРАНИЧЕННАЯ и x_{12} =ОГРАНИЧЕННАЯ и x_{16} =НEDОСТАТОЧНЫЕ и x_{17} =СЛАБОЕ и x_{18} =НЕЭФФЕКТИВНЫЕ и x_{19} =СЛАБАЯ, тогда y_1 =БОЛЕЕ ЧЕМ ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ»;

a₇: «Если x_{11} =ОГРАНИЧЕННАЯ и x_{12} =ОГРАНИЧЕННАЯ и x_{13} =НИЗКИЕ и x_{16} =НEDОСТАТОЧНЫЕ и x_{17} =СЛАБОЕ и x_{18} =НЕЭФФЕКТИВНЫЕ и x_{19} =СЛАБАЯ и $x_{1,10}$ =ЗАМЕТНОЕ, тогда y_1 =ОЧЕНЬ ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ»;

a₈: «Если x_{11} =ОГРАНИЧЕННАЯ и x_{12} =ОГРАНИЧЕННАЯ и x_{13} =НИЗКИЕ и x_{14} =ОГРАНИЧЕННЫЙ и x_{15} =СУЩЕСТВЕННЫЕ и x_{16} =НEDОСТАТОЧНЫЕ и x_{17} =СЛАБОЕ и x_{18} =НЕЭФФЕКТИВНЫЕ и x_{19} =СЛАБАЯ и $x_{1,10}$ =ЗАМЕТНОЕ, тогда y_1 =СЛИШКОМ ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ».

СЦ2. Предоставление товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства устойчивым образом:

b₁: «Если нехватка и деградация базы природных ресурсов неощущимые, экосистемные услуги и биологическое разнообразие широкие, изменение климата незначительное, а миграция несущественная, новые угрозы несущественные, отсутствуют узкие места в части управления и разработки политики, а также наблюдается сильная устойчивость в экологическом, экономическом и социальном развитии, тогда процесс предоставления товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства является чересчур устойчивым»;

b_2 : «Если нехватка и деградация базы природных ресурсов неощущимые, экосистемные услуги и биологическое разнообразие широкие, изменение климата незначительное, отсутствуют узкие места в части управления и разработки политики, а также наблюдается сильная устойчивость в экологическом, экономическом и социальном развитиих, тогда процесс предоставления товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства является очень устойчивым»;

b_3 : «Если нехватка и деградация базы природных ресурсов неощущимые, экосистемные услуги и биологическое разнообразие широкие, отсутствуют узкие места в части управления и разработки политики, а также наблюдается сильная устойчивость в экологическом, экономическом и социальном развитиих, тогда процесс предоставления товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства является более чем устойчивым»;

b_4 : «Если нехватка и деградация базы природных ресурсов неощущимые, экосистемные услуги и биологическое разнообразие широкие, изменение климата незначительное, а миграция несущественная, тогда процесс предоставления товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства является устойчивым»;

b_5 : «Если нехватка и деградация базы природных ресурсов существенные, экосистемные услуги и биологическое разнообразие скудные, изменение климата существенное, а миграция также существенная, тогда процесс предоставления товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства является неустойчивым»;

b_6 : «Если нехватка и деградация базы природных ресурсов существенные, экосистемные услуги и биологическое разнообразие скудные, имеют место узкие места в части управления и разработки политики, а также наблюдается слабая устойчивость в экологическом, экономическом и социальном развитиих, тогда процесс предоставления товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства является более чем неустойчивым».

b_7 : «Если нехватка и деградация базы природных ресурсов существенные, экосистемные услуги и биологическое разнообразие скудные, изменение климата существенное, имеют место узкие места в части управления и разработки политики, а также наблюдается слабая устойчивость в экологическом, экономическом и социальном развитиих, тогда процесс предоставления товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства является очень неустойчивым»;

b_8 : «Если нехватка и деградация базы природных ресурсов существенные, экосистемные услуги и биологическое разнообразие скудные, изменение климата существенное, миграция существенная, новые угрозы существенные, имеют место узкие места в части управления и разработки политики, а также наблюдается слабая устойчивость в экологическом, экономическом и социальном развитиих, тогда процесс предоставления товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства является слишком неустойчивым».

В данном случае входными характеристиками (факторами влияния) являются термы ЛП x_{2j} ($j=1 \div 9$), а выходными – значения ЛП y_2 – уровень устойчивости процесса предоставления товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства. С учётом заявленных в выскаживаниях значений ЛП y_2 , а также обозначенных в Табл. 1 термов входной ЛП x_{2j} ($j=1 \div 9$), запишем высказывания $b_1 \div b_8$ в виде следующих НЛП:

b_1 : «Если $x_{21}=\text{НЕОЩУТИМЫЕ}$ и $x_{22}=\text{ШИРОКИЕ}$ и $x_{23}=\text{НЕЗНАЧИТЕЛЬНОЕ}$ и $x_{24}=\text{НЕСУЩЕСТВЕННАЯ}$ и $x_{25}=\text{НЕСУЩЕСТВЕННЫЕ}$ и $x_{26}=\text{ОТСУТСТВУЮТ}$ и $x_{27}=\text{СИЛЬНАЯ}$ и $x_{28}=\text{СИЛЬНАЯ}$ и $x_{29}=\text{СИЛЬНАЯ}$, $y_2=\text{ЧЕРЕСЧУР УСТОЙЧИВЫЙ}$ »;

b_2 : «Если $x_{21}=\text{НЕОЩУТИМЫЕ}$ и $x_{22}=\text{ШИРОКИЕ}$ и $x_{23}=\text{НЕЗНАЧИТЕЛЬНОЕ}$ и $x_{26}=\text{ОТСУТСТВУЮТ}$ и $x_{27}=\text{СИЛЬНАЯ}$ и $x_{28}=\text{СИЛЬНАЯ}$ и $x_{29}=\text{СИЛЬНАЯ}$, тогда $y_2=\text{ОЧЕНЬ УСТОЙЧИВЫЙ}$ »;

b_3 : «Если $x_{21}=\text{НЕОЩУТИМЫЕ}$ и $x_{22}=\text{ШИРОКИЕ}$ и $x_{26}=\text{ОТСУТСТВУЮТ}$ и $x_{27}=\text{СИЛЬНАЯ}$ и $x_{28}=\text{СИЛЬНАЯ}$ и $x_{29}=\text{СИЛЬНАЯ}$, тогда $y_2=\text{БОЛЕЕ ЧЕМ УСТОЙЧИВЫЙ}$ »;

b_4 : «Если $x_{21}=\text{НЕОЩУТИМЫЕ}$ и $x_{22}=\text{ШИРОКИЕ}$ и $x_{23}=\text{НЕЗНАЧИТЕЛЬНОЕ}$ и $x_{24}=\text{НЕСУЩЕСТВЕННАЯ}$, $y_2=\text{УСТОЙЧИВЫЙ}$ »;

b_5 : «Если $x_{21}=\text{СУЩЕСТВЕННЫЕ}$ и $x_{22}=\text{СКУДНЫЕ}$ и $x_{23}=\text{СУЩЕСТВЕННОЕ}$ и $x_{24}=\text{СУЩЕСТВЕННАЯ}$, $y_2=\text{НЕУСТОЙЧИВЫЙ}$ »;

- b_6 : «Если x_{21} =СУЩЕСТВЕННЫЕ и x_{22} =СКУДНЫЕ и x_{26} =ИМЕЮТ МЕСТО и x_{27} =СЛАБАЯ и x_{28} =СЛАБАЯ и x_{29} =СЛАБАЯ, y_2 =БОЛЕЕ ЧЕМ НЕУСТОЙЧИВЫЙ»;
- b_7 : «Если x_{21} =СУЩЕСТВЕННЫЕ и x_{22} =СКУДНЫЕ и x_{23} =СУЩЕСТВЕННОЕ и x_{26} =ИМЕЮТ МЕСТО и x_{27} =СЛАБАЯ и x_{28} =СЛАБАЯ и x_{29} =СЛАБАЯ, y_2 =ОЧЕНЬ НЕУСТОЙЧИВЫЙ»;
- b_8 : «Если x_{21} =СУЩЕСТВЕННЫЕ и x_{22} =СКУДНЫЕ и x_{23} =СУЩЕСТВЕННОЕ и x_{24} =СУЩЕСТВЕННАЯ и x_{25} =СУЩЕСТВЕННЫЕ и x_{26} =ИМЕЮТ МЕСТО и x_{27} =СЛАБАЯ и x_{28} =СЛАБАЯ и x_{29} =СЛАБАЯ, y_2 =СЛИШКОМ НЕУСТОЙЧИВЫЙ».

СЦ3. Масштабы нищеты в сельских районах:

- c_1 : «Если ориентированность политики нацеленная, доступы к производственным активам и ресурсам, а также к услугам достаточные, общественные организации сильные, возможности занятости неограниченные, условия труда достойные, а социальная защита достаточная, тогда масштабы нищеты в сельских районах мизерные»;
- c_2 : «Если ориентированность политики нацеленная, доступы к производственным активам и ресурсам, а также к услугам достаточные, условия труда достойные, а социальная защита достаточная, тогда масштабы нищеты в сельских районах очень малы»;
- c_3 : «Если ориентированность политики нацеленная, доступы к производственным активам и ресурсам достаточные, условия труда достойные, а социальная защита достаточная, тогда масштабы нищеты в сельских районах более чем малы»;
- c_4 : «Если ориентированность политики нацеленная, доступы к производственным активам и ресурсам, а также к услугам достаточные, общественные организации сильные, тогда масштабы нищеты в сельских районах малые»;
- c_5 : «Если ориентированность политики не нацеленная, доступы к производственным активам и ресурсам, а также к услугам ограниченные, общественные организации отсутствуют, тогда масштабы нищеты в сельских районах большие»;
- c_6 : «Если ориентированность политики не нацеленная, доступы к производственным активам и ресурсам ограниченные, условия труда недостойные, а социальная защита недостаточная, тогда масштабы нищеты в сельских районах более чем большие».
- c_7 : «Если ориентированность политики не нацеленная, доступы к производственным активам и ресурсам, а также к услугам ограниченные, условия труда недостойные, а социальная защита недостаточная, тогда масштабы нищеты в сельских районах очень большие»;
- c_8 : «Если ориентированность политики не нацеленная, доступы к производственным активам и ресурсам, а также к услугам ограниченные, общественные организации отсутствуют, возможности занятости ограниченные, условия труда недостойные, а социальная защита недостаточная, тогда масштабы нищеты в сельских районах огромные».

В этом случае критериями оценки являются термы ЛП x_{3j} ($j=1 \div 7$), а выходной характеристикой является ЛП y_3 – *масштабы нищеты в сельских районах*. Тогда перечисленные высказывания $c_1 \div c_8$ запишем в виде соответствующих НЛП:

- c_1 : «Если x_{31} =НАЦЕЛЕННАЯ и x_{32} =ДОСТАТОЧНЫЙ и x_{33} =ДОСТАТОЧНЫЙ и x_{34} =СИЛЬНЫЕ и x_{35} =НЕОГРАНИЧЕННЫЕ и x_{36} =ДОСТОЙНЫЕ и x_{37} =ДОСТАТОЧНАЯ, y_3 =МИЗЕРНЫЕ»;
- c_2 : «Если x_{31} =НАЦЕЛЕННАЯ и x_{32} =ДОСТАТОЧНЫЙ и x_{33} =ДОСТАТОЧНЫЙ и x_{36} =ДОСТОЙНЫЕ и x_{37} =ДОСТАТОЧНАЯ, y_3 =ОЧЕНЬ МАЛЫ»;
- c_3 : «Если x_{31} =НАЦЕЛЕННАЯ и x_{32} =ДОСТАТОЧНЫЙ и x_{36} =ДОСТОЙНЫЕ и x_{37} =ДОСТАТОЧНАЯ, y_3 =БОЛЕЕ ЧЕМ МАЛЫ»;
- c_4 : «Если x_{31} =НАЦЕЛЕННАЯ и x_{32} =ДОСТАТОЧНЫЙ и x_{33} =ДОСТАТОЧНЫЙ и x_{34} =СИЛЬНЫЕ, y_3 =МАЛЫ»;
- c_5 : «Если x_{31} =НЕ НАЦЕЛЕННАЯ и x_{32} =ОГРАНИЧЕННЫЙ и x_{33} =ОГРАНИЧЕННЫЙ и x_{34} =ОТСУТСТВУЮТ, y_3 =БОЛЬШИЕ»;
- c_6 : «Если x_{31} =НЕ НАЦЕЛЕННАЯ и x_{32} =ОГРАНИЧЕННЫЙ и x_{36} =НЕДОСТОЙНЫЕ и x_{37} =НЕДОСТАТОЧНАЯ, y_3 =БОЛЕЕ ЧЕМ БОЛЬШИЕ»;
- c_7 : «Если x_{31} =НЕ НАЦЕЛЕННАЯ и x_{32} =ОГРАНИЧЕННЫЙ и x_{33} =ОГРАНИЧЕННЫЙ и x_{36} =НЕДОСТОЙНЫЕ и x_{37} =НЕДОСТАТОЧНАЯ, y_3 =ОЧЕНЬ БОЛЬШИЕ»;
- c_8 : «Если x_{31} =НЕ НАЦЕЛЕННАЯ и x_{32} =ОГРАНИЧЕННЫЙ и x_{33} =ОГРАНИЧЕННЫЙ и x_{34} =ОТСУТСТВУЮТ и x_{35} =ОГРАНИЧЕННЫЕ и x_{36} =НЕДОСТОЙНЫЕ и x_{37} =НЕДОСТАТОЧНАЯ, y_3 =ОГРОМНЫЕ».

СЦ4. Предпосылки к созданию на местном, государственном, региональном и международном уровнях более широких по охвату и более эффективных сельскохозяйственных и продовольственных систем:

- d_1 : «Если условия достаточно благоприятные, потенциал (с учётом привлечения частного сектора) высокий, а глобальные рыночные системы являются предпочтительными, тогда предпосылки к созданию сельскохозяйственных и продовольственных систем являются весьма существенными»;
- d_2 : «Если условия недостаточно благоприятные, потенциал (с учётом привлечения частного сектора) высокий, а глобальные рыночные системы являются предпочтительными, тогда предпосылки к созданию сельскохозяйственных и продовольственных систем являются незначительными»;
- d_3 : «Если условия достаточно благоприятные, потенциал (с учётом привлечения частного сектора) низкий, а глобальные рыночные системы являются предпочтительными, тогда предпосылки к созданию сельскохозяйственных и продовольственных систем являются незначительными»;
- d_4 : «Если условия недостаточно благоприятные, потенциал (с учётом привлечения частного сектора) низкий, а глобальные рыночные системы являются предпочтительными, тогда предпосылки к созданию сельскохозяйственных и продовольственных систем являются незначительными»;
- d_5 : «Если условия неблагоприятные, потенциал (с учётом привлечения частного сектора) низкий, а глобальные рыночные системы являются предпочтительными, тогда предпосылки к созданию сельскохозяйственных и продовольственных систем являются незначительными»;
- d_6 : «Если глобальные рыночные системы являются непредпочтительными, тогда предпосылки к созданию сельскохозяйственных и продовольственных систем являются незначительными».

В терминах значений входных и выходных лингвистических характеристик эти правила будут выглядеть как:

- d_1 : «Если x_{41} =ДОСТАТОЧНО БЛАГОПРИЯТНЫЕ и x_{42} =ВЫСОКИЙ и x_{43} =ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ, тогда y_4 =СУЩЕСТВЕННЫЕ»;
- d_2 : «Если x_{41} =НЕДОСТАТОЧНО БЛАГОПРИЯТНЫЕ и x_{42} =ВЫСОКИЙ и x_{43} =ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ, тогда y_4 =НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ»;
- d_3 : «Если x_{41} =ДОСТАТОЧНО БЛАГОПРИЯТНЫЕ и x_{42} =НИЗКИЙ и x_{43} =ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ, тогда y_4 =НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ»;
- d_4 : «Если x_{41} =НЕДОСТАТОЧНО БЛАГОПРИЯТНЫЕ и x_{42} =НИЗКИЙ и x_{43} =ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ, тогда y_4 =НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ»;
- d_5 : «Если x_{41} =НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ и x_{42} =НИЗКИЙ и x_{43} =ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ, тогда y_4 =НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ»;
- d_6 : «Если x_{43} =НЕПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ, тогда y_4 =НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ».

СЦ5. Устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами

- e_1 : «Если вероятности стихийных бедствий, чрезвычайных ситуаций в продовольственных цепочках, социально-экономических кризисов, вооруженных конфликтов, а также затяжных кризисов низкие, уязвимость слабая, потребности удовлетворенные, гуманитарная защита и защита в переходный период сильные и уровень стратегического партнерства в достижении результатов высокий, тогда устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами в высшей степени надежная»;
- e_2 : «Если вероятности стихийных бедствий, чрезвычайных ситуаций в продовольственных цепочках, социально-экономических кризисов низкие, уязвимость слабая, потребности удовлетворенные, гуманитарная защита и защита в переходный период сильные и уровень стратегического партнерства в достижении результатов высокий, тогда устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами очень надежная»;
- e_3 : «Если вероятности стихийных бедствий, чрезвычайных ситуаций в продовольственных цепочках низкие, уязвимость слабая, потребности удовлетворенные, гуманитарная защита и защита в переходный период сильные и уровень стратегического партнерства в достижении результатов высокий, тогда устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами более чем надежная»;

e_4 : «Если вероятности стихийных бедствий, чрезвычайных ситуаций в продовольственных цепочках, социально-экономических кризисов и вооруженных конфликтов низкие, тогда устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами надежная»;

e_5 : «Если вероятности стихийных бедствий, чрезвычайных ситуаций в продовольственных цепочках, социально-экономических кризисов и вооруженных конфликтов высокие, тогда устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами ненадежная»;

e_6 : «Если вероятности стихийных бедствий, чрезвычайных ситуаций в продовольственных цепочках высокие, уязвимость сильная, потребности неудовлетворенные, гуманитарная защита и защита в переходный период слабые и уровень стратегического партнерства в достижении результатов низкий, тогда устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами более чем ненадежная»;

e_7 : «Если вероятности стихийных бедствий, чрезвычайных ситуаций в продовольственных цепочках, социально-экономических кризисов высокие, уязвимость сильная, потребности неудовлетворенные, гуманитарная защита и защита в переходный период слабые и уровень стратегического партнерства в достижении результатов низкий, тогда устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами очень ненадежная»;

e_8 : «Если вероятности стихийных бедствий, чрезвычайных ситуаций в продовольственных цепочках, социально-экономических кризисов, вооруженных конфликтов, а также затяжных кризисов высокие, уязвимость сильная, потребности неудовлетворенные, гуманитарная защита и защита в переходный период слабые и уровень стратегического партнерства в достижении результатов низкий, тогда устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами слишком ненадежная».

В терминах значений входных и выходных лингвистических характеристик эти высказывания будут выглядеть как:

e_1 : «Если x_{51} =НИЗКАЯ и x_{52} =НИЗКАЯ и x_{53} =НИЗКАЯ и x_{54} =НИЗКАЯ и x_{55} =НИЗКАЯ и x_{56} =СЛАБАЯ и x_{57} =УДОВЛЕТВОРЕННЫЕ и x_{58} =СИЛЬНАЯ и x_{59} =ВЫСОКИЙ, тогда y_5 =В ВЫШЕЙ СТЕПЕНИ НАДЕЖНАЯ»;

e_2 : «Если x_{51} =НИЗКАЯ и x_{52} =НИЗКАЯ и x_{53} =НИЗКАЯ и x_{56} =СЛАБАЯ и x_{57} =УДОВЛЕТВОРЕННЫЕ и x_{58} =СИЛЬНАЯ и x_{59} =ВЫСОКИЙ, тогда y_5 =ОЧЕНЬ НАДЕЖНАЯ»;

e_3 : «Если x_{51} =НИЗКАЯ и x_{52} =НИЗКАЯ и x_{56} =СЛАБАЯ и x_{57} =УДОВЛЕТВОРЕННЫЕ и x_{58} =СИЛЬНАЯ и x_{59} =ВЫСОКИЙ, тогда y_5 =БОЛЕЕ ЧЕМ НАДЕЖНАЯ»;

e_4 : «Если x_{51} =НИЗКАЯ и x_{52} =НИЗКАЯ и x_{53} =НИЗКАЯ и x_{54} =НИЗКАЯ, тогда y_5 =НАДЕЖНАЯ»;

e_5 : «Если x_{51} =ВЫСОКАЯ и x_{52} =ВЫСОКАЯ и x_{53} =ВЫСОКАЯ и x_{54} =ВЫСОКАЯ, тогда y_5 =НЕНАДЕЖНАЯ»;

e_6 : «Если x_{51} =ВЫСОКАЯ и x_{52} =ВЫСОКАЯ и x_{56} =СИЛЬНАЯ и x_{57} =НЕУДОВЛЕТВОРЕННЫЕ и x_{58} =СЛАБАЯ и x_{59} =НИЗКИЙ, тогда y_5 =БОЛЕЕ ЧЕМ НЕНАДЕЖНАЯ»;

e_7 : «Если x_{51} =ВЫСОКАЯ и x_{52} =ВЫСОКАЯ и x_{53} =ВЫСОКАЯ и x_{56} =СИЛЬНАЯ и x_{57} =НЕУДОВЛЕТВОРЕННЫЕ и x_{58} =СЛАБАЯ и x_{59} =НИЗКИЙ, тогда y_5 =ОЧЕНЬ НЕНАДЕЖНАЯ»;

e_8 : «Если x_{51} =ВЫСОКАЯ и x_{52} =ВЫСОКАЯ и x_{53} =ВЫСОКАЯ и x_{54} =ВЫСОКАЯ и x_{55} =ВЫСОКАЯ и x_{56} =СИЛЬНАЯ и x_{57} =НЕУДОВЛЕТВОРЕННЫЕ и x_{58} =СЛАБАЯ и x_{59} =НИЗКИЙ, тогда y_5 =СЛИШКОМ НЕНАДЕЖНАЯ».

По существу, приведенные 5 наборов НЛП формируют соответствующие системы нечётких выводов, для реализации которых необходимо описать термы из левых и правых частей правил в виде нечётких множеств. Что касается термов из правых частей – значений выходных лингвистических переменных y_k ($k=1 \dots 5$), то их можно достаточно легко описать с помощью функции принадлежности, восстанавливающих соответствующие НМ на дискретном универсуме $U=\{0; 0.1; 0.2; \dots; 1\}$. В частности, для правил $a_1 - a_8$ таковыми будут [9]: AS =АБСОЛЮТНО НЕЧУВСТИТЕЛЬНАЯ: $\mu_{AS}(u)=\begin{cases} 1, & u=1, \\ 0, & u<1; \end{cases}$ VIS =ОЧЕНЬ НЕЧУВСТИТЕЛЬНАЯ: $\mu_{VIS}(u)=u^2$, $u \in U$;

MIS =БОЛЕЕ ЧЕМ НЕЧУВСТИТЕЛЬНАЯ: $\mu_{MIS}(u)=\sqrt{u}$, $u \in U$; IS =НЕЧУВСТИТЕЛЬНАЯ: $\mu_{IS}(u)=u$, $u \in U$; S =ЧУВСТИТЕЛЬНАЯ: $\mu_S(u)=1-u$, $u \in U$; MS =БОЛЕЕ ЧЕМ ЧУВСТИТЕЛЬНАЯ: $\mu_{MS}(u)=\sqrt{1-u}$, $u \in U$;

$$VS=\text{ОЧЕНЬ ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ: } \mu_{VS}(u)=(1-u)^2, \quad u \in U; \quad TS=\text{СЛИШКОМ ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ,}$$

$$\mu_{TS}(u)=\begin{cases} 0, & u=1, \\ 1, & u < 1, \end{cases} \quad u \in U.$$

Правила $d_1 - d_8$, которые структурно отличаются от остальных, можно сравнительно легко реализовать с помощью редактора Fuzzy Inferences System в нотации пакета MATLAB.

Нечёткая модель для оценки окончательных результатов. Для получения окончательной оценки результатов FAO, а именно, для определения агрегированного показателя уровня ПБ, воспользуемся привычным способом построения системы нечёткого вывода. Для этого за основу возьмем следующий набор непротиворечивых высказываний:

- r_1 : «Если проблема голода и нищеты чувствительна и процесс предоставления товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства является неустойчивым, тогда уровень ПБ является низким»;
- r_2 : «Если в дополнение к сказанному предпосылки к созданию сельскохозяйственных и продовольственных систем являются незначительными и устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами ненадежная, тогда уровень ПБ является более чем низким»;
- r_3 : «Если дополнительно к условиям, оговоренным в r_2 , известно, что масштабы нищеты в сельских районах большие, тогда уровень ПБ чрезсчур низкий»;
- r_4 : «Если проблема голода и нищеты чувствительна, масштабы нищеты в сельских районах большие, а также предпосылки к созданию сельскохозяйственных и продовольственных систем являются незначительными, а устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами ненадежная, тогда уровень ПБ очень низкий»;
- r_5 : «Если проблема голода и нищеты чувствительна, масштабы нищеты в сельских районах большие, предпосылки к созданию сельскохозяйственных и продовольственных систем являются незначительными, но при этом устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами надежная, тогда уровень ПБ все равно низкий»;
- r_6 : «Если проблема голода и нищеты нечувствительна, процесс предоставления товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства является устойчивым, а масштабы нищеты в сельских районах небольшие, тогда уровень ПБ высокий».

На основании приведенных рассуждений мы можем легко сформировать полный набор критериев оценки в виде термов 5-ти входных и 1-ой выходной ЛП для построения причинно-следственных связей. Последние сформулируем по средствам следующих НЛП:

- r_1 : «Если $x_1=\text{ЧУВСТВИТЕЛЬНА}$ и $x_2=\text{НЕУСТОЙЧИВЫЙ}$, тогда уровень $z=\text{НИЗКИЙ}$ »;
- r_2 : «Если $x_1=\text{ЧУВСТВИТЕЛЬНА}$ и $x_2=\text{НЕУСТОЙЧИВЫЙ}$ и $x_4=\text{НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ}$ и $x_5=\text{НЕНАДЕЖНАЯ}$, тогда $z=\text{БОЛЕЕ ЧЕМ НИЗКИЙ}$ »;
- r_3 : «Если $x_1=\text{ЧУВСТВИТЕЛЬНА}$ и $x_2=\text{НЕУСТОЙЧИВЫЙ}$ и $x_3=\text{БОЛЬШИЕ}$ и $x_4=\text{НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ}$ и $x_5=\text{НЕНАДЕЖНАЯ}$, тогда $z=\text{ЧРЕСЧУР НИЗКИЙ}$ »;
- r_4 : «Если $x_1=\text{ЧУВСТВИТЕЛЬНА}$ и $x_3=\text{БОЛЬШИЕ}$ и $x_4=\text{НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ}$ и $x_5=\text{НЕНАДЕЖНАЯ}$, тогда $z=\text{ОЧЕНЬ НИЗКИЙ}$ »;
- r_5 : «Если $x_1=\text{ЧУВСТВИТЕЛЬНА}$ и $x_3=\text{БОЛЬШИЕ}$ и $x_4=\text{НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ}$ и $x_5=\text{НАДЕЖНАЯ}$, тогда $z=\text{НИЗКИЙ}$ »;
- r_6 : «Если $x_1=\text{НЕЧУВСТВИТЕЛЬНА}$ и $x_2=\text{УСТОЙЧИВЫЙ}$ и $x_3=\text{НЕБОЛЬШИЕ}$, тогда $z=\text{ВЫСОКИЙ}$ ».

Используемые в этих правилах значения лингвистической переменной z зададим в виде нечётких подмножеств универсального дискретного множества $U=\{0; 0.1; 0.2; \dots; 1\}$, например, $\forall u \in U$ с помощью следующих функций принадлежности: $L=\text{НИЗКИЙ}: \mu_L(u)=1-u$; $ML=\text{БОЛЕЕ ЧЕМ НИЗКИЙ}: \mu_{ML}(u)=\sqrt{1-u}$; $VL=\text{ОЧЕНЬ НИЗКИЙ}: \mu_{VL}(u)=(1-u)^2$; $TL=\text{ЧРЕСЧУР НИЗКИЙ}: \mu_{TL}(u)=\begin{cases} 0, & u=1, \\ 1, & u < 1; \end{cases}$

$H=\text{ВЫСОКИЙ}: \mu_H(u)=u$.

Для описания термов из левых частей правил необходимо провести предварительные исследования, связанные со сбором релевантной информации из предметных областей и с проведением статистического анализа, включая предварительные оценки факторов когнитивной карты из рис. 2, с тем чтобы сформировать универсумы для построения соответствующих НМ. Пожа-

луй, это является самым сложным и затратным по времени процессом, для реализации которого, в первую очередь, необходим доступ к базам данных FAO UN.

В [10] предлагается метод многокритериального выбора альтернатив в условиях неопределенности, в основе которого лежит принцип пересечения нечетких критериев Беллмана-Заде и 9-балльная шкала лингвистических оценок Саати. Суть и новизна этого метода заключается в том, что он не требует трудоемких процедур, связанных с построением и обработкой матриц парных сравнений. Вместо этого используются специальные соотношения, основанные на сравнении с наихудшей альтернативой и наименее важным критерием. Тем не менее, и данный метод многокритериальной оценки нуждается в первичной статистической совокупности данных из предметных областей.

Одним из наиболее простых и адекватных способов описания термов из левых частей приведенных НЛП могут быть НМ, построенные по опорному вектору, скажем, (a_1, a_2, \dots, a_n) , где a_k – оцениваемый на ПБ регион (страна), характеризующийся своими данными по каждому из факторов в составе КК, представленной на рис. 2. Например, в этом случае НМ \tilde{A} =НЕОГРАНИЧЕННАЯ, как одно из значений ЛП «Физическая доступность ресурсов», может выглядеть как:

$$\tilde{A} = \frac{\mu_A(u_1)}{a_1} + \frac{\mu_A(u_2)}{a_2} + \dots + \frac{\mu_A(u_n)}{a_n},$$

где $\mu_A(u_k)$ ($k=1 \div n$) – значение функции принадлежности показателя физической доступности ресурсов u_k региона a_k к \tilde{A} . Здесь в качестве функции принадлежности можно выбрать гауссовскую функцию: $\mu_A(u_k) = \exp\{-\frac{(u-u_k)^2}{\sigma_k^2}\}$, где σ_k^2 – плотность (дисперсия) распределения соседних элементов, выбирающаяся индивидуально для каждого случая.

Предлагаемые в статье типовые модели нуждаются в структурном и параметрическом обучении, с тем чтобы претендовать на необходимую степень адекватности поставленной задаче. Предложенная на рис. 2 КК вобрала в себя абсолютное большинство факторов, влияющих на уровень ПБ. Предлагаемый подход именно тем и хорош, что является в определенном смысле гибким по отношению к возможным дополнениям и/или уточнениям, которые могут быть предъявлены экспертами и/или заказчиками. Тем не менее, даже в предложенном «несовершенном» варианте модель, не выдавая абсолютных значений для оценки уровней ПБ региона, способна реагировать на возможные изменения в концептах КК и стать основой для формирования глобальных целей FAO в отношении нуждающихся стран.

REFERENCE

1. Новая стратегическая рамочная программа ФАО.
Novaya strategicheskaya ramochnaya programma FAO. <http://www.fao.org/docrep/meeting/029/mi558r.pdf>
2. Zadeh L.A. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. – IEEE Trans., Syst., Man., Cybern., vol. SMC-3. 1973, Jan., pp. 28-44.
3. Maksimov V.I., Kornoushenko E.K. Analiticheskie osnovy primeneniya kognitivnogo podkhoda pri reshenii slabo strukturirovannyh zadach // Trudy IPU RAN. - M.: 1999. – T. 2. – S. 95-109.
Максимов В.И., Корноушенко Е.К. Аналитические основы применения когнитивного подхода при решении слабо структурированных задач // Труды ИПУ РАН. - М.: 1999. – Т. 2. – С. 95-109.
4. Kovriga S.V. Metodicheskie i analiticheskie osnovy kognitivnogo podkhoda k SWOT-analizu // Problemy upravlenija, 2005, №5. – S. 58–63.
Коврига С.В. Методические и аналитические основы когнитивного подхода к SWOT-анализу // Проблемы управления, 2005, №5. – С. 58–63.
5. Kornoushenko E.K., Maksimov V.I. Upravlenie processami v slaboformalizovannyh sredah pri stabilizacii grafovyyh modelej sredy // Trudy IPU RAN: Sb. nauch. Tr. – M.: IPU RAN, 1999. – T.2. – S. 82–94.

- Корноушенко Е.К., Максимов В.И.** Управление процессами в слабоформализованных средах при стабилизации графовых моделей среды // Труды ИПУ РАН: Сб. науч. Тр. – М.: ИПУ РАН, 1999. – Т.2. – С. 82–94.
6. **Prangishvili I.V.** O metodah effektivnogo upravlenija slozhnymi sistemami // Tr. 5-oj mezhdunar. konf. "Kognitivnyj analiz i upravlenie razvitiem situacij" (CASC'2005) / IPU RAN. – M.: 2005. – S. 7–15.
- Прангишвили И.В.** О методах эффективного управления сложными системами // Тр. 5-ой междунар. конф. "Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций" (CASC'2005) / ИПУ РАН. – М.: 2005. – С. 7–15.
7. Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктуризованными системами (ситуациями). Авдеева З.К. и др.
Kognitivnoe modelirovanie dlja reshenija zadach upravlenija slabostrukturirovannymi sistemami (situacijami). Avdeeva Z.K. i dr. Dostupno na <http://www.mtas.ru/Library/uploads/1168452488.pdf> (дата обращения: 26.09.2015)
8. **Kosko B.** Fuzzy cognitive maps // International Journal of Man-Machine Studies, 1986.–Vol. 1.– pp. 65–75.
9. **Rzaev R.R.** Intellektualnyj analiz dannyh v sistemah podderzhki принятиja reshenij. Verlag: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co, 2013. 130 s.
- Рзаев Р.Р.** Интеллектуальный анализ данных в системах поддержки принятия решений. Verlag: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co, 2013. 130 с.
10. **Rotshtejn A.P.** Nechjotkij mnogokriterial'nyj vybor alternativ: metod naihudshego sluchaja // Izvestija RAN. Teoriya i sistemy upravlenija. – 2009. – N 3. – S. 51-55.
- Ротштейн А.П.** Нечёткий многокритериальный выбор альтернатив: метод наихудшего случая // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2009. – N 3. – C. 51-55.

ƏRZAQ TƏHLÜKƏSİZLİYİNİN KOMPLEKSLİ QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ ÜÇÜN QEYRİ-SƏLİS KOQNİTİV MODEL

R.R. RZAYEV, E.T. ƏLİYEV, V.I. HƏSƏNOV, Z.R. CAMALOV

Fəal və sağlam həyat tərzi üçün tələb olunan yüksək keyfiyyəti qida məhsullarını əhali tərəfindən zəmanətli müntəzəm mənimsəməsini təmin etmədiyi ölkələrdə ərzaq təhlükəsizliyinin səviyyəsini qiymətləndirmək məqsədilə nümunəvi qeyri-səlis koqnitiv model işlənilmiş və təsvir edilmişdir. BMT FAO-nun Strateji Çərçivə Programında 2014-2017-ci illər üçün təsdiq edilmiş ərzaq təhlükəsizliyinə təsir göstərən faktorların kifayət qədər geniş spektorunu əhatə edən koqnitiv xəritə əsas kimi seçilmişdir. Bu faktorlar arasında mövcud olan səbəb-nəticə əlaqələrini formalizasiyası məqsədilə qeyri-səlis məntiq qaydalarının məhdud topluları istifadə edilmişdir.

Açar sözlər: ərzaq təhlükəsizliyi, koqnitiv xəritə, qeyri-səlis koqnitiv model, qeyri-səlis çoxarlılıq sistemi.

FUZZY COGNITIVE MODEL FOR A COMPREHENSIVE FOOD SECURITY

R.R. RZAYEV, E.T. ALIYEV, V.I. HASANOV, Z.R. JAMALOV

The authors developed and described a typical fuzzy cognitive model to assess the level of food security for countries where there is no guaranteed regular access of the population to high-quality food needed for an active and healthy lifestyle. As basis, it is selected cognitive map, which covers quite a large range of factors affecting to the food security, approved by Strategic Framework of FAO UN, 2014-2017. To formalize the causal relationships between these factors it used the limited sets of the fuzzy logic rules.

Key words: food security, cognitive map, fuzzy cognitive model, fuzzy inferences system.

ÖLKƏMİZİN XÜSUSİYYƏTLƏRİ NƏZƏRƏ ALINMAQLA KLASTER NƏQLİYYAT-LOGİSTİKA MODELLƏRİNİN İŞLƏNMƏSİ

C.Q. HƏSƏNOV*

Məqalədə Azərbaycan Respublikasında loqistika və nəqliyyat-loqistik klasterlərlə bağlı məsələlər araşdırılmış, onların formalasdırılması və səmərəli fəaliyyəti üçün tələb olunan şərait aydınlaşdırılmış, yerli xüsusiyyətlər nəzərə alınmaqla, nəqliyyat-loqistika klasterinin modeli və mövcud elementləri əsasında klasterlərin formalasması istiqamətləri təklif olunmuşdur.

Açar sözlər: nəqliyyat, dəhlizlər, ehtiyatlar, strategiya, loqistika, klaster, diversifikasiya, ixтиisaslaşma, sinerji.

Beynəlxalq nəqliyyat dəhlizlərinin, informasiya və kommunikasiya sistemlərinin inkişafı, transkontinental korporasiyaların yaranması, beynəlxalq münasibətlərin keyfiyyətcə yeni mərhələyə keçməsi müasir iqtisadi tələblərə uyğun yanaşmalar, üsul və metodlar tələb edir. Qədim Yunanistanda iqtisadi termin kimi formalasmış loqistikanın (hesablama incəsənəti) ölkə iqtisadiyyatının inkişafı üçün mühüm əhəmiyyəti vardır. Müasir loqistika məhsul, xidmət və insan resurslarının ehtiyac duyulan yerdə və tələb olunan zamanda çatdırılması üçün bir vasitəyə çevrilmişdir. İstehsal, satış və çatdırılma loqistikasız çox çətindir, mürəkkəb sistemlər üçün isə faktiki olaraq qeyri-mümkündür.

Loqistika, maddi vasitələrə tələb olunan zamanda, həqiqi qiymətə və lazımlı olan miqdarda sahib olmaq imkanıdır. O həmçinin daşınma, istehsal, satış zəncirində hər hansı gecikmə, yaxud qabaqlama, uyğunsuzluq, qiymət fərqi, artıq emal olunmuş məhsulun toplanması, pul vəsaitlərinin itirilməsi, yaxud dövriyyədən çıxarılması deməkdir.

Loqistikanın funksiyası, maddi resurs axınının, ona uyğun olan maliyyə və informasiya axınlarının təşkilindən ibarət olub, məhsul göndərişinin yüksək keyfiyyətlə təmin edilməsi üçün səmərəli tənzimləmə sisteminin yaradılması, mümkün qədər az məhsul hesabına şirkətin sərbəst bazar mühitində payının artırılması və rəqabətdə üstünlük qazanmasını təmin etməkdir. Bunun üçün aşağıdakı məsələlərin həlli vacibdir [1]:

- maddi resursların yerdəyişməsi barədə məlumatların yiğilması, cəmlənməsi, təhlili və ötürülməsi;
- material ehtiyatlarının tədarükü və tərkibinin müəyyən edilməsi;
- loqistika obyektlərin yerinin seçilməsinin əsaslandırılması;

* Fövqəladə Hallar Nazirliyinin akademiyası

- anbar təsərüfatının alıcıının tələblərinə uyğunlaşdırılması;
- saxlanmaya və qablaşdırırmaya tələblərin ödənilməsi;
- yükün müştəriyə çatdırılması üçün nəqliyyatın, daşınma növünün seçilməsi və marşrutun müəyyənləşdirilməsi.

Yuxarıda göstərilən məsələlərin həlli üçün aşağıdakıları həyata keçirmək lazımdır:

1. hazır məhsulun toplanmış məlumatlara tam uyğunluğunun təmin olunması, material axınına ciddi nəzarətin təşkil edilməsi;

2. məhsulların təyin edilmiş yerə çatdırılması strategiyası və texnologiyası müəyyən olunmaqla, onların hərəkətinin idarə olunması üsullarının hazırlanması;

3. istehsal, daşınma və anbara yığılma məsələləri müəyyənləşdirilməli, tələb və imkanlar arasında fərq aydınlaşdırılmalı, müvafiq markerlərdən istifadə olunmaqla, məhsul və qablaşdırma formalarının standartlaşdırılmasının təmin edilməsi.

Son zamanlar Azərbaycan Respublikasında loqistika şirkətləri şəbəkələrinin inkişaf etdirilməsi irəliyə doğru əsaslı addım kimi qiymətləndirilməlidir. Hal-hazırda Azərbaycan dünya xəritəsində müasir loqistika və nəqliyyat mərkəzi kimi öz layiqli yerini tutmağa başlamışdır [2].

Azərbaycanın bu sahədəki mövcud imkanları ölkəmizlə bərabər, Gürcüstan, Qafqaz və Mərkəzi Asiyada bütün növ loqistik xidmətləri, nəqliyyat və yük daşımalarını həyata keçirməyə lazımi şərait yaradır.

Cədvəl 1-də Avropa-Qafqaz-Asiya nəqliyyat dəhlizlərində Azərbaycan sektorunun fəaliyyəti verilmişdir.

Cədvəl 1

**Avropa-Qafqaz-Asiya nəqliyyat dəhlizinin Azərbaycan hissəsində
nəqliyyatın fəaliyyəti [3]**

	2000	2003	2008	2009	2013
Yük dövriyyəsi (milyon ton-kmlə)	8405	12394	12973	11793	13987
Dəmiryol nəqliyyatı	5240	7052	8217	6208	6361
Dəniz nəqliyyatı	2098	3793	2438	3107	4013,1
Avtomobil nəqliyyatı	1067	1549	2318	2478	3613,3
Sərnişin dövriyyəsi (milyon sərnişin-kmlə)	3049	3142	4120	4399	5699
Dəmiryol nəqliyyatı	310	417	669	670	382
Dəniz nəqliyyatı	3	4	5	4	5
Avtomobil nəqliyyatı	2736	2721	3446	3725	5311
Yük daşınmasından əldə olunan gəlir (min manatla)	113936	178907	262593	268455	476360
Dəmiryol nəqliyyatı	73369	104547	156819	115256	189675
Dəniz nəqliyyatı	28801	57275	49863	63741	81534
Avtomobil nəqliyyatı	11766	17085	55911	89458	205151
Sərnişin daşınmasından əldə olunan gəlir (min manatla)	19313	22197	30382	48196	106452
Dəmiryol nəqliyyatı	1028	1782	2389	2149	3008
Dəniz nəqliyyatı	308	445	940	889	1259
Avtomobil nəqliyyatı	17978	19970	27053	45158	102185

Ölkənin iqtisadi potensialının artması və mövcud imkanlardan səmərəli istifadə olunması müvafiq loqistik klasterlərin yaradılması məsələlərini qarşıya qoyur.

Ədəbiyyatda loqistik klaster, iqtisadi klasterin infrastruktur bölməsi və yaxud onun yarımsistemi kimi göstərilir.

M.P.Voynarenkoya görə, klaster məhsulun, yaxud xidmətlərin rəqabət qabiliyyətini yüksəltmək, regionun iqtisadi yüksəlişini təmin etmək məqsədi ilə elmi müəssisələr və yerli icra hakimiyyəti orqanları ilə six əməkdaşlıq edən sahibkarlıq strukturlarının ərazi-sahə üzrə könüllü birliyidir [4].

M.Porterə görə klasterin sərhədlərini aralarında güclü üfiqi, şaquli və struktur əlaqələri olan şirkətlər əhatə etməlidir. Əlaqələri zəif olan şirkətlər bu sərhədlərin hüdudlarından kənarda qalmalıdır [5]. Onun rəhbərliyi ilə Harvard Universitetində ABŞ iqtisadiyyatının Klaster təhlili layihəsi həyata keçirilmişdir (Cluster Mapping Project) [6].

Bu layihə çərçivəsində iqtisadiyyatın sahələri 3 kateqoriyaya bölünür: yerli sənaye, resurslardan asılı sənaye və ticarət-mübadilə sahələri.

Yerli sənaye sahələri əsas etibarı ilə yerli bazarın tələbatına yönəlmüşdir və digər regionlarla rəqabətlərə nadir hallarda rast gəlinir. Bu sahələrə tibbi xidmət, kommunal-təsərrüfat, pərakəndə satış, tikinti və bir sıra digər sahələr daxildir. Bu kateqoriyada keçmiş sovetlər dövrünün yerli sənaye anlayışının bəzi oxşar elementlərini görmək olar.

İkinci kateqoriyaya sənaye sahələri üçün resursların yaradılması ilə məşğul olan müəssisələr daxildir. Onlar, bir qayda olaraq, təbii resursların istifadəyə yararlı və əlverişli olduğu yerlərdə cəmlənir, digər milli və beynəlxalq regionlarla rəqabətə girmək imkanlarına malik olurlar. Belə sahələrə neftin çıxarılması, filiz mədənlərinin istismarı, kənd təsərrüfatı məhsullarının emalı ilə məşğul olan müəssisələr, nəqliyyat qovşaqları və s. daxildir.

Üçüncü kateqoriyaya daxil olan sahələrə satışa mal çıxaran şirkətləri aid etmək olar. Belə şirkətlər məhsullarını regionlara və xaricə göndərirlər. Onlar müxtəlif regionlarda yerləşsələr də, fəaliyyətləri yerli maddi resurslara əsaslanır, müəssisələrin rəqabət qabiliyyəti mühüm rol oynayır, əhalinin məşğulluq səviyyəsi müxtəlif olur, digər regionlarla müqayisədə xərclər qeyri-bərabərliyi ilə fərqlənir. Belə sahələrə aviasiya mühərriklərini, avtomobiləri, elektronika və elektrotexnika məhsullarını, filmləri satışa çıxaran müəssisələri misal göstərmək olar.

Regional iqtisadiyyat sahələrinin diversifikasiyasına və ixtisaslaşmasına münasibətdə iqtisadçılar müxtəlif, bəzi hallarda diametal əks-mövqelərdən çıxış edirlər. Bəzi iqtisadçılar regionların müəyyən dar sahə üzrə ixtisaslaşmasını təklif edir və bu şəraitdə onların iqtisadiyyatlarının daha sürətlə inkişaf edəcəyi fikrini müdafiə edirlər [7,8].

Iqtisadçıların bir qismi regionlarda sənayenin müxtəlifliyinin və rəngarəngliyinin tərəfdarı kimi çıxış edir və hesab edirlər ki, bu halda onlar innovasiya cəlbətmə baxımından və yaradıcı yanaşma nöqtəyi-nəzərindən daha böyük üstünlük'lər qazana bilərlər.

M.Poter hesab edir ki, konkret sənaye sahəsi, klaster daxilində sahələrarası münasibətləri aşkarlamaq üçün münasib deyil və normal fəaliyyət üçün sahələrin ixtisaslaşması deyil, klasterlərin ixtisaslaşması daha səmərəlidir. Bu baxımdan sahələr deyil, klasterlərin müxtəlifliyi iqtisadiyyatın diversifikasiyasının əsas göstəricisi kimi qəbul edilməlidir. Bu da öz

növbəsində bir-biri ilə six təsərrüfat əlaqələrində olan klasterlər üçün güclü iqtisadi əsas ola bilər.

Klasterlərin ən maraqlısı, nəqliyyatın loqistik klasterləridir və onlar Azərbaycan Respublikası üçün xüsusi əhəmiyyət kəsb edə bilərlər. Loqistik klaster fəaliyyət növlərinə görə bir-biri ilə əlaqəli olan və coğrafi cəhətdən eyni ərazidə yerləşən şirkətlərin loqistik fəallığı kimi başa düşülür.

T.E. Evtodievaya görə, loqistik klasterlər, müəyyən ərazidə cəmləşmiş, bir-birilə qarşılıqlı əlaqəli olan və bir-birini tamamlayan, ayrı-ayrı şirkətlərin və bütövlükdə müəssisələrin rəqabət qabiliyyətlərini gücləndirən, resurs axını proseslərini optimallaşdırıran, xüsusi təşkil edilmiş və integrasiya olunmuş loqistik sistemdir [9].

Eyni zamanda müzakirə obyektləri müstəqil iqtisadi vahidlər olduğundan işin istiqaməti və qazanc mənbələri üzrə fəaliyyət göstəriciləri üst-üstə düşməli, yaxud maksimum dərəcədə yaxınlaşmalıdır. Əks-halda sistem klaster olmur və bir qurum kimi effektivliyini itirir.

Nəqliyyat-loqistika, klasterləri iqtisadi, nəqliyyat və loqistika klasterlərinin xüsusiyyətlərinin oxşar cəhətlərini özündə cəmləyir, resurs axını prosesinə təsiri optimallaşdırır və sistem şəklində özündə birləşdirir. Belə birləşmələr ayrı-ayrı strukturların rəqabət üstünlükləri reallaşdırıldıqda və sinerji effekti əldə olunduqda səmərəli sayılır[10].

Nəqliyyat-loqistika klasterlərinin əsas fərqləndirici xüsusiyyətlərindən biri strukturlar arasında münasibətin transformasiyasıdır. Münasibətlər “barama” effekti ilə, bütün siklin fəaliyyəti dövründə yaranır, inkişaf edir və tamamlanaraq bitir, hər yeni sikildə təkmilləşir, daha çevik və səmərəli olur.

Beynəlxalq Bankın tərtib etdiyi Loqistikanın səmərəlilik indeksi təhlili edilərkən müəyyən edilmişdir ki, 2012-ci ildə 91-ci yeri tutan Belarusiya geriləyərək 2014-cü ildə 166 ölkə arasında 99-cu yeri tutmuşdur [11]. Səmərəlilik indeksi bu ölkə ilə ticarət fəaliyyəti aparan ölkələrin ekspertləri ilə aparılan sorğu əsasında tərtib edilmişdir. İndeks elektron sorğu üsulu ilə, 6 komponentli rəqəmlərin 5 ballıq şkalə üzrə qiymətləndirilməsi nəticəsində müəyyən edilmişdir. Sorğuda ekspedisiya, nəqliyyat və gömrük üzrə Avropa Assosiasiyasının (CLECAT) və Avropa Biznes Assosiasiyasının (EBA) təmsilçiləri iştirak etmişlər.

Sorğu nəticələrinin subyektiv xarakter daşımاسına baxmayaraq (Azərbaycan bu təşkilatlarda təmsil olunmur), partnyor ölkələrlə münasibətlər baxımından maraq doğurur.

Məsələn, Çin Xalq Respublikası üzrə bu indeks müvafiq rəqəmlərlə artsa da (2012-ci ildə 3,49 bal, 2014-cü ildə 3,53 bal), ölkənin tutduğu yer 27-dən 28-ə geriləmişdir. Azərbaycan isə 2,64 balla 2012-ci ildəki 89-cu yerdən 2014-cü ildə 2,45 balla 125-ci yerdə enmişdir (Cədvəl 2).

Tədqiqatların nəticələri göstərir ki, Azərbaycan Respublikasının mövqelərinin bu sahədə geriləməsi, artım templərinin digər ölkələrlə müqayisədə aşağı olmasıdır. Klaster siyasetinin əsas məqsədi iqtisadi inkişafın yüksək tempinin təmin edilməsi və iqtisadiyyatın diversifikasiyasıdır. Bunun üçün əsas istehsalçıların, xidmət sahələrinin, elm və təhsil müəssisələrinin rəqabət qabiliyyətinin yüksəldilməsi tələb olunur.

Son beş ildə Azərbaycanın nəqliyyat sektoruna 14,5 milyard dollar sərmayə qoyulmuşdur. Bunun təqribən 12 milyard dolları yol-nəqliyyat sisteminin inkişafına yönəldilmişdir.

Cədvəl 2

**Dünya Bankının 2012-2014-cü illərdəki Beynəlxalq LSİ reytinginin
bəzi ölkələr üzrə müqayisə**

Tutulduğu yer №	Ölkə	LSİ	Gömrük irəməzliyi	İnfrastruktur	Baynəxalq daşınmalar	Logistik əsərə	Tətbiq olunmuş və tətbiq olunma vaxtında icra olunma
1	2	3	4	5	6	7	8
01(2012)	Almaniya	4,11	4,00	4,34	3,66	4,14	4,18
01(2014)		4,12	4,10	4,32	3,74	4,12	4,17
07(2012)	Yaponiya	3,97	3,79	4,19	3,55	4,00	4,13
10(2014)		3,91	3,78	4,16	3,52	3,99	3,95
08(2012)	Böyük Britaniya	3,95	3,74	3,95	3,66	3,92	4,13
04(2014)		4,01	3,94	4,16	3,63	4,03	4,08
15(2012)	Amerika Birləşmiş Ştatlar	3,86	3,68	4,15	3,21	3,92	4,17
09(2014)		3,92	3,73	4,18	3,45	3,97	4,14
17(2012)	Fransa	3,84	3,63	4,00	3,30	3,87	4,01
13(2014)		3,85	3,65	3,98	3,68	3,75	3,89
22(2012)	İtaliya	3,64	3,38	3,72	3,21	3,74	3,83
20(2014)		3,69	3,36	3,78	3,54	3,62	3,84
27(2012)	Çin XR	3,49	3,16	3,54	3,31	3,49	3,55
28(2014)		3,53	3,21	3,67	3,50	3,46	3,50
37(2012)	Latviya	3,25	2,94	2,88	3,38	2,96	3,55
36(2014)		3,40	3,22	3,03	3,38	3,21	3,50
39(2012)	Türkiyə	3,22	2,82	3,08	3,15	3,23	3,09
30(2014)		3,50	3,22	3,53	3,18	3,64	3,77
47(2012)	Hindistan	3,12	2,70	2,91	3,13	3,16	3,14
54(2014)		3,08	2,72	2,88	3,20	3,03	3,11
62(2012)	Kazaxıstan	2,83	2,38	2,66	3,29	2,60	2,70
88(2014)		2,70	2,35	2,58	2,68	2,72	2,83
89(2012)	Azərbaycan	2,64	2,14	2,23	3,05	2,48	2,65
125(2014)		2,45	2,57	2,71	2,57	2,14	2,14
94(2012)	Rusiya	2,61	2,15	2,38	2,72	2,51	2,60
90(2014)		2,69	2,20	2,59	2,64	2,74	2,85
102(2012)	Ukrayna	2,57	2,02	2,44	2,79	2,59	2,49
61(2014)		2,98	2,69	2,65	2,95	2,84	3,20
110(2012)	Pakistan	2,53	2,05	2,08	2,91	2,28	2,64
72(2014)		2,83	2,84	2,67	3,08	2,79	2,73
114(2012)	Türkmenistan	2,49	2,14	2,24	2,31	2,34	2,38
140(2014)		2,30	2,31	2,06	2,56	2,07	2,32
							3,45

Bu məqsədlə Bakı şəhərinin Ələt qəsəbəsində yeni dəniz limanının üç mərhələdə tikintisi nəzərdə tutulmuşdur. Layihənin 2008-2010-cu illəri əhatə edən birinci mərhələsində konteynerlərin, «ro-ro» tipli gəmilərin və adi (universal) quru yüklerin qəbulu üçün 2 bərə, 3 yük körpüsü tikilmiş, 2011-2013-cü illəri əhatə edən ikinci mərhələsində 3 yük körpüsü inşa edilmiş, Son üçüncü mərhələsində isə 2 əlavə yük körpüsünün tikilərək istifadəyə verilməsidir. Limanın inşa layihəsi 400 milyon dollardan artıq qiymətləndirilir. Liman çoxmodullu olacaqdır. Bu ərazidə logistik mərkəzlə yanaşı, azad iqtisadi zonaların yaradılması da planlaşdırılır.

Aparılan tədqiqatların analizi göstərir ki, nəqliyyat-loqistika klasteri, məhsulun göndərilməsi, lazımi səviyyədə saxlanması, müşayiət ediləsi və çatdırılması ilə məşğul olan müxtəlif təşkilatların, onlara xidmət edən qurumların vahid məqsəd ətrafında fəaliyyətlərini

təmin etməli və bu sahədə rəqabət qabiliyyətinin yüksəldilməsinə yönəlməlidir. Müasir nəqliyyat-loqistika klasterləri Azərbaycandakı mövcud iqtisadi şərait və imkanları nəzərə almalı, bazar iqtisadiyyatı şəraitində səmərəli fəaliyyət göstərmək qabiliyyətinə malik olan könüllü birliliklər kimi fəaliyyət göstərməlidirlər.

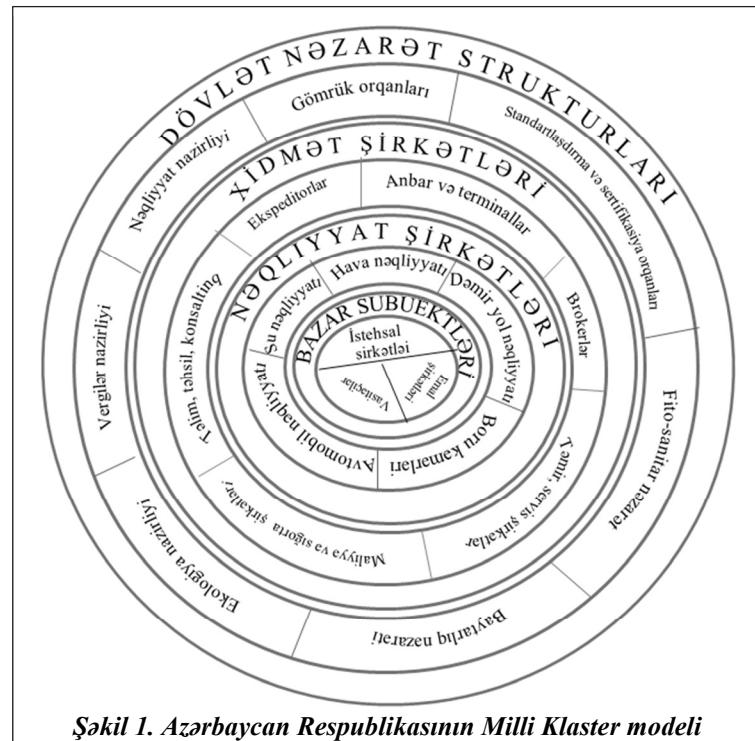
Azərbaycan üçün önemli olan xammal – enerji – məhsul resurslarının xarici bazarlara çıxarılmasının optimal təminatı müxtəlif məsələlərdə öz əksini tapır və milli klaster modelinin formalasdırılmasında aşağıdakı elementlər iştirak edir:

1. bazarın əsas subyektləri (istehsal şirkətləri, emal şirkətləri, vasitəçilər);
2. nəqliyyat şirkətləri (su nəqliyyatı, hava nəqliyyatı, dəmiryol nəqliyyatı, avtomobil nəqliyyatı, boru kəmərləri);
3. xidmət şirkətləri (ekspeditorlar, brokerlər, anbar və terminallar, maliyyə və sigorta şirkətləri, təlim, təhsil, konsalting şirkətləri, təmir və servis şirkətləri);
4. dövlət nəzarət təşkilatları (Nəqliyyat nazirliyi, gömrük, standartlaşdırma və sertifikatlaşdırma orqanları, fito-sanitar, baytarlıq nəzarətləri, Ekologiya nazirliyi, Vergilər nazirliyi, İqtisadi inkişaf nazirliyi).

Yuxarıda göstərilənləri nəzərə alaraq milli klaster modelini aşağıdakı kimi təqdim edə bilərik (Şəkil 1).

Azərbaycan Respublikasının Milli Klaster modelini reallaşdırmaq üçün aşağıdakı mərhələlərin olması vacibdir:

- alınmış məlumatların emalı müddətinin minimuma endirilməsi;
- sifarişlərin icra müddətinin qısaldırılması;
- ehtiyat axını prosesinin fasılısızlığının təmin edilməsi;
- rəqabət nəticəsində yaranan üstünlüklərin araşdırılması, yaradılması və təmin edilməsi;
- subyektlərin və icazə verilmiş iqtisadi fəaliyyətin forma və növündən asılı olmayaraq, qanun qarşısında bərabərliyin və qanunun alılıyinin təmin edilməsi;
- azad rəqabət şəraitinin və şəffaflığın davamlılığının təmin edilməsi;
- tələbatın maksimum və dolğun şəkildə ödənilməsi;
- təklif olunan çəşidin alıcının tələblərinə uyğunluğunun təmin edilməsi.



Şəkil 1. Azərbaycan Respublikasının Milli Klaster modeli

Azərbaycan Respublikasında zonalar üzrə aşağıdakı klasterleri formalasdırmaq mümkündür:

1. Şimal regionu üzrə:

- a) Sumqayıt şəhərindəki kimya sənaye müəssisələri, Sumqayıt texnoparkı, şüşə zavodu, mahlic və toxucu-trikotaj müəssisələri, şəhər infrastruktur, regionun inzibati-dövlət və kommersiya strukturları;
- b) Xaçmaz, Quba, Qusar rayonlarının meyvə-tərəvəz təsərrüfatları və meyvə-tərəvəz emalı müəssisələri;
- c) Bakı-Rostov, Bakı-Tbilisi-Qars, Bakı-Astara-Tehran, Bakı-Biləsuvar-Naxçıvan avtomobil və dəmiryolları;
- d) Azərbaycan-Rusiya dəmiryolu, Şirvan vəqon çeşidləmə stansiyası, Hacı Zeynalabdin Tağıyev adına qəsəbədəki anbar və yük terminalları, yeni yaradılacaq terminallar, hava limanı bazasında Sumqayıt nəqliyyat-loqistika klasteri.

2. Qaradağ rayonu ərazisində:

- a) Ələt beynəlxalq dəniz ticarət limanı, tikilməkdə olan hava limanı, Səngəçal neft terminalı, Bakı-Tbilisi-Ceyhan boru kəmərinin Bakı-Şirvan hissəsi;
- b) Holcim cement zavodu, Qaz emalı zavodu, Bakı Dərin özüllər zavodu, Azərbaycan Beynəlxalq Əməliyyat Şirkəti, Nəqliyyat-ekspedisiya şirkətləri;
- c) Bakı-Rostov, Bakı-Tbilisi-Qars, Bakı-Astara-Tehran, Bakı-Biləsuvar-Naxçıvan beynəlxalq avtomobil və dəmiryollarına xidmət edən sistemlər və quruluşlar;
- d) «Sədərək» və «Binə» ticarət mərkəzləri, Xocahəsən və Sulutəpə gömrük-yük terminalları, Qaradağ-Bibiheybət yük stansiyaları, regionun inzibati-dövlət və kommersiya strukturları bazasında «Qaradağ nəqliyyat-loqistika klasteri».

3. Gəncə, Mingəçevir, Yevlax zonasında:

- a) Gəncə alüminium, avtomobil və cihazqayırma zavodları, Gəncə yük stansiyası, şəhər infrastruktur, regionun inzibati-dövlət və kommersiya strukturları;
- b) Bakı-Rostov, Bakı-Tbilisi, Bakı-Balakən-Laqodexi, Bakı-Tbilisi-Qars, Bakı-Astara-Tehran, Bakı-Biləsuvar-Naxçıvan beynəlxalq avtomobil və dəmiryollarına çıxışı təmin edən sistemlər və quruluşlar;
- c) Mingəçevir və Yevlax şəhərlərinin sənaye müəssisələri, kommersiya strukturları;
- d) Regionun meyvə-tərəvəz istehsalı, saxlanılması və emalı müəssisələri bazasında «Gəncə nəqliyyat loqistika klasteri».

Aparılan analizlərin nəticələri göstərir ki, klasterləşdirmənin məqsədyönlü inkişaf istiqamətinin təyin edilməsi elmi, innovativ, mühəndis, sosial infrastrukturların möhkəmləndirilməsinə və onların müasir tələblərə cavab verməsinə səbəb olacaq, alınan müsbət nəticələrin istehsal proseslərinə tətbiqi hesabına böyük iqtisadi və sosial səmərə verəcəkdir. Bu isə iqtisadi integrasiyanın fəallaşdırılmasına və xarici investisiyaların cəlb olunmasını təmin edən mühitin formalasdırılmasına təkan verəcəkdir. Belə tədbirlərin həyata keçirilməsi müasir texnologiyaların tətbiqinə, məhsul və xidmətlərin beynəlxalq bazara çıxarılmasına şərait yaradacaq, beynəlxalq səviyyədə rəqabət qabiliyyətliyinin yüksəldilməsinə xidmət edəcəkdir.

REFERENCE

1. **Gasanov D.G.** Povyshenie effektivnosti logistiki v uslovijah likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij. // Nacionalnye interesy: Prioritety, bezopasnost. 2014, № 5. - s. 35–39
Гасанов Д.Г. Повышение эффективности логистики в условиях ликвидации последствий стихийных бедствий. // Национальные интересы: Приоритеты, безопасность. 2014, № 5. - с. 35–39
2. <http://www.xalqqazeti.com/az/news/official/57928>
3. <http://mot.gov.az/az/content/306#.VYu2CPldMfI>
4. **Vojnarenko M.P.** Klasternye modeli objedinenija predpriatij v Ukraine. // Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii. 2007, № 4 (14). - s. 68–82
Войнаренко М.П. Кластерные модели объединения предприятий в Украине. // Экономическое возрождение России. 2007, № 4 (14). - с. 68–82
5. **Porter M.** Konkurenčija. - M.: Viljams. 2001. - 495 s.
Порттер М. Конкуренция. - М.: Вильямс. 2001. - 495 с.
6. **Michael Porter.** The Economic Performance of Regions, Regional Studies, v 37,#6-7, Aug–Oct 2003
7. **Linders M.** Upravlenie snabzeniem i zapasami. Logistika. / M.Linders, H.Firon. SPb.: Viktorija pljus, 2006. - 768 s.
Линдэрс М. Управление снабжением и запасами. Логистика. / М.Линдэрс, Х.Фирон. СПб.: Виктория плюс, 2006. - 768 с.
8. **Sheffi Y.** Logistics cluster: delivering value and driving growth. / Y.Sheffi. MIT Press, 2012. 368 p.
9. **Evtodieva T.E.** Logisticheskie klastery: sushhnost i vidy/ T.E.Evtodieva // Ekonomika i upravlenie. 2011, №4 (77). - s. 78–81
Евтодиева Т.Е. Логистические кластеры: сущность и виды/ Т.Е.Евтодиева // Экономика и управление. 2011, №4 (77). - с. 78–81
10. **Həsənov C.Q.** Müəssisələrin iqtisadi dayanıqlığının yüksəldilməsi tədbirlərində istifadə olunan mənbələrin əlaqələndirilməsinin aktual məsələləri//Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi Əsərləri: 2013. № 1. - c. 77-80
11. <http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/Trade/LPI2014.pdf>

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРАНЫ

Дж.Г. ГАСАНОВ

В статье исследуются вопросы, связанные с логистикой и транспортно-логистическими кластерами в Азербайджанской Республике, требуемые условия для их формирования и эффективной деятельности. Предлагается модель транспортно-логистического кластера и направления формирования кластеров на основе существующих элементов с учетом местных особенностей.

Ключевые слова: транспорт, коридор, ресурсы, стратегия, логистика, кластер, диверсификация, специализация, синергия.

MODELLING OF COUNTRY BASED TRANSPORT-LOGISTICS CLUSTERS

J.G. HASANOV

The article examines approaches of the transport and logistics cluster in Azerbaijan, the required conditions for their formation and effective operation. The transport-logistics cluster model and the directions of their formation based on existing elements is proposed by taking into account the specifics of local conditions.

Key words: transport, corridors, resources, strategy, logistics, cluster, diversification, specialization, synergy.

SƏRFÖLÇƏNLƏRDƏN İSTİFADƏ OLUNMAQLA SU İTKİLƏRİNİN TƏYİN EDİLMƏSİNİN TƏDQİQİ

T.M. AĞARZAYEV *

Əhalinin gündəlik təsərrüfat-məişət tələbatlarından biri də su təchizatıdır. Su təchizatının fasiləsiz olaraq həyata keçirilməsi ister insanların rahat həyat tərzi baxımından, ister su şəbəkəsinin idarə olunması baxımından, istərsə də xidmət göstərən tərəfin kommersiya maraqları baxımından prioritət məsələlərdəndir. Su şəbəkəsinin normal fəaliyyəti üçün əsas şərtlərdən biri də su itkilərinin azaldılmasıdır. Məqalədə saygaclaşma prosesini həyata keçirərək su sərfiyatının dəqiq hesabatının aparılması məsələsinə toxunulmuşdur. Məqalənin hazırlanmasında “Azərsu” ASC-nin baza məlumatlarından və “Azərsu” ASC Su təchizatı sistemlərinin idarə olunması şöbəsinin təcrübə materiallarından istifadə olunmuşdur.

Açar sözlər: su itkisi, elektromaqnit, sayğac, su təchizatı, su balansı, istehlak olunan su.

Istehsal olunmuş suyun istifadəçiyə müntəzəm olaraq çatdırılması və istehlak olunmuş suyun istifadəçi tərəfindən dəyərinin ödənilməsinin təşkili prosesi aşağıdakı amillərdən asılıdır:

- Tələbatı ödəyəcək qədər su həcminin tədarükü
- Su şəbəkələrinin istismara optimal şəkildə yararlı olması
- İstehlak olunan suyun həcminin düzgün ölçülməsi
- İstehlak olunmuş suyun dəyərinin ödənilməsinin təmini

Sadalanan amillər su tələbatının planlaşdırılmasında, su balansının tənzimlənməsində əsas faktorlar olmaqla yanaşı su itkilərinin təyin olunması və hesabatının aparılması istiqamətdə də mühüm rol oynayır.

Su itkiləri su təchizatı sisteminin işinin səmərəliliyinin aşağı düşməsinə səbəb olur. Bunun üçün də su itkilərinin təyin olunması və qarşısının alınması həm iqtisadi, həm də əhalinin dayanıqlı su təchizatının həyata keçirilməsi baxımından böyük əhəmiyyətə malikdir.

Su təchizatı sistemlərində su itkilərinə ister magistral, ister məhəllədaxili, istərsə də binadaxili şəbəkələrdə rast gəlinir. Su itkiləri fiziki itkilər, ölçmə zamanı sayğac xətaları və qeyri qanuni istifadə nəticəsində formalasır.

Su itkiləri şəbəkəyə birləşdirilmiş ölçü cihazları vasitəsi ilə riyazi modellər əsasında təyin olunur. İtkiyə gedən suyun təyin olunması və qarşısının alınması üzrə tədbirlər planı Sxemdə təsvir edilmişdir [1].

İtkilərin təyin olunması üçün ən sadə üsul A nöqtəsindən B nöqtəsinə qədər olan məsafədə A nöqtəsində quraşdırılmış sərfölçənin göstəricisi ilə B nöqtəsində quraşdırılmış

* “Azərsu” ASC

sərfölçənin göstəricisi arasında olan fərqli müəyyən edilməsidir. B nöqtəsində sərfin azalması 2-3% həddini keçərsə həmin aralıqda su itkisinin olduğu hesab edilir [2].

$$\Delta Q = Q_A - Q_B \quad (1)$$

Burada:

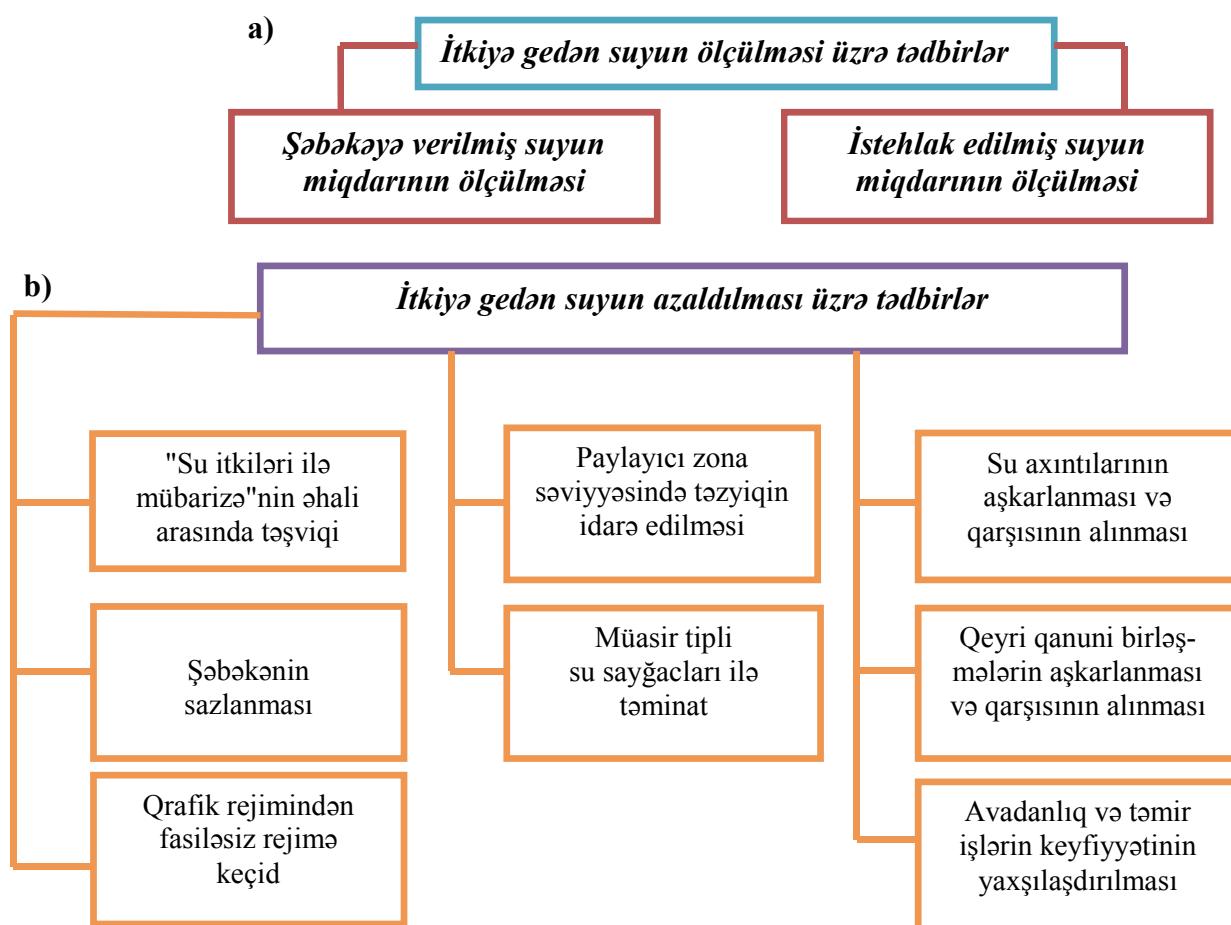
ΔQ - A nöqtəsindən B nöqtəsinə qədər olan məsafədə su itkisi, m^3 -lə; Q_A - A nöqtəsindən keçən suyun miqdarı, m^3 -lə; Q_B - B nöqtəsindən keçən suyun miqdarı, m^3 -lə

Saygac göstəriciləri arasında yaranmış minimal fərq (2-3% həddinə qədər) borunun daxili korroziya, saygac xətləri və ya ölçmə vaxtları arasındaki zaman fərqləri nəticəsində yaranır.

Suyun dəqiq qeydiyyatının aparılması üçün birinci şərt suyun paylandığı obyektlərin girişinə sərfölçənlərin quraşdırılmasıdır. Sərfölçənlər əsas xətdən ayrılan birləşmələr üzərində quraşdırılmalıdır. Nəticələrin dəqiqliyi üçün sərfölçənlərin texniki göstəricilərə uyğun yerləşdirilməsi və saygacın texniki göstəricilərinə uyğun boruda suburaxma qabiliyyətinin təmin edilməsi vacibdir.

Sxem.

**İtkiyə gedən suyun təyin olunması (a) və qarşısının alınması (b)
üzrə tədbirlər planı**



Bina tipli yaşayış evlərində quraşdırılan saygac göstəriciləri ilə binanın ümumi giriş xəttinin üzərində quraşdırılmış saygac göstəriciləri arasında yaranan fərq həmin bina daxilində itkiyə getmiş suyun hesablanmasında əsas faktordur. Belə ki [2],

$$\Delta Q = Q_u - (q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n) \quad (2)$$

Burada:

ΔQ - itkiyə gedən suyun miqdarı; Q_u – binanın giriş xətti üzərində quraşdırılmış saygacın en kəsiyindən keçən suyun miqdarı; q_1, q_2, q_3, q_n – binadaxili mənzillərə quraşdırılmış saygacın en kəsiyindən keçən suyun miqdarı.

Son dövrlərdə “Azərsu” ASC-nin xidmət sahəsi üzrə su şəbəkələrinin yenidənqurulması işləri çərçivəsində binadaxili su şəbəkəsinin pilləkən qəfəsinə çıxarılması inovativ üslub kimi qiymətləndirilməlidir. Bu üsulun tətbiqi saygacların xidmət göstərən təşkilatın nümayəndəsi tərəfindən mütəmadi olaraq maneəsiz oxunmasına, saygacılara qeyri-qanuni müdaxilə riskinin azalmasına şərait yaradır.

2011-ci ildən bəri “Azərsu” ASC-də əhali və qeyri əhali abonentləri üçün ənənəvi mexaniki saygaclarla yanaşı ön ödənişli smartkart tipli Elektromed, Metlab və Abşeron saygaclarından, magistral kəmərlərdə suyun paylanması və sərfiyatının ölçülülməsi üçün müasir tipli ABB, Khrone və Endress Houser markalı elektromaqnit sərfölçənlərdən istifadə olunur [3].

2012-ci ildə “Azərsu” ASC-nin Su təchizatı sistemlərinin idarə olunması şöbəsi tərəfindən Nizami rayonu, Özbəkistan küçəsi təcrübə poliqonu kimi seçilmiş, su itkilerinin qarşısının alınmasının hesablanmasında model olaraq istifadə olunmuşdur. Bu da öz əksini Cədvəldə tapmışdır.

Cədvəl.

Nizami rayonu, Özbəkistan küçəsində yerləşən binalar və onların göstəriciləri

Göstəricilər	I mərhələ Təcrübədən əvvəl	II mərhələ Hidrofor tipli nasos və fasılısız rejim	III mərhələ Ön ödənişli smart saygacalarla təchiz edilmə
Binaların sayı	12 ədəd	12 ədəd	12 ədəd
Evlərin sayı (əhali abonentli)	188 ədəd	188 ədəd	188 ədəd
Qeyri əhali abonentlərinin sayı	10	10	10
Saygaklı abonentlərin sayı	150	150	198
Əhalinin sayı	543 nəfər	543 nəfər	543 nəfər
Suyun verilmə rejimi	6 saat	24 saat	24 saat

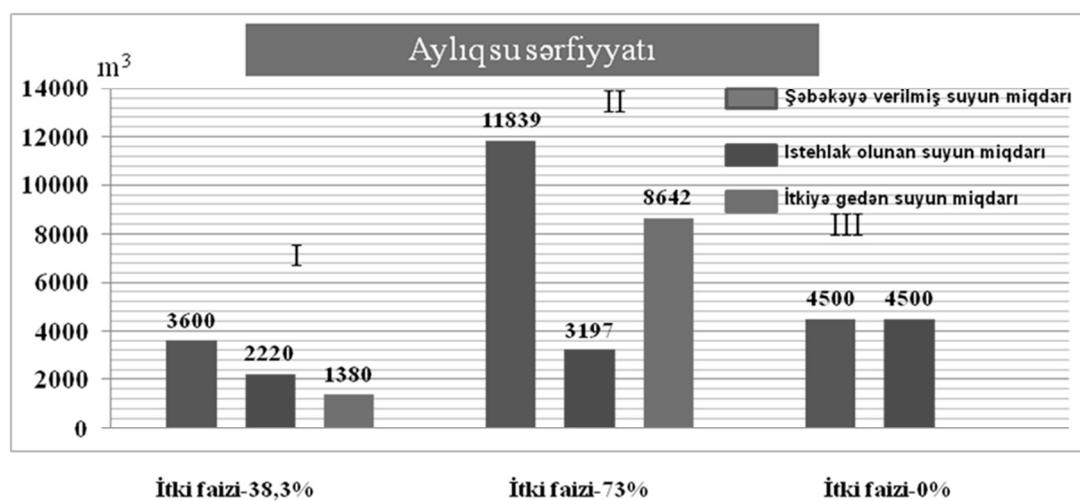
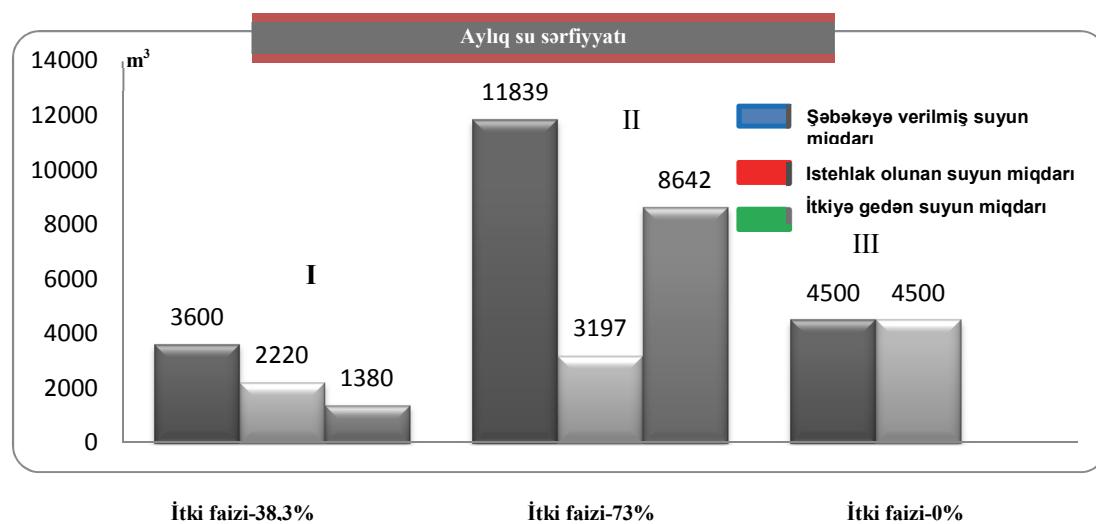
Modelin tətbiqi zamanı ilkin mərhələdə Özbəkistan küçəsində yerləşən binaların su təchizatı sistemlərinin baza məlumatları toplanmışdır. Toplanmış məlumatlar əsasında ərazinin su sərfiyatının hesabatı aparılmışdır. Modeldəki baş verəcək dəyişiklikləri müşahidə etmək üçün ikinci mərhələdə ərazidə hidrofor tipli su nasosu quraşdırılmış və suyun verilmə rejimi 6

saatdan 24 saatə keçirilmişdir. Üçüncü mərhələdə isə təcrübə poliqonundakı bütün abonentlər ön ödənişli smart saygacalarla təchiz edilmişlər.

Görülmüş işlər nəticəsində təcrübə poliqonunda aylıq su sərfiyatı və itkiyə gedən suyun miqdarı mərhələli formada şəkildəki kimi dəyişmişdir.

Nəticədə ilkin mərhələdə şəbəkəyə verilən su $3600\text{m}^3/\text{ay}$ təşkil etməklə 38,3%-i itkiyə gedirdisə, sonuncu mərhələdə şəbəkəyə verilən su ilə istehlak edilən suyun miqdarı arasında balans əldə olunmuş (şəbəkəyə verilən su $4500\text{m}^3/\text{ay}$, itki faizi - 0%), qeydə alınmayan itkilərin və sərfiyatın mümkünsüzlüyü təmin edilmişdir.

Göstərilən modelin iri miqyaslı əraziyə tətbiqi zamanı qeydə alınan itkilərin orta hədd normasının nəzərə alınması zəruridir.



Şəkil. Nizami rayonu, Özbəkistan küçəsində aylıq su sərfiyatının mərhələlər üzrə təsviri

Beləliklə, tədqiqat zamanı bu nəticəyə gəlinmişdir ki, ön ödənişli smart saygacların tətbiqi zamanı şəbəkəyə verilmiş suyun miqdarı dəqiqləşdirilir, şəbəkəyə verilmiş su ilə istehlak edilmiş suyun (əhali tərəfindən istifadə olunmuş və dəyəri ödənilmiş suyun) sərfiyatı arasındaki fərq azalır və itki faizi minimuma enmiş olur.

ƏDƏBİYYAT

1. SUEZ şirkəti ilə "Azərsu" ASC-nin birgə təşkil etdiyi "Sizmaların aşkarlanması işi üzrə materiallar, strategiya və onun təşkili" adlı təlimin materialları. Bakı, 2015.
2. Əbilov F.A., Əhmədov F.Ş., Əliyev A.H., Bayramov A.Ə. Su təchizatı sistemlərində su itkilerinin təyinində tətbiq edilən metodiki qaydalar. "Su problemləri Elm və Texnologiyalar" Beynəlxalq resenziyalı elmi jurnal. Bakı, 2015.
3. "Azərsu" ASC baza məlumatları.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРИ ВОДЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СЧЕТЧИКА

Т.М. АГАРЗАЕВ

В статье анализируется расход воды при установленном счетчике. Использованы показатели базы данных ААО "Азерсу" и практические материалы отдела Управления систем водоснабжения "Азерсу".

Ключевые слова: потеря воды, электромагнит, счетчик воды, водоснабжение, водный баланс.

RESEARCH OF WATER LOSSES BY USING WATER METERS

T.M. AGHARZAYEV

One of the daily household-communal demands of people is water supply. The continuous implementation of water supply is priorities for the relaxed lifestyle of the people or well management of water network and commercial interests of serving side. One of the main reasons for normally operating of water supply system is to reduce water losses. The article examines the issues with an installation of the water meters to accumulate data on a water consumption. The article contains data from "Azersu" OJSC and some practical materials on the management of water supply systems in the division of "Azersu" OJSC.

Key words: water losses, electromagnetics, water meters, water supply, water balance, water consumption.

ƏHƏD XANƏHMƏD OĞLU CANƏHMƏDOV

Tribologiya və tribotexnika sahəsində tanınmış alim və mütəxəssis olan Canəhmədov Əhəd Xanəhməd oğlu 23 oktyabr 1946-ci ildə Azərbaycan Respublikası Xızı rayonunun Baxşlı kəndində anadan olub.

1969-cu ildə Azərbaycan Neft və Kimya institutunun (indiki Azərbaycan Dövlət Neft Akademiyasının) neft-mexanika fakültəsini bitirib.

1970-1972-ci illərdə Moskva şəhərində SSRİ Elmlər Akademiyasının maşınşunaslıq institutunda məqsədli aspiranturada oxuyub.

1973-cü ildə namizədlilik, 1989-cu ildə İ.M. Qubkin adına Moskva Neft və Qaz İnstitutunda doktorluq dissertasiyalarını müdafiə edib, 1991-ci ildə isə professor rütbəsinə təsdiq olunub. Tribologiya elmi sahəsində azərbaycanın ilk elmlər doktorudur.

1975-76-ci illərdə Böyük Britaniyada elmi staj-keçmədə olub.

1973-2011-ci illərdə Azərbaycan Dövlət Neft Akademiyasında ardıcıl olaraq assistent, dosent, professor və kafedra müdürü vəzifələrində çalışıb. Eyni zamanda 1982-1990-ci illərdə xarici tələbələrin işi üzrə dekan müavini işləyib.

2011-ci ildən Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyasında «Nəqliyyat mexanikası» kafedrasının müdürüdir.

2006-ci ildən Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının həqiqi üzvü və Baş Elmi katibi seçilib. 2011-ci ildən Akademianın Vitse-prezidentidir.

1995-ci ildə Beynəlxalq Mühəndislik Akademiyasının müxbir üzvü, 1997-ci ildə akademiki, 1998-ci ildə isə Gürcüstan Milli Akademiyasının akademiki, 2012-ci ildə Ukrayna Mühəndislik Akademiyasının həqiqi üzvü, 2014-cü ildə Rusiya Təbiət Elmləri Akademiyasının həqiqi üzvü seçilib. Həmin ildə, Rusiya Mühəndislik Akademiyasının akademiki seçilib və adı "Rusiya Mühəndislik Akademiyası" Ensiklopediyasına salınıb.

1995-ci ildə Beynəlxalq «Sürtünmə və yeyilmə», 2011-ci ildən «Neftqaz kompleksləri üçün avadanlıqlar və texnologiyalar», 2013-cü ildən «Sürtünmə və yeyilmə problemləri», 2014-cü ildən «American Association for Science and Technology (AACIT)» (ABŞ) elmi jurnallarının redaksiya kollegiyasının üzvü təsdiq olunub.

1998-ci ildə İngiltərənin Beynəlxalq Bioqrafiya Mərkəzi tərəfindən gümüş medalla, 2000-ci ildə isə qızıl medalla təltif olunmuş və "XX əsrin görkəmli elm adamı" fəxri adına layiq görülüb. 2000-ci ildə Amerika Bioqrafiya İnstitutu tərəfindən elmdə xidmətlərinə görə qızıl medalla və "Beynəlxalq səfir" ordeni ilə təltif olunub.

2006-ci ildə mühəndislik elminin inkişafındakı xidmətlərinə görə Mühəndislik Akademiyasının qızıl medalına layiq görülüb.

2011-ci ildə "Mühəndislik şöhrəti" ordeninə, Beynəlxalq Mühəndislik Akademiyasının Böyük qızıl medalına, Ukrayna Mühəndislik Akademiyası Podqornı adına qızıl medalına və Qazaxistan Respublikası Mühəndislik Akademiyasının "Mühəndislik şöhrəti" qızıl medalına layiq görülüb. 2012-ci ildə jurnalistlərin təsis etdiyi "Vətənpərvər alim" qızıl medalı ilə təltif olunub. 2015-ci ildə Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının "Mühəndislik Rəşadəti" qızıl medalı, 2016-ci ildə "Beynəlxalq Mühəndislik Akademiyasının Fəxri Qızıl Nişanı" fərqlənmə nişanı və Diplomu ilə təltif olunub.

2014-cü ildə Ə.X. Canəhmədov Rusiya Təbiət Elmləri Akademiyası tərəfindən Tribologiya sahəsindəki elmi kəşfinə görə Nobel mükafatı laureati P.L. Kapitsa adına qızıl medala layiq görülüb.

Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi tərəfindən 2000-ci ildə keçirilən «Ən yaxşı elmi iş» adlı müsabiqədə "Texniki elmlər üzrə neft və qaz quyularının bərpası üçün avadanlıqlar kompleksinin işlənməsi və tətbiqi üzrə" işinə görə laureat olub. 2007-ci ildə NASA (ABŞ) Qrantina sahib olmuşdur. 2014-cü ildə ixtiraçılıq sahəsində Respublika müsabiqəsinin laureatı adını qazanıb.



Ə.X. Canəhmədov 350-dən artıq əsərin, o cümlədən, 50 monoqrafiyanın və kitabın, dərslik və dərs vəsaitinin və 30-dən çox patentin müəllifidir. Onun elmi əsərləri təkcə MDB deyil, eləcə də xarici ölkələrdə məşhurdur. İngiltərə, Almaniya, Çexiya, Slovakiya, Avstriya, Rusiya, Yunanistan, Yaponiya, Polşa, Rumınıya, İtaliya və b. ölkələrdə tribologiya və tribotexnika problemlərinə həsr olunan Dünya konqreslərində, Beynəlxalq simpoziumlarda və regional konfranslarda və yiğincəqlarda məruzə ilə çıxış etməklə Azərbaycanı ən mötəbər elmi məclislərin tribunalarında ləyaqətlə təmsil edib.

Ölkəmizin tarixində ilk dəfə olaraq "Metalpolimer sürtünmə cütlərinin üst qatlarında kontakt - impuls qarşılıqlı təsiri nəticəsində yeyilmə - friksion xarakteristikalarının dəyişmə qanuna uyğunluqları" adlı elmi kəşfin müəllifidir (Diplom № 462, 2013-cü il). 2014-cü ildə "Metalpolimer cütlərin işçi qatlarında elektrotermomexaniki sürtünmə prosesinin qanuna uyğunluğunun reallaşdırılması" adlı növbəti elmi kəşfi (Diplom № 476, 2014-cü il) edib.

Onun elmi əsərləri dünyadan bir çox elmi jurnallarında - "Машиноведение" (RF), "Friction and Wear" (ABŞ), "Вестник машиностроения" (RF), "Прикладная механика" (Ruminiya), "Механика" (Polşa), "Машиностроение" (RF), "Проблемы машиностроения и автоматизации" (Macaristan), "Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının xəbərləri" və digər nüfuzlu jurnallarda dərc olunmuşdur.

Ə.X. Canəhmədov «Fiziki-stoxastik tribomodelləşdirmə» (1988), «Neftqaz avadanlıqlarında tribotexniki problemlər» (1998), «Neftqaz avadanlıqlarında elastomerlərin mexanikası» (2002), «Neft tribologiyası» (2003), "Ekologiyada sinergetika və fraktallar" (2012), "Tribologiyada sinergetika və fraktallar" (2014), "Dağıılma mexanikasına fraktal yanaşma" (2015) və s. elmi əsərlərin müəllifidir. Məşhur Amerika nəşriyyatı "Springer" onun fundamental monoqrafiyasını "Synergetics and Fractals in Tribology" (2016) ingiliscə tərcümə edərək nəşr edib və bu əsərlər alım və müütəxəssislərin böyük rəğbətini qazanaraq beynəlxalq nüfuzunu artırıb.

Onun təşəbbüsü və bilavasitə iştirakı ilə 1997-ci ildə «Tribotexnika» ixtisası üzrə Ali məktəbə qəbul həyata keçirib və bu proses indi də davam edir.

Ə.X. Canəhmədov azərbaycan dilində ilk dəfə yazılan "Tribologiyanın əsasları", "Qazima maşın və avadanlıqları", "Tətbiqi mexanika" və "Aviasiya materialşunaslığı" dərsliklərinin müəllifidir. Həmçinin, azərbaycan dilində ilk dəfə yazılmış bir neçə dərslik və dərs vəsaitləri həmin ixtisaslar üzrə milli kadrların hazırlanması üçün əvəzsiz töhfədir.

Elmi fəaliyyətinin əsas istiqamətini maşın və avadanlıqlarda tribotexniki problemlər və onların sahə üzrə təcrübə tətbiqi təşkil edir. "Yeyilmənin termomexaniki nəzəriyyəsi"nin (1988) və "Sürtünmənin elektrotermomexaniki nəzəriyyəsi"nin (2012) müəllifidir.

Bu nəzəriyyələr friksion cütlərin termomexaniki yüklənməsi zamanı dağıılma (yeyilmə) mexanizminin fiziki mahiyyətini araşdırmaq, istilik proseslərinin kinetikasına soyutma şəraitinin təsirini dəyərləndirmək, səth qatlarında aşağı sıxlıqlı dislokasiyaların və səth altı qatlarda çat əmələgəlmə intensivliyini proqnozlaşdırmaq, friksion materialların rasional seçilməsinə və kontakt səthində istilik dağılmışının idarə olunmasına imkan verir.

Onun rəhbərliyi altında respublikamızda və xarici ölkələrdə 20-yə qədər namizədlik və doktorluq dissertasiyaları müdafiə edilib.

1989-1990-ci illərdə SSRİ Ali Təhsil Şurasının üzvü, 1992-1993-cü illərdə isə Azərbaycan Dövlət Ali Ekspert Şurasının üzvü olub.

1994-2006-ci illərdə dissertasiya şurasının həmsədri, eyni zamanda Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi Elmi-metodiki "Maşınqayırma və metallurgiya" şurasının bölmə sədri, 2006-2009-cu illərdə isə Azərbaycan Respublikası Prezidenti yanında AAK-in texniki elmlər üzrə ekspert şurasının sədri olub. 2013-cü ildə Beynəlxalq Mühəndislik Akademiyasının Prezidentlər Şurasının üzvü seçilib.

2009-cu ildən yeni təsis olunmuş «Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri» Beynəlxalq elmi-texniki jurnalının Baş redaktorunun müavinidir.

2013-cü ildən Londonda nəşr olunan SAEQ elmi-texniki jurnalının Baş redaktordur.

Əziz Əhəd Canəhmədov, Sizi Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının üzvləri və "Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri" jurnalının kollektivi adından Azərbaycan elminin inkişafında böyük xidmətləri olan elm və ictimai xadimini, anadan olmağınızın 70 illiyi münasibətilə səmimi qəlbdən təbrik edir, Sizə möhkəm cansağlığı, elmi-pedaqoji işlərinizdə uğurlar arzulayıraq!



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 ünvanı;
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 göndərilməlidir.

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), адреса 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), address 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 8. № 3
Vol. 8. № 3
Том 8. № 3

BAKİ – 2016

İnformasiya şöbəsinin müdürü

N.Z. Əskərova

Nəşriyyat və yayım şöbəsinin müdürü

A.M. Dənziyev

**“Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının
XƏBƏRLƏRİ”**

jurnalı redaksiyanın kompyuterlərində yığılmış və

“A P O S T R O F F” mətbəəsində

offset üsulu ilə çap olunmuşdur.

(akif0706@mail.ru / 050-313-07-06)

*Çapa imzalanmış 15.09.2016,
formatı 60x84 1/8,
kağız təbaşirli, f.ç.v. 17,5
Tirajı 1310 ad.*