



**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. № 1  
Vol. 8. № 1  
Том 8. № 1

**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. Cənəhmədov*  
*Məsul redaktor – müxbir üzv H.F. Mirələmov*

**REDAKSIYA 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 İ.R. Sadıqov, müxbir üzv N.A. Əliyev

**REDAKSIYA ŞURASI:**

akademik B.V. Qusev (Rusiya), prof. N. Antoneski (Rumıniya), 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 – Young Son (Koreya),  
akademik A.V. Kərimov (Özbəkistan), prof. D. Mavrakis (Yunanıstan), akademik N.K. Mışkin (Belarusiya),  
prof. Nejdət Sağlam (Türkiyə), akademik V.E. Panin ((Rusiya), prof. S. Putko (Polşa),  
akademik A.İ. Vasilyev (Ukrayna)

---

---

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

**CHIEF EDITOR – A.M. PASHAYEV, ACADEMICIAN**

*Deputy editor – A.Sh. Mehtiyev, academician*  
*Deputy editor – A.Kh. Janahmadov, academician*  
*Managing editor – H.F. Miralamov, member of correspondent*

**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,  
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, profes-  
sor (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), Nejdət Sağlam, professor (Turkey),  
V.E. Panin, academician (Russia), S. Pytko, professor (Poland), A.I. Vasilyev, academician (Ukraine)

## TƏSİSÇİ:

“Azərbaycan Mühəndislik Akademiyası” ictimai birliyi.

Jurnal 2009-cu ilin noyabr ayından nəşr olunur.

Dövrüliyi ildə 4 dəfədir.

Azərbaycan Respublikası Ədliyyə Nazirliyi tərəfindən rəsmi qeydiyyatda alınmışdır. Qeydiyyat № 2965, 23.06.2009-cu il.

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

Jurnal Beynəlxalq elmi sitat sistemi SCOPUS və Thomson Reuters qeydiyyatı prosesindədir.

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

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

Abunə indeksi: Hüquqi və fiziki şəxslər üçün – 1156

*Redaksiyanın ünvanı:* Azərbaycan Respublikası, AZ 1010,

Bakı şəhəri, K.Səfəraliyeva 22.

Tel/Faks: (+99412) 598 24 52

(dax. 6-59)

E-mail: amaxeber@yahoo.com

http://ama.com.az

REKLAMLARIN YERLƏŞDİRİLMƏSİ  
İLƏ ƏLAQƏDAR REDAKSIYAYA  
MURACİƏT 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 “Azerpochta” Subscription index:

For juristic and for natural persons – 1156

*Address of editorial offices:*

Azerbaijan Republic, AZ 1010,

Baku, K.Safaraliyeva 22.

Tel/Fax: (+99412) 598 24 52

(inter. 6-59)

E-mail: amaxeber@yahoo.com

http://ama.com.az

CONCERNING ADVERTISING  
PLACING TO ADDRESS  
IN EDITION

## УЧРЕДИТЕЛЬ:

Общественное объединение «Азербайджанская Инженерная Академия».

Журнал издается с ноября 2009 года.

Выходит 4 раза в год.

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 «Азэрпочта». Подписка продолжается в течение года.

Индекс подписки для юридических и физических лиц: 1156.

*Адрес редакции:* Азербайджан,

AZ1010, г. Баку, ул. К.Сафаралиева, 22.

Тел./Факс: : (+99412) 598 24 52

(внутр. 6-59)

E-mail: amaxeber@yahoo.com

http://www.ama.com.az

ПО ВОПРОСАМ РАЗМЕЩЕНИЯ  
РЕКЛАМЫ ОБРАЩАТЬСЯ  
В РЕДАКЦИЮ

## M Ü N D Ə R İ C A T

### Aviasiya

- Paşayev A.M., Cəfərzadə R.M., İsgəndərov İ.Ə., Kərimov S.M.**  
Təsvirə görə məsafənin təyin olunması üçün tətbiqi üsul ..... 7
- Abdullayev P.Ş., Vəliyev D.V.**  
Təyyarənin uçuşu zamanı yağlama sistemində metalların rentgenfluorestant analizatoru və onun analitik tətbiqi ..... 19

### Mexanika və maşınqayırma

- Canəhmədov Ə.X., Pirverdiyev E.S., Kopey B.V.,  
Zamixovskiy L.M., Volçenko A.İ., Juravlyov D.Y., Vozniy A.V.**  
Qazıma bucurqadının əyləc qasnağının çənbərinin elektrotermomexaniki yeyilməsi və dağılması (III hissə) ..... 27

### Cihazqayırma

- Sxadaya N.D., Perminov B.A., Perminov V.B.,  
Yaqubov Z.X., Yaqubov E.Z., Dementyev İ.A.**  
Burucu moment ölçüsünün dəyişən strukturlarının tezlik xüsusiyyətləri ..... 52
- Camalov Y.T., Əsgərov K.Ə.**  
Gecəgörmə cihazlarının istehsalı prosesinin təkmilləşdirilməsi ..... 63

### Neft və qaz

- İsmayılov Q.Q., Səfərov N.M., Calalov Q.İ.**  
Neftçixarmada su-neft sistemləri əsasında reotexnoloji üsulların yaradılması və tətbiqinin perspektivliliyi ..... 73

### Neft-kimya texnologiyası

- Nurullayev V.X., Seyfiyev F.Q.**  
Neft məhsullarının qarışmasının təhlili və yanacaq resurslarının artırılmasının iqtisadi səmərəli yolları ..... 85
- Hacıyeva S.R., Ramazanova N.K., Cəfərov Y.D., Əliyev S.M., Quliyeva R.T.**  
NaOH-ın sulu məhlulunun radiolizi zamanı əmələ gələn molekulyar hidrogenin radiasiya-kimyəvi çıxımına məhlulun qatılığının təsiri ..... 97
- Usubəliyev B.T., Mürvətov T.F., Əliyeva F.B.**  
Layın neft verimini artırmaq üçün koordinasiyalı polimerlərin tətbiqi ..... 102

### Energetika

- Qurbanov E.C.**  
Yüksək gərginlikli və yüksək tezlikli impuls qurğularının əsas hissələrinin işlənilməsi .. 110

### Gəmiqayırma

- Şərifov Z.Z., Əliyev Ç.M.**  
İstismar zamanı silindr gilizlərin kütlə itkisinin qiymətləndirilməsi ..... 122
- Gözəlova S.Ş.**  
Xəzər dənizində nəqliyyat donanması gəmilərinin beynəlxalq konvensiyasının tələblərinə uyğunluğunun analizi ..... 126

- Arif Paşayevin ad günü** ..... 129

## CONTENTS

### Aviation

- Pashayev A.M., Jafarzade R.M., Isgandarov I.A., Karimov S.M.**  
Measuring distance through image analysis ..... 7
- Abdullayev P.Sh., Veliyev D.V.**  
The XRF analyzer of metals and its analytical application in the plane  
oil system during flight ..... 19

### Mechanics and mechanical engineering

- Janahmadov A.Kh., Pirverdiyev E.S., Copey B.V.,  
Zamikhovsky L.M., Volchenko N.A., Zhuravlev D.Yu., Vozny A.V.**  
Electrothermomechanical wear and destruction of brake pulley  
of boring winches (Part III) ..... 27

### Instrumentation

- Tshadaya N.D., Perminov B.A., Perminov V.B., Yagubov Z.H.,  
Yagubov E.Z., Dementiev I.A.**  
Frequency characteristics of variational structure of torque measurer ..... 52
- Jamalov Y.T., Asgarov K.A.**  
Improvement of production of devices of night vision ..... 63

### Oil and gas

- Ismayilov G.G., Safarov N.M., Jalalov G.I.**  
Prospects of creating and applying the rheotechnological methods in oil  
production on the basis of water-oil systems ..... 74

### Chemical technology

- Nurullayev V.H., Seyfiyev F.Q.**  
Analysis of mixing oil products and effective economic ways to improve fuel resources... 85
- Haciyeva S.R., Ramazanova N.K., Jafarov Y.D., Aliyev S.M., Quliyeva R.T.**  
The influence of concentration on the radiation-chemical yield of molecular  
hydrogen, forming in radiolysis of water solution of NaOH ..... 97
- Usabaliev B.T., Murvatov F.T., Aliyev F.B.**  
The layer oil recovery boost using the coordination polymers ..... 102

### Energetics

- Gurbanov E.J.**  
Development of the main units of high-frequency high-voltage pulse installations ..... 110

### Shipbuilding

- Sharifov Z.Z., Aliyev Ch.M.**  
Estimate of the mass loss of the cylinder liners during operation ..... 122
- Gezalova S.Sh.**  
Correspondence analysis sailing in the caspian sea to the requirements  
of the international convention ..... 126

- To birthday of Arif Pashayev** ..... 129

## СОДЕРЖАНИЕ

### Авиация

- Пашаев А.М., Джафарзаде Р.М., Искандеров И.А., Керимов С.М.**  
Практический метод определения расстояния на основе анализа изображений .....7
- Абдуллаев П.Ш., Велиев Д.В.**  
Рентгенофлуоресцентный анализатор металлов и его аналитическое  
применение в маслосистеме самолета во время полета .....19

### Механика и машиностроение

- Джанахмедов А.Х., Пирвердиев Э.С., Копей Б.В., Замиховский Л.М.,  
Вольченко Н.А., Журавлев Д.Ю., Возный А.В.**  
Электротермомеханический износ и разрушение ободов тормозных  
шківов буровых лебедок (часть III).....27

### Приборостроение

- Цхадая Н.Д., Перминов Б.А., Перминов В.Б., Ягубов З.Х.,  
Ягубов Э.З., Дементьев И.А.**  
Частотные свойства вариационных структур измерения крутящего момента .....52
- Джамалов Я.Т., Аскеров К.А.**  
Усовершенствование производственного процесса приборов ночного видения .....63

### Нефть и газ

- Исмаилов Г.Г., Сафаров Н.М., Джалалов Г.И.**  
О перспективности создания и применения реотехнологических  
методов в нефтедобыче на основе водонефтяных систем .....74

### Нефтехимические технологии

- Нуруллаев В.Х., Сейфиев Ф.Г.**  
Анализ смешения нефтепродуктов и эффективные экономические пути  
повышения топливных ресурсов ..... 85
- Гаджиева С.Р., Рамазанова Н.К., Джафаров Я.Д., Алиев С.М., Гулиева Р.Т.**  
Воздействие концентрации раствора на радиационно-химический выход молекул-  
ярного водорода, образующегося во время радиолиза водного раствора NaOH ..... 97
- Усубалиев Б.Т., Мурватов Ф.Т., Алиева Ф.Б.**  
Применение координационных полимеров для увеличения нефтеотдачи пластов ..... 102

### Энергетика

- Гурбанов Э.Д.**  
Разработка основных узлов высоковольтных высокочастотных  
импульсных установок ..... 110

### Судостроение

- Шарифов З.З., Алиев Ч.М.**  
Оценка массовой потери гильз цилиндров во время эксплуатации ..... 122
- Гезалова С.Ш.**  
Анализ соответствий судов, плавающих в Каспийском море, требованиям  
Международной Конвенции ..... 126

### К дню рождения Арифа Пашаева ..... 129

## **TƏSVİRƏ GÖRƏ MƏSAFƏNİN TƏYİN OLUNMASI ÜÇÜN TƏTBİQİ ÜSUL**

A.M. PAŞAYEV, R.M. CƏFƏRZADƏ, İ.Ə. İSGƏNDƏROV, S.M. KƏRİMOV

Təqdim olunan məqalədə yerdəyişmənin qiymətinin ölçülməsi üçün müasir texnikanın müxtəlif sahələrində tətbiq olunan təmassız məsafəölçmə üsullarının müqayisəli təhlili aparılmış, bu üsullar arasında təsvir üsulunun perspektivliyi və videogörüntülərin emalında kompüter texnologiyalarının tətbiqi nəticəsində ölçmələrin dəqiqliyinin daha da artırılması üsulları tədqiq edilmişdir. Aparılmış işin nəticəsində təsvir üsulu ilə məsafə ölçmə üsulunun riyazi modeli, onun tətbiqini yerinə yetirməyə imkan verən alqoritm və proqram təminatı işlənib hazırlanmışdır.

***Açar sözlər:** təsvir üsulu, məsafənin təmassız ölçülməsi, vizual görüntü, fokal müstəvi.*

**Giriş.** Müasir texnikanın müxtəlif sahələrində yerdəyişmənin qiymətinin və ya obyektlər arasında məsafənin ölçülməsi zamanı xüsusi dəqiqlik tələb olunur. Bu məsələnin həlli üçün bir sıra metodlar mövcuddur və onlar arasında maqnitostriktiv, ultrasəs, lazer, potensiometrik və digər fiziki proseslərə əsaslanan üsullar xüsusi yer tutur [1].

Göstərilən metodlardan maqnitostriktiv və potensiometrik üsullar mülti aviasiya məqsədləri üçün tələb olunan mikrometr dəqiqlik və kifayət qədər geniş ölçmə diapazonunu təmin edir. Lakin hər iki üsulun çatışmazlığı ondan ibarətdir ki, yekunda istifadə olunan ölçmə cihazlarının qabaritləri ölçmə diapazonuna uyğundur və ölçmələrin aparılması müəyyən montaj-quraşdırma problemləri ilə müşayiət olunur. Bundan əlavə olaraq maqnitostriktiv üsulun tətbiqi yerləşmə yerindəki maqnit sahələrin intensivliyindən asılıdır və ölçmələr aparılarkən yaxınlıqda olan güclü elektromaqnit mənbələri yekun nəticəyə güclü təsir göstərir.

Müasir mikroelektronikanın və kompüter texnologiyalarının inkişafını nəzərə alaraq, daha üstün xassələrə malik ola bilən metod kimi obyektin təsvirinin təhlilinə əsaslanan üsulu göstərmək olar. Bu üsulda məsafənin təyini üçün peşəkar kameradan istifadə olunur. Son illər təsvirə əsaslanan bir sıra üsul öz geniş tətbiqini tapmışdır. Bir sıra tədqiqatçılar məsafənin təyini üçün 2 ədəd stereoskopik kamera istifadə etməklə, təsvir üsulunun tətbiqi ilə  $\pm 5\%$  dəqiqlik əldə edə bilmişlər [2,3]. Dəqiqlik ilk növbədə kameralar arasındakı baza məsafəsindən asılıdır və yalnız bu məsafə artırıldıqda daha dəqiq ölçmələr aparmaq imkanı yaranır. Daha yüksək dəqiqlik xassələrini əldə etmək üçün, geniş əhatə bucağı olan kameralardan istifadə olunaraq konstruktiv baxımdan mürəkkəb bir sistem yaradılmalıdır. 1 ədəd kamera və 1 ədəd lazer istifadə olunması hesabına təsvir üsulunun tətbiqi ilə məsafənin ölçülməsi zamanı  $\pm 1\%$

dəqiqlik əldə edilmişdir [4]. Lakin bu məsafəölçmə üsulunun əsas çatışmazlığı olan kifayət qədər çətin metodla kalibrasiya olunması, onun geniş istifadəsində müəyyən problemlər yaradır. Təsvir üsulunun müxtəlif sahələrdə, o cümlədən mülki aviasiyada tətbiqi imkanları ilə bağlı bir çox elmi araşdırmalar və tədqiqat işləri aparılmışdır [5-8]. Aparılan tədqiqatların və ədəbiyyat təhlilinin nəticələri nəzərə alınaraq, təqdim olunan üsulda qeyd olunan üsulların bəzi fundamental həndəsi aspektlərinin birgə istifadəsi nəzərdə tutulmuş və əsas hesablaşma funksiyalarının proqram təminatı vasitəsi ilə yerinə yetirilməsi yolu ilə daha əlverişli və dəqiq ölçmələr təmin edilməsi nəzərdə tutulmuşdur.

### **1. Müasir məsafə ölçmə metodları və onların tətbiq xüsusiyyətləri**

Yerdəyişmənin qiymətinin və obyektə qədər məsafənin ölçülməsində tətbiq olunan bütün metodları iki sinfə bölmək olar – təmaslı və təmassız. Təmassız olan impuls, zaman, faza və tezlik metodlarına əsaslanmış ənənəvi məsafə ölçmə (ultrasəs, lazer, potensiometrik və s. məsafəölçmə) qurğularının kifayət qədər dəqiqlik və geniş ölçmə diapazonu təmin edirlər [1]. Ona görə də son illər digər təmassız məsafə ölçmə üsullarının tətbiqinə xüsusi yer verilir. Lakin ənənəvi üsullara əsaslanmış təmassız məsafəölçmə qurğularının praktiki istifadəsi zamanı istismar və konstruktiv-texnoloji realizasiya problemləri ortaya çıxır. Bu problemlər bir neçə qeyri-ənənəvi fiziki prinsiplərə əsaslanan və ildən-ilə daha geniş tətbiq olunan təmassız məsafəölçmə üsullarında həll olunmuşdur [9].

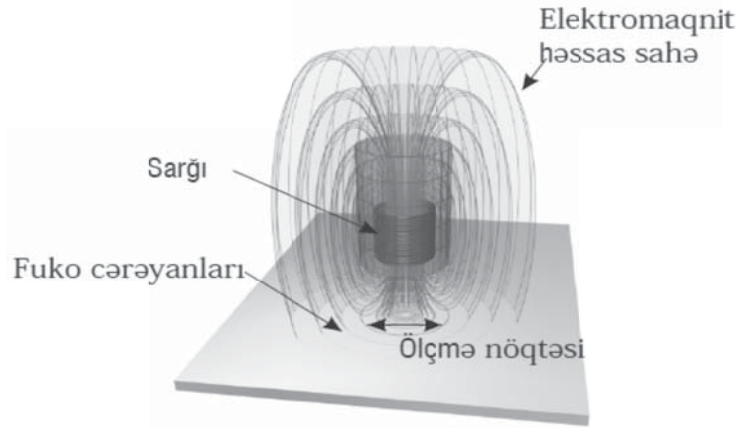
Müasir təmassız məsafəölçmə üsullarından biri Fuko cərəyanlarının istifadəsinə əsaslanmış və iş prinsipi induktiv həssas sarğacın tam müqavimətinin faza sürüşməsinin və amplitud dəyişmələrinin ölçülməsi üzərində qurulmuşdur (şək. 1). Bu üsulun əsas üstünlükləri aşağıdakılardır:

- Ferromaqnit və qeyri-ferromaqnit xassələrə malik bütün elektrik cərəyan keçirən obyektlərdə tətbiq oluna bilməsi;
- Vericinin ölçülərinin kiçik olması;
- Geniş temperatur diapazonu;
- Yüksək dəqiqliyi;
- Çirk, toz, rütubət, yağlılıq, yüksək təzyiq və ölçmə zonasında dielektrikin olmasından asılı olmaması.

Bu üsulun tətbiqi zamanı ortaya çıxan çatışmazlıqlar:

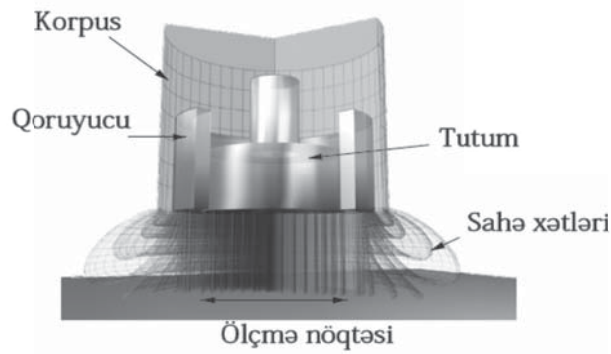
- Çıxış signalının hədəf materialının elektrik və maqnit xassələrindən asılılığı;
- Hər vericinin individual olaraq kalibrasiya olunması zərurəti;
- Maksimum ölçmə məsafəsinin 15 m olması;
- Ölçmə məsafəsinə uyğun olaraq vericinin effektiv ölçmə diametrinin artırılması zərurətidir.





**Şək. 1. Fuko cərəyanları vasitəsi ilə məsafənin ölçülməsi üsulu**

Digər yeni tətbiq texnologiyası ilə fərqlənən üsullardan biri tutumun hesablanması ilə məsafənin ölçülməsinə əsaslanmış üsuldur [9]. Bu üsulun mahiyyəti tutum kondensatorunun elektrodları arasında axan dəyişən cərəyanın qiymətinin elektrodlar arasındakı məsafədən asılı olmasına əsaslanmışdır (şək. 2).



**Şək. 2. Tutumda axan dəyişən cərəyanın ölçülməsi ilə məsafənin təyini üsulu**

Nəzərdən keçirilən üsulun əsas üstünlükləri:

- Bütün cərəyan keçirən obyektlər üzrə sabit həssaslıq və xəttliliyinin;
- Yüksək temperatur sabitliyinin;
- İzolyatorlar üçün də istifadə oluna bilməsinin;
- Vericinin xüsusi olaraq layihələndirmə imkanının;
- Nanometrik dəqiqliyinin və s. olmasıdır.

Bu üsulun tətbiqindəki əsas çatışmazlıqlar:

- Elektrodlar arasındakı dielektrikdə təmizliyə və rütubətin olmamasına xüsusi tələblərin qoyulması;

- Hər vericinin individual olaraq kalibrasiya olunmasına ehtiyac olması;
- Ölçmə məsafəsi artdıqca vericinin effektiv ölçmə diametrinin artırılması zərurətidir.

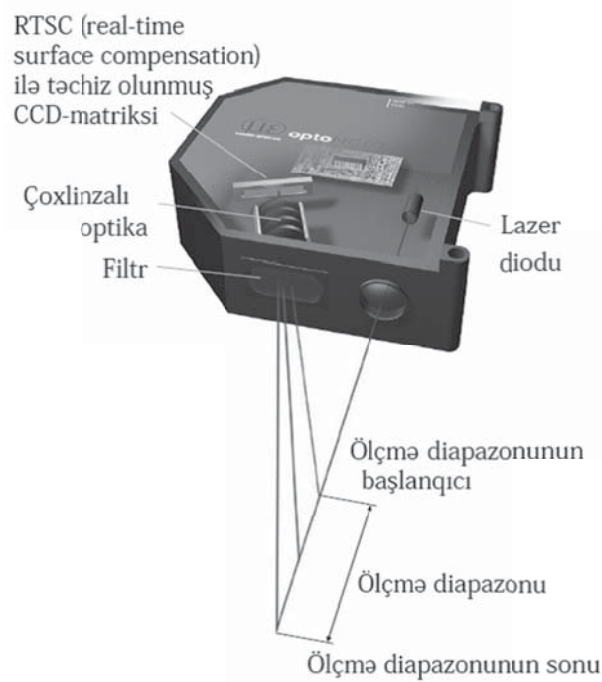
Lazer texnikasının üstünlüklərini tətbiqinə əsaslanmış üsullardan biri lazer üçbucaqları vasitəsi ilə məsafənin ölçülməsi üsuludur [9]. Bu üsula əsasən ölçməni həyata keçirmək üçün lazer diodundan görünən işıq nöqtəsi hədəfin üzərinə yönəldilir və əks olunmuş şüalar xüsusi optik sistem vasitəsi ilə sonradan CCD/CMOS matrisinin üzərinə proyeksiya olunur. Əgər hədəf ilə verici arasında mövqe dəyişikliyi baş verirsə, bu halda CCD/CMOS proyeksiyasında nöqtənin mövqeyi də dəyişir. Nəticədə bu mövqe dəyişməsinə görə məsafə hesablanır (şək. 3).

Lazer üçbucaqları ilə məsafənin ölçülməsi üsulunun üstünlükləri:

- Kiçik diametrlı lazer proyeksiyasının;
- Hədəf ilə verici arasında böyük məsafələrin hesablanması mümkünlüyünün;
- Hədəfin materialından demək olar ki, qeyri-asılı olmasıdır.

Göstərilən üstünlüklərlə yanaşı üsulun tətbiqi ilə bağlı aşağıdakı çatışmazlıqlar vardır:

- Hədəfin səthinin formasından asılılığı;
- Optik şüanın yolunda kənar maneələr (toz, rütubət və s.) olmamalıdır.
- Vericinin konstruksiyasının digər (tutum, Fuko cərəyanı və s.) vericilərlə müqayisədə mürəkkəbliyi;
- Quraşdırılma zamanı sensorun (vericinin) yerləşdirilməsinin xüsusi dəqiqliklə sazlanmasıdır.



Şək. 3. Lazer üçbucaqları vasitəsi ilə məsafənin ölçmə üsulu

Praktiki tətbiq nöqtəyi-nəzərdən daha əlverişli hesab oluna bilən üsullardan biri təsvir üsuludur. Təsvirin emalına əsaslanan, bu məsafə ölçmə üsulunun mahiyyəti xüsusi kamera vasitəsi ilə hədəfin əldə olunmuş cari görüntüsü ilə onun etalon məsafəyə uyğun olan görüntüsünün müqayisəli təhlili əsasında məsafədən asılı olaraq təsvirin göstəricilərinin dəyişmə qanunauyğunluğunun müəyyən olunmasından ibarətdir [9].

Təsvir üsulunun əsas üstünlükləri kimi:

- Şablonun (etalonun) formalaşdırılması üçün müvafiq lazer şüalarından istifadə olunması;
- Hədəf ilə verici arasında böyük məsafələrin hesablanması mümkünlüyü;
- Hədəfin materialından asılı olmaması ;
- Vericinin konstruksiyasının digər (tutum, Fuko cərəyanı və s.) vericilərlə müqayisədə sadəliyi;
- Konstruksiyaya müdaxilə etmədən proqram təminatının modifikasiyası nəticəsində daha yüksək dəqiqlik göstəricilərinin əldə olunmasının mümkünlüyü.

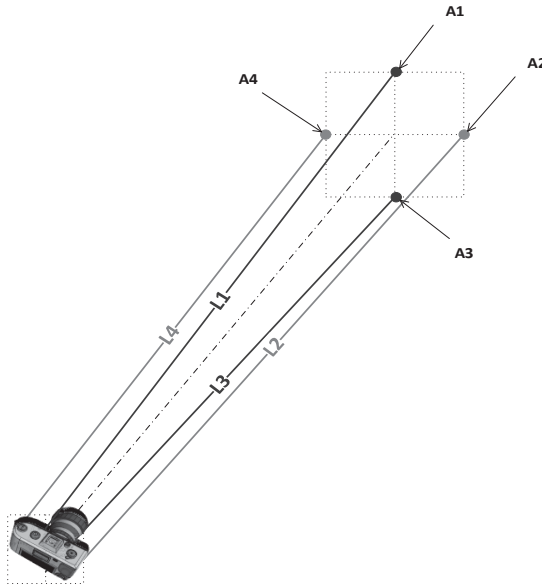
Bu üsulun tətbiqi zamanı ortaya çıxan əsas çatışmazlıqlardan biri ölçmə nəticələrinin kameranın obyektivinin xəttliliyindən asılı olmasıdır.

Bu məqalədə riyazi modeli, hesablama alqoritmi və proqramı verilmiş, təsvir üsulunun praktiki realizə edilməsini və nisbətən yüksək dəqiqlik təmin etmək məqsədi ilə işlənilmiş məsafə ölçmə üsulunun mahiyyəti, real zaman rejimində hədəfin əldə olunmuş cari videogörüntüsü ilə hədəf üzərində ölçüləri əvvəlcədən məlum olan şablon sahənin kamera vasitəsi ilə əldə olunmuş proyeksiyasının müqayisəsi nəticəsində obyektə qədər olan məsafənin təyin olunmasıdır [9].

## **2. Təsvir üsulu ilə məsafənin təyin olunmasının riyazi modeli**

Öyrənilən ədəbiyyatın ətraflı təhlili və araşdırmaların nəticələrini nəzərə alaraq, təsvir üsulunun praktiki tətbiqinin həyata keçirilməsi təmin etmək üçün, ilkin mərhələdə bizim tərəfimizdən kamera obyektivinin qeyri-xəttliliyi nəzərə alınmamış, və həmçinin, riyazi hesablamalar zamanı obyektə qədər olan məsafənin şablon görüntü proyeksiyasının ölçülərindən qat-qat çox olması fərz edilmişdir.

Şəkil 4-də müvafiq hesablamaları təmin edən həndəsi model əks olunmuşdur.



**Şəkil 4. Təsvir üsulu ilə məsafənin hesablanması üçün izometrik model**

Şəkildən (şək. 4) görüldüyü kimi, obyektə qədər olan məsafə, fokal məsafədə kamerada əks olunan şablon görüntü proyeksiyasının ölçülərindən asılıdır. Bu proyeksiya 4 ədəd dar işıq şüasını formalaşdıran rəngli lazerlər vasitəsi ilə formalaşdırılır. Yaşıl və qırmızı lazerlər fotoaparət müstəvisinə nisbətən müvafiq olaraq  $90^\circ$  bucaq altında quraşdırılmışdır. Qeyd etmək lazımdır ki, şablonun əvəzinə obyekt üzərindəki hər hansı xarakterik görüntüdən (misal üçün konstruktiv elementlər) istifadə etmək olar. Obyektə qədər olan məsafəni təyin etmək üçün üçbucaqların oxşarlığı əlamətlərindən istifadə olunmuşdur (şək. 5). Belə ki şəkildən görüldüyü kimi, obyektə qədər və fokal məsafələrdə olan üçbucaqların tərəfləri mütənasib ölçüdə olduğundan bu üçbucaqlar oxşardır.

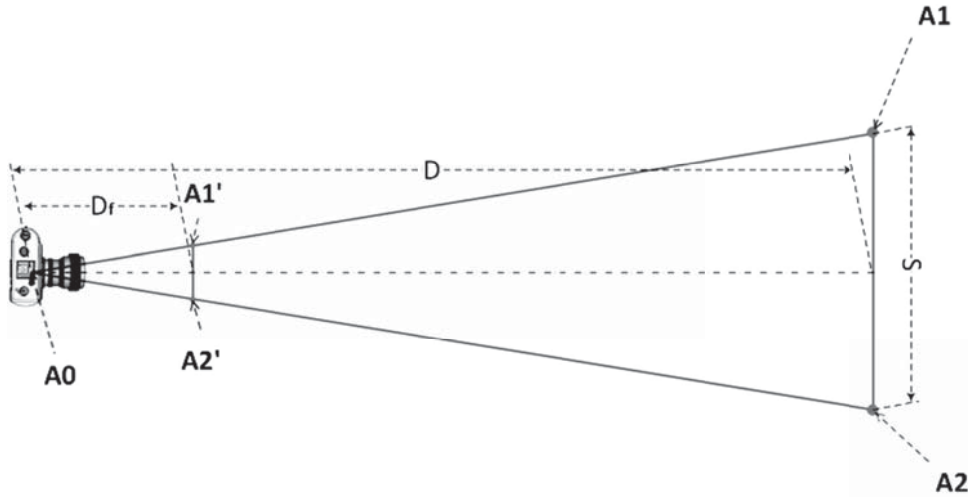
Obyektə qədər olan məsafə ilə kameranın fokal proyeksiyası arasında məsafəni təyin etmək üçün üçbucaqların oxşarlığına əsaslanaraq, aşağıda göstərilmiş qaydada:

$$\frac{D_f}{\left(\frac{A1'A2'}{2}\right)} = \frac{D}{\left(\frac{A1A2}{2}\right)} \quad \text{və yaxud} \quad D = \frac{D_f \left(\frac{A1A2}{2}\right)}{\left(\frac{A1'A2'}{2}\right)}$$

buradan isə

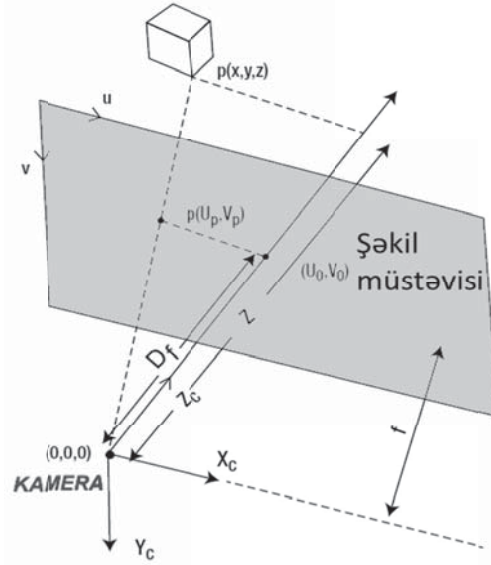
$$D = \frac{D_f \times A1A2}{A1'A2'} \quad (1)$$

alırıq. (1) düsturunda  $A1A2$  və  $D_f$  qiymətləri fotoaparətin xüsusiyyətlərindən asılıdır. Belə ki,  $D_f$  fotoaparətin optik elementlərinin fokal məsafəsini bildirdiyinə görə, kamera dəyişdirildikdə fərqli ola bilər.



Şək. 5. Təsvir üsulu ilə məsafənin hesablanması üçün müstəvi modeli

Ümumiyyətlə, [10]-da verilənləri əsas götürməklə, hər hansı kameranın riyazi modelini şəkil 6-da verildiyi kimi təqdim edə bilərik.



Şək. 6. Kameranın riyazi modeli

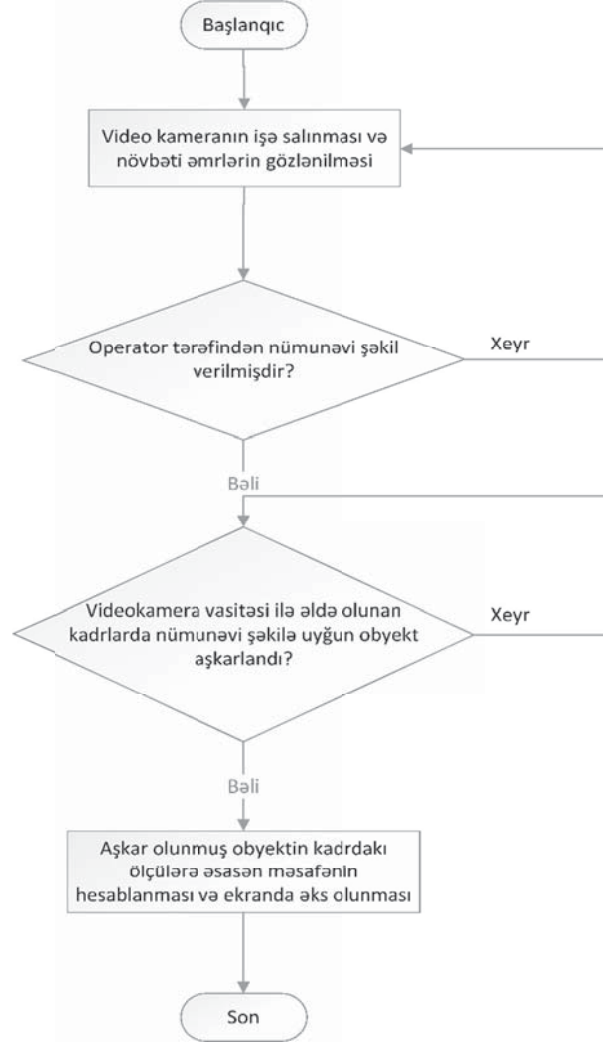
Real fəza obyektlərindən şüalar proyeksiya mərkəzi adlanan kamera nöqtəsində fokuslanır. Şəkil 6-da 3-ölçülü koordinat sisteminin mərkəzində kamera yerləşdirilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, kamera vasitəsi ilə əldə olunan məlumatlar bu nöqtəyə istinadən formalaşmış olur. Şəkilin müstəvisi Z oxu boyunca  $D_f$  – fokal məsafə uzaqlığına bərabər olan məsafədə formalaşır. Şəkil müstəvisinin  $(u, v)$  dekart koordinat sistemi var və bu müstəvi  $(u_0, v_0)$  nöqtəsində kameranın 3 -ölçülü koordinat sistemi ilə kəşifir.

Digər tərəfdən avtofokus (həm rəqəmsal, həm də ki mexaniki) ilə təmin olunmuş kameralardan məsafənin təqdim olunan üsulla təyini üçün istifadəsi məqsədəuyğun deyil. Bu səbəbdən eksperimentlərin aparılması zamanı avtofokus ilə təmin olunmamış rəqəmsal kameradan istifadə olunmuşdur.

Çəkilən fotosəkillərin təhlili şəkil 7-də göstərilmiş alqoritm əsasında yerinə yetirilir. Göstərilən alqoritmə əsasən ilk addımda videokamera işə salınır və ondan əldə olunmuş kadrlar hesablayıcı kompüterə ötürülür. Bundan sonra kompüter müvafiq interfeys vasitəsi ilə (klaviatura, siçancıq) vasitəsi ilə operatorndan növbəti əmrləri gözləyir.

Növbəti addımda operatorun əmrinə əsasən əvvəlcədən təyin olunmuş şablon şəkil təhlil üçün hesablayıcı proqrama ötürülür. Yekun mərhələdə isə çəkilmiş şəkildə A1 və A3, həmçinin A2 və A4 nöqtələri arasında məsafə ölçülür və bu məsafəyə uyğun olan məsafə yuxarıda təqdim olunmuş üçbucaqların oxşarlığı üsulu ilə hesablanır.

Şəkil 7-dən görüldüyü kimi, təsviri təhlil edən proqramın ümumi alqoritm daxilində 3 proses mövcuddur. Bunlardan 3-cü və 4-cü mərhələlər maraq doğurur. Belə ki, 3-cü mərhələdə videokamera vasitəsi ilə əldə olunan kadrlarda nümunəvi şəkildə uyğun obyekt aşkarlanması üçün “Python 2.7” proqramlaşdırma mühitində “Open CV” [10] və “CMT” [11] xüsusiyyətlərindən istifadə olunmuşdur.



**Şək. 7. Təsvir üsulu ilə obyektlərin fəzadakı yerləşmə parametrlərinin ümumiləşdirilmiş alqoritmi**

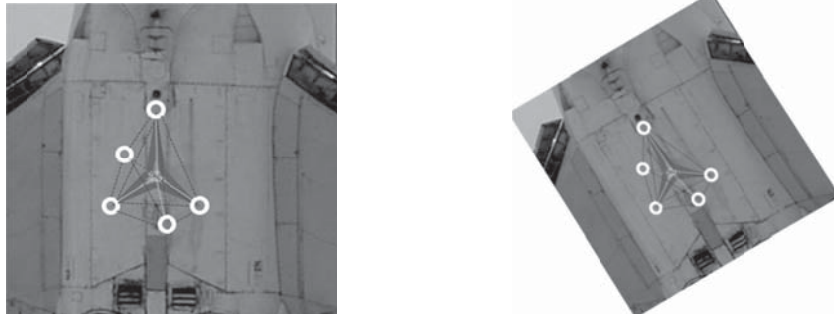
Sərbəst istifadədə olan “Open Source Computer Vision” (Open CV) [10] proqram vasitələri real zaman rejimində işləyən tətbiqetmələrdə xüsusi əhəmiyyət daşıyır. “OpenCV” müxtəlif sahələrdə - fabriklərdə malların keyfiyyətinə nəzarət, yüksək dəqiqliyə malik vizual tibbi araşdırılmaların aparılması, mühafizə, robototexnika və digər - tətbiq olunan 500-dən artıq görüntü təhlili funksiyalarından ibarətdir. Biz bu layihədə videokamera vasitəsi ilə əldə olunmuş kadrda şablonun aşkarlanmasında “OpenCV” kompüter görmə üsullarının real vaxt tətbiqetmələri üçün optimal sayılan “BRISK” (Binary Robust Invariant Scalable Keypoints) görüntü deskriptorlarından istifadə edərək stabil nəticələr əldə etmişik.

Obyektin yaxınlaşması və ya uzaqlaşması ilə səliss ölçmələri təmin etmək üçün “Python 2.7” proqramlaşdırma mühitində “CMT” [11] – “Consensus-based Matching and Tracking of Keypoints for Object Tracking” – Obyektlərin İzlənməsi üçün Xarakterik Nöqtələrin Qarşılıqlı Razılaşmaya əsaslanan Uyğunluğu və İzlənməsi – üsulundan istifadə olunmuşdur. Bu üsulun digər analoji metodlar (misal üçün “Open Tracking”, “Learning and Detection”) ilə

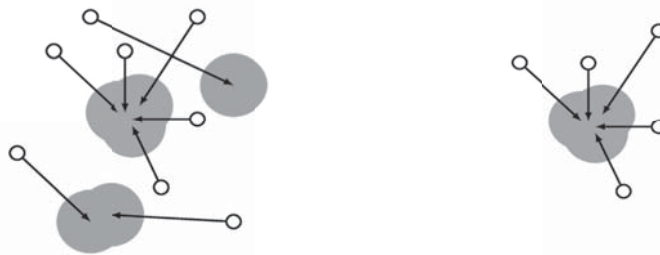
müqayisədə üstünlüyü kompyuterin hesablama gücündən daha səmərəli istifadəsi və bununla kiçik ölçülü birplatalı kompüterlərdə (Rapsberry Pi, CubieBoard, Odroid və s.) tətbiqi ilə bağlıdır.

Vizual görüntüdə obyektlərin izlənməsi üçün “CMT” üsulunda obyektin görüntüsü keypoint adlanan bir çox kiçik zonaya bölünür. Hər yeni kadrda bundan öncəki kadrda olan xarakterik nöqtələri axtarılır. Bunun üçün 2 müxtəlif üsuldan istifadə olunur. İlkin olaraq optik axın [12] kimi tanınan üsul ilə xarakterik zonaların növbəti mövqeyini təxmin edirik. Xarakterik zonalar bir-birinə uyğunluğu onların deskriptorlarının (xarakterik zonanın ətrafı barədə məlumat) üst-üstə düşməsi ilə yoxlanılır. Şübhəsizdir ki, hər iki üsul ilə hesablamalarda xəta ola bilər. Bu səbəbdən “CMT” pilləsində bu əməliyyatlardan sonra aşağıdakı şəkildə göstərilmiş qaydada obyektin mərkəzinin hansı mövqedə olması barədə xarakterik zonalar tərəfindən seçim aparılır (şək. 8).

Bundan sonra xarakterik zonalar tərəfindən aparılan seçimə əsasən mərkəzləşmiş (başqa sözlə ən çox “səs” toplamış) mövqe obyektin mərkəzi hesab edilir (şək. 9).



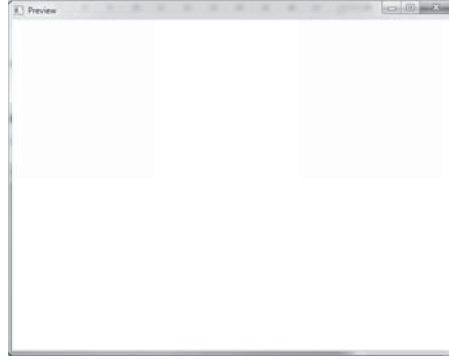
*Şək. 8. “CMT” vasitəsi ilə obyektin mərkəzinin hansı mövqedə olması barədə xarakterik zonalar tərəfindən aparılan seçim prosesi*



*Şək. 9. “CMT” vasitəsi ilə obyektin mərkəzinin mövqeyi barədə qərar qəbul edilmə prosesi*

### **3. Təsvirə görə məsafənin təyin olunması üçün tətbiqi proqram tərtibatı**

Proqramın istifadəçi interfeysi şəkil 10-da göstərilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, “Python 2.7” proqramlaşdırma mühitindən və krossplatformalı (bir neçə əməliyyat sistemində işləyən) məlumat bazalarından istifadə olunduğuna görə, bu proqram bütün x86 və x64 arxitekturalı kompyüter sistemlərində işə salına bilər.



Şək. 10. Videokamera işə düşərkən açılan “Preview” pəncərəsi

Klaviaturada “SPACE” düyməsi seçildikdə əvvəlcədən yaddaşa verilmiş şablon nümunəsini daşıyan fayl “Template” pəncərəsində əks olunur (Şək. 11). Bu əməliyyat proqramın kodunda növbəti sətirlər ilə təmin olunmuşdur:

```
# Şablon şəkili kompüterin yaddaşına köçürürük
im0 = cv2.imread('images/00000003.jpg')
# Verilmiş şablonu ağ-qara formata çeviririk
im_gray0 = cv2.cvtColor(im0, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
# Ağ-qara şablonu matris kimi təqdim edirik
im_draw = np.copy(im0)
```

Preview pəncərəsində işə şablona uyğun obyekt aşkarlanarsa, üçbucaqların oxşarlığına əsaslanan [13]-cü ədəbiyyatda təqdim olunmuş üsul üzrə məsafə hesablanacaq. Şəkil 11.-ə əsasən qeyd etmək lazımdır ki, təqdim olunan üsul ilə “Məsafə”dən əlavə burada obyektin hansı bucaq altında olması barədə məlumatı əldə etmək mümkündür. Aşkarlanmış obyektin işarələnməsi proqram kodunda bu sətirlər ilə təmin olunmuşdur

```
# Aşağıdakı sətirlər vasitəsi ilə kadrda aşkarlanmış obyekt işarə olunur
cv2.line(im_draw, CMT.tr, CMT.br, (0, 0, 255), 4)
cv2.circle(im_draw, CMT.tl, 3, (0, 0, 255), 2)
cv2.line(im_draw, CMT.br, CMT.bl, (0, 255, 255), 4)
cv2.circle(im_draw, CMT.br, 3, (0, 255, 0), 4)
cv2.line(im_draw, CMT.bl, CMT.tl, (255, 0, 0), 2)
```

Məsafənin və obyektin hansı bucaq altında olmasının hesabı üçün “Python 2.7” proqramlaşdırma mühiti üçün standart olan “math” kitabxanasından istifadə olunmuşdur:

```
# Aşağıdakı sətirlər vasitəsi ilə şablonun kadrda koordinatları CMT.max(x,y) və CMT.min(x,y) nöqtələri arasında fokal müstəvidəki məsafəyə (dist) və üçbucaqların oxşarlığına əsasən həqiqi məsafə (distcam) və bucaq (angle) hesablanır
```

```
dist = math.hypot(CMT.max_x - CMT.min_x, CMT.max_y - CMT.min_y)
distcam = distance_to_camera(KNOWN_WIDTH, FOCAL_LENGTH, dist)
angle = math.atan2(CMT.tr[2] - CMT.tl[2], CMT.tr[0] - CMT.tl[0])*180/3.14
draw_str(im_draw, (20, 20), 'Mesafe: %.1f sm' % (distcam))
draw_str(im_draw, (180, 20), 'Bucaq: %.1f derece' % (angle))
```





**Şək. 11.** “SPACE” düyməsi seçildikdən sonra açılan “Template” və “Main” pəncərələrində şablonun uyğunlaşdırılması və məsafə/bucaq məlumatlarının əks olunması

**Nəticə.** Aparılan tədqiqatların gedişində, təsvir üsuluna əsaslanaraq, əvvəlcədən təyin olunmuş şablona uyğun olan obyektə qədər məsafənin təyininə müasir kompüter vasitəsi ilə görmə üsulları tətbiq olunaraq. Tərtib olunmuş proqramın tətbiqi nəticəsində məsafə məlumatına əlavə olaraq, bucaq haqda məlumatların əldə olunması təsdiqlənmişdir. Əgər tərtib olunmuş proqramın hər hansı əməliyyat sisteminə bağlı olmamasını nəzərə alsaq, gələcəkdə bu üsuldən müxtəlif sahələrdə səmərəli istifadəsi mümkündür. Belə ki, işin yerinə yetirilməsi zamanı “Microsoft Windows” əməliyyat sistemlərindən əlavə, kiçik ölçülü və kontroller çıxışları vasitəsi ilə müxtəlif mexaniki idarəetmələrə imkan verən “Rapsberry Pi2” birplatalı kompüterlərdən istifadə olunmuşdur və qənaətbəxş nəticələr əldə olunmuşdur.

## REFERENCE

1. The Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook. Editor in Chief John.G. Webster. CRCPRESS, 1999, 2485 pages.
2. **J. Mrovlje, D. Vrancic.** Distance measuring based on stereoscopic pictures. 9th International PhD Workshop on Systems and Control: Young Generation. 1-3 October 2008, Izola, Slovenia, 6 pages.
3. **Manaf A. Mahammed, Amera I. Melhum, Faris A. Kochery.** Object Distance Measurement by Stereo Vision. International Journal of Science and Applied Information Technology (IJSAIT), Vol.2 , No. 2, Pages : 05-08 (2013). Special Issue of ICCTE 2013-Held during 11-12 March, 2013 in Dubai
4. Ti-Ho Wang, Ming-Chih Lu, Wei-Yen Wang, Cheng-Yen Tsai. Distance Measurement Using Single Non-metric CCD Camera. Proceedings of the 7th WSEAS Int. Conf. on Signal Processing, Computational Geometry & Artificial Vision, Athens, Greece, August 24-26, 2007, p 1-6.
5. **Pashayev A.M., Iskenderov I.A., Agayev E.A.** Beskontaktnyj metod opredeleniya zagruzhennosti vozdušnogo sudna po vertikalnomu peremeshheniju fjuzeljazha. Mat. XIII mezhd. NTK «AVIA - 2013», Kiev, 2013, Tom I, s. 1.93-1.97.

- Пашаев А.М., Искендеров И.А., Агаев Э.А.** Бесконтактный метод определения загрузки воздушного судна по вертикальному перемещению фюзеляжа. *Мат. XIII межд. НТК «АВИА -2013»*, Киев, 2013, Том I, с. 1.93-1.97.
6. **Pashayev A.M., Isgandarov I.A., Hasanov A.R., Agayev E.A., Karimov S.M.** Imaging Method Application Peculiarities in Contactless Determination of Aircraft Loading Limitations. *Asian Journal of Computer and Information Systems (ISSN: 2321 – 5658) Vol 2, №1, 2014, p.9-13.*
7. **Həsənov A.R., İsgəndərov İ.Ə., Ağayev E.A.** Hava gəmisinin yüklənmə dərəcəsinin təsvir üsulu ilə təyini. *Az. TU, “Müasir informasiya və kommunikasiya texnologiyalarının inkişaf perspektivləri” bey. konf., 2011, Elmi əsərlər, s. 36-42*
8. **Pashayev A.M., Jafarzade R.M., Kerimov S.M.** Kollimacionnye displei otobrazheniya vozdushnoj obstanovki na kompleksnyh trenazherah VS na osnove LED tehnologii. *Мат. 11 mezhd. konf. «Aviacija i kosmonavtika - 2012», Tez. dokl., M., 2012, s.264-265.*
- Пашаев А.М., Джафарзаде Р.М., Керимов С.М.** Коллимационные дисплеи отображения воздушной обстановки на комплексных тренажерах ВС на основе LED технологии. *Мат. 11-й межд. конф. «Авиация и космонавтика - 2012», Тез. докл., М., 2012, с.264-265.*
9. *Precise Non-contact displacement sensors.* <http://www.micro-epsilon.com>, 2013, 8 pages.
10. **Joseph Howse.** *OpenCV Computer Vision with Python.* Packt Publishing, 2013, 161 pages.
11. **Georg Nebel, Roman Pflugfelder.** *Consensus-based Matching and Tracking of Keypoints for Object Tracking.* Safety and Security Department, AIT Austrian Institute of Technology, 1220 Vienna, Austria, 2014, 8 pages.
12. **Berthold K.P. Horn and Brian G. Schunck.** *Determining Optical Flow.* Artificial Intelligence Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA02139,U.S.A.,1980, p185-203.
13. **Adrian Rosebrock.** *Find distance from camera to object/marker using Python and OpenCV.* <http://www.pyimagesearch.com>.

## **ПРАКТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ**

**А.М. ПАШАЕВ, Р.М. ДЖАФАРЗАДЕ, И.А. ИСКАНДЕРОВ, С.М. КЕРИМОВ**

В представленной статье авторы провели анализ бесконтактных методов измерения расстояния, которые нашли реализацию в различных областях современной техники. Было исследовано, что среди этих методов метод обработки изображения представляет особый интерес, поскольку основан на использовании последних достижений компьютерных технологий и может обеспечить более высокую точность. В результате данного исследования была составлена математическая модель метода визуализации, алгоритм ее реализации и разработано соответствующее программное обеспечение.

*Ключевые слова:* метод изображения, бесконтактный метод измерения расстояния, визуализация, фокальная плоскость.

## **MEASURING DISTANCE THROUGH IMAGE ANALYSIS**

**A.M. PASHAYEV, R.M. JAFARZADE, I.A. ISGANDAROV, S.M. KARIMOV**

Authors analyzed the non-contact distance measuring methods applied in various areas of industry. Among all available methods, the image processing is the most advance method so far, and it is based on the latest achievements of the computer technology and have the high accuracy. The mathematical method of visualization, implementation of algorithm, and appropriate software programming were develop as a result of this studying.

*Key words:* image processing, contactless method of distance measurement, visualization, focal plane.

## **РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗАТОР МЕТАЛЛОВ И ЕГО АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ В МАСЛОСИСТЕМЕ САМОЛЕТА ВО ВРЕМЯ ПОЛЕТА**

**П.Ш. АБДУЛЛАЕВ, Д.В. ВЕЛИЕВ**

Рассмотрен спектральный анализ масляной системы Boeing 767 с помощью портативного рентгенофлуоресцентного спектрометра (анализатора) ALPHA Series. Осуществлен оперативный анализ состава металлов и сплавов в масляной системе самолета для обнаружения металлической стружки.

**Ключевые слова:** *маслосистема самолета, спектральный анализ, рентгенофлуоресцентный анализатор, микроконтроллер, частица износа.*

**Введение.** Обычный спектральный анализ масляной системы проводится на Земле, а предложенный данный спектральный анализ системы предлагается проводить во время полёта. Портативный рентгенофлуоресцентный спектрометр (анализатор) ALPHA Series предназначен для оперативного анализа состава металлов и сплавов и устанавливается в масляной системе для улавливания металлической стружки. Анализатор определяет, из какого типа металла состоят частицы износа. Данный прибор позволит также определить, насколько интенсивно изнашиваются основные узлы подвижных сопряжений [1], и в случае опасности включается световой или же звуковой сигнал. От спектрометра сигнал поступает в систему EICAS по шине данных ARINC 429 и при помощи микроконтроллера форматирует сигнал, который может взаимодействовать с системой EICAS. Эта информация отображается на дисплее EICAS, и во время полета ее можно узнать по показаниям прибора. Данная работа позволит более оперативно обрабатывать информацию на борту самолёта, нежели на Земле [2, 3].

**Постановка задачи.** Как известно, маслосистема двигателя обеспечивает подачу масла к трущимся поверхностям для уменьшения трения и отвода теплоты. Часть масла используется как рабочая жидкость системы управления воздушным винтом и для работы измерителя крутящего момента.

Смазка двигателя – циркуляционная, все высоконагруженные трущиеся поверхности (подшипники, зубчатые и шлицевые соединения, втулки и другие детали) смазываются и охлаждаются маслом, подводимым под давлением к форсункам. Малонагруженные поверхности смазываются барботажным маслом.

Масляная система двигателя работает по короткозамкнутой схеме, в которой нагнетаемое в двигатель и откачиваемое из двигателя масло непрерывно циркулирует по замкнутому кольцу, минуя масляный бак самолета (рис.1).

Масло, находящееся в маслобаке, в циркуляции не участвует и служит для пополнения расходуемого в двигателе масла и для повышения высотности системы [4].

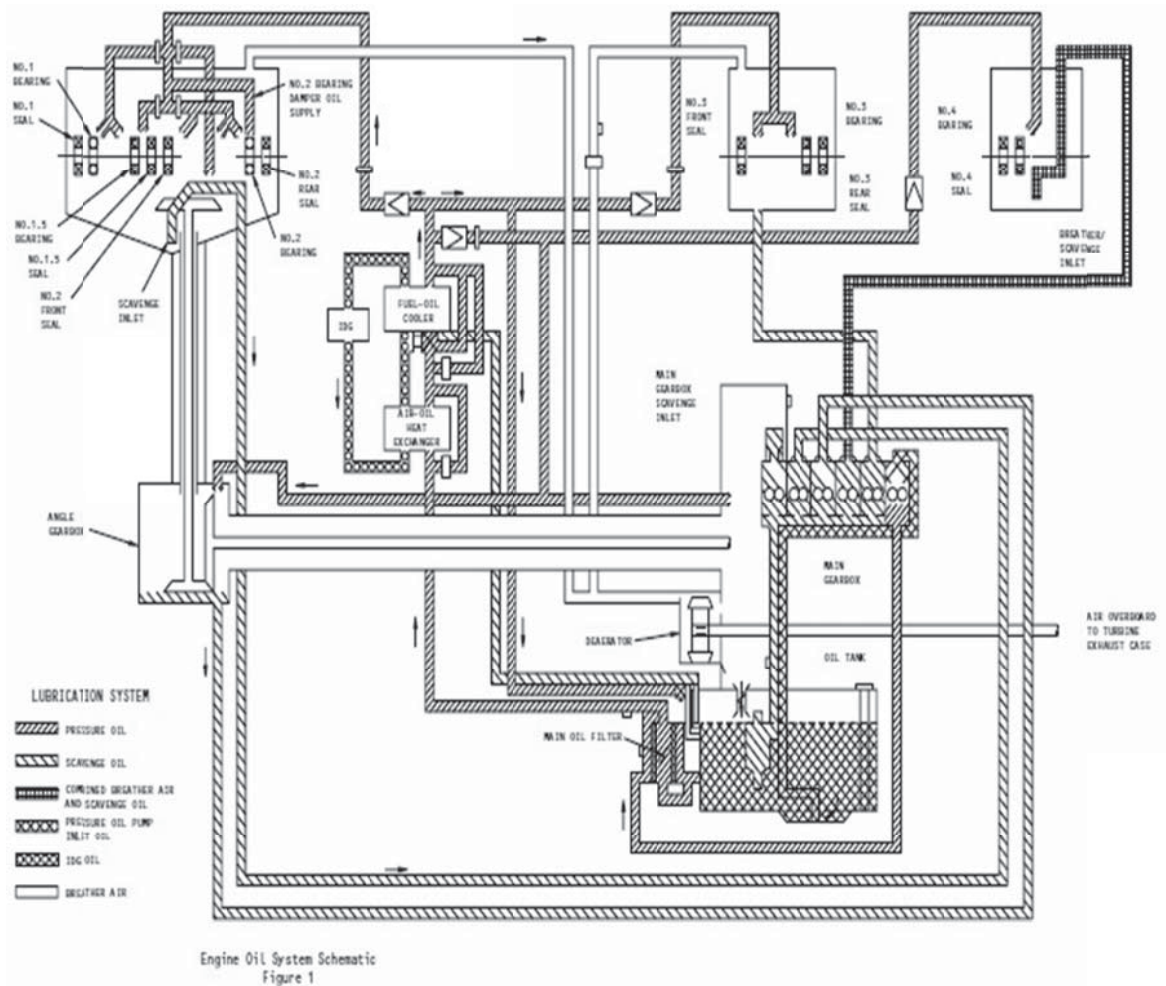


Рис 1. Схема масляной системы Boeing 767

В маслосистему двигателя входят следующие основные узлы: маслоагрегат, состоящий из пяти секций (маслонасосов шестеренчатого типа), смонтированных в одном корпусе; центробежный суфлер; воздухоотделитель; маслонасос измерителя крутящего момента; масляные фильтры; магнитная пробка; сигнализатор засорения фильтра.

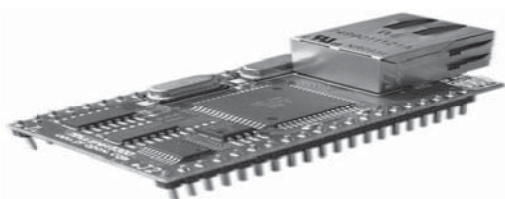
Для решения поставленной задачи нами используется портативный рентгенофлуоресцентный спектрометр (анализатор) Innov-X Alpha Series ALPHA Series, предназначенный для оперативного анализа состава металлов и сплавов (рис.2). Прибор разработан специально в короткое время производить анализ большого количества материала. Анализатор определяет концентрации химических элементов в диапазоне от  $Z = 15$

(фосфор) до  $Z = 92$  (уран) [5, 6]. Одновременно определяются 25 элементов (предустановленный набор - Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Hf, Ta, W, Re, Pt, Au, Pb, Bi, Zr, Nb, Mo, Pd, Ag, Cd, Sn, Sb). Перечень элементов может быть задан заказчиком. Пределы обнаружения элементов зависят от матрицы (структуры) вещества и его химического состава и обычно составляют сотые доли процента.



*Рис. 2. Рентгенофлуоресцентный анализатор металлов Innov-X Alpha Series*

Микроконтроллер прибора-анализатора подключается к USB порту, для этого используется микросхема FT232. Она полностью берет на себя работу с USB портом, выдавая микроконтроллеру родной интерфейс UART. А поскольку драйвер эмулирует виртуальный Com порт, то никакой переделки ПО на компьютере и в микроконтроллере не требуется. Производитель микросхемы позаботился о пользователях и предоставил драйвера для следующих MMwiznet5300 (рис.3).



*Рис. 3. Микроконтроллер MMwiznet5300*

**Интенсивность аналитической линии спектра от поверхностного слоя вещества.** Как известно, в аналитической практике приходится иметь дела с тремя типами веществ:

1. гетерогенные с неравномерным распределением концентрации по объёму (самый общий тип);
2. гомогенное с неравномерным распределением элементов по объёму;

3. гомогенное с равномерным распределением элементов по объёму.

В данной работе исследуются закономерности возбуждения с веществом второго типа. Рассмотрение проводится в монохроматическом приближении, поскольку экспериментальные исследования выполнены на приборах с монохроматическим возбуждением спектров.

Для гомогенных веществ отсутствует эффект крупности в рентгеновской флуоресценции. Для сравнения образцов, необходимых для анализа веществ второго типа, можно выделить следующие технологические способы [7, 8]:

1. напыление на поверхность подложки одного или нескольких элементов (в этом случае создаются слои вещества с контролируемой толщиной и заданного элементного состава);

2. ионная имплантация (при этом формируется одномерный слой переменного по глубине состава);

3. термическая диффузия (формируются диффузионные слои с заданным распределением элемента по глубине).

Для характеристики рассмотренных образцов введем понятие одновременной локальной концентрации [9].

$$C_i(x) = \frac{m_i n_i(x)}{\rho},$$

где  $n_i(x)$  – число атомов сорта  $i$  в единице объема на глубине  $x$ ;

$m_i$  – масса  $i$ -го атома;

$\rho$  – плотность вещества.

Для рентгеновской флуоресценции гомогенного вещества однородного состава известно аналитическое выражение, полученное в монохроматическом приближении [9].

Интенсивность характеристической линии элемента А, распределённого по глубине, будет определяться как ионизацией фотонами первичного монохроматического пучка, так и вторичными процессами ионизации:

1.  $I_A^B$  – фотонами характеристических линий атомов (избирательное возбуждения);

2.  $I_A^p$  – фотонами первичного излучения рассеянного в образце;

3.  $I_A^\delta$  – фотоэлектронами.

Таким образом, интенсивность аналитической линии представляется в виде суммы [9]:

$$I_A = I_A^1 + I_A^B + I_A^p + I_A^\delta = I_A^1 (1 + \varepsilon_A^B + \varepsilon_A^p + \varepsilon_A^\delta),$$

где  $I_A^1$  – интенсивность флуоренции, обусловленная первичными монохроматическими фотонами;

$\varepsilon_A^\delta$  – вклады соответствующих вторичных процентов.

Рассчитывается величина эффекта возбуждения фотоэлектронами для различных слоев произвольного химического состава. Расчет производится при следующих предположениях:

- для образовавшихся фотоэлектронов использовалась модель прямых траекторий;
- облучение пробы производилось монохроматическим излучением;
- учитывалось поглощение фотоэлектронов.

Величина этого эффекта для насыщенной пробы с равномерным распределением определяемого элемента по глубине была рассчитана в работе [9]. Однако в этой работе не учитывалось распределение фотоэлектронов по углам вылета из атома и полагалось, что распределение фотоэлектронов не зависит от их энергии на данной глубине, а распределение их по глубине задается законом ослабления первичного рентгеновского излучения. Для вычисления числа квантов характеристической линии возбуждения фотоэлектронами использовалась формула Грина Кослета [7]. Также в расчетах не учитывалось поглощение фотоэлектронов. Предположение о независимости распределения фотоэлектронов по энергии хорошо работает при условии слабого поглощения первичного излучения и начальной энергии фотоэлектронов  $E_0 \gg E_q$ , где  $E_q$  - энергия  $q$  уровня атомов матрицы. При этом условии действительно распределение фотоэлектронов не зависит от энергии и равномерно по глубине для слоев толщины, которое удовлетворяет условию  $\mu_{m1}\rho\Delta x \ll 1$ .

Результаты расчетов величины вклада подвозбуждения фотоэлектронами приводятся ниже, в таблице. Для слоев C-Si и Fe-Ge даются относительные интенсивности подвозбуждения внутри самого имплантированного слоя ( $\varepsilon_1^\delta A$ ) и фотоэлектронами подложки ( $\varepsilon_2^\delta A$ ). Для сравнения фотоэлектронов подвозбуждения со вторичным фотонным рассчитаны на компьютере.

Результаты компьютерного расчета представлены на рисунке 4 в виде зависимости логарифма подвозбуждения от логарифма толщины слоя. Эффективную толщину можно легко найти, если положить, что 99,9% всех имплантированных ионов находится в одном слое.

Это условие сразу дает, что  $d = 6\Delta R_p$ ,

где  $\Delta R_p$  - среднеквадратичный разброс пробегов имплантированных ионов элемента А.

Как видно из рис.4, величина эффекта подвозбуждения фотоэлектронами возрастает при увеличении энергии первичного излучения.

При расчете  $\varepsilon_A^B$  для возбуждения  $K_\alpha$  линии С и Fe имплантированных в Si и Ge используется характеристическое излучение Mo  $K_\alpha$ (17,5 кэВ).

Имплантированная примесь, состоящая из элементов с малыми атомами номерами поправки на эффект подвозбуждения, должна состоять из суммы компонентов подвозбуждения вторичными фотонами и фотоэлектронами.

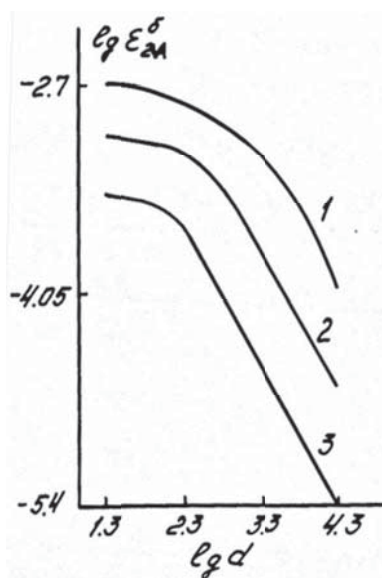


Рис. 4. Зависимость логарифма эффекта подвозбуждения от логарифма толщины слоя  $lg d$  ( $d$  нм) Fe- Si для возбуждения  $K_{\alpha}$  линии Cd Mo Se.

Доза имплантации  $D = 5 \cdot 10^{14}$  ион/см<sup>2</sup>

1. Возбуждения Cd  $K_{\alpha}$  (23,2 кэв)
2. Возбуждения Mo  $K_{\alpha}$  (17,5 кэв)
3. Возбуждения Se  $K_{\alpha}$  (11,2 кэв)

Таблица

Зависимость относительных интенсивностей  $\epsilon_{1A}^{\delta}$ ,  $\epsilon_{2A}^{\delta}$ ,  $\epsilon_A^B$  от толщины и состава ионно-имплантированного слоя для  $K_{\alpha}$ -линий C и Fe, имплантированных в Si и Ge

$\alpha$ , нм	C – Si			Fe - Ge		
	$\epsilon_{1A}^{\delta}$ , %	$\epsilon_{2A}^{\delta}$ , %	$\epsilon_A^B$ , %	$\epsilon_{1A}^{\delta}$ , %	$\epsilon_{2A}^{\delta}$ , %	$\epsilon_A^B$ , %
20	0,93	0,67	20,0	$2,45 \cdot 10^{-3}$	$3,98 \cdot 10^{-3}$	122,1
200	1,32	0,29	4,3	$1,05 \cdot 10^{-2}$	$2,86 \cdot 10^{-3}$	118,9
2000	3,86	0,16	0,6	$1,29 \cdot 10^{-2}$	$7,59 \cdot 10^{-4}$	96,7
20000	6,65	0,05	0,0	$3,25 \cdot 10^{-3}$	$1,74 \cdot 10^{-4}$	23,4

Вклад рассеянного излучения в эффект подвозбуждения в тонком слое элемента А находится на поверхности образца. Предположения, которые делались выше, остаются в силе и при выводе поправки на эффект подвозбуждения рассеянным излучением.

Характеристическое излучение имплантированного или напылённого слоя 1 возбуждается источником первичных фотонов и рассеянным излучением элемента В слоев 1, 2.

Как видно из таблицы, в случаях, когда имеет место подвозбуждение вторичными фотонами в слоях Fe-Ni и Zn-Ge, можно не учитывать вклад рассеянного излучения, поскольку  $\epsilon_A^B$  составляет = 10-100%

В слоях Fe-Si и Zn-Si, в которых отсутствует вторичное подвозбуждение фотонами при использовании первичного излучения с большими энергиями фотонов (для при-



боров со вторичным излучателем с атомным номером  $Z = 70-80$ )  $\varepsilon_A^p \varepsilon_{1A}^p \varepsilon_{2A}^p$  может составлять несколько процентов.

На рис. 5 показана зависимость  $\varepsilon_A^p$  от дозы имплантации для Fe-Si при использовании различного возбуждающего излучения. Из этого рисунка можно сделать следующие выводы.

1. С ростом имплантации величина эффекта  $\varepsilon_A^p$  практически не зависит от нее.
2. С ростом энергии первичного излучения величина эффекта  $\varepsilon_A^p$  увеличивается.

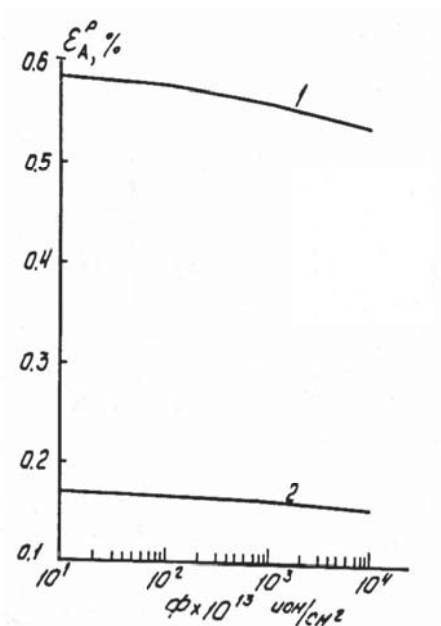


Рис. 5. Зависимость от дозы  $\varepsilon_A^p$  имплантации при  $d_{эфф} = 30$  нм для Fe-Si  
 Возбуждения Mo K $\alpha$  (17,5кэВ)  
 Возбуждения Se K $\alpha$ (11,2 кэВ)

$\varepsilon_{1A}^p \varepsilon_{2A}^p$  рассчитаны с учетом когерентного и некогерентного рассеивания излучения в подложке и внутри самого ионно-имплантированного слоя.

В этих расчетах, согласно [7], углы входа и выхода излучения  $\psi = 45 \varphi = 90$  возбуждают излучение Se K $\alpha$  Mo K $\alpha$ .

**Заключение.** Рассмотрена возможность применения прибора РФА, который позволяет проводить спектральный анализ частиц износа деталей ГТД в масляной системе Boeing 767 во время полета, что ускорит получение результата спектрального анализа по сравнению с Землей. Визуальное отображение результатов анализа будет выведено на дисплей EICAS. В случае получения результата анализа выше нормы будет подан световой сигнал, а затем звуковой.

Этой информацией может воспользоваться как пилот в процессе полета, так и инженер наземного обслуживания.

## REFERENCE

1. **Janahmadov A.Kh., Dyshin O.A., Javadov M.J.** Sinergetika i fraktaly v tribologii. – Baku: APOSTROFF, 2015. – 504 s.  
**Джанахмедов А.Х., Дышин О.А., Джавадов М.Я.** Синергетика и фракталы в трибологии. – Баку: АПОСТРОФФ, 2015. – 504 с.
2. **Vlohin M.A.** Metody rentgenospektral'nyh issledovanij. M.: Fizmatgiz, 1959. 366 s.  
**Блохин М.А.** Методы рентгеноспектральных исследований. М.: Физматгиз, 1959. - 366 с.
3. **Borovskij I.B.** Fizicheskie osnovy rentgenospektral'nyh issledovanij. M.: Izd-vo MGU, 1956. - 463 s.  
**Боровский И.Б.** Физические основы рентгеноспектральных исследований. М.: Изд-во МГУ, 1956. - 463 с.
4. **Losev N.F.** Kolichestvennyj rentgenospektralnyj fluorescentnyj analiz. M.: Nauka, 1969. 336 s.  
**Лосев Н.Ф.** Количественный рентгеноспектральный флуоресцентный анализ. М.: Наука, 1969. 336 с.
5. **Smagunova A.N., Losev N.F.** Rentgenospektralnyj fluorescentnyj analiza. Irkutsk: Izd-vo Irkutskogo un-ta, 1975. 225 s.  
**Смагунова А.Н., Лосев Н.Ф.** Рентгеноспектральный флуоресцентный анализа. Иркутск: Изд-во Иркутского ун-та, 1975. 225 с.
6. **Losev N.F., Smagunova A.N.** Osnovy rentgenospektralno fluoresscentno analiza. M.: Himija, 1982. - 207 s.  
**Лосев Н.Ф., Смагунова А.Н.** Основы рентгеноспектрального флуоресцентного анализа. М.: Химия, 1982. - 207 с.
7. **Anisovich K.V.** Fluorescentnyj rentgenospektral'nyj analiz. Rentgenotekhnika: spravochnik. M.: Mashinostroenie, 1980. T. 2. 383 s.  
**Анисович К.В.** Флуоресцентный рентгеноспектральный анализ. Рентготехника: справочник. М.: Машиностроение, 1980. Т. 2. 383 с.
8. **Libhavski H.F., Pfejfer G.G., Uinslou E.F., Zemani P.D.** Primenenie pogloshhenija i ispuskanija rentgenovskih luchej. M.: Metallurgija, 1964. 391 s.  
**Либхавски Х.Ф., Пфейфер Г.Г., Уинслоу Э.Ф., Земани П.Д.** Применение поглощения и испускания рентгеновских лучей. М.: Metallurgija, 1964. 391 с.
9. **Alov N.V.** Rentgenofluorescentnyj analiz: fizicheskie osnovy i analiticheskoe primenenie // Zavod. laboratorija. 2010. T. 76. № 1. - s. 4-14.  
**Алов Н.В.** Рентгенофлуоресцентный анализ: физические основы и аналитическое применение // Завод. лаборатория. 2010. Т. 76. № 1. - с. 4-14.

## TƏYYARƏNİN UÇUŞU ZAMANI YAĞLAMA SİSTEMİNDƏ METALLARIN RENTGENFLUORESTENT ANALİZATORU VƏ ONUN ANALİTİK TƏTBİQİ

P.Ş. ABDULLAYEV, D.V. VƏLİYEV

ALPHA series portativ rentgenfluorestant spektr ölçənin (analizatorun) vasitəsilə Boeing 767 yağlama sisteminin spektral analizinə baxılıb. Metal hissəciklərin aşkar olunması üçün təyyarənin yağlama sistemində metal və ərintilərin tərkibinin operativ analizi həyata keçirilmişdir.

*Açar sözlər:* təyyarənin yağlama sistemi, spektral analiz, rentgenfluorestant analizator, mikronəzarətçi, yeyilmə hissəciyi.

## THE XRF ANALYZER OF METALS AND ITS ANALYTICAL APPLICATION IN THE PLANE OIL SYSTEM DURING FLIGHT

P. Sh. ABDULLAYEV, D.V. VELIYEV

The spectral analysis of the Boeing 767 lubrication system by means of the portable XRF spectrometer (analyzer) of ALPHA series is considered in the paper. The operational analysis of composition the metal swarf.

*Key words:* plane lubrication system, spectral analysis, XRF analyzer, microcontroller, wear particle.

## ЭЛЕКТРОТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЙ ИЗНОС И РАЗРУШЕНИЕ ОБОДОВ ТОРМОЗНЫХ ШКИВОВ БУРОВЫХ ЛЕБЕДОК (часть III)

А.Х. ДЖАНАХМЕДОВ, Э.С. ПИРВЕРДИЕВ, Б.В. КОПЕЙ\*, Л.М. ЗАМИХОВСКИЙ\*,  
Н.А. ВОЛЬЧЕНКО\*\*, Д.Ю. ЖУРАВЛЕВ\*, А.В. ВОЗНЫЙ\*

Проиллюстрированы теоретические и экспериментальные исследования закономерности трещинообразования на поверхности металлических фрикционных элементов тормозных шкивов при электротермомеханическом трении микровыступов металлополимерных пар с позиций кинетики фрактального анализа и концентраторов механических напряжений.

*Ключевые слова:* фрикционные элементы, микротрещины, микровыступы, фрактальный подход, температурные градиенты, механические и температурные напряжения, концентраторы механических напряжений.

**Введение.** До настоящего времени нет четкой гипотезы о зарождении и развитии трещин под действием температурных напряжений на рабочей поверхности ободов тормозных шкивов металлополимерных пар трения ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок. Это вызвано тем, что зарождение и развитие трещин должно базироваться на основе электротермомеханического трения с оценкой энергетических уровней поверхностных и подповерхностных слоев ободов шкивов, которые прошиваются импульсными нормальными силами, электрическими и тепловыми токами, вызывающие, как поверхностные, так и объемные напряжения. Последние в значительной степени зависят от концентраторов механических напряжений в сопряжениях обода шкива, а также от кинетики фрактального подхода к его рабочей поверхности.

**Состояние проблемы.** В работе [1] рассматриваются линии теплового тока и возникновение изотерм при взаимодействии контактов (нейтрального, омического и блокирующего) пар трения из различных материалов. Исследованы кинетический и равновесный эффекты для пары трения «полимер-полимер» на начальной и конечных периодах контактно-импульсного фрикционного взаимодействия двух полимерных пятен контактов при электротермомеханическом трении.

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

\*\* Кубанский государственный технологический университет (Россия)

Электротермический износ и разрушение ободов тормозных шкивов буровых лебедок (часть I) нашли отражение в работе [2]. В последней приведено распределение тепловых токов в серийных ободах тормозных шкивов и термограммы их элементов [подкрепляющего кольца (реборды) обода и крепежного выступа] при различной толщине обода шкива и его крепежного выступа, занимающего постоянное положение по отношению к заземленному краю обода. Во втором конструктивном варианте рассмотрено постоянное положение крепежного выступа посередине обода шкива при варьировании их толщинами. При этом не была намечена фрактальная концепция подхода [3] к образованию микротрещин в местах сопряжения с крепежным выступом, а также на его рабочей поверхности.

И. А. Биргер в одной из многочисленных работ [4] отмечал, что в свободной оболочке (не заземленной) при ее нагревании с объемной температурой, распределенной по толщине по линейному закону, не возникает температурных напряжений. В то же время, если оболочка имеет закрепленные края, то любое нагревание вызывает температурные напряжения.

Работа [1] посвящена электротермическому износу и разрушению ободов тормозных шкивов буровых лебедок, в которой впервые обращено внимания на сопряжение с рабочей поверхности обода с подкрепляющими кольцами и с его нерабочей стороны с крепежным выступом. В дальнейшем проиллюстрированы износы рабочих поверхностей левого и правого ободов тормозных шкивов в зависимости от стороны заземления их краев и очагов возникновения максимальных температурных напряжений. Однако в данной работе не были учтены механические концентраторы напряжений в вышеотмеченных сопряжениях и не показано их влияние на поверхностные температурные напряжения рабочей поверхности обода тормозного шкива.

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

- природа фрикционного взаимодействия микровыступов пар трения «металл-полимер» на периодах торможения;
- кинетика состояния рабочей поверхности металлополимерного элемента при фрикционном взаимодействии с позиций фракталов;
- энергонагруженность и циркуляция тепловых токов в элементах тормозных шкивов; зарождение и развитие микротрещин;
- поверхностное разрушение при электротермомеханическом трении металлополимерных пар трения;
- природа нормального износа при электротермомеханическом трении металлополимерных пар трения.

**Цель работы** – установление закономерности трещинообразования на поверхностях металлических фрикционных элементов и ее влияние на износ при электротермическом трении микровыступов металлополимерных пар.

**Природа фрикционного взаимодействия микровыступов пар трения «металл-полимер» на периодах торможения.** Природу фрикционного взаимодействия

микровыступов пар трения необходимо рассматривать на нано-, микро- и макроуровнях, которые тесно переплетены между собой.

Знание особенности конструкции и работы каждого из видов тормозных устройств позволяет оценить динамическую, электрическую и тепловую нагруженность их металлополимерных пар трения.

Проанализируем изменение кинематических, электрических и тепловых параметров при единичном торможении, которое реализуется на тормозном стенде, с учетом градиентов потенциалов и температуры. При этом полное время торможения условно разделено на четыре периода (рис. 1 а, б) для случаев когда температура поверхностей трения не превышает (а) и превышает (б) допустимую для материалов полимерной накладки

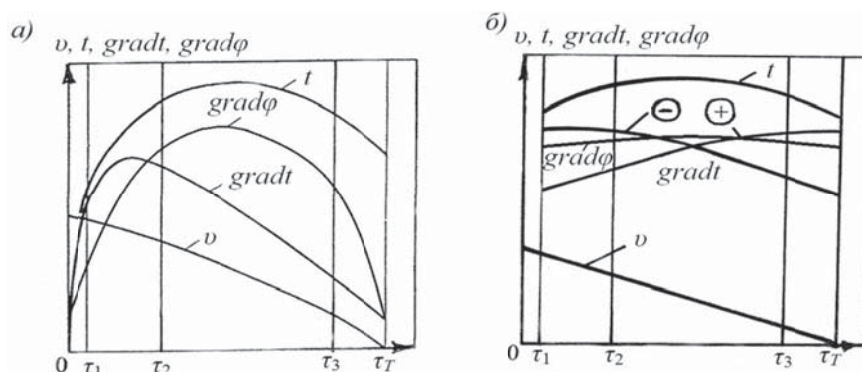


Рис. 1 а, б. Закономерности изменения скорости скольжения ( $v$ ) на фрикционном контакте, поверхностной температуры ( $t$ ) и потенциального ( $grad\phi$ ) и температурного ( $gradt$ ) градиента в металлическом элементе трения при единичном торможении по времени ( $\tau$ ) на четырех периодах процесса в случае, когда температура поверхности трения не превышает (а) и превышает (б) допустимую для материалов фрикционной накладки

Первый период –  $0 \leq \tau \leq \tau_1$ , характеризуется высокими скоростями скольжения, импульсными взаимодействиями микронеровностей пар трения, которые способствуют генерированию импульсных токов за счет их электризации, и как следствие, возникновению разности потенциалов. Происходит слабое нагревание рабочей и нерабочей поверхности обода тормозного барабана с незначительными микроградиентами температуры по нормали к его рабочей поверхности. Импульсная температура (температура вспышки) на микроконтакте становится высокой, объемная температура почти не изменяется. При этом импульсное нормальное усилие увеличивается, что ведет к росту удельной нагрузки на фрикционном контакте, несмотря на то, что его площадь увеличивается. Первый период времени не превышает 3 % от общего времени торможения.

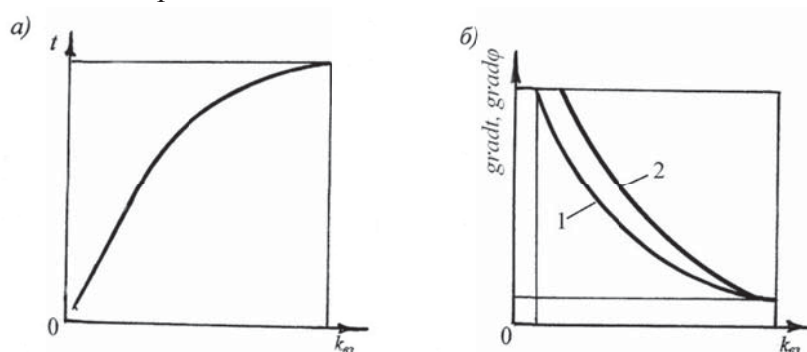
Второй период –  $\tau_1 \leq \tau \leq \tau_2$ , характеризуется высокими скоростями скольжения, увеличивающимися удельными нагрузками, высокими значениями температур рабочей и нерабочей поверхностей обода тормозного шкива, а также незначительными температурными градиентами, поскольку обод является уже прогретым. Температура вспышки превышает максимум, объемная температура растет.

Третий период –  $\tau_2 \leq \tau_T \leq \tau_3$ . В этот промежуток времени скорости скольжения на фрикционном контакте уменьшаются, удельные нагрузки установившимися, температура поверхности трения – наибольшей за весь период торможения и квазистабильной, потенциальный и температурный градиент стремительно падает, поскольку быстро растет объемная температура, температура вспышки – незначительная.

Четвертый период –  $\tau_3 \leq \tau_T$ . Скорости скольжения на фрикционном контакте весьма малые (приближаются к нулю), удельные нагрузки постоянные, температура поверхности трения обода тормозного шкива плавно падает и приближается к его объемной температуре, потенциальный и температурный градиент являются незначительными, температура вспышки практически равна нулю. Продолжительность этого периода составляет 5,0-8,0% от общего времени торможения.

Из рис. 1 а, б видно, что закономерность изменения скорости скольжения на фрикционном контакте не зависит от температуры поверхности трения и является квазилинейной. На рис. 1 б отметкой  $\oplus$  отмечен температурный градиент, направленный в сторону роста температур, то есть температурный градиент на свободной от накладок рабочей поверхности обода тормозного шкива; отметкой  $\ominus$  отмечен температурный градиент, направленный в сторону уменьшения температур, то есть для перекрытой полимерными накладками поверхности обода тормозного шкива. Рядом показана кривая изменения градиента потенциала, который описывается почти квазипостоянной кривой из-за выгорания связывающих компонентов из полимерной накладки и образования жидких островков на поверхности полимерной накладки, которые являются своего рода электролитом.

На рис. 2 а проиллюстрирована общая закономерность изменения поверхностной температуры фрикционного узла тормоза в зависимости от динамического коэффициента их перекрытия. Исследования показали, что с увеличением указанного коэффициента увеличивается работа трения, а стабилизационного теплового состояния металлический элемент трения достигает раньше.



**Рис. 2 а, б.** Закономерности изменения поверхностных (а) и потенциального (кривая 1) и температурного (кривая 2) градиентов [б] в металлическом элементе трения в зависимости от динамического коэффициента взаимного перекрытия пар трения фрикционного узла

На рис. 2 б показаны общие закономерности изменения потенциального (кривая 1) и температурного (кривая 2) градиентов в зависимости от динамического коэффициента

взаимного перекрытия пар трения фрикционного узла. С приведенных графических зависимостей vyplывает, что с уменьшением коэффициентов взаимного перекрытия пар трения потенциальный и температурный градиенты увеличиваются.

В качестве примера произведем оценку энергонагруженности контакта микровыступов металлополимерных пар трения трибосистем (табл. 1). На этом моделирование процессов, вызываемых трением в трибосистеме, завершается.

Таблица 1

**Энергонагруженность дискретного контакта микровыступов металлополимерных пар трения трибосистем**

Состояние поверхностного и подповерхностного слоя накладки		Описание характеристик фрикционного взаимодействия:				
		Состояние межконтактной среды	Наличие двойных электрических слоев	Циркуляция токов		
поверхностного и подповерхностного слоев металлополимерных пар трения						
1	2	3	4	5	6	7
Поверхностная температура	Ниже допустимой для материала фрикционной накладки	<p>При электротермомеханическом трении микровыступов металлополимерных пар трения под действием импульсных нормальных усилий на поверхностях пятен контактов различных типов генерируются импульсные электрические токи, прошивающие тончайшие окисные пленки, способствуя их разрушению.</p> <p>Под действием возрастающих импульсных удельных нагрузок происходит активная деформация микровыступов, т.е. поверхностных слоев полимерных накладок, и упрочнение пятен контактов металлического элемента трения. На этой стадии происходит подготовка поверхностных слоев к образованию достаточного количества активных центров, определяющих их последующее развитие вследствие ползучести металла. При этом имеет место инжектирующий контакт. При повышении температуры пятен контактов микровыступов металлополимерных пар трения трибосопряжения от 100 до 200 °С наблюдается увеличение среднего коэффициента трения (от 0,39 до 0,42) [рис. 3]. При этом электрические поля в трибосопряжении ослабевают, а тепловые поля усиливаются. Характеристика фрикционной теплостойкости на этом участке определяется, в основном, упругопластическими свойствами материала (переход от упругого к пластическому контакту). На участке от 200 до 350 °С коэффициент трения зависит от развития пластических деформаций с постепенным, по мере повышения температуры, дымлением связующего (смолы) полимерных материалов. Микроконтакты по энергетическим характеристикам приближаются к нейтральным.</p> <p>Количество поступившего на площадки пятен контактов микровыступов кислорода воздуха определяет интенсивность термоокислительных деструкционных процессов. Омывающий воздух является окислительной средой, способствующей развитию адсорбционного и щелевого эффектов в трибосопряжении.</p>	<p>Возникает двойной электрический слой, охватывающий выступы и впадины микронеровностей металлического элемента трения. При этом пятна контактов микровыступов выполняют функции термоэлектрогенератора, а поверхностные и приповерхностные слои полимерных накладок - термоэлектрохолодильников. Боковые поверхности микровыступов и их впадины являются накопителями зарядов, т.е. микроконденсаторами. Интенсивно проходят на пятнах контактов поляризационные процессы.</p>	<p>Ток электризации направлен от пятен контактов микровыступов полимерной накладки к пятнам контактов электрогенератора микровыступов металлического элемента трения.</p>	<p>Генерируемая электрическая энергия превращается в тепловую, нагревает тело металлического элемента трения и подповерхностные слои полимерных накладок.</p>	<p>Микровыступы пар трения оmyваются воздухом окружающей среды</p>

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Поверхностная температура	При достижении допустимой материалами полимерной накладке	Электротермомеханическое трение протекает при повышенных и пониженных импульсных удельных нагрузках на пятнах контактов микровыступов трибосопряжения. При этом проявляются законы неустановившейся ползучести в условиях постоянного изменения (обычно уменьшения) термонапряжений в поверхностном слое металлического элемента трения (см. рис. 3, стадия III). На участке от 450 до 600 °С повышение коэффициента трения объясняется образованием коксообразных продуктов деструкции связующего, что обуславливает формирование рабочего слоя. Последний способствует возникновению блокирующих контактов микровыступов трибосопряжения. При температурах 600...800 °С коэффициент трения вновь стабилизируется и достигает значения 0,32 (см. рис. 6.33). Интенсифицируются деполяризационные процессы на пятнах контактов микровыступов трибосопряжения. Азот и углекислый газ (табл. 2) являются нейтральными средами, в которых адсорбционный и щелевой эффекты вырождаются. При этом наблюдается увеличение $H_2$ до 0,171 % в массовых долях и появление $CO$ (0,43 % в массовых долях).	Возникает и развивается сильный двойной электрический слой в приповерхностных слоях полимерных накладок и слабый двойной электрический слой на микровыступах металлического элемента трения из-за их нагревания. Приповерхностный слой накладке выполняет функции термоэлектрогенератора, а микровыступы металлического элемента трения - термоэлектрохолодильника.	Преобладает инверсия электрических токов от пятен контакта микровыступов металлического элемента трения в приповерхностные слои по накладкам. Слабая инверсия прямых токов обусловлена зарождением обратных токов.	На поверхности полимерной накладке возникают островки жидкости, являющейся электролитом. При этом начинается формирование сильного двойного электрического слоя на рабочей поверхности накладки.	Микровыступы пар трения омываются воздухом окружающей среды и компонентами деструкционных процессов, происходящих в подповерхностных слоях накладок.
Поверхностная температура	При превышении допустимой материалом полимерной накладке	Электротермомеханическое трение пятен контактов микровыступов трибосопряжения обусловлено ползучестью поверхностных слоев пары трения «полимер-металл». При этом с ростом температуры процесс развития физического контакта интенсифицируется и может переходить на другие энергетические уровни, меняя тем самым тип контакта. Физический контакт омического типа способен вызвать процессы релаксации внутренних термонапряжений в поверхностном слое металлического элемента трения за счет поверхностного пластического трения (см. рис. 3, стадия II). Коэффициент трения стабилизируется и имеет минимальное значение (0,18) (см. рис. 3); данная зона является областью депрессии из-за протекающих в ней деполяризационных процессов. В этой зоне фрикционные характеристики целиком определяются смазывающим действием жидких продуктов деструкции связующего компонента (смолы). Наблюдается резкое уменьшение содержания $CO_2$ до 0,13 % в массовых долях и появление $H_2$ (0,13 % в массовых долях) [см. табл. 2].	Присутствует сильный двойной электрический слой, сформированный в приповерхностном слое полимерных накладок. Двойной электрический слой возле рабочей поверхности металлического элемента трения слабый. При этом металлический элемент трения выполняет функции термоэлектрогенератора, а приповерхностные слои накладок - термоэлектрохолодильников.	Преобладает инверсия электрических токов от рабочих поверхностей накладок в рабочую поверхность металлического элемента трения (обратный ток). В то же время наблюдаются слабые прямые токи.	Циркулирующие тепловые токи в элементах фрикционного узла способствуют термостабилизации состоянию обода.	Микровыступы трибосопряжения омываются компонентами выгоревших веществ с поверхностных и подповерхностных слоев накладок.



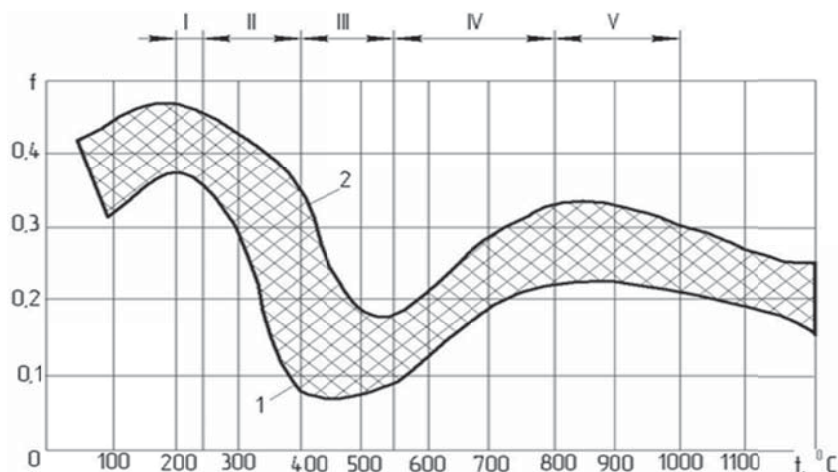


Рис. 3. Эталонное изменение динамического коэффициента трения материала «Ретинакс» ФК-24А в функции температуры поверхности трения по зонам: I – 200...250 °С; II – 250...400 °С; III – 400...550 °С; IV – 550...800 °С; V – 800...1000 °С

Таблица 2

Процентное соотношение компонентов газовой смеси, образованной в межконтактном пространстве при трении фрикционной пары (данные И.М. Богатчука)

Номер пробы	Фрикционный материал	Температура, °С	Содержание газа, мас. доля, %						
			H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	ΣC <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	другие газы <sup>***</sup>
1	ФК-24А	150	*	19,8	78,8	0,28	*	*	Остальное
2	-	215	*	19,8	78,8	0,23	*	*	
3 <sup>**</sup>	-	420	0,123	19,1	79,5	0,13	*	*	
4 <sup>**</sup>	-	500	0,171	16,3	81,6	0,24	0,43	0,24	
5	-	730	0,308	9,8	81,2	0,08	6,51	1,06	

Примечание:

\*Наличие следов указанных газов.

\*\* Отбор проб осуществлялся из четырех зон (точек) одновременно.

\*\*\* Под другими газами подразумевается: Ar, Ne, He, Kr, N<sub>2</sub>O, Xe, O<sub>2</sub>, Rn

Таким образом, фрикционные узлы тормозных устройств на стадиях торможения при контактно-импульсном взаимодействии сопровождаются сложными динамическими, электрическими и тепловыми эффектами, которые включают в себя: электродинамические и термодинамические процессы, поляризационные и деполяризационные процессы поверхностей, триботехническими процессами взаимодействия материалов пар трения в окружающей их среде, а также теплообмена и износа.

**Кинетика состояния рабочей поверхности металлополимерного элемента при фрикционном взаимодействии с позиций фракталов.** Оценка кинетики рабочей поверхности металлического элемента при фрикционном взаимодействии пятен контак-

тов микровыступов пар трения с позиций фрактального подхода завоевывает все большее место в трибологии. Особое место уделено фрактальному подходу в работе [3] академика А. Х. Джанахмедова.

Особый интерес представляет изучение и применение теории сильно возбужденных состояний в кристаллах металлического фрикционного элемента пластичности и прочности его поверхностных и подповерхностных слоев. При этом пластическая деформация (напряжения) должны рассматриваться с соблюдением законов поведения неоднородных, сильно неравновесных систем, претерпевающих локально-структурные превращения и следующих к равновесию путем движения составляющих новых структур по кристаллу под действием градиентных напряжений. При этом деформируемый кристалл способен осуществлять в локальных объемах пластическое течение, протекающее как диссипативный процесс, за счет эстафетной перестройки между двумя смежными структурами.

Генерирование энтропии в рассматриваемой зоне кристалла является локальным кинетическим структурным переходом, способствующему зарождению пластического сдвига.

Отмеченное структурное превращение отличается от термодинамического структурного перехода и должно отвечать неравновесной термодинамике, являющейся составляющей неравновесной трибологии при фрикционном взаимодействии пар трения тормозных устройств. При этом в каждой точке деформируемых пятен контактов микровыступов в заданный момент времени осуществляется только по одной системе плоскостей скольжения, в которой происходит потеря сдвиговой устойчивости.

Сдвиговая информация, носящая характер анизотропной, всегда сопровождается материальным поворотом внутри структурного элемента деформации (зерна блока, ячейки дислокационной структуры и т.д.). При этом материальный поворот в отличие от кристаллографического не влияет на пространственную ориентацию кристаллической решетки [5]. Это, в свою очередь, со стороны окружающего материала на границе структурного элемента деформации вызывает поворотный момент. Поворотные моды (одна из численных характеристик распределения вероятности случайной величины, оцениваемая их плотностью) деформации приводит в движение всю иерархическую структуру уровней деформируемых пятен контактов микровыступов. Структурные элементы начинают двигаться как целое, испытывая трансляцию (передачу) и кристаллографический поворот. Поворотные моды деформации формируют поле поворотных моментов и обеспечивают внутри структурного элемента деформации выхода дислокаций из своих плоскостей скольжения, что вызывает роторизацию ячейки дислокационной субструктуры с последовательным вовлечением множественного скольжения пятен контактов микровыступов как вихря материальных поворотов кристаллографических сдвигов на цилиндрической поверхности.

Взаимосвязь сдвигов и поворотов показывает, что элементарным актом пластической деформации является не сдвиг, а трансляционно-ротационный вихрь. Последний по своему масштабу может быть на мезо, микро и макроуровнях. Иерархия вихрей возника-

ет за счет формируемой иерархии различных структурных уровней деформаций. Движение всей иерархии структурных уровней деформации и вызывает ее вихревой характер, способствуя при этом возникновению новых каналов диссипации энергии, более эффективных, чем от движения отдельных дислокаций.

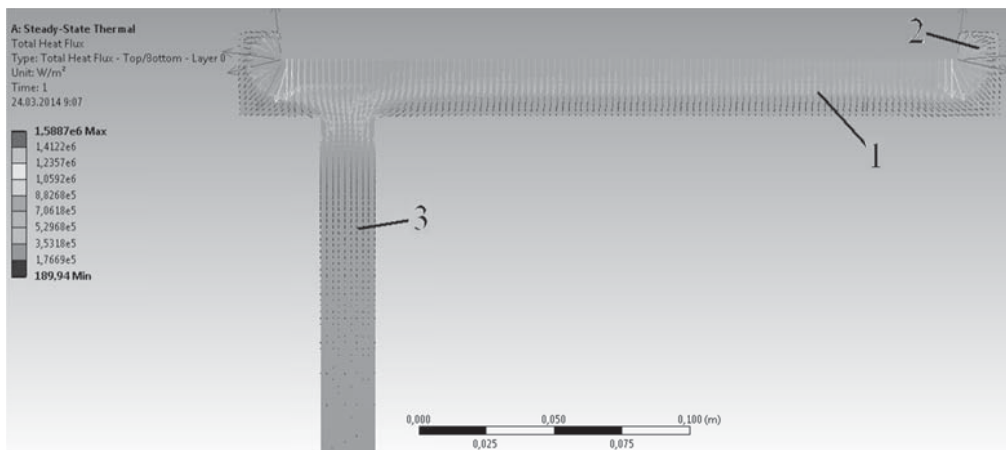
Поворотные моды деформации на различных масштабных уровнях отличаются друг от друга. Их эволюция при увеличении степени деформации закономерно отражается в изменении фрактальной размерности в местах присутствия концентраторов механических напряжений на поверхности металлического фрикционного элемента.

Гипотеза трансляционно-ротационного вихря применительно к структурным уровням деформируемых материалов пятен контактов микровыступов связана с энергетическими уровнями самого его ядра в котором градиенты температуры увеличиваются по сечению ядра к периферийным слоям, и, следовательно, температурные напряжения. Что касается механических деформаций то они уменьшаются в сторону центра ядра, и следовательно, и возникающих поворотных моментов. Изменение перечисленных выше градиентов и является движущим фактором трансляционно-ротационных вихрей, возникающих на структурных уровнях деформируемых материалов пятен контактов микровыступов металлического фрикционного элемента.

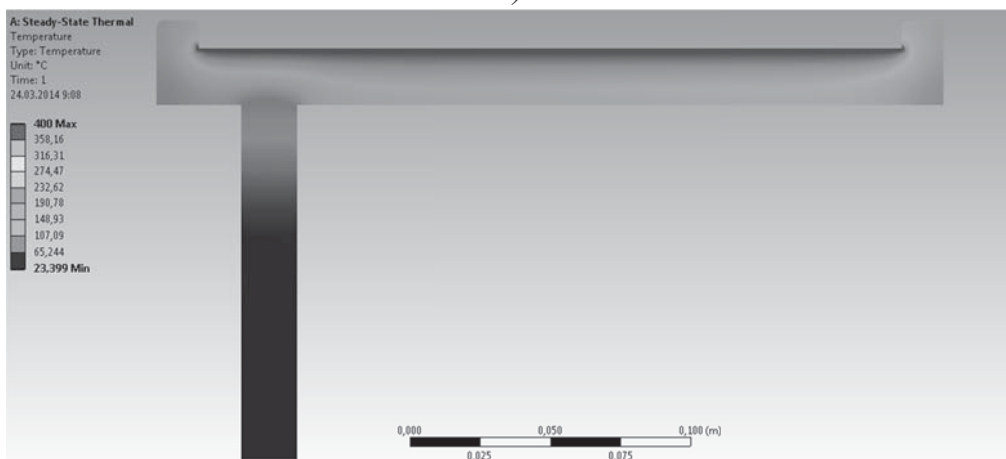
**Энергонагруженность и циркуляция тепловых токов в элементах тормозных шкивов; зарождение и развитие микротрещин.** Покажем как влияют особенности конструкции шкива на его энергонагруженность. Для визуализации процессов распространения теплоты при электротермомеханическом трении в металлополимерных парах трения ленточно-колодочного тормоза с целью ее прохождения по толщине обода шкива и его крепежного выступа использована модель конечно-элементного моделирования в среде Ansys Workbench. Для этого был разработан эскиз и модель поперечного сечения тормозного шкива с различным расположением крепежного выступа по ширине его обода. Исследования проводились для толщин обода и его крепежного выступа  $\delta=20,0$  мм. Тормозной шкив изготовлен из литейной стали 35ХНЛ.

После завершения подготовки модели обода тормозного шкива ее рабочую поверхность нагружали тепловым потоком, вызывающим поверхностную температуру  $400^{\circ}\text{C}$ , равную допустимой температуре для материалов фрикционной накладки при коэффициенте теплоотдачи от матовых поверхностей шкива равному  $11,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$  и температуре окружающей среды  $22,0^{\circ}\text{C}$ . В результате получили распределение тепловых потоков (рис. 4 а) и объемных температур (рис. 4 б) по толщине обода шкива и крепежного выступа. Последний расположен на краю обода. При этом левая сторона обода является защемленной, а правая сторона – свободной, что свидетельствует о максимальных величинах удельных нагрузок на левой стороне обода шкива, уменьшающихся к его правой стороне. Что касается тепловых токов, формирующихся в ободке над крепежным выступом и в боковых объемах обода, являются ускоренными и носят характер основных для нагревания крепежного выступа. Основные тепловые токи являются тормозящими, поскольку дополнительные токи, идущие от остальной части обода шкива затрачиваются на ее нагревание. При этом необходимо учитывать тот факт, что интенсив-

ность теплообмена от полированной рабочей поверхности обода шкива намного выше, нежели от его боковых и внутренней поверхностей при условии что рассматриваются одинаковые поверхности теплообмена.



а)



б)

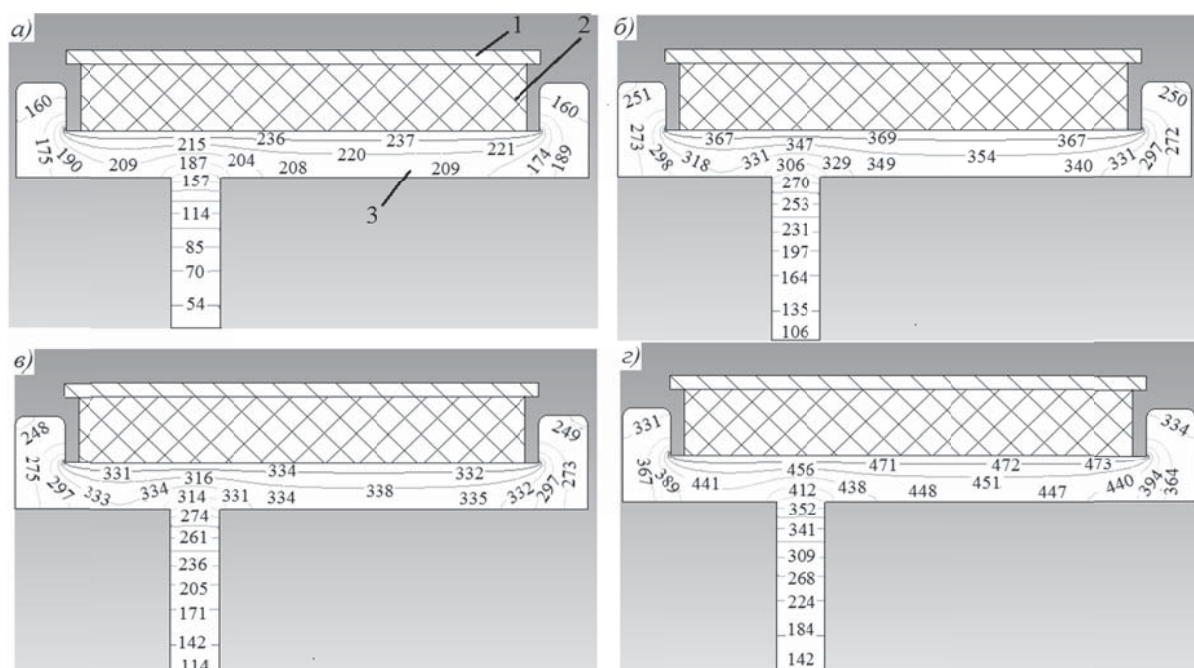
**Рис. 4 а, б.** Распределение тепловых токов в ободу тормозного шкива (а) и термограммы его элементов (б): 1 – ободу шкива; 2 – реборды; 3 – крепежный выступ

Согласно рис. 4 б произошел прогрев обода шкива, который способствовал заметному уменьшению температурного градиента по его толщине. При этом резко уменьшается интенсивность конвективного теплообмена, а увеличивается кондуктивный теплообмен от обода шкива к крепежному выступу.

В процессе электротермомеханического трения при импульсной и длительной передаче теплоты от слоя к слою обода шкива существенную роль играет их термическое сопротивление. Чем больше расстояние от рабочей поверхности обода шкива к его середине, тем больше внутреннее термическое сопротивление из-за ослабления теплового тока, прошивающего толщину очередного слоя обода.

Закономерности изменения температур по длине и толщине обода тормозного шкива и его крепежного выступа в составе фрикционного узла ленточно-колодочного

тормоза приведены на рис. 5 а, б, в, г. На изменение температур по длине и толщине обода тормозного шкива и его крепежного выступа существенное влияние оказывает термосостояние рабочей поверхности фрикционной накладки (а, б – ниже и до; в, г – в зоне и выше допустимой температуры). Изотермы на рис. 5 а, б, в, г получены методом теплового моделирования на РС-сетках. Особенностью последнего являлось то, что обод шкива разбивался на слои в горизонтальной и вертикальной плоскости. В первом (а) и во втором (б) случае градиент по длине рабочей поверхности обода шкива составил, соответственно,  $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мм}$  и  $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мм}$ , а на нерабочей поверхности обода был равен, соответственно,  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мм}$  и  $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мм}$ . Что касается крепежного выступа обода шкива (а, б), то в нем градиент температуры по высоте составил, соответственно,  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мм}$  и  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мм}$ . При вертикальной разбивке обода шкива на слои (а, б) температурный градиент по его толщине изменялся от свободного края обода к его защемленному краю, соответственно, от  $2,05\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мм}$  до  $4,7\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мм}$  и от  $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мм}$  до  $3,95\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мм}$ . В то же время градиент температуры по толщине крепежного выступа (а, б) составил всего, соответственно,  $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мм}$  и  $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мм}$ . На этом окончательный прогрев обода шкива и его элементов завершен.



**Рис. 5 а, б, в, г** Закономерности изменения поверхностных и объемных температур тормозного шкива в составе узла трения ленточно-колодочно тормоза при поверхностной температуре фрикционной накладки: а, б – ниже и до; в, г – в зоне и выше допустимой; 1 – тормозная лента; 2 – фрикционная накладка; 3 – тормозной шкив

Таким образом, согласно рис. 5 а, б сток теплоты от поверхностного и подповерхностного слоя рабочей поверхности обода шкива происходит в горизонтальные слои (внутренние) крепежного выступа. При этом наружные слои обода и крепежного высту-

па охлаждаются за счет конвективного теплообмена омывающими их скоростными потоками воздуха при вращении барабана лебедки. Что касается второго случая обода тормозного шкива, в котором большие градиенты (изменяются от 1,8 до 4,65°С/мм) имеют место не только интенсивный отвод теплоты от наружной поверхности обода шкива за счет конвективного теплообмена к омываемому воздуху при вращении барабана, но и отвод теплоты в тело крепежного выступа кондуктивным теплообменом.

Перейдем к случаям (*в*, *г*), когда на энергонагруженность шкива, сопряженного с крепежным выступом, оказывает влияние тепловое состояние фрикционной накладки. Наиболее характерным является случай (*в*) когда рабочие поверхности слои накладки попадают в зону допустимой температуры для ее материалов. При этом в поверхностных слоях накладки происходит выгорание связующих компонентов и на них появляется островки жидкости, которые превращаются в пар и интенсивно охлаждают поверхностные слои обода шкива, что ведет к снижению его энергонагруженности, и как следствие, к попаданию тепловых потоков в крепежный выступ. В этом случае возможно возникновение термостабилизационного состояния обода тормозного шкива, при котором температурные градиенты по длине и толщине обода шкива и по высоте крепежного выступа становятся минимальными.

Что касается случая (*г*) когда тепловое состояние поверхностных слоев накладки становится выше допустимой для ее материалов. Наблюдается рост поверхностной температуры рабочей поверхности обода шкива, а также объемной температуры крепежного выступа обода, и как следствие, температурных градиентов по длине и толщине обода шкива и по высоте крепежного выступа.

Знание энергонагруженности ободов тормозных шкивов и тепловых токов, циркулирующих в них, позволяет перейти к рассмотрению природы зарождения и развития трещин на рабочих поверхностях ободов шкивов.

При механическом, электрическом и тепловом нагружении рабочей поверхности обода тормозного шкива процесс разрушения включает обычно три стадии инициирования трещины, ее стабильный рост при возрастающей или постоянной нагрузке и нестабильное распределение трещины (согласно теории Гриффита). Однако не во всех материалах реализуются все три стадии разрушения [5].

Радиальные макротрещины по месту своего зарождения можно разделить на два типа: центральные, то есть начинающие свое развитие на рабочей поверхности обода шкива над крепежным выступом и со смещением от него и краевые в местах сопряжения обода шкива с ребордами (рис. 6 *а*, *б*). Объясняется это тем, что в сопряжении обода шкива с рабочей его поверхностью с ребордами и нерабочей поверхности обода с крепежным выступом в конструкцию тормозного шкива заложены постоянные концентраторы напряжений (на рис. 6 *а* сечения 1'-1'; 2'-2'; 3'-3' и 4'-4'). Последние являются якобы заземленными краями на участках 1'-2'; 2'-3' и 3'-4' для температурных напряжений. Чем меньше участок заземления (2'-3'), тем будут больше на нем температурные напряжения.

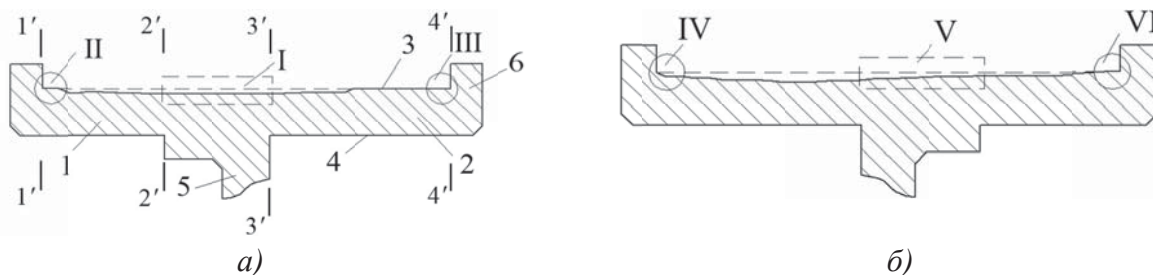


Рис. 6 а, б Износы рабочих поверхностей левого (а) и правого (б) ободов тормозных шкивов в зависимости от стороны заземления их краев и очаги возникновения максимальных термических напряжений: 1, 2 – заземленный и свободный край обода; 3, 4 – рабочая и нерабочая поверхности обода; 5 – крепежный выступ; 6 – реборды; очаги: I, IV – над крепежными выступами; II, V и III, VI – у заземленных и свободных краев ободов

Судя по имеющимся данным наиболее вероятно разрушение рабочей поверхности обода по центральной трещине, находящейся над крепежными выступами 5 (очаги I и IV). В своем развитии по поверхности трения обода шкива центральная трещина проходит ускоренную фазу (очаги I и IV), а краевые трещины – замедленную фазу (очаги II, V и III, VI). Вглубь материала обода шкива центральная трещина распространяется эллиптическим фронтом на величину поверхностного и подповерхностного слоев, исходя из того на какую глубину проникают тепловые токи длительного и импульсного характера при электротермомеханическом трении микровыступов металлополимерных пар. Образование центральной трещины из краевой происходит, как правило, если одновременно с последней образуется центральная трещина, которая затем соединяется с краевой. В большинстве случаев это происходит на заземленных краях ободов шкивов (очаги I-II и IV-V). Чаще всего развитие краевых трещин происходит замедленно или вообще прекращается задолго до доминирования центральной трещины. Испытания показали, что на рабочей поверхности обода шкива может зародиться и развиваться несколько крупных трещин, но только по одной из них происходит воссоединение с краевой (рис. 7) [6].



Рис. 7 Рост трещин на рабочей поверхности левого обода шкива лебедки У2-5-5 (буровое предприятие Азербайджанской республики) при глубине скважины 4240 м

Механизм разрушения фрикционной поверхности ободов тормозных шкивов, состоящих из трех стадий, может быть представлен в следующем виде.

Разрушение начинается с образования сетки микротрещин (см. рис. 4 правый угол) по воздействию импульсных нормальных сил и тепловых токов, пульсирующих знакопеременных термонапряжений в тонком поверхностном слое обода шкива. Одновременно со знакопеременными термическими напряжениями в поверхностном слое действуют знакопеременные касательные напряжения от сил трения, которые способствуют развитию этих трещин в направлении перпендикулярном действию сил трения, то есть в радиальном направлении.

В дальнейшем, после разупрочнения поверхностного слоя обода шкива амплитуда знакопеременных термических напряжений в нем должна резко уменьшиться, так как образовавшиеся мелкие термические трещины служат термокомпенсационными зазорами. Иницирующие фрикционно-контактную усталость силы трения действуют только по поверхности трения обода шкива. Ответственными за дальнейший рост трещин следует считать (от нуля до некоторого максимума) тангенциальные растягивающие напряжения в основном материале обода шкива, направление действия которых нормально к траектории развития трещин от фрикционно-термической усталости его поверхностного слоя.

Приняв эту гипотезу, можно объяснить причину разрушения рабочих поверхностей ободов шкивов при повышении начальной скорости торможения: чем выше начальная скорость, тем интенсивнее возрастают термические тангенциальные напряжения, и тем быстрее развиваются центральные трещины. Большую роль в этом процессе играет общее напряженно-деформированное состояние обода шкива, а особенно неравномерный прогрев его слоев.

**Поверхностное разрушение при электротермомеханическом трении металлополимерных пар трения.** При исследовании поверхностного разрушения пятен контактов микровыступов металлополимерных пар трения наблюдаются микроскопические и макроскопические формы износа. Первые наблюдаются при нормальном износе, а вторые – при повреждаемости. Для первого и второго видов износов устанавливаются допустимые и критические величины (рис. 8).



Рис. 8. Классификация видов износа и повреждаемости при электротермомеханическом трении металлополимерных пар тормозных устройств





Рис. 9 а, б, в. Энергетические уровни взаимодействующих пар трения «металл-полимер» с различными типами контактов: а – нейтральный; б – омический или инжектирующий; в – блокирующий:  $E_C$ ,  $E_F$  – энергетические уровни: критического движения, Ферми;  $W_M$ ,  $W_{II}$  – работы выхода электронов и ионов из металла и полимера;  $\delta_0$  – толщина обогащенного (б) и обедненного (в) электронами слоя;  $\chi$  – электронное сродство

При электротермомеханическом трении микровыступов металлополимерных пар при нормальном изнашивании макроскопические разрушения не наблюдаются. Особенностями нормального изнашивания являются субмикроскопические размеры объектов разрушения (вторичные структуры I и II типов), их поверхностное расположение на пятнах контактов микровыступов, находящихся под воздействием механического, электрического, теплового, электромагнитного и химического полей, которые омываются скоростными токами компонентов среды. При этом неизбежное изменение не только структуры поверхностных слоев пятен контактов микровыступов, но и их химического состава в процессе разрушения тонких пленок вторичных структур. В этом случае необходимо рассматривать энергетические уровни (электронно-ионные), взаимодействующих пар трения «металл-полимер» с различными типами контактов (рис. 9 а, б, в).

Указанное взаимодействие пар трения «металл-полимер» и определяет тип контакта и его энергетический уровень (рис. 9 а, б, в). При этом основной характеристикой энергетического уровня того или иного контакта является работа выхода электронов и ионов из подповерхностного слоя металлического обода тормозного шкива ( $W_M$ ) и из подповерхностного слоя полимерной накладке ( $W_{II}$ ).

Фрикционные накладки ленточно-колодочного тормоза изготовлены из неоднородных материалов, в объеме которых сосуществуют аморфные и кристаллические фазы. В связи с этим на межфазных границах происходит захват зарядов иного рода. Особенно это заметно при выгорании связующих компонентов из подповерхностного слоя полимерной накладке, что приводит к образованию жидких островков на ее поверхности. Жидкость является своего рода электролитом, сопротивление которого резко уменьшается в зависимости от степени его нагретости. Накапливание зарядов на границах обусловлено разницей в проводимостях рассматриваемых фаз (эффект Максвелла-Вагнера). При электризации такого материала носители будут или собираться вблизи данной межфазной границы, или наоборот, удаляться от нее в зависимости от того, какой из двух токов проводимости больше: притекающих к границе зарядов или уходящих от нее. Различия в локальных токах проводимости приводят также к диссипации зарядов

при последующем проведении термостимулированных разрядов, так как в этом случае токи текут уже в противоположных направлениях [7].

Для процессов нейтрализации зарядов немаловажную роль играют также свойства контактов взаимодействия.

На рис. 9 а, б, в условно показано различие между нейтральными, омическими и заблокированными контактами. Нейтральные контакты не препятствуют нейтрализации зарядов, поступающих из подповерхностного слоя металлического элемента трения в течение термостимулированного разряда. То же можно сказать и об омических контактах, хотя в этом случае добавляется возможность инъекции носителей противоположного знака внутрь заряженной поверхности накладке. Блокирующие контакты действуют противоположным образом: они препятствуют как инъекции, так и нейтрализации зарядов. Таким образом, если контакты заблокированы, нейтрализация должна протекать внутри металлического элемента трения независимо от вида контакта (является он инжектирующим электроны или блокирующим). Это зависит лишь от того, какая из работ выхода электронов или ионов больше: металлического или полимерного фрикционного элемента. Если работа выхода из первого элемента больше, чем со второго образуется блокирующий барьер. Наличие последнего позволяет изучать методом термостимулированного разряда полуизоляторы и полупроводники, которым свойственны большие токи проводимости.

Разрушение вторичных структур обоих типов локализуется на линиях (поверхностях) раздела основного материала пятен контактов микровыступов и сформированной новой фазы, в которой накапливаются неоднородности разного вида (рис. 3). В результате трансформации материалов поверхностных слоев структуры приспособляются к воздействиям различного рода полей. Одновременно формируется множество несоответствий между основными материалами и новой фазой, что приводит к ее разрушению и отделению.

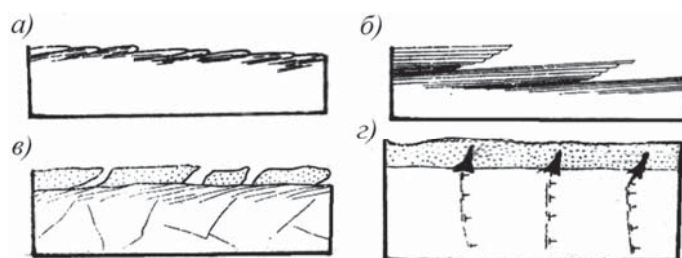


Рис. 10 а, б, в, г. Схемы разрушения вторичных структур I (а, б) и II (в, г) типов

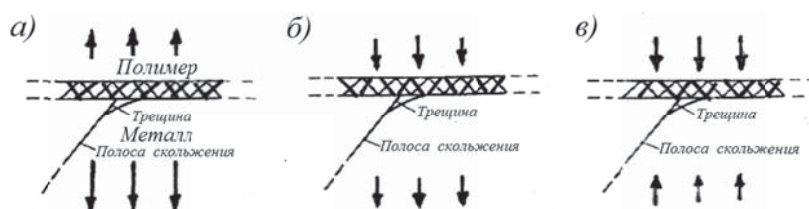


Рис. 11 а, б, в. Модель зарождения трещин в заблокированной полосе скольжения в паре трения «металл-полимер» с различными типами контактов: а – блокирующим; б – инжектирующим; в – нейтральным

Дискретностью контакта и условия гидростатических удельных нагрузок в локальных поверхностных объемах слоев оказывают определенное положительное влияние (см. рис. 10 *а, б, в*), уменьшают интенсивность разрушения вторичных структур обоих типов за счет их упрочнения, препятствуют хрупкому разрушению вторичных структур II типа.

При разрушении путем соскальзывания пленок вторичных структур I типа (твердых растворов) [рис. 10 *а*] дискретность контакта обеспечивают общую высокую прочность поверхностей пятен микровыступов. Дискретность контактов вызывает перемещение пленок (рис. 10 *б*), и как следствие, приводит к износу материалов на некоторых участках пятен микровыступов при допустимых условиях. На большей части поверхностей пятен контактов наблюдается перетекание пленок, способствующее их упрочнению, образованию субмикрорельефов залечиванию микродефектов.

При разрушении вторичных структур II типа (рис. 10 *в, г*) дискретность контакта препятствует накоплению множества несоответствий, способствует релаксации волн напряжений и дефектов, и как следствие, разрушению. При этом микротрещины пленок вторичных структур II типа, в основном, ориентированы почти перпендикулярно к поверхности фрикционного взаимодействия, благодаря трибоэффекту.

Установление концентрации волн напряжений на переднем крае заблокированной полосы скольжения была отмечена Зинером, предложившим на этой основе модель зарождения трещины (рис. 11 *а, б, в*). Оперирование заблокированной полосой скольжения совместно с различными типами контактов пятен микровыступов (стрелками показано направление движения потоков энергии). Из рис. 11 *а, б, в* следует, что наибольшая трещина будет зарождаться в нейтральном контакте, средняя трещина – в инжектирующем контакте и минимальная трещина – в блокирующем контакте. Исходя из выполненных исследований можно сделать вывод о том, что трещины зарождаются и развиваются при росте энергетической нагруженности пятен контактов микровыступов.

**Природа нормального износа вторичных структур I и II типов при электротермомеханическом трении.** При нормальном износе объектом разрушения являются вторичные структуры толщиной порядка десятков нанометров. Такая локальная по глубине трансформация микровыступов металлического фрикционного элемента обусловлена фрикционным воздействием на их пятна контактов механического, электрического, теплового, электромагнитного и химического полей, омываемых скоростными токами компонентов среды. В механическом поле, в первую очередь, необходимо выделить напряженно-деформированное состояние микровыступов и их термическое искажение при наличии больших градиентов диффузии активных компонентов омывающей среды. При этом существенную роль играет дискретность контактов. Кроме того, необходимо учитывать тот факт, что рост трещины проходит двухстадийный характер развития при:

– электротермическом сопротивлении дискретных контактов с различной энергетической активностью микроконденсаторов и термобатарей с мгновенным их переключением при изменении площадей пятен контакта микровыступов при соблюдении условия на первом этапе фрикционного взаимодействия ( $A_{\phi} < A_n$ ), исходя из того, что факти-

ческая площадь контактирования ( $A_f$ ) мала по сравнению с номинальной ( $A_n$ ) и при этом производится суммирование составляющих генерируемых импульсных токов имеющих плотность ( $\sim 1,5 \cdot 10^4$  А/мм<sup>2</sup>), которая способствует росту микротрещин в поперечном направлении относительно приложенного поля;

– условия  $A_n = A_f$  сопровождается увеличивающейся трибоЭДС с переменным градиентом механических свойств материалов при резком росте плотности тепловых токов до  $0,75 \cdot 10^2$  Вт/мм<sup>2</sup> наблюдается страгивание поперечной микротрещины и ее расширение с последующим появлением слабых продольных микротрещин.

Упруго-пластическая деформация поверхностей пятен контактов микровыступов способствует гомогенизации пластической деформации, и как следствие, пластифицированию их площадок. Данный процесс заметно интенсифицирует диффузию активных компонентов среды и сопутствующие ему химические реакции, что вызывает изменение структурно-химического состава пленок пятен контактов микровыступов, подверженных разрушению. Известно, что при нормальном механохимическом износе разрушаются не основные материалы микровыступов, а трансформированные их поверхностные слои пятен контактов. Поэтому в поверхностное разрушение необходимо включать совокупность процессов, явлений и эффектов – от образования вторичных структур до их разрушения. При этом необходимо выделить кинетику процесса образования, прочностные характеристики вторичных структур и взаимодействие их с основными материалами микровыступов.

Отделение частиц (разрыва связей) при нормальном износе определяется не только кинетикой сопряженных и взаимовлияющих процессов трансформации типов дефектов в объемах материалов поверхностных слоев, адсорбции, диффузии и химических превращений, а также воздействием выше перечисленных полей, омываемых скоростными токами компонентов среды.

В зависимости от соотношения темпов протекания процессов могут реализовываться различные этапы нормального износа. Наиболее характерным этапом является соскальзывание подвижных составляющих пленки на первых стадиях структурно-химических превращений (до образования метастабильной структуры). Такому состоянию отвечают вторичные структуры I типа – неравновесные твердые растворы, подвергающиеся дальнейшему интенсивному окислению после отделения от поверхностей основных материалов пятен контактов (образование продуктов износа). В это время материалы вторичных структур I типа находятся в состоянии сверхпластичности. Важно заметить, что в этом случае наблюдается не истинное разрушение с отрывом одних атомов от других, а пластическая деформация с особым течением тончайших поверхностных пленок. Геометрия последних в условиях дискретности контакта способствует заполнению неровностей поверхностей между зазорами микронеровностей. Отделение слоев пленок с поверхностями совершается при неблагоприятных условиях электротермомеханического трения. При этом перемещение вторичных структур I типа способствует измельчению структуры ее ориентированию перпендикулярное положению остальных слоев пленки, являющихся своего рода электромагнитами, а также оказывать

сопротивление движению при электротермомеханическом трении и устранению дефектов типа дислокаций, появление которых на поверхностях контактов становится естественным процессом.

При увеличении темпа химических превращений (по сравнению с темпом развития несовершенств) образуются пленки, которые по составу подобные химическим соединениям.

Разрушение вторичных структур II типа обусловлено постепенным увеличением количества несоответствий между вторичными структурами и основными материалами пятен контактов микровыступов. Пленки, образующиеся на поверхностях пятен контактов микровыступов при электротермомеханическом трении, и материалы основного металла отличаются химическим составом, структурой, параметрами решетки, плотностью (удельным объемом), энергетическими уровнями и т.п. Поэтому на границе раздела зарождается и развивается сетка дислокаций несоответствия, блокирующая их выход на наружные поверхности пятен контактов. При этом на поверхностях раздела материалов основного металла и модифицированных слоев (пленок) вторичных структур появляются трещины. Эта особенность согласуется с представлением о том, что линии токов скольжения, образованные дислокациями и заблокированные на поверхностях раздела пятен контактов между материалами основного металла и слоем вторичных структур, создают большую концентрацию волн напряжений, которые при достижении допустимых величин приводит к трещинам, и как следствие, к разрушению.

В основу такого вида разрушения может быть положена модель зарождения и развития трещины, базирующаяся на концентрации нагромождения дислокаций перед барьером (границы двойников и зерен с большим углом разориентации, прочие чужеродные включения и др.).

Допустимая поверхностная прочность материалов пятен микровыступов может быть достигнута при условии максимальной энергообеспеченности объемов поверхностных слоев и высоким темпом рассеивания энергии при электротермомеханическом трении. Это может быть достигнуто путем формирования защитных вторичных структур, отвечающих следующим условиям по данным Б.И. Костецкого:

– высокой степени измельчения и однородности

$$K_r = \frac{V_d}{V_{\text{э}}} - 1,$$

где  $K_r$  – коэффициент гомогенности;  $V_d$   $V_{\text{э}}$  – деформированный и эффективный объемы;

– минимальной толщине вторичных структур  $h$

$$h \rightarrow \min;$$

– рациональному размеру участков вторичных структур и их равномерному распределению на поверхностях пятен микровыступов

$$\frac{A_{nl}}{l_r \cdot h} \leq C_1,$$

где  $A_{nl}$  – площади, занимаемыми пленками вторичных структур;  $l_{\Gamma}$  – протяженность линии границ пленок;  $C_1$  – константа, определяющая релаксацию волн напряжений на границе раздела вторичных структур и основных материалов;

– величина запасенной энергии ( $\Delta E$ ) и свойств материалов на поверхностях ( $\partial z$  – элементарный участок) их раздела с вторичными структурами не должны резко изменяться

$$\max \frac{d(\Delta E)}{dz} \leq C_2,$$

где  $C_2$  – константа, определяемая допустимым значением градиента запасенной энергии.

При этом дополнительным условием является наличие минимальной подповерхностной деформации слоев материалов микровыступов за счет их растяжения и сжатия.

Энергоемкость объемов поверхностных слоев, прямо зависящая от степени измельчения и однородности, природы взаимодействия поверхностных слоев со скоростными токами компонентов омывающей среды, имеющая прямые и обратные связи с темпами рассеивания энергии, обусловленными теплофизическими свойствами объемов поверхностных слоев и константой  $C_1$ .

На рис. 12, 13 и 14 (а) проиллюстрированы зоны, соответственно, действия механических напряжений и тепловых токов в элементах тормозного шкива и их суммарных зон в цветном изображении на основании которых установлены закономерности их распределения в точках на рабочей и нерабочей поверхности обода шкива и в его средней части, а также в местах наличия концентраторов напряжений.

Градиент напряжений (деформаций) находят как отношение приращения величины напряжений (деформаций) в двух соседних точках к расстоянию между ними.

Температурные напряжения в ободе тормозного шкива возникают не только вблизи его краев (в месте сопряжения обода с ребордой), но и в сопряжении нерабочей поверхности обода шкива с крепежным выступом.

Наиболее опасным с точки зрения увеличения температурных напряжений в ободе шкива является градиент температур по его толщине. Что касается температурных напряжений по длине обода шкива, то их величины неодинаковые.

Для точки рабочей поверхности обода тормозного шкива

$$\sigma_{i1} = -\frac{E\alpha_1\Delta t_1}{2(1-\mu)}, \quad (1)$$

а для точки приповерхностного слоя обода тормозного шкива

$$\sigma_{i2} = \frac{E\alpha_2\Delta t_2}{2(1-\mu)}, \quad (2)$$

где  $E$  – модуль Юнга, МПа;  $\alpha_1, \alpha_2$  – коэффициенты линейного расширения и сжатия материала слоя обода,  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;  $\Delta t_1, \Delta t_2$  – изменение поверхностной и по толщине слоя обода шкива температуры,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

Для исследования механических и тепловых напряжений, а также их градиентов использовался метод конечно-элементного моделирования с помощью программы Ansys Workbench, в которой моделировался фрикционный узел «накладка-шкив» со следующими исходными конструктивными и динамическими параметрами: материал обода шкива – сталь 35ХНЛ, удельная нагрузка составляла  $p=1,2$  МПа, поверхностная температура  $t_n=390^\circ\text{C}$ , температура окружающей среды  $t_0=22^\circ\text{C}$ .

Моделирование процессов механического и теплового воздействия на рабочие и нерабочие поверхности обода тормозного шкива, имеющего свободный край (правый) и защемленный край (левый), который усилен крепежным выступом, а также с наличием концентраторов напряжений в местах сопряжения рабочей поверхности обода с ребордами и его нерабочей поверхности с крепежным выступом позволяет констатировать следующее применительно к зонам различных видов напряжений:

**механических** (рис. 12 б)

– максимальные величины напряжений (120,5 и 133,6 МПа) в точках, отвечающим местам сопряжения нерабочей поверхности обода с крепежным выступом (зона I);

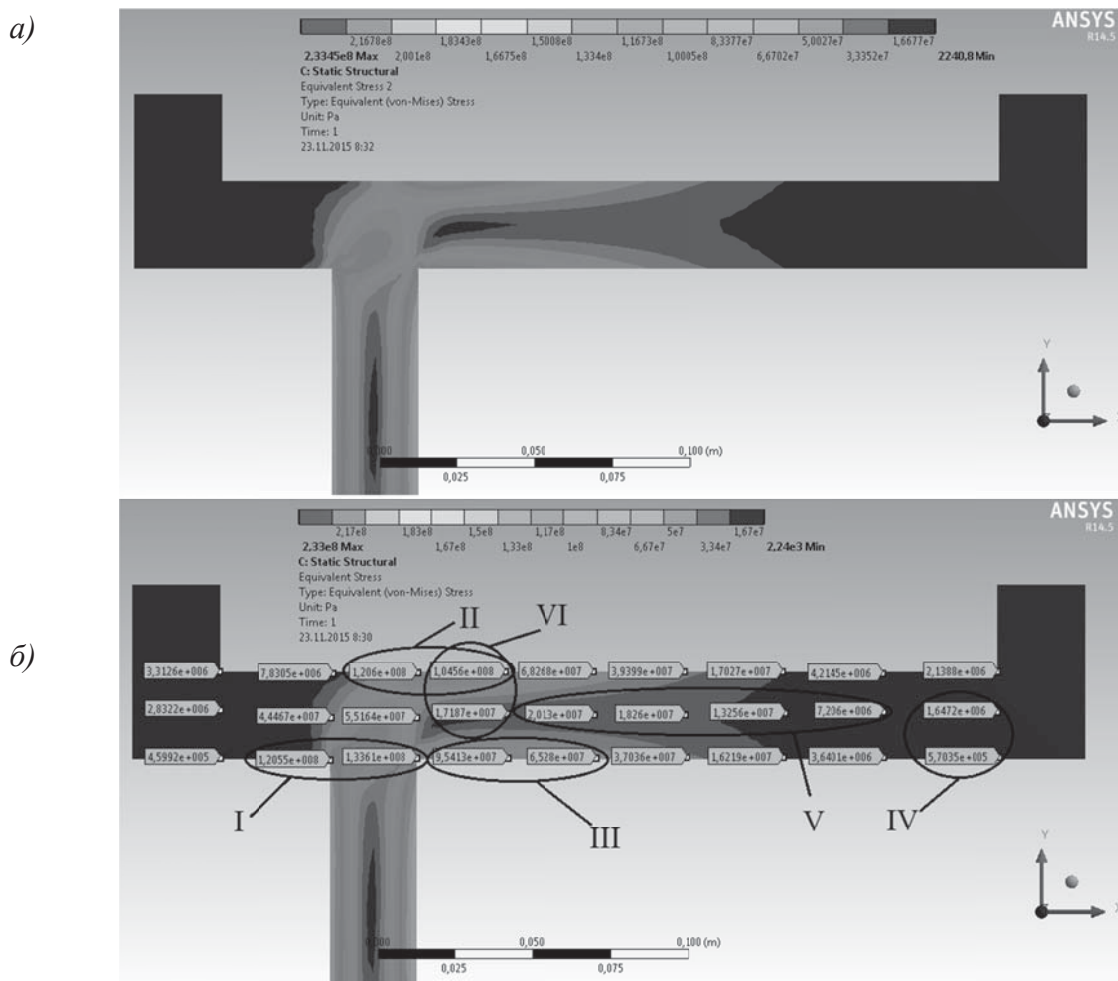


Рис. 12 а, б. Механические напряжения в элементах тормозного шкива (а) и их распределение в его теле в различных зонах (б)

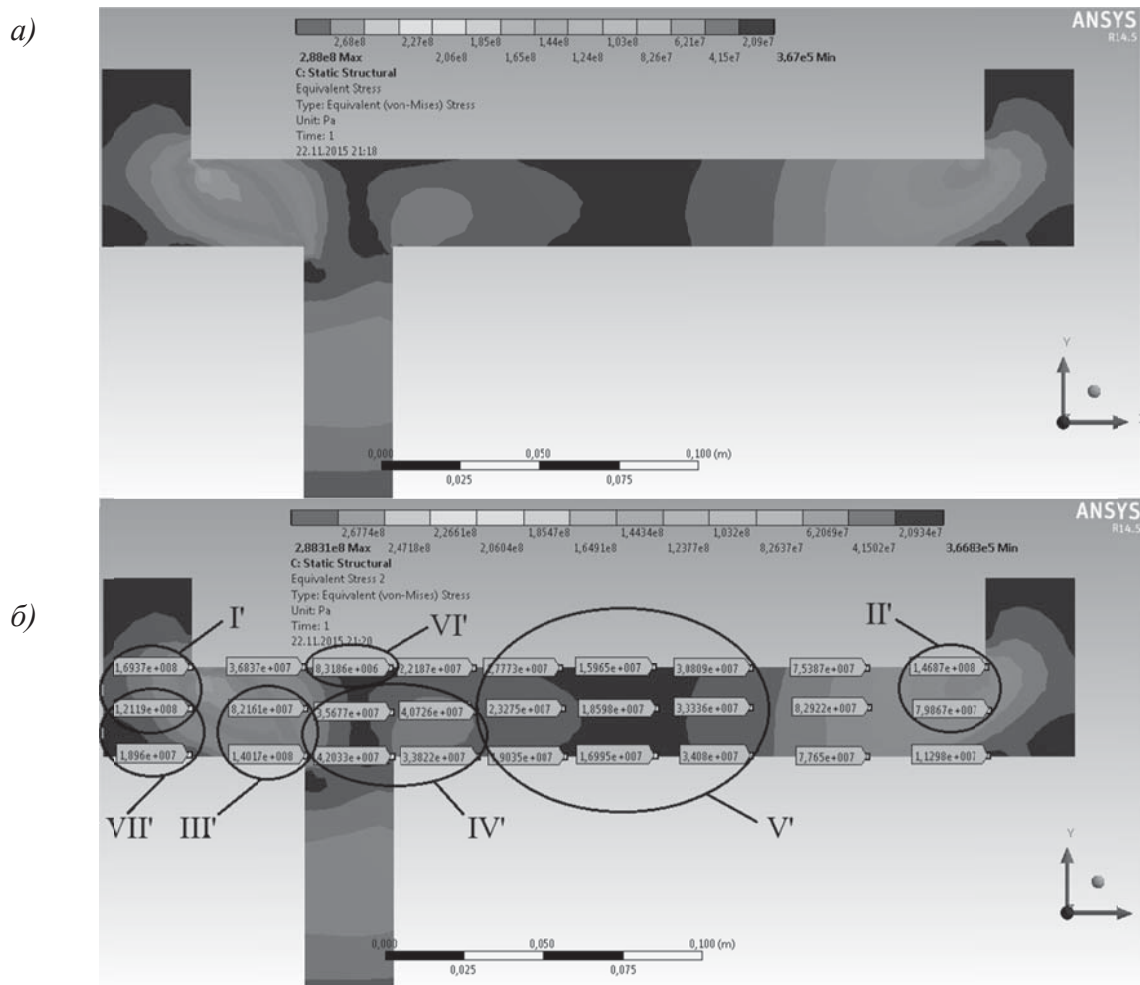


Рис. 13 а, б. Температурные напряжения в элементах тормозного шкива (а) и их распределение в его теле в различных местах (б)

– максимальные величины напряжений в точках на рабочей поверхности обода (104,56-120,6 МПа, в зоне II) и на его нерабочей поверхности (95,4-65,27 МПа, в зоне III) из-за действия растягивающих и сжимающих напряжений из-за консольности заземленного края обода, а также неравномерности (убывающей в сторону свободного края обода) распределения удельных нагрузок, что способствует возникновению максимальных объемных градиентов напряжений (6,19 МПа/мм, зона VI), являющихся очагами зарождения и развития микротрещин.

– минимальные величины напряжений наблюдаются на нерабочей поверхности обода под правой ребордой (0,57 МПа, зона IV), которые способствуют возникновению минимальных объемных градиентов (0,036 МПа/мм)

– напряжения в среднем слое обода (зона V) со стороны его свободного края меньше, нежели в точках на рабочей и нерабочей поверхности обода;



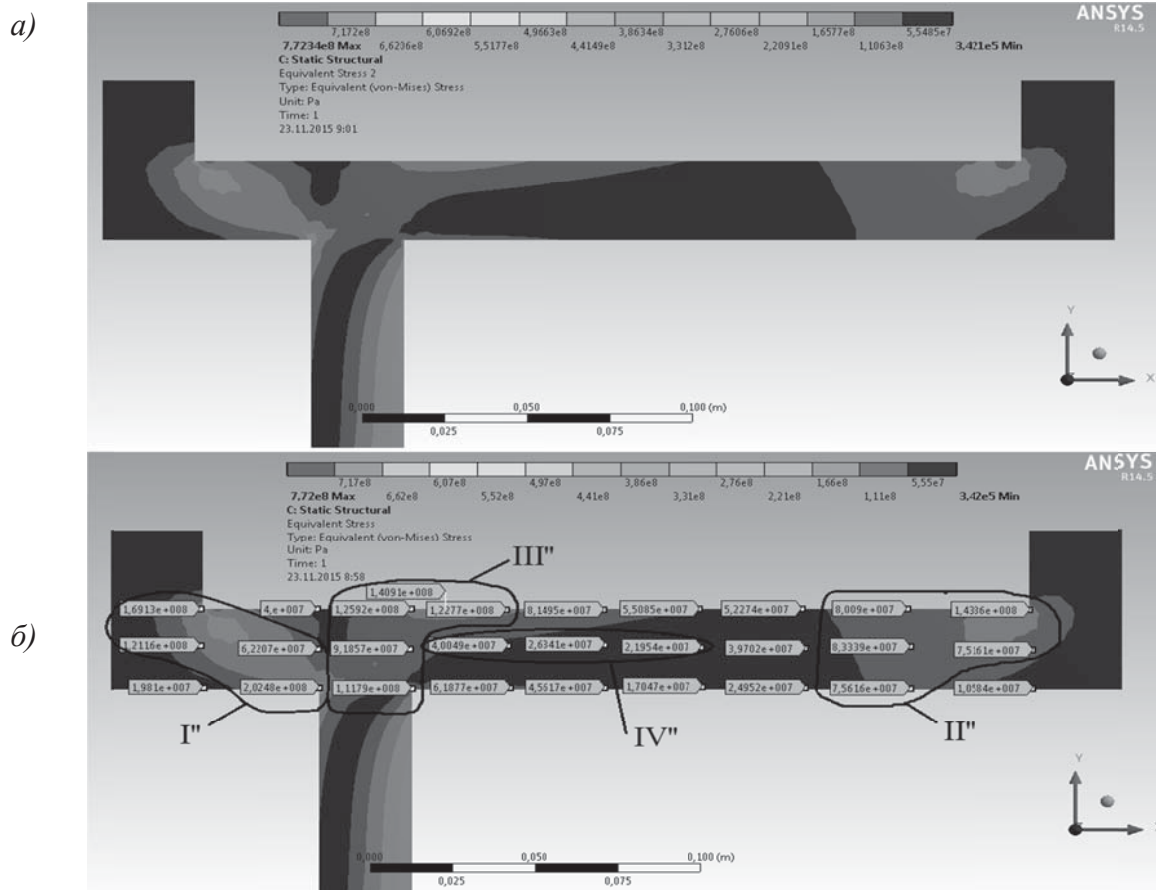


Рис. 14 а, б. Механическое и тепловое воздействие на элементы тормозного шкива (а) и суммарные (механические и тепловые напряжения) и  $x$  распределение в теле его обода в различных зонах (б)

**температурных** (рис. 13 б)

- максимальные величины напряжений в точках, отвечающим концентраторам напряжений (169,37 МПа, зона I' и 146,87 МПа, зона II') из-за большого градиента напряжений по толщине обода (7,3 МПа/мм, зона VII');
- большие напряжения в точках сопряжения обода с крепежным выступом (42,03-140,02 МПа, зоны III' и IV'), также отвечающим концентраторам напряжений;
- в средней части обода шкива (зона V') развиваются небольшие напряжения (16,96-34,08 МПа) и как следствие минимальные их градиенты (0,053 МПа/мм);
- минимальные напряжения возникают на рабочей поверхности обода шкива над крепежным выступом (зона VI'), составляющие всего 8,32 МПа;

**суммарных (механические + тепловые)** (рис. 14 б)

- максимальные величины в точках, отвечающим концентраторам напряжений (зоны I'' и II''), в которых формируются температурные напряжения, что вызывает максимальные их градиенты (10,04 МПа/мм, нижняя часть зоны I'');
- большие величины на рабочей поверхности обода шкива над крепежным выступом и правее его (91,86-125,92 МПа, зона III''), где возникают механические напря-

жения (от действия удельных нагрузок), что вызывают большие их градиенты, являющиеся очагами зарождения и развития микротрещин;

– минимальных величин в точках среднего слоя обода, смещенных в сторону крепежного выступа (зона IV''), которые намного меньше, нежели в точках на рабочей и нерабочей поверхности обода.

В ряде случаев для оценки сопротивления разрушению помимо коэффициента концентрации напряжений (деформаций) используют градиент напряжений (деформаций) (табл. 3).

**Таблица 3**

**Величины градиентов напряжений в характерных точках тормозного шкива**

Напряжения от действия:		Градиенты напряжений, МПа/мм:	
		объемные	поверхностные
удельной нагрузки;	min	1,08/14=0,036	2,09/25=0,08
	max	86,7/14=6,19	112,7/25=4,51
температуры;	min	0,74/14=0,053	1,8/25=0,072
	max	102,2/14=7,3	132,6/25=5,3
общие	min	3,24/14=0,23	0,28/25=0,011
	max	140,5/14=10,04	129,1/25=5,16

При рассмотрении прикладных задач, касающихся трущихся сопряжений металлополимерных пар трения тормозных устройств, необходимо учитывать «букет» полей, вызванных нагружением и роль сочетаний материалов при электротермомеханическом трении.

**Выводы.** Таким образом, установлены теоретические и экспериментальные закономерности изменения зарождения и развития микротрещин на рабочей поверхности обода тормозного шкива в зависимости от переменных градиентов механических и температурных напряжений от их концентраторов и кинетики фрактального подхода, что позволяет прогнозировать ресурс тормозного шкива на этапе его проектирования.

**REFERENCE**

1. Elektrotermicheskiy iznos i razrushenie obodov tormoznyh shkivov burovyh lebedok (chast I) / A.Kh. Janahmadov, A.I. Volchenko, E.S. Pirverdiev [i dr.] // Vestnik Azerbajdzhanskoj inzhenernoj akademii. – Baku, 2015, №7(1). – s. 36–56.  
Электротермический износ и разрушение ободов тормозных шкивов буровых лебедок (часть I) / А.Х. Джанахмедов, А.И. Вольченко, Э.С. Пирвердиев [и др.] // Вестник Азербайджанской инженерной академии. – Баку. – 2015. – №7(1). – с. 36–56.
2. Elektromehaničeskij iznos i razrushenie obodov tormoznyh shkivov burovyh lebedok (chast II) / A.I. Volchenko, N.A. Volchenko, M.Ja. Javadov [i dr.] // Problemy trenija i iznosa: nauch.-tehn. sb. – Kiev: NAU, 2014. Вып. 3 (64). – S. 4-16.  
Электромеханический износ и разрушение ободов тормозных шкивов буровых лебедок (часть II) / А.И. Вольченко, Н.А. Вольченко, М.Я. Джавадов [и др.] // Проблемы трения и износа: науч.-техн. сб. – Киев: НАУ, 2014. Вып. 3 (64). – С. 4-16.
3. **Janahmadov A.Kh.** Sinergetika i fraktaly v tribologii / A.Kh. Janahmadov, O.A. Dyshin, M.Ja. Javadov. – Baku: Apostroff, 2014. – 504 s.

- Джанахмедов А.Х.** Синергетика и фракталы в трибологии / А.Х. Джанахмедов, О.А. Дышин, М.Я. Джавадов. – Баку: Апостроф, 2014. – 504 с.
4. **Birger I. A.** Raschet na prochnost detalej mashin: Spravochnik / I.A. Birger, B.F. Shor, G.B. Iosilevich. – М.: Mashinostroenie, 1993. – 640s.
- Биргер И.А.** Расчет на прочность деталей машин: Справочник / И. А. Биргер, Б. Ф. Шор, Г. Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1993. – 640с.
5. **Panin V.E.** Strukturnye urovni deformacii tverdyh tel / V.E. Panin, V.A. Lihachev, Ju.V. Grinjaev. – Novosibirsk: Nauka, Sib. otd-nie, 1985. – 229s.
- Панин В. Е.** Структурные уровни деформации твердых тел / В. Е. Панин, В. А. Лихачев, Ю. В. Гриняев. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1985. – 229с.
6. Elektrottermicheskiy iznos i razrushenie obodov tormoznyh shkivov burovyyh lebedok (chast II) / A.Kh. Janahmadov, A.I. Volchenko, E.S. Pirverdiev [i dr.] // Vestnik Azerbajdzhanskoj inzhenernoj akademii. – Baku, 2015, №7(2). – s. 44–64.
- Электротермический износ и разрушение ободов тормозных шкивов буровых лебедок (часть II) / А.Х. Джанахмедов, А.И. Вольченко, Э.С. Пирвердиев [и др.] // Вестник Азербайджанской инженерной академии. – Баку, 2015, №7(2). – с. 44–64.
7. Generirovanie termojeds na pjatnah kontakta mikrovystupov i ee vlijanie na javlenie massoperenosa / M.V. Kindrachuk, D.A. Volchenko, S.I. Krishtopa [i dr.] // Problemy trenija i iznosa: nauch.-tehn. sb. – Kiev: NAU, 2015. Vyp. 3 (68). – S. 4-20.
- Генерирование термодэс на пятнах контакта микровыступов и ее влияние на явление массопереноса / М.В. Киндрачук, Д.А. Вольченко, С.И. Криштопа [и др.] // Проблемы трения и износа: науч.-техн. сб. – Киев: НАУ, 2015. Вып. 3 (68). – С. 4-20.

**QAZIMA BUCURQADININ ƏYLƏC QASNAĞININ ÇƏNBƏRİNİN  
ELEKTROTHERMOMEXANİKİ YEYİLMƏSİ VƏ DAĞILMASI  
(III hissə)**

Ə.X. CANƏHMƏDOV, E.S. PİRVERDİYEV, B.V. KOPEY, L.M. ZAMIXOVSKIY,  
A.İ. VOLÇENKO, D.Y. JURAVLYOV, A.V. VOZNIY

Fraktal analiz kinetikasi və mexaniki gərginliklər konsentratörnləri yanaşmasından metalpolimer cütlərin mikroçixıntılarının elektrottermomexaniki sürtünmə zamanı əyləc qasnağının metal friksion elementlərin səthində çatların yaranması qanunauyğunluğunun nəzəri və təcrübi tədqiqatları göstərilmişdir.

*Açar sözlər:* friksion elementl, mikroçatıl, mikroçixıntıl, fraktal yanaşma, temperatur qradienti, mexaniki və temperatur gərginliklər, mexaniki gərginliklərin konsentratörnləri

**ELECTROTHERMOMECHANICAL WEAR AND DESTRUCTION  
OF BRAKE PULLEY OF BORING WINCHES  
(part III)**

A.Kh. JANAHMADOV, E.S. PIRVERDIYEV, B.V. COPEY, L.M. ZAMIKHOVSKY,  
N.A. VOLCHENKO, D.Yu. ZHURAVLEV, A.V. VOZNY

The paper illustrates the theoretical and experimental studies of the crack formation on the surface of metal frictional elements of brake pulleys at electrothermomechanical friction of the microprotrusions of the metal-polymeric couples from positions of kinetics of the fractal analysis and concentrators of mechanical tension.

*Key words:* frictional elements, microcracks, microprotrusions, fractal approach, temperature gradients, mechanical and temperature tension, concentrators of mechanical tension.

## FREQUENCY CHARACTERISTICS OF VARIATIONAL STRUCTURE OF TORQUE MEASURER

N.D. TSHADAYA\*, B.A. PERMINOV\*, V.B. PERMINOV\*\*, Z.H. YAGUBOV\*,  
E.Z. YAGUBOV\*, I.A. DEMENTIEV\*

The efficiency of application of the variational structure measurer of torque gradient can not be assessed without analyzing its frequency properties. In work the analysis of the frequency characteristics of measurer is conducted giving the guidance on its application, as well as determining its specific features. It is shown that the variational structure allows obtaining amplification of the input signals, due to the transmission coefficient being greater than one, and without any other means of amplification. It was determined the optimal frequency range of the input signals and the setting parameters are recommended.

**Key words:** *frequency function, frequency characteristic, setting parameters, coefficient of transmission, ratio of constants to time.*

The technological process of drilling a well is accompanied by a significant influence on this process of random factors: the unpredictable effects of dissipative forces acting on the drill string, the change in the geological structure of the drilling rocks, changing the composition and pressure of the drilling mud, etc. This whole set of variable factors leads to the deterministic changes in the dynamics of drillstring [7, 9]. And, since the drill string is load of some drive of drilling rig, the unpredictable behavior of this load will cause random nature of changes of power and the angular velocity on the drive shaft [10, 11]. Therefore, at change of torque and its of dynamic components, required accounting random factors affecting the drill string during drilling. The influence of these random factors can be represented by a white noise low frequency [8]. As a result, there is the problem of estimating the frequency properties of measuring channels and their aggregate in variational structure in the measurement process [1] with a view to possibility suppression of random impacts on the result of the measurement and isolation of direct measurement parameters.

As is well known [3], precision characteristics of variational measurer of torque determined by two of its features:

– feature differentiation of the input signal on both channels of measurement power and angular velocity;

---

\* Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Республика Коми

\*\* ООО «Газпром трансгаз Ухта», г. Ухта, Республика Коми

– using the indirect method of measurement, when measurement result obtained by the functional dependence of the measured values [2].

This predetermines the small error of measurement, but leads to the need for careful analysis of the issues of dynamic compatibility of operation of measurement channels [4]. Since the measurement channels represent the counter inclusion of the inertial aperiodic links (Figure 1), the transfer function of the channel defined by the expression [5]:

$$W_N(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1} - \frac{k_2}{T_2 p + 1} = \frac{k' \cdot p \cdot (T_2 - T_1)}{T_1 \cdot T_2 \cdot p^2 + (T_2 + T_1) \cdot p + 1}, \quad (1)$$

where  $k_1 = k_2 = k'$  – the static coefficient of transmission of channel measurement of power;

$T_1, T_2$  – the time constants of aperiodic links;

$W_N(p)$  – the transfer function of the channel measurement of power;

$p$  – the Laplace operator.

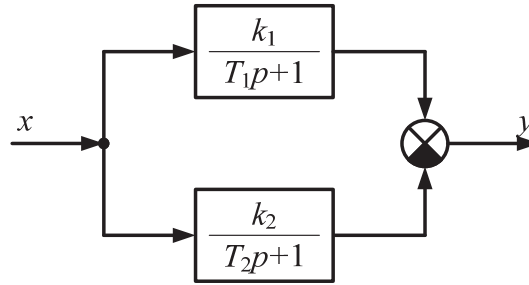


Figure 1 – The counter-parallel connection of two inertial links

Channel of measuring the angular velocity of the drive shaft is configured by the same variational structure, and consequently its transfer function is:

$$W_\omega(p) = \frac{k'' \cdot p \cdot (T_4 - T_3)}{T_3 \cdot T_4 \cdot p^2 + (T_4 + T_3) \cdot p + 1}, \quad (2)$$

where  $k'' = k_3 = k_4$  – the static coefficient of transmission of channel measurement of the angular velocity;

$T_3, T_4$  – the time constants of aperiodic links of variational measurer of the angular velocity.

Solution of the transfer function, for example, (1) relative to the function of original  $f(t)$  determines the transfer function of variational structure [5]:

$$h_N(t) = k' \cdot \left( e^{-\frac{t}{T_1}} - e^{-\frac{t}{T_2}} \right). \quad (3)$$

Maximum of transfer function (3) can be found by differentiation:

$$h_N'(t)_{\max} = k' \cdot \left( \frac{1}{T_1} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{1}{T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} \right). \quad (4)$$

From here we can find the time interval corresponding to the maximum of the transfer function  $h_N'(t)$ :

$$t_{\max} = \ln \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{T_1 \cdot T_2}{T_1 - T_2}. \quad (5)$$

The maximum point corresponds to the inequality  $T_1 > T_2$ , and the minimum point –  $T_1 < T_2$ , т. е.  $h(t)$ , that is should be regarded as  $|h(t)|$  for determining divergence of function at different times.

The circuit is symmetrical, and therefore, we can talk about a specific ratio and investigate the task about maximum:

$$h_{\max_N} = k' \cdot \left( e^{-\frac{T_1}{T_1-T_2} \cdot \ln \frac{T_1}{T_2}} - e^{-\frac{T_2}{T_1-T_2} \cdot \ln \frac{T_1}{T_2}} \right) = k' \cdot \left( e^{-\frac{m}{1-m} \cdot \ln m} - e^{-\frac{1}{1-m} \cdot \ln m} \right). \quad (6)$$

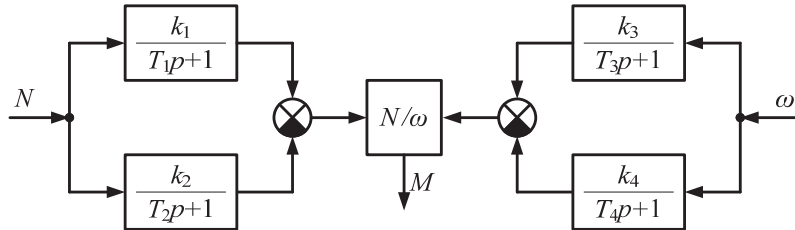
Expression (6) can be reduced to the form:

$$h_{\max_N} = k' \cdot \left( m \cdot \frac{m}{1-m} - m \cdot \frac{1}{1-m} \right). \quad (7)$$

Channel of measurement angular velocity has a variational structure. Then, in a ratio  $n = \frac{T_3}{T_4} > 1$ , we obtain:

$$h_{\max_\omega} = k'' \cdot \left( n \cdot \frac{n}{1-n} - n \cdot \frac{1}{1-n} \right). \quad (8)$$

The structure of the entire measurer is shown in Figure 2.



**Figure 2 – The variational structure of measurer of a torque**

For this structure of the overall transfer function can be written as:

$$W(p) = \frac{W_N(p)}{W_\omega(p)} = \frac{\frac{k' \cdot p \cdot (T_2 - T_1)}{T_1 \cdot T_2 \cdot p^2 + (T_2 + T_1) \cdot p + 1}}{\frac{k'' \cdot p \cdot (T_4 - T_3)}{T_3 \cdot T_4 \cdot p^2 + (T_4 + T_3) \cdot p + 1}} = X \cdot \frac{\tau_1^2 \cdot p^2 + 2 \cdot q \cdot \tau_1 \cdot p + 1}{\tau_2^2 \cdot p^2 + 2 \cdot s \cdot \tau_2 \cdot p + 1}, \quad (9)$$

where  $\frac{k'}{k''} = K$ ;  $\frac{T_2}{T_4} = \varepsilon$ ;  $\frac{T_1}{T_2} = m$ ;  $\frac{T_3}{T_4} = n$ ;  $K \cdot \varepsilon \cdot \frac{(1-m)}{(1-n)} = X$ ;

$$\tau_1^2 = T_3 \cdot T_4; \quad \tau_2^2 = T_1 \cdot T_2; \quad T_4 + T_3 = 2 \cdot q \cdot \tau_1; \quad T_2 + T_1 = 2 \cdot s \cdot \tau_2.$$

In the resulting transfer function measurer of the torque we can obtain the frequency function by using the Fourier transform:

$$F(j \cdot \omega) = X \cdot \left( \begin{array}{l} \frac{\tau_1^2 \cdot \tau_2^2 \cdot \omega^4 + 4 \cdot q \cdot s \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \omega^2 - \tau_2^2 \cdot \omega^2 - \tau_1^2 \cdot \omega^2 + 1}{\tau_2^4 \cdot \omega^4 + 2 \cdot \tau_2^2 \cdot \omega^2 \cdot (2 \cdot s^2 - 1) + 1} + \\ + j \cdot \frac{2 \cdot s \cdot \tau_2 \cdot \tau_1^2 \cdot \omega^3 - 2 \cdot q \cdot \tau_1 \cdot \tau_2^2 \cdot \omega^3 + 2 \cdot q \cdot \tau_1 \cdot \omega - 2 \cdot s \cdot \tau_2 \cdot \omega}{\tau_2^4 \cdot \omega^4 + 2 \cdot \tau_2^2 \cdot \omega^2 \cdot (2 \cdot s^2 - 1) + 1} \end{array} \right). \quad (10)$$

From the frequency function, we highlight the real and imaginary parts:

$$\text{Re}(\omega) = X \cdot \frac{\tau_1^2 \cdot \tau_2^2 \cdot \omega^4 + 4 \cdot q \cdot s \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \omega^2 - \tau_2^2 \cdot \omega^2 - \tau_1^2 \cdot \omega^2 + 1}{\tau_2^4 \cdot \omega^4 + 2 \cdot \tau_2^2 \cdot \omega^2 \cdot (2 \cdot s^2 - 1) + 1}, \quad (11)$$

$$\text{Im}(\omega) = X \cdot \frac{2 \cdot s \cdot \tau_2 \cdot \tau_1^2 \cdot \omega^3 - 2 \cdot q \cdot \tau_1 \cdot \tau_2^2 \cdot \omega^3 + 2 \cdot q \cdot \tau_1 \cdot \omega - 2 \cdot s \cdot \tau_2 \cdot \omega}{\tau_2^4 \cdot \omega^4 + 2 \cdot \tau_2^2 \cdot \omega^2 \cdot (2 \cdot s^2 - 1) + 1}. \quad (12)$$

By known ratios [2] define the basic frequency characteristics of variational structure of measurer of the torque.

Amplitude-frequency characteristic:

$$A(\omega) = \sqrt{\text{Re}^2(\omega) + \text{Im}^2(\omega)}. \quad (13)$$

Phase-frequency characteristic:

$$\varphi(\omega) = \text{arctg} \frac{\text{Im}(\omega)}{\text{Re}(\omega)}. \quad (14)$$

Amplitude-phase-frequency characteristic:

$$F(j \cdot \omega) = \text{Re}(\omega) + j \cdot \text{Im}(\omega) = A(\omega) \cdot e^{j \cdot \varphi(\omega)}. \quad (15)$$

Formation of the frequency characteristics is produced using the program Microsoft Excel. The coefficients corresponding to the colors of curves, shown in Table 1.

On Figure 3 shows the amplitude-frequency characteristic of variational structure at different ratios  $\frac{T_1}{T_2} = m$  and  $\frac{T_3}{T_4} = n$ .

From the analysis of the amplitude-frequency characteristic can be made the following conclusions.

The initial portion of characteristics is determined to suppression of low-frequency noise up to the upper frequencies that can be set using to the time constants of channels of measurement  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  and  $T_4$ .

Table 1

Formation of frequency characteristics

Parameters links			
$k_1$	1,000	1,000	1,000
$T_1$	0,010	0,010	0,010
$T_2$	1,000	0,200	0,100
$k_2$	1,000	1,000	1,000
$T_3$	0,020	0,020	0,020
$T_4$	1,000	0,200	0,100
Calculations of the coefficients			
$K=k_1/k_2$	1,000	1,000	1,000
$\varepsilon=T_2/T_4$	1,000	1,000	1,000
$m=T_1/T_2$	0,010	0,050	0,100
$n=T_3/T_4$	0,020	0,100	0,200
$t_1$	0,141	0,063	0,045
$t_2$	0,100	0,045	0,032
$q$	3,606	1,739	1,342
$s$	5,050	2,348	1,739
$X$	1,010	1,056	1,125

Calculation of characteristics													
$\lg(\omega)$	$\omega$	$Re_1(\omega)$	$Im_1(\omega)$	$A_1(\omega)$	$\varphi_1(\omega)$	$Re_2(\omega)$	$Im_2(\omega)$	$A_2(\omega)$	$\varphi_2(\omega)$	$Re_3(\omega)$	$Im_3(\omega)$	$A_3(\omega)$	$\varphi_3(\omega)$
-3,000	0,001	1,010	0,000	1,010	0,001	1,056	0,000	1,056	0,001	1,125	0,000	1,125	0,001
-2,500	0,003	1,010	0,000	1,010	0,002	1,056	0,000	1,056	0,002	1,125	0,000	1,125	0,002
-2,000	0,010	1,010	0,000	1,010	0,006	1,056	0,000	1,056	0,006	1,125	0,000	1,125	0,006
-1,500	0,032	1,010	0,000	1,010	0,018	1,056	0,000	1,056	0,018	1,125	0,000	1,125	0,018
-1,000	0,100	1,009	0,001	1,009	0,057	1,055	0,001	1,055	0,057	1,125	0,001	1,125	0,057
-0,500	0,316	1,002	0,003	1,002	0,183	1,051	0,003	1,051	0,182	1,122	0,004	1,122	0,182
0,000	1,000	0,965	0,010	0,965	0,600	1,012	0,011	1,012	0,597	1,091	0,011	1,091	0,591
0,500	3,162	0,929	0,032	0,929	1,968	0,735	0,033	0,736	2,598	0,813	0,036	0,814	2,502
1,000	10,000	0,931	0,100	0,936	6,131	0,173	0,105	0,202	31,130	-0,569	0,111	0,580	-11,070
1,500	31,623	1,019	0,290	1,060	15,900	0,152	0,303	0,339	63,449	-1,620	0,323	1,652	-11,291
2,000	100,000	1,470	0,505	1,554	18,965	1,021	0,528	1,149	27,334	-0,018	0,563	0,563	-88,170
2,500	316,228	1,920	0,290	1,942	8,600	1,913	0,303	1,937	9,015	1,835	0,323	1,863	9,996
3,000	1000,000	2,010	0,100	2,012	2,849	2,089	0,105	2,092	2,863	2,205	0,111	2,208	2,892
3,500	3162,278	2,019	0,032	2,020	0,905	2,109	0,033	2,109	0,906	2,245	0,036	2,246	0,907
4,000	10000,000	2,020	0,010	2,020	0,286	2,111	0,011	2,111	0,286	2,250	0,011	2,250	0,287
4,500	31622,777	2,020	0,003	2,020	0,091	2,111	0,003	2,111	0,091	2,250	0,004	2,250	0,091
5,000	100000,000	2,020	0,001	2,020	0,029	2,111	0,001	2,111	0,029	2,250	0,001	2,250	0,029

Lower threshold frequency of input influence according to the basic assumptions of the theory of information determined as the ratio of the amplitude of the useful signal to noise [6], and can be determined by the amplitude-frequency characteristic. According to this characteristic into the low-frequency field to the boundary frequency there is intensive suppression of low-frequency noise. With the achievement of the threshold frequency and with further increase the frequency of the signal due to the differentiating properties channels of measuring, the output level rises due to increased the transmission coefficient measurer. It should be noted



that the larger the ratio of  $m$  and  $n$ , the smoother the transition of characteristics from the lower threshold frequency to the operating frequency range. This explains change of the sensitivity in the variational structure in change of attitude of the time constants  $\frac{T_1}{T_2} = m$  (Figure 3).

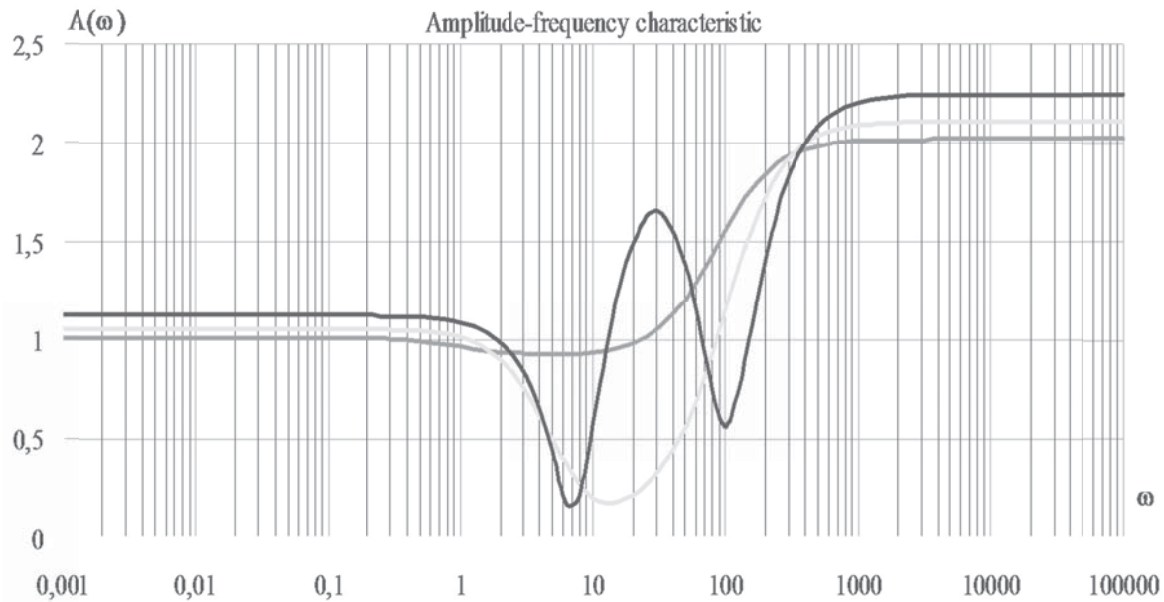


Figure 3 – Amplitude-frequency characteristics

In Figure 4 shows phase-frequency characteristic of the measurer of the torque gradient. On it, by the transition from the lower boundary frequency to the operating frequency range, the phase of the output signal gets an extra shift at angle  $\pi$ . This property of the measurer must be taken into account when constructing regulators of control of the drilling process to avoid the appearance of positive feedback. Thus, a more smooth rotation of the phase of the output signal is determined by the increase ratio of  $m$  and  $n$ .

The family of the amplitude-phase-frequency characteristics, shown in Figure 5, clearly illustrates that solution of the characteristics, according to the schedule, is completely determined by the sensitivity of variational structure, i.e  $m$  and  $n$ , as a result, ratio coefficients of the time constants of  $m$  and  $n$ . With the decrease of this ratios the sensitivity of channels of measuring increases and solution of the characteristics increases. The family of curves clearly confirms the hypothesis about the general phase shift of the output signal at an angle of  $+180^\circ$ .

The family of the amplitude-phase-frequency characteristics, shown in Figure 5, clearly illustrates that solution of the characteristics, according to the schedule, is completely determined by the sensitivity of variational structure, i.e  $m$  and  $n$ , as a result, ratio coefficients of the time constants of  $m$  and  $n$ . With the decrease of this ratios the sensitivity of channels of measuring increases and solution of the characteristics increases. The family of curves clearly confirms the hypothesis about the general phase shift of the output signal at an angle of  $+180^\circ$ .

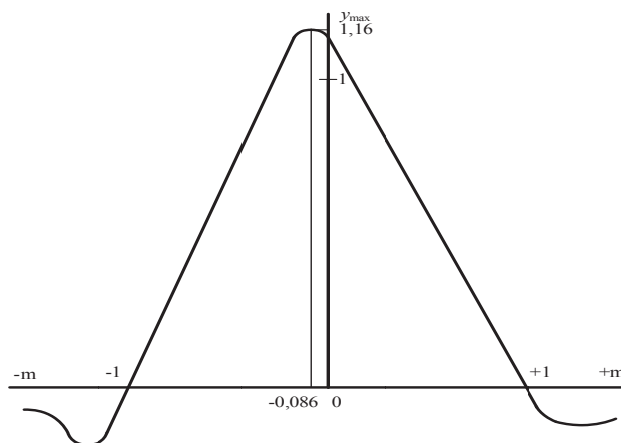


Figure 3 – The curve of the maximum of the transition process (by  $m$ )

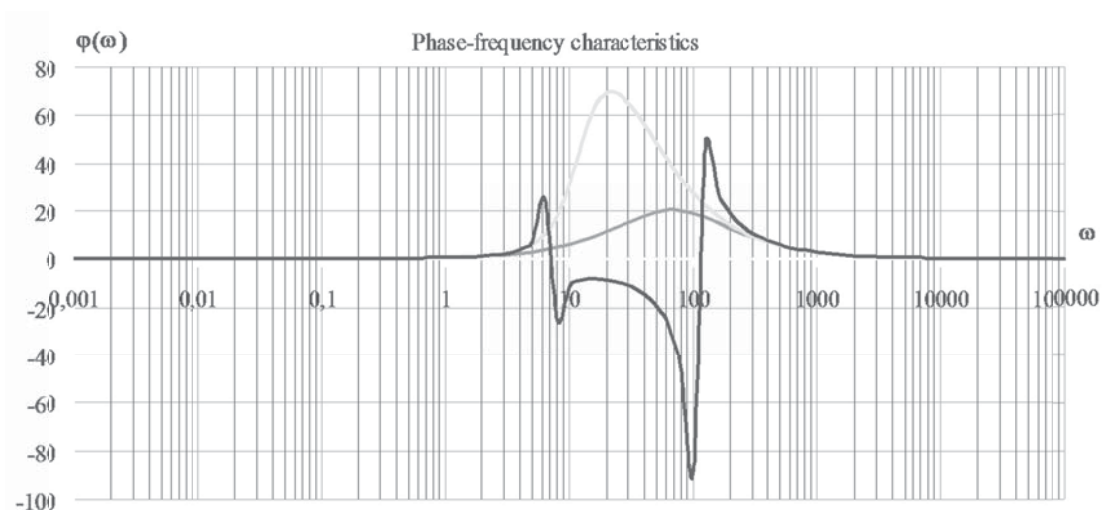


Figure 4 – Phase-frequency characteristics

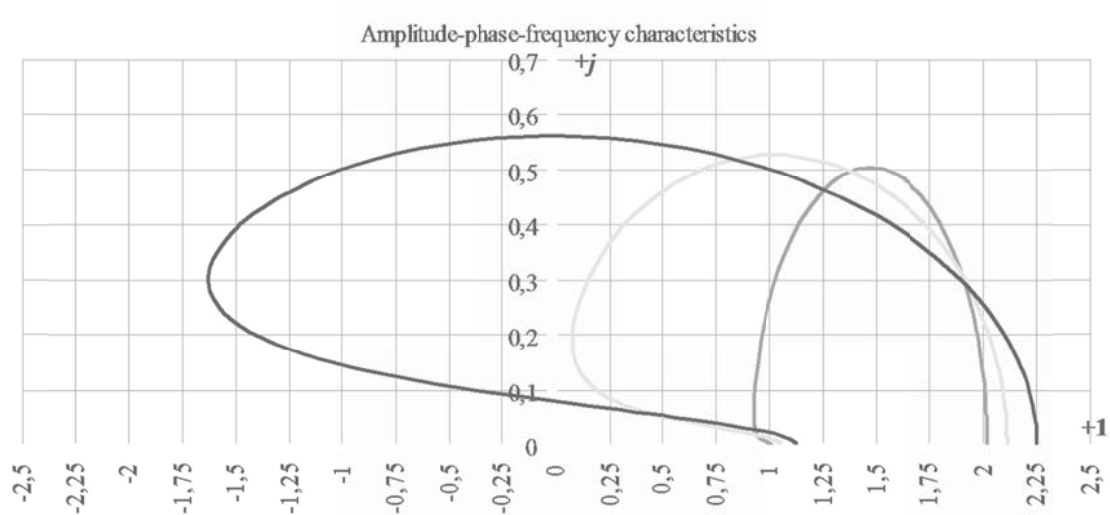


Figure 5 – Amplitude-phase-frequency characteristics

For stable operation of the measurer, based on the conducted research, an additional matching channels of measurement on the frequency properties [6] for the purposes of its successful applications in drilling process optimization [7, 8].



Figure 6 – Oscillogram of increment of torque under axial load of 12 kN.

$$T_1 \gg T_3; T_2 \gg T_4; T_1 \approx T_2; T_3 \approx T_4$$

In Figure 6 shows the oscillogram of output signal of measurer of torque gradient taken along the model of the variational structures in the absence of frequency matching of channels of measurement power and the angular velocity of rotation of the drill string, i.e. under the condition  $T_1 \neq T_3$  and  $T_2 \neq T_4$ . The tests measuring the variational structure were conducted on the experimental well by firm "Eltech", Usinsk, Komi Republic. [4]

Channel of power measurement, in order to suppress low-frequency white noise was configured to a high frequency range, and the channel of measuring the angular velocity worked in the range  $0,5 \div 10 \text{ sec}^{-1}$ . This discrepancy frequencies has determined a significant difference in the duration of the differentiating pulses of channels of measurement, i.e.  $\tau_{u_\omega} \gg \tau_{u_N}$ , where  $\tau_{u_\omega}$  – the duration of the differentiating pulses of channels of measurement of angular velocity, and  $\tau_{u_N}$  – the duration of the differentiating pulses of channels of measurement of power.

This discrepancy has determined also and inequality of the time constants:  $T_1 \ll T_3$  and  $T_2 \ll T_4$ .

In the oscillogram clearly traced the emergence of short pulses of channel of measurements of power on a background of slowly varying pulse of channel of measurement of angular velocity.

Consequently, frequency coordination of channels of measurer of torque gradient is the one of the indispensable conditions of coordination of it work.

In figure 7 shows the oscillogram at the coordination of configuration settings when  $T_1 \approx T_3$  and  $T_2 \approx T_4$ . In the oscillogram clearly traced the change of gradient torque corresponding to self-oscillation of drill string. These properties are fully confirmed by the frequency characteristics of the variational structure.



**Figure 7 – Oscillogram of increment of torque under axial load of 12 кН.**

$$T_1 \approx T_3; T_2 \approx T_4; T_1 < T_2; T_3 < T_4$$

Conclusions:

1. For obtaining a trusting values tracking dynamic torque characteristics with using a variable system of measurement requires to coordination channel of measurement of engine power and channel of measuring the angular velocity of rotation of the drill string to the frequency characteristics in which the time constants of the inertial links in pairs are close in its values to each other, i.e.  $T_1 \approx T_3$  and  $T_2 \approx T_4$ .

2. With the increase in the sensitivity of measurement channels (decreasing ratio of the time constants of the inertial links of  $m$  and  $n$ ) increases solution of the amplitude-phase-frequency response, i.e. its module increased, but with a change in the frequency of its changing unevenly and characterized as negative values attenuation and positive surges. FRC irregularity in the operating frequency range significantly reduces the possibility of using the meter. However, this disadvantage can be eliminated by changing the ratios of  $m$  and  $n$ .

3. When high sensitivity of measurement channels occurs alternating change of the phase of the output signal, which may limit the use of the meter in control systems for drilling, but changing the ratios of  $m$  and  $n$  can be eliminated, and this deficiency.

4. The lower threshold frequency measurement range is determined by the time constants  $T_1, T_2, T_3$  and  $T_4$ . The same value is determined and the frequency range with increasing module of frequency characteristics.

5. The greater the difference in time constants  $T_1$  and  $T_2$ ,  $T_3$  and  $T_4$ , the greater the range of the increase frequency characteristics. Therefore, to optimize the measurement this difference should be reduced, but this leads to a contradiction to sensitivity requirements.

6. The optimal settings of measurer, via which can be set any frequency properties, with regard to the control system of the drilling process [8] are the ratios of  $m$  and  $n$ , the time constants  $T_1, T_2, T_3, T_4$  and coefficients of transmission channels  $k'$  and  $k''$ .

7. Total transfer coefficient measurer as a whole determined by the ratio of the coefficients  $\frac{k'}{k''} = K$ , therefore to increase the transmission coefficient must be met of inequality  $k' \gg k''$ .

#### REFERENCE

1. **Вуков И. Ю.** Дифференциальная (вариационная) структура измерителя крутящего момента на валу электродвигателя буровых установок / И. Ю. Вуков, С. Ф. Заикин, В. А. Перминов / Инженер-нефтяник. 2011. – №2. – с. 33-35  
**Быков И. Ю.** Дифференциальная (вариационная) структура измерителя крутящего момента на валу электродвигателя буровых установок / И. Ю. Быков, С. Ф. Заикин, В. А. Перминов / Инженер-нефтяник. 2011. – №2. – с. 33-35
2. **Заикин С. Ф.** Косвенный метод измерения крутящего момента / С. Ф. Заикин, В. А. Перминов / Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2011. – №7. – с. 46-48  
**Заикин С. Ф.** Косвенный метод измерения крутящего момента / С. Ф. Заикин, В. А. Перминов / Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2011. – №7. – с. 46-48
3. **Вуков И. Ю.** Оценка точности характеристик дифференциальной (вариационной) структуры измерителя крутящего момента на валу силового привода буровых установок / И. Ю. Вуков, С. Ф. Заикин, В. А. Перминов / Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2011. – №7. – с. 14-16  
**Быков И. Ю.** Оценка точности характеристик дифференциальной (вариационной) структуры измерителя крутящего момента на валу силового привода буровых установок / И. Ю. Быков, С. Ф. Заикин, В. А. Перминов / Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2011. – №7. – с. 14-16
4. **Вуков И. Ю.** Способ измерения параметров бурения с использованием вариационной структуры / И. Ю. Вуков, С. Ф. Заикин, В. А. Перминов, В. В. Перминов / Инженер-нефтяник. 2014. – №3. – с. 27-29  
**Быков И. Ю.** Способ измерения параметров бурения с использованием вариационной структуры / И. Ю. Быков, С. Ф. Заикин, В. А. Перминов, В. В. Перминов / Инженер-нефтяник. 2014. – №3. – с. 27-29
5. **Перминов В. А.** Анализ вариационной структуры динамического измерителя градиента крутящего момента / В. А. Перминов, В. В. Перминов, З. Н. Ягубов / Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2015. – №8. – с. 15-17  
**Перминов В. А.** Анализ вариационной структуры динамического измерителя градиента крутящего момента / В. А. Перминов, В. В. Перминов, З. Х. Ягубов / Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2015. – №8. – с. 15-17
6. **Перминов В. А.** Согласование инерционных свойств вариационной структуры динамического измерителя градиента крутящего момента с системой управления бурением / В. А. Перминов, В. В. Перминов, З. Н. Ягубов / Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2015. – №9. – с. 10-14

- Перминов Б. А.** Согласование инерционных свойств вариационной структуры динамического измерителя градиента крутящего момента с системой управления бурением / Б. А. Перминов, В. Б. Перминов, З. Х. Ягубов / Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2015. – №9. – с. 10-14
7. **Вукон И. Ю.** Vozmozhnosti ispolzovaniya dinamicheskikh sostavljajushhih parametrov krutjashhego momenta dlja upravlenija processom uglublenija skvazhiny / I. Ju. Vukon, S. F. Zaikin, B. A. Perminov, V. B. Perminov / Inzhener-neftjanik. 2014. – №3. – s. 20-23
- Быков И. Ю.** Возможности использования динамических составляющих параметров крутящего момента для управления процессом углубления скважины / И. Ю. Быков, С. Ф. Заикин, Б. А. Перминов, В. Б. Перминов / Инженер-нефтяник. 2014. – №3. – с. 20-23
8. **Вукон И. Ю.** Optimizacija upravlenija processom uglublenija skvazhiny / I. Ju. Vukon, S. F. Zaikin, B. A. Perminov / Stroitelstvo neftjanyh i gazovyh skvazhin na sushe i na more. 2012. – №10. – s. 17-21
- Быков И. Ю.** Оптимизация управления процессом углубления скважины / И. Ю. Быков, С. Ф. Заикин, Б. А. Перминов / Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2012. – №10. – с. 17-21

#### ЧАСТОТНЫЕ СВОЙСТВА ВАРИАЦИОННЫХ СТРУКТУР ИЗМЕРЕНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

Н.Д. ЦХАДАЯ, Б.А. ПЕРМИНОВ, В.Б. ПЕРМИНОВ, З.Х. ЯГУБОВ,  
Э.З. ЯГУБОВ, И.А. ДЕМЕНТЬЕВ

Эффективность применения вариационной структуры измерителя градиента крутящего момента невозможно оценить без анализа его частотных свойств. В работе произведён анализ частотных характеристик измерителя, позволяющий дать рекомендации по его применению, а также определить его специфические особенности. Показано, что вариационная структура позволяет получить усиление входных сигналов вследствие получения коэффициента передачи больше единицы, без каких-либо дополнительных средств усиления. Определены оптимальные частотные диапазоны входных сигналов и рекомендованы параметры настройки.

*Ключевые слова:* частотная функция, частотная характеристика, параметры настройки, коэффициент передачи, коэффициент отношения постоянных ко времени.

#### BURUCU MOMENT ÖLÇÜSÜNÜN DƏYİŞƏN STRUKTURLARININ TEZLİK XÜSUSİYYƏTLƏRİ

N.D. SXADAYA, B.A. PERMINOV, V.B. PERMINOV, Z.X. YAQUBOV,  
E.Z. YAQUBOV, İ.A. DEMENTYEV

Məqalədə, ölçü cihazının tezlik xarakteristikalarının analizi aparılmış, onun tətbiqi üzrə tövsiyələr verilmiş, həmçinin onun spesifik xüsusiyyətlərini müəyyən etmə imkanı yaradılmışdır. Göstərilmişdir ki, variasiyalı struktur, giriş siqnallarının gücləndirilməsini, vahidən böyük ötürmə əmsalının alınması nəticəsində hər hansı əlavə vasitələrsiz almağa imkan verir. Giriş siqnallarının optimal tezlik diapazonları müəyyən olunub və kökləmənin parametrləri tövsiyyə olunmuşdur.

*Açar sözlər:* tezlik funksiyası, tezlik xarakteristikası, kökləmənin parametrləri, ötürmə əmsalı, zaman sabitlərinin nisbət əmsalı.

## **GECƏGÖRMƏ CİHAZLARININ İSTEHSALI PROSESİNİN TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ**

Y.T. CAMALOV, K.Ə. ƏSGƏROV

Məqalədə aparılan elmi-tədqiqat işləri nəticəsində istehsal prosesi daha da təkmilləşdirilmiş, yarana biləcək xətlərin aradan qaldırılması yolları göstərilmişdir. Avtomatlaşdırılmış ölçü qurğuları vasitəsilə optik parametrlərin ölçülməsi xüsusi proqramlaşdırılmış metodika ilə həyata keçirilmişdir. Nəticədə praktik istifadə olunan yüngül, sadə quruluşlu və yeni plastik materialdan hazırlanmış monokulyar A-100 markalı gecə görmə cihazı hazırlanmışdır. Bir çox xassə və parametrlərinə görə digər xarici ölkə analoqları ilə müqayisədə bir çox üstünlüklərə malikdir.

*Açar sözlər: elektron optik çevirici, 0, 1, 2, 2<sup>+</sup> və 3 nəsil EOÇ, fotokatod, lüminessent ekran, mikrokanal lövhə, parlaqlıq səviyyəsi, küy, integral həssaslıq, elektron emissiyası, foton, multikanal, fiber optik kanallar.*

Optik cihaz və sistemlərin elmi inkişaf konsepsiyasının yaradılması və inkişafı proqramının həyata keçirilməsinin əsas məqsədi Azərbaycan Respublikasındakı güc strukturlarının müxtəlif növ optoelektron çeviriciləri əsasında yaradılmış cihazlara və optik sistemlərə olan tələbatını ödəməkdən ibarətdir.

Ədəbiyyatdan məlumdur ki, gecəgörmə cihazlarında istifadə edilən, elektron-optik çeviricilər (EOÇ) optik mənzərəni bir spektral tərkibdən elektron mənzərəsinə və yenidən görünən mənzərəyə çevirən elektron-vakuum qurğularıdır (məs. ultrabənövşəyi yaxud infraqırmızı) EOÇ elmdə, təbabətdə, hərbi texnikada geniş tətbiq edilir. EOÇ yaxın infraqırmızı, görünən, ultrabənövşəyi, rentgen şüaları, neytron və qamma şüaları kimi spektral diapazonda işləyə bilir.

Gecəgörmə cihazlarının istehsalının yaradılması üçün ilk anda həmin cihazların əsas hissəsi olan vakuum balonlarının hazırlanması texnologiyasının mənimsənilməsi çox vacibdir. EOÇ-in yaradılmasına və optik parametrlərinin yaxşılaşdırılmasına aid ədəbiyyatda çox sayda elmi-tədqiqat işləri mövcuddur. [1-12].

Son illərdə bir çox tədqiqatçılar 2<sup>+</sup>-ci və 3-cü nəsil elektron optik çeviricilərin hazırlanması texnologiyasının işlənməsi və optik parametrlərinin yaxşılaşdırılması istiqamətində geniş elmi-tədqiqat işləri aparılır.

Elmin bu istiqaməti bu gün üçün perspektivlidir, bu işlərin aparılması böyük elmi potensial və vəsait tələb edir. Azərbaycanda bu işlərin nəticələri öz praktik tətbiqini qismən tapmış və bu istiqamətdə aparılan işlər gələcəkdə hərbi sənaye kompleksinin inkişafına böyük

təkan vermiş olacaqdır. İlk olaraq gecəgörmə cihazları 1934-cü illərdə Holst tərəfindən hazırlanmağa başlanmış və İkinci Dünya Müharibəsində Alman Ordusunda istifadə edilmişdir [9]. Soyuq müharibə illərindən sonra bu cihazlar başqa məqsədlər üçün də istifadə edilməyə başlamışdır. Bu kimi cihazların işləməsi üçün ay və ya ulduzlardan gələn şüalar kifayət edir. Ay və ulduzlardan düşən şüaların gücü az və dalğa uzunluğu fərqli olduğundan gözlə görüntü mümkün deyildir. Bu şüaların görünən spektr bölgəsinə çevirmək üçün gecəgörmə cihazlarından istifadə edilir. Bu məqsədlə elektron optik çeviricilərin yaradılması zəruriyyəti meydana çıxmışdır. İlk olaraq elektron-optik çeviricilər passiv rejimdə düzəldilmişdir. Lakin 1940-1950-ci illərdən başlayaraq aktiv rejimdə işləyən və «0» (sıfırıncı) nəsil elektron-optik çeviricilərin yaradılmasına başlanmışdır. Bu üsulla hazırlanmış «0»-cı nəsil elektron optik çeviriciləri spektrin infra-qırmızı dalğalarını görünən spektrin bölgəsinə çevirə bilirlər.

Əslində görüntünü ay və ulduzlardan gələn şüalardan başqa infra-qırmızı dalğa lampalarından da istifadə etməklə təmin etmək olar. İlk dəfə sürmə-çezium fotokatodlu EOÇ 1936-cı ildə Gerlix tərəfindən yaradılmışdır [10]. Amma bu işdə faktiki olaraq texnoloji proses az yazıldığından, bu fakt 1939-cu ildə yenidən Lukyanov tərəfindən kəşf edildi [12].

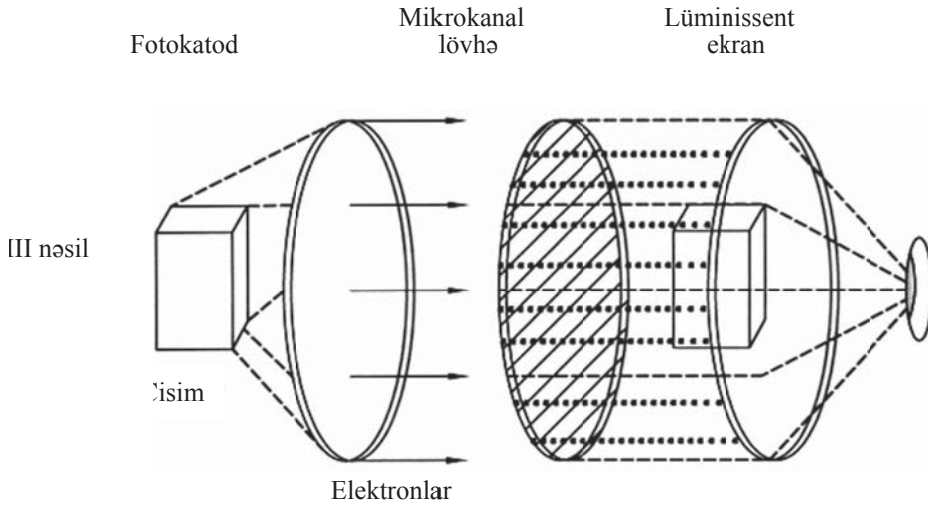
Sonrakı illərdə fotokatod (Ag-O-Çs) gümüş-oksigen-çezium elementlərindən vakuumda çökdürmə yolu ilə hazırlanmışdır. İşığa qarşı inteqral həssaslıq 50mkA və ayırdetmə qabiliyyəti 8-10 lp/mm intervalında olmuşdur. 1955-ci ildə A.H.Sommer Na-K-Cs-Sb yarımkeçirici elementlər əsasında fotokatodun yaradılması təkliflərini irəli sürdü. İlk dəfə olaraq çoxatomlu çezium (Cs) təbəqəsi üzərinə Na<sub>2</sub>KSb birləşməsini adsorpsiya etməklə çox qələvili fotokatod yaradılmışdır [11].

1960-1970-ci illərdə birinci nəsil elektron-optik çeviricilərin hazırlanmasına başlanmışdır. Bu növ elektron optik çeviricilərin iş prinsipi sxematik olaraq çox sadədir. Fərqli olaraq belə çeviricilərdə aktiv infra-qırmızı işıqlanmaya ehtiyac qalmamış, yeni fotokatod texnologiyası hazırlandı və çıxış elektronlarının sürəti və sayı artırıldı. Nəticədə həssaslıq 50-100mA/lm və ayırdetmə qabiliyyəti 10-30 lp-mm səviyyəsinə qaldırıldı.

1970-ci ildən başlayaraq 2 və 3 nəsil elektron-optik çeviricilərin yaradılmasına başlandı. Birinci nəsil optik çeviricilərdə olan çatışmazlıqlar 2-ci, 2+ və 3-cü nəsil çeviricilərdə mikrokanal lövhələrdə istifadə edərək bir sıra çatışmazlıqlar aradan qaldırmaq mümkün oldu [8]. Nəticədə daha kiçik (3-4 sm) elektron optik çevirici hazırlanmağa başlandı. Bundan əlavə 2 və 3-cü nəsil EOÇ-lərdə parlaq işıqdan qorunmaq üçün avtomatik kontrol nəzarəti mövcuddur. Nəhayət 2-ci nəsil çeviricilərdə optik hissələrin və lüminiscent ekranın keyfiyyətinin artırılması kimi dəyişikliklər 2+ adlandırılan EOÇ-lərin yaradılmasına səbəb olmuşdur. Nəticədə işığa həssaslıq 100-400 mA/lm ayırdetmə qabiliyyəti 20÷36 lp/mm səviyyəsinə yüksəlmişdir.

1980-ci illərdən sonra 3-cü nəsil EOÇ-lərdə fotokatodun tərkibi GaAs (Galium arsenid) tərkibdə seçilməyi çox zəif işıq səviyyəsində belə yüksək görüntü əldə etməyə imkan vermişdir (Şəkil 1). 3-cü nəsil EOÇ-də fotokatod və mikrokanal lövhə arasında qoyulan ion tutucu qat sayəsində mikrokanal lövhədən geri dönmə müsbət yüklü ionların fotokatoda dönüşünün qarşısı alındı və nəticədə EOÇ-nin ömrünü 3 qat artırdı.





Şəkil 1. "III" nəsil elektron optik çeviricinin sxematik görünüşü.

Son nəsil çeviricilərdə fotokatod 1,1mkm qədər bölgəyə həssasdır və buna görə 1,06 mkm dalğa uzunluğunda işləyən lazer şüalarını da görə bilirlər. 1980-1990-cı illər arasında işığa həssaslığı 600-2200 mA/lm və ayırdetmə qabiliyyəti 30÷80 1p/mm olan çeviricilər hazırlanmağa başlanmışdır.

Gecəgörmə cihazlarında istifadə edilən elektron-optik çeviricilərin (2+ və 3 nəsil) hazırlanması texnologiyasının Azərbaycanda yaradılması məqsəduyğun olardı. Eyni zamanda bu işlər iqtisadi cəhətdən xeyirli və elmin inkişafına böyük təkan vermiş olardı.

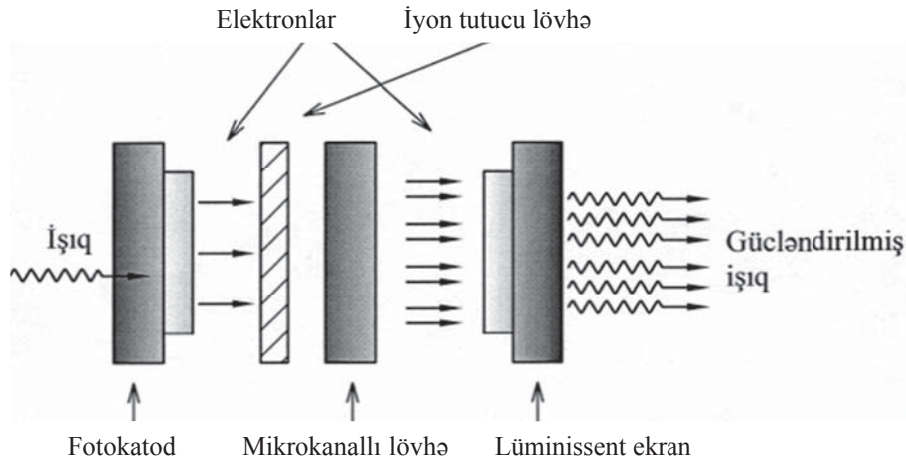
Son illərdə aparılan elmi tədqiqat işləri gecəgörmə cihazlarının inteqral həssaslığının, ayırdetmə qabiliyyətinin və faydalı siqnalın küyə olan nisbəti kimi fiziki parametrlərin yaxşılaşdırılmasına yönəldilmişdir. Müqayisə üçün aşağıdakı cədvəldə 2+ və 3-cü nəsil EOÇ-lərin əsas xarakteristik parametrləri verilmişdir. (Cədvəl 1)

Cədvələ göstərilən fiziki parametrlər müasir EOÇ üçün son hədd deyildir. Aparılan elmi tədqiqat işləri daim bu parametrlərin yaxşılaşdırılmasına xidmət edir. J.C.Maksvel nəzəriyyəsinə görə işıq elektromaqnit dalğalar toplusunda yayılır. Bu dalğalar tezliyi  $\nu=1/T$  kimi hesablanır. İnsan gözü 380 ÷ 780 nm spektr intervalında işığa həssasdır. Bu intervaldakı işıq, insan gözü eyni həssaslıqla görə bilmir. Gözün həssaslığı maksimumu 570 nm ÷ 580 nm arasındadır. Bu spektr intervalında yaşıl rəng olduğundan gecə görüş cihazlarındakı görüntü sarı -yaşıl rəngdə olur.

Ətraf cisimlərdən əks olunan ay və ya ulduz işığı mühitin təsirlərinə (duman, yağış, qar və s. ) məruz qalaraq zəifləyir və gecə görmə cihazlarının həssaslığının artırılması problemi qalxır. Ona görə gecə görmə cihazlarında istifadə olunan elektron optik çeviricilər daha keyfiyyətli olmalıdır. EOÇ-lər əsasən fotokatod, mikrokanal lövhə və lüminiscent ekrandan ibarətdir. 3-cü nəsil müasir EOÇ-də əlavə olaraq ion tutucu lövhədən istifadə edilir. Şəkil 2də belə EOÇ-nin sxematik görüntüsü verilmişdir.

**Cədvəl 1**

Ölçü vahidi və parametrlər	2+nəsil	3-cü nəsil
Fotokatodun inteqral həssaslığı, mkA/lm, az olmayaraq; $S_u$	450-600	1500-1850
850 nm dalğa uzunluğunda spektral həssaslıq, mA/Vt; $S_\lambda$	30-40	40-70
Çevirmə əmsalı; $\eta_B$	$(2\div 3,5) \cdot 10^4$	$(5\div 7) \cdot 10^4$
Ayrıdetmə həddi, ştr/mm, az olmayaraq; N	45÷58	57÷64
Qaranlıq fonun parlaqlığı, kd/m <sup>2</sup> , çox olmayaraq; $B_o$	$1 \cdot 10^{-3}$	
Faydalı siqnalın küyə olan nisbəti, az olmayaraq; $\psi_B$	18÷22	19÷25
Fotokatodun işçi diametrinin ölçüsü, mm, az olmayaraq; $D$	17,5	17,5
İş rejimində ekranın işıqlanma parlaqlığı, kd/m <sup>2</sup> ; $B_a$	2÷5	2
EOÇ-ın işə hazırlıq müddəti, c, çox olmayaraq; $T_q$	3	3
Qida mənbəyinin gərginliyi, B; $U_n$	2÷3,6	2÷3,6
Tələb olunan cərəyan, mA, çox olmayaraq; $I_k$	20	32
Fəza tezliklərində kontrastın ötürülmə əmsalı;		
2,5 ştr/mm, az olmayaraq	92	
7,5 ştr/mm, az olmayaraq	80	
15 ştr/mm, az olmayaraq	58	
İşləmə müddəti, saat	5000	10.000



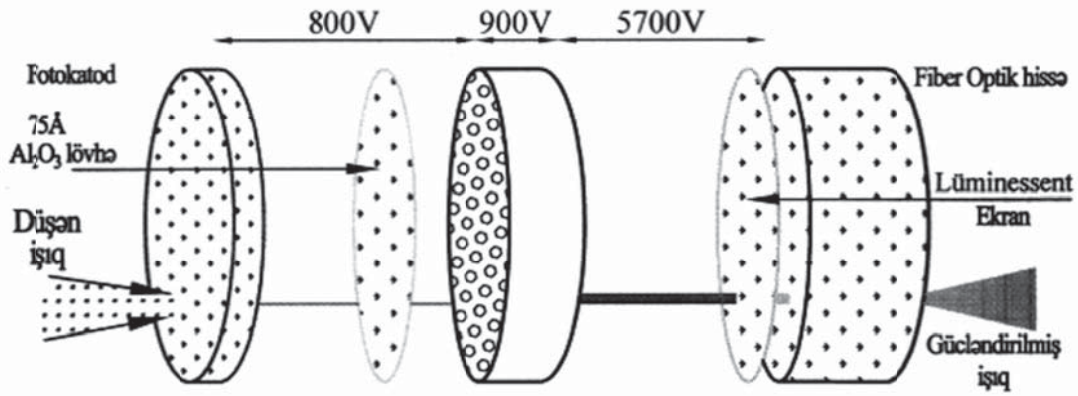
**Şəkil 2. Müasir elektron optik çeviricinin prinsipial sxemi**

Kiçik enerjili fotonlar obyektivin linzasından və giriş optik linzadan keçərək fotokatoda doğru hərəkət edirlər və nəticədə, fotokatod bu fotonların təsirinin hesabına elektronları emissiya edir. Fotokatod görünən bölgədəki işığa həssas olduğu kimi 900 nm dalğa spektrinə yaxın infra-qırmızı dalğa üçün də həssaslıq göstərir. 2ci nəsil EOÇ-də fotokatod oksigen, gümüş, sezium və Na<sub>2</sub>Ksb(Cs), 3-cü nəsil çeviricilərində fotokatod CaAs (Galsium arsenid) tərkibliidir. Fotokatodun həssaslığı onun tərkibindən asılıdır. Fotokatoddan sonra mikrokanal

lövə yerləşdirilir. Çox incə hazırlanmış şüşə üzərində milyonlarla (~ 3milyon) incə kanal yerləşdirilir. Bu şüşə multi kanallar kompazit maddədən hazırlanır və altıbucaqlı şəkildə olur.

Bu multikanallar 1000-1500 optik kanaldan ibarətdir, diametri 6 mkm və bunlar 18 mm diametrində bir kəsikdə yerləşdirilir. Multikanalın hər iki üzünü metal köçürməklə elektrik keçirmə halına gətirilir. Fotokatoddan gələn elektronlar mikrokanal lövhənin kanallarında gərginlik altında divarlarla toqquşaraq çoxalırlar. Kanalda çoxalmış elektronlar sonra lüminiscent ekranda işıqlanmaya səbəb olur. Nəticədə lüminiscent ekran çarpılan elektronları görüntüyə çevirir. Lüminiscent ekran çox kiçik  $1\mu$ -la  $15\mu$  arasında yerləşmiş lyuminofor dənəciklərindən ibarətdir. Yüksək enerjili elektronlar ekranı bombaladıqda işıqlanma verir. Sonra əlavə olaraq  $0.1\mu$  qalınlıqlı alüminium təbəqə yerləşdirilir. Bu təbəqə verilən gərginliyi nizamda saxlamaq və əks istiqamətdə optik əlaqənin qarşısını almaq üçündür.

Fotokatod, mikrokanal lövhə və fosfor ekranın birgə işləmələri üçün kontaktlar yerləşdirilir və bu kontaktlarla fotokatod ilə mikrokanal lövhə arasında 800V (3-cü nəsillə EOÇ-də) mikrokanal lövhəyə 1200V və son olaraq fosfor ekrana 5600 V ilə 7000 V arasında dəyişən gərginlik verilir. (Şəkil 3).



Şəkil 3. Elektron optik çeviricinin sxematik iş prinsipi.

Sonda aparılan işlər yüksək vakuum altında şüşə balon içərisində hermetik olaraq yığım şəklinə gətirilir. Gecəgörmə gözlüyünün görüş bucağı  $40^0$  olarkən, normalda insanın gözünün görüş bucağı  $130^0$ -dir. Gecəgörmə gözlüyü vasitəsi ilə hədəfi rəngli və ya tam aydın görmək və qərar etmək mümkündür, yəni təxmini olaraq məsafəni təyin etmək mümkündür. Yan-yana dayanmış iki cismə baxarkən, bu cisimlərdən biri digərinə nisbətən daha böyük olarsa gecəgörmə gözlüyündə böyük görünən cisim digərinə görə daha yaxında görünəcəkdir. Beləliklə zəif işıqlanmada məsafəni təxmini bilmək mümkündür.

Gecəgörmə gözlüyünə gözün (GGG) görüntüyə uyğunlaşması təqribən 30s müddətində baş verir. GGG ilə müşahidə aparılarkən görmə sahəsindəki parlaq cisimlərə uzun müddət və hərəkətsiz olaraq baxmaq olmaz, əks təqdirdə optik çeviricinin içərisində yerləşən mikrokanal lövhə zədələnə bilər, görüntü pisləşərək ekranda qara nöqtələr olacaqdır. Ay işığının olması gecəgörüş gözlüyü üçün çox önəmlidir.

Elektron optik çeviricilər hazırlanması prosesində texnoloji olaraq bir çox xətlər ola bilər. Bu xətlərin səbəbləri və aradan qaldırılması məsələlərini tədqiq etmək çox mühümdür. Aparılan elmi-tədqiqat nəticəsində istehsal prosesində yarana biləcək xətlər və onların aradan qaldırılması yolları araşdırılmış və aşağıdakı kimi formalaşdırılmışdır:

– 18 mm-lik EOÇ-lərdə çıxış bəbəyinin diametri ən azı 17,5 mm olması lazımdır. Əgər belə deyilsə, buna səbəb fotokatodun düzgün yapışdırılmaması və ya mikrokanal lövhənin, lüminiscent ekranın və çıxış optik linzanın düzgün yerləşdirilməməsi ola bilər;

– EOÇ-yə baxarkən dairənin kənarında kölgə görünə bilər. Belə xəta varsa yuvarlaq şəkildə götüntü əldə etmək olmaz. Kölgə kənardan başlayaraq içəriyə doğru hərəkət edir. Buna səbəb təmizləmə prosesinin düzgün aparılmaması ola bilər. Bu zaman EOÇ-nin doğru yerləşdirilməsinə də diqqət etmək lazımdır.

– Görüntünün kənarında qövsvari parlaq işıqlanma şəklində olan xətəyə səbəb EOÇ-nin yığılmasında kənardan balon içərisinə işıq sızmasından ola bilər.

– Bir çox hallarda ekranda görünən parlaq nöqtələr kiçik xaotik titrək hərəkətli halqa şəklində olurlar. Adətən bunun səbəbi mikrokanal lövhə üzərinə qoyulmuş nazik təbəqənin deformasiyaya uğramasından yaranır. Parlaq nöqtələr və kənar parlaq sahələr anod və mikrokanal lövhə çıxışları arasında verilmiş yüksək gərginliklə nizamlanaraq aradan qaldırıla bilər. Əgər xəta çeviricinin balonu yığılarkən ortaya çıxarsa o zaman balonun gövdəsi açılaraq, doldurulmuş silikon təmizlənərək, çıxış kontaktlara yüksək gərginlik tətbiq etməklə xətanı aradan qaldırmaq olar.

– Qara nöqtələr EOÇ-dəki kosmetik ləkələr və ya yığım prosesində linzalar arasında qalan toz ləkələridir. Belə nöqtələr izin verilən kriteriyaları aşdıqda təmizlənir.

– Bəzən lüminiscent ekran yerləşdirilərkən səhvə yol verilərsə çeviricidə qırmızı və ya narıncı rəngdə ləkə görünə bilər. Bu ləkələr də qara nöqtələrə qoyulmuş tələbata görə qiymətləndirilir.

– Bəzi hallarda çeviricidə xətlər bal pətəyinə oxşar altı bucaqlı həndəsi fiqur şəklində olur ki, bu yüksək işıqlanmada və ya çox parlaq bir işığa baxarkən ortaya çıxa bilər. Bu əslində çeviricidəki fiber optik kanalların götüntüsüdür və işıq səviyyəsi yüksək olduğu zaman bütün EOÇ-də rast gəlinən bir haldır. Bu xəta yüksək işıq səviyyəsində olursa bu da qəbul edilə bilər, əgər kiçik işıq səviyyəsində görüntü davam edərsə, o zaman mikrokanal lövhə dəyişdirilməlidir.

– Bir çox hallarda xətlər tikiş sapı formasında görüntü sahəsində ya da görüntü sahəsinin bir hissəsində nizamsız qaranlıq incə xətlər şəklində olurlar. Bu qaranlıq xətlər EOÇ-nin çıxış linzasında yerləşdirilmiş mikrokanal lövhənin bağlantı nöqtələrində işığı keçirməyən ölü kanalların olmasından irəli gəlir. Belə xətlər ölçülərinə və sayına görə tələbata uyğun olması lazımdır.

– EOÇ-nin silikonla doldurma işləri və ya qoruyucu qatın keyfiyyətsiz yapışdırılması zamanı boşluqlar içində nəm qala bilər ki, bu da balonda dislokasiyaların yaranmasına səbəb olur.

– Görüntünün pozulması halları yüksək işıq səviyyələrində və ya titrətmə, dalğalanma kimi hallarda ortaya çıxa bilər. Bu pozulma çeviricinin işlədiyi zaman boyunca dəyişməz olaraq qalır.

– Işıq halqalarının yaranmasına səbəb EOÇ-yığımında mikrokanal lövhə ilə fotokatod arasındakı məsafənin normadan artıq olması ola bilər. Bunun nəticəsində düşən işıq çeviricidə kölgələr yaradır. Bunu aradan qaldırmaq üçün EOÇ-nin paralel yerləşdirilməsi təmin edilməlidir və ya çevirici çıxarılaraq yenidən təkrar yığılmalıdır.

– Daşıma və xətalı istifadə zamanı xətti dərin cızıqlar giriş və çıxış linzalarda yarana bilər. Yaranmış xətti cızıqlar sadəcə parlatma yada cilalama yolu ilə aradan qaldıra bilər.,

– 3-cü nəsil EOÇ-də görüntünün keyfiyyətli olması üçün fotokatod və multi kanal lövhə arasında 40 A qalınlığında aliminium təbəqə yerləşdirilir ki, bunun sayəsində mikrokanal lövhədən qayıdan müsbət ionların fotokatoda qayıdışı əngəllənir.

– Əgər EOÇ işıq yayan bir hədəfə yönəldilirsə bu zaman işıq hədəfin ətrafında yayılaraq götüntünü pisləşdirər və yaxın ətrafdakı digər hədəfləri görmək mümkün olmaz. Bunun səbəbi fotokatodla mikrokanal lövhə arasındakı məsafənin artıq olmasıdır. Qüsuru aradan qaldırmaq üçün çevirici yenidən sıxılaraq yığılmalıdır. Sonda çalışmaq lazımdır ki, elektron optik çeviricinin çıxışındakı parlaqlıq hər nöqtədə eyni olsun.

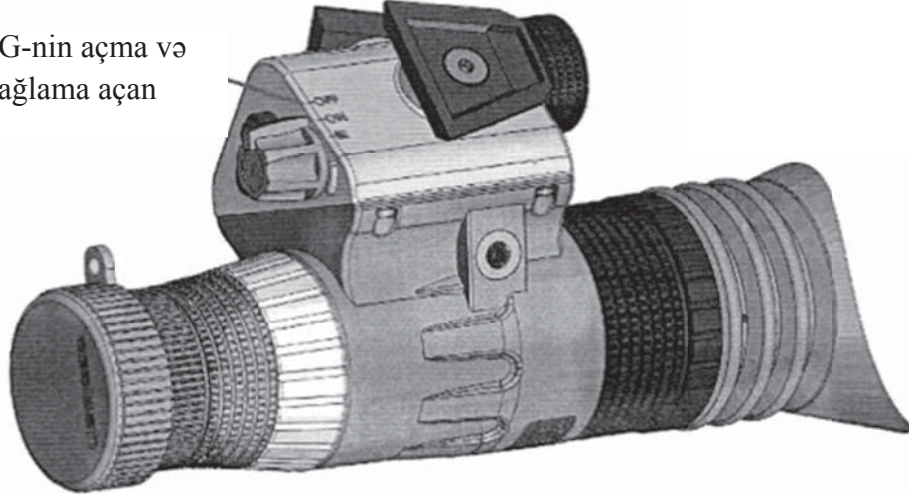
– EOÇ uzun müddət parlaq işığa (günəş işığı və ya fənər işığı) məruz qalarsa bu zaman ekranda qaranlıq ləkələr yaranar. Ancaq çevirici qısa bir müddətdə (1 dəqiqə) yüksək işığa məruz qalarsa görüntüdə belə bir qaranlıq ləkələr yaranmamalıdır. Bunun üçün 100 vt-lıq bir lampanın bir metr məsafədən verəcəyi işıq şiddətinə görə sınaq aparılır.

– Parlaq işıq zamanı qoruyucu avtomatik olaraq mikrokanal lövhənin gərginliyini azaldır və nəticədə çeviricidə qara ləkələr yaranmır. Qoruyucu olmayan çeviricilərdə uzun müddət gözlüyü parlaq işıq altında tutmaq olmaz.

Yuxarıda göstərilən xətalər bütün nəsil elektron-optik çeviricilərdə yarana bilər. Bu kimi xətalərin arada qaldırılması yolları uzun müddət aparılan elmi tədqiqat işlərinin nəticəsidir. Eyni zamanda elektron-optik çeviricilərin istehsalı prosesində araya çıxa bilən xətalardır. Son illərdə respublikamızda istehsal olunan sadə quruluşlu monokulyar gecə-görmə cihazlarında 2+ və 3-cü nəsil elektron-optik çeviricilərdən istifadə olunur. Hal-hazırda gecəgörmə cihazları respublikamızda hərbi-sənaye kompleksində öz praktik tətbiqini tapmış və istifadə olunmaqdadır.

Şəkil 4-də Monokulyar A-100 adlanan gecəgörmə gözlüyünün ümumi görünüşü verilmişdir.

GGG-nin açma və  
bağlama açan



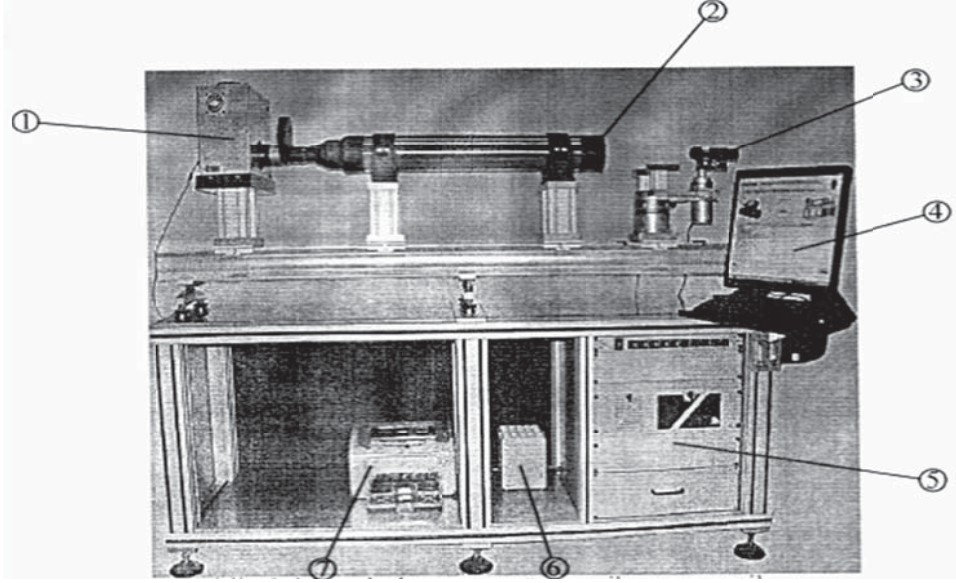
Şəkil 4. Monokulyar gecəgörmə cihazı

Monokulyar fərdi müşahidə-cihaz kimi gecə vaxtlarında üz maskasına taxılmış vəziyyətdə, dəbilqə və silah üzərində uyğun birləşmə yeri olduğu halda həmin sistemlərə etibarlı birləşdirilə bilər. Monokulyar A-100 gecə görmə cihazının texniki tələbləri və əsas parametrləri cədvəl 2-də göstərilmişdir.

Cədvəl 2

Optik göstəricilər	
1.Okulyarın minimal tənzimləmə diapozonu, dptr.	-6....+2
2.Böyütmə xassəsi, dəfə	$(1 \pm 3\%)^x$
3.Görmə sahəsi	$40^0 \pm 2^0$
4.Görmə məsafəsi	18 ± 3 sm-dən sonsuzluğa qədər
Fiziki göstəricilər	
5.Qida mənbəyi	1ədəd AA Alkalın tipli 1,5 V-luq element və ya 1,5 VDC litium elementi və ya 1,5 VDC Ni-Cd və ya 1,5 VDC xarici güc mənbəyi
6.Qida mənbəyinin gərginliyi, V	1,5 ± 3%
Konstruktiv göstəricilər	
7.Qabarit ölçüləri (gözlüksüz), mm, çox olmayaraq	122 x 72 x 86
8.Çəkisi, kq, çox olmayaraq (barayesiz)	0,35

Monokulyar optik gecəgörmə cihazının optik parametrlərinin ölçülməsi kompüter vasitəsi ilə proqramlaşdırılmış xüsusi hazırlanmış qeyri standart qurğu vasitəsi ilə aparılır. (Şəkil 5).

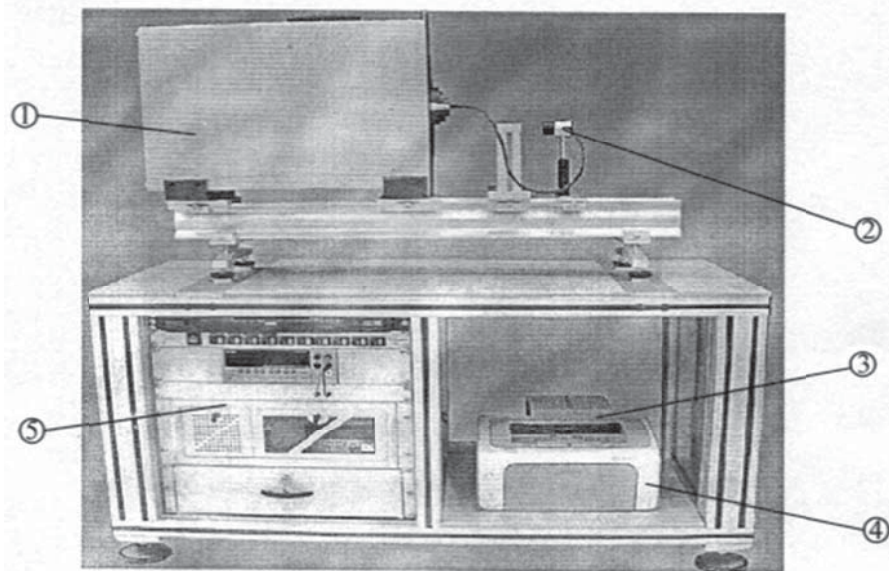


**Şəkil 5. Monokulyar gecəgörmə cihazının optik parametrlərinin ölçülməsi üçün yaradılmış qurğu**

1-ışığı mənbəyi; 2-kollimator; 3-proqramlaşdırılmış test cihazı; 4-monitor;  
5- xüsusi kompüter; 6-düzləndirici; 7-çap cihazı.

Bu qurğunun köməyi ilə gecə görmə cihazının işləmə rejiminə nəzarət, dioptriyası, yaxına və sonsuza fokuslamaya nəzarət, ayırtma qabiliyyəti, böyütməsi və görüş bucağı kimi parametrlər təyin edilə bilər.

Gecə görmə cihazlarında parlaqlıq səviyyəsinin (gücünün) təyin etmək üçün yaradılmış qurğu şəkil 6-da göstərilmişdir.



**Şəkil 6. Monokulyar gecəgörmə cihazının parlaqlıq səviyyəsini təyin edən qurğu 1-ışığı gücləndirici mənbə; 2-xarici sensor; 3-elektirik düzləndirici; 4-lazer çap cihazı; 5-xüsusi kompüter.**

Sonda alınmış nəticələr xüsusi programlaşdırılmış kompüter vasitəsi ilə qeyd olunur və çap olunaraq çıxarılır. Alınmış parametrlər qoyulmuş tələblərə uyğunluğu müqayisə olunur. İstehsal olunmuş cihazlar mexaniki və klimatik iqlim sınaqlarına qarşı test olunur (yüksək temperatur, rütubət, yağışa, zərbəyə, titrəmə, yüksəklik, suya batırma, temperatur dəyişkənliyi, toza və s. ) və sifarişçiyə təhvil verilir. Aparılmış elmi tədqiqat işlərinin nəticəsi olaraq istehsal prosesində edilmiş dəyişikliklər həm optik paamertlərin, həm də fiziki və konstruktiv göstəricilərin yaxşılaşdırılmasına səbəb olmuşdur. Əlavə olaraq gövdə və digər hissələrin poliamid materialdan təzyiç altında tökülməsi cihazı praktik olaraq istifadə üçün yüngül və bərklik nöqtəyi nəzərdən etibarlı etmişdir.

## REFERENCE

1. **Kuriel G.I., Panov V.V. i dr.** Issledovanie vlijaniya impulsnoj zasvetki na FEU. «Optiko-mexanicheskaja promyshlennost», 1972, N 10. – s. 6-8  
**Куриель Г.И., Панов В.В. и др.** Исследование влияния импульсной засветки на ФЭУ. «Оптико-механическая промышленность», 1972, N 10. – с. 6-8
2. **Iznar A.N., Pavlov A.V., Fedorov B.F.** Optiko-elektronnye pribory kosmicheskix apparatov. – M.: Mashinostroenie. 1972. – 368 s.  
**Изнар А.Н., Павлов А.В., Федоров Б.Ф.** Оптико-электронные приборы космических аппаратов. – М.: Машиностроение. 1972. – 368 с.
3. **Zajdel I.N., Kurjan kov G.I.** Elektronno-opticheskie preobrazovатели. – M.: Sov. radio, 1969.  
**Зайдель И.Н., Курянков Г.И.** Электронно-оптические преобразователи. – М.: Сов. радио, 1969.
4. **Shamanov A.A.** O raspredelenie izlucheniya v ljuminescentnyh slojah – V kn.: Elektrovaakuumnaja tehnika. – M.-L.: Energija, 1964, vyp.33. – s. 52-57  
**Шаманов А.А.** О распределение излучения в люминесцентных слоях – ВКН. Электровакуумная техника. – М.-Л.: Энергия, 1964, вып.33. – с. 52-57
5. **Kuprevich V.V., Semenov E.P.** Issledovanie katodnyh linz s umensheniem elektronno go izobrazheniya. «Optiko-mexanicheskaja. promyshlennost», №9, 1971. – s. 21-24.  
**Купревич В.В., Семенов Е.П.** Исследование катодных линз с уменьшением электронного изображения. «Оптико-механическая промышленность», №9, 1971. – с. 21-24.
6. **Sattarov D.K.** Volokonnaja optika. – M.: Mashinostroenie, 1973. – 280 s.  
**Саттаров Д.К.** Волоконная оптика. – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.
7. **Butslov M.M., Zajdel I.N.** Nekotorye voprosy stabilnosti raboty, elektronno-opticheskix preobrazovatelej. «Elektronnaja tehnika». «Elektronno-luchevaja i fotoelektroniye pribory», 1968. vyp. 5. – s. 236-245.  
**Бутслов М.М., Зайдель И.Н.** Некоторые вопросы стабильности работы, электронно-оптических преобразователей. «Электронная техника». «Электронно-лучевая и фото-электронные приборы», 1968. вып. 5. – с. 236-245.



8. **Jonson C.B., Matli C.C.**, Microchannel Plate Inter Image Intensifiers, «IEEE Trans. Eleccon Dev», 1971, v. ED-18. № 11, Z.1113-1116
9. **G.Hoist, J.H.de Boer, M.C.Teves, C.F.Veenemans.** Physical 1, 1934. p. 297.
10. **P.Gozlich.** Zeit. Phys. .N 101, 1936, p. 335.
11. **A.H. Sommer.** Rev.Sci.Instr. № 26, 1955. p.725
12. **Lukjanov S.Ju.** ZhTF, № 9. 1939. – с. 1 175  
**Лукьянов С.Ю.** ЖТФ, № 9. 1939. – с. 1 175

### УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ПРИБОРОВ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

Я.Т. ДЖАМАЛОВ, К.А. АСКЕРОВ

В статье исследованы пути усовершенствования и устранения всевозможных погрешностей в производственных процессах при сборке изделия. С помощью разработанной автоматизированной специальной программированной установки проводились основные измерения параметров изделия. В результате были изготовлены приборы ночного видения типа монокуляр А-100 из пластического материала с улучшенными параметрами для практического применения. Полученные изделия имеют некоторое превосходство по своим параметрам и свойствам по сравнению с существующими иностранными аналогами.

**Ключевые слова:** электронно-оптические преобразователи, 0,1,2,2 + и 3 поколения электронно-оптических преобразователей, фотокатод, люминесцентный экран, микроканальная пластинка, уровень яркости, шум, интегральная чувствительность, электронная эмиссия, фотон, мультиканал, фиберные оптические каналы.

### IMPROVEMENT OF PRODUCTION OF DEVICES OF NIGHT VIZION

Y.T. JAMALOV, K.A. ASGAROV

In article ways of improvement and discharge of the varios were investigated errors in production at assembly of a product. By means of the devolped the programmed technique automared special the main optical were carried out product parametrs. Devices of night vision like A-100 monocular were as a result made from plastic material the improved parametrs for practical application. Hie received products have some superiority in the parametrs and properties in comparison with existing foreign analogs.

**Key words:** electron-optical converters, photocathode, microchannel plate, brightnees level, noise, integrated sensitivity,electronic issue, photon, multichannel, fiberny optical channels.

## **NEFTÇIXARMADA SU-NEFT SİSTEMLƏRİ ƏSASINDA REOTEXNOLOJİ ÜSULLARIN YARADILMASI VƏ TƏTBİQİNİN PERSPEKTİVLİLİYİ**

Q.Q. İSMAYILOV, N.M. SƏFƏROV, Q.İ. CALALOV

Məqalədə müəlliflər tərəfindən aparılmış çoxsaylı eksperimental və nəzəri tədqiqatlar nəticəsində heterogen su-neft sistemlərinin reotexnologiyası və onun neftçixarmanın texnoloji proseslərində ixtiyari yaranan fiziki effektlərdə təzahürü əsasında yeni reotexnoloji üsulların yaradılması və tətbiqinin perspektivliliyi araşdırılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, vahid hidrodinamiki «lay-quyu-neft yığıcı» sistemində yaranan bu qarışıqların anomal xüsusiyyətlərinin tədqiqinə fərqli elmi yanaşmanın formalaşdırılması, onların reofiziki xassələrindən məqsədyönlü istifadə olunması və tənzimlənməsi əsasında yeni reotexnoloji idarəetmə üsullarının yaradılması və tətbiqi neftçixarmanın texnoloji proseslərinin səmərəliliyinin artırılması üçün geniş imkanlar açır.

**Açar sözlər:** *su-neft emulsiyaları, reofiziki xassələr, reotexnologiya, inversiya, fiziki effektlər, hidravliki yastıq effekti.*

**Məsələnin aktuallığı.** Son illər neft yataqlarının işlənilməsinin cari vəziyyəti və mövcud karbohidrogen ehtiyatlarından məqsədyönlü istifadə haqqında müasir elmi təsəvvürlər neftqazçixarmanın texnoloji proseslərinin səmərəliliyinin artırılması üçün yeni idarəetmə və tənzimləmə üsullarının yaradılması problemini ön plana keçirir. Qarşıya qoyulmuş bu məsələnin müvəffəqiyyətli həlli ilk növbədə istismar edilən neft yataqlarının işlənilməsi təcrübəsinin tədqiqini, əldə edilən elmi-praktiki nəticələrin ümumiləşdirilməsini, neftin çıxarılması, yığılması və nəqli proseslərinin təhlili üçün yeni elmi əsasların və mövcud stereotip düşüncələrə fərqli yanaşmanın formalaşdırılması əsasında yeni innovativ üsulların yaradılmasını, eləcə də təbii ehtiyatların hasilatında enerji və sərvətqoruyucu texnologiyalar mövqeyindən operativ həllərin qəbulunu tələb edir.

Məhz bu baxımdan neft-qaz sənayesində perspektiv istiqamətlərdən biri – fiziki (eləcə də sinergetik) effektlər əsasında dispers sistemlərin reoloji xassələrindən istifadə etməklə neftçixarmanın texnoloji proseslərinin səmərəliliyinin artırılmasına imkan verən reotexnologiya elmi xüsusilə seçilir. Reotexnologiya - qeyri-Nyuton xassəli heterogen sistemlərin reofiziki xüsusiyyətlərindən istifadə edilməsi və onların tənzimlənməsi əsasında neftqazçixarmanın texnoloji proseslərinin səmərəliliyinin artırılması məqsədilə yaradılan yeni üsulların məcmusudur. Bu elmi-innovativ sahə üzrə ilk tədqiqatlar keçən əsrin sonlarından başlayaraq görkəmli Azərbaycan alimi, akademik A.X. Mirzəcanzadənin rəhbərliyi ilə həyata keçirilmiş, çoxsaylı laboratoriya sınaqları nəticəsində özlü-elastik (-plastik, -dənəvər) xassəli çoxkom-

ponentli sistemlərin boru və yeraltı hidravlikasında reofiziki xassələrinin öyrənilməsi və onların neftçixarmanın texnoloji proseslərində tətbiqi imkanlarının araşdırılması işlərinə başlanılmış, heterogen sistemlərin reotexnologiyası və onun neftçixarmanın texnoloji proseslərində ixtiyari yaranan effektlərdə təzahürü əsasında yeni reotexnoloji üsulların işlənməsinin mümkünlüyü məsələləri araşdırılmışdır. Professor A.X. Mirzəcanzadənin fikrincə, reotexnologiyada (eləcə də reokinetikada) əsas tənzimləmə vasitəsi sayılan fiziki effektlərin neftçixarmanın texnoloji proseslərində gözlənilməz şəraitlərdə təzahürünün əsas səbəbi – «3Q» (qeyri-xətilik, qərarlaşmayan axın və qeyri-bircinslilik) amilidir ki, bu da bilavasitə çoxfazlı, heterogen sistemlərə xasdır [1]. Məhz bu səbəbdən, karbohidrogenlərin çıxarılması, yığılması və nəqli proseslərinin səmərəliliyinin artırılması problemlərinin həllinə imkan yaradan, enerji və resurslara qənaət tələblərinə tam cavab verən, vacib operativ həllərin qəbulunu reallaşdıran yeni reotexnoloji üsulların yaradılması və onların təcrübədə tətbiqi öz aktuallığı ilə seçilir və böyük elmi-praktiki əhəmiyyət kəsb edir.

**Giriş.** Məlumdur ki, Azərbaycanın dənizdə və quruda yerləşən bir çox neft yataqları işlənilmənin son mərhələsindədir və hasil olunan quyu məhsulu yüksək sulaşma dərəcəsi ilə xarakterizə edilir. Əksər hallarda su basqısı rejimi yataqların işlənilməsinin əsas üsullarından biri sayıldığından, ifrat dərəcədə sulaşmış neft hasilatının hələ neçə illər davam edəcəyi faktı artıq heç bir şübhə doğurmur [2]. Hasil olunan lay flüidlərinin laborator təhlili göstərir ki, neft məhsulları onu texnoloji proseslərdə daima «müşayiət edən» ünsür - su fazası ilə qarışdığı məqamlarda su-neft (dayanıqlı və ya dayanıqsız) emulsiyalarının yaranmasına doğru meyillidir. Çünki, əksər neftlərin tərkibində təbii emulqator funksiyasını yerinə yetirən asfalten, parafin, qətran, kükürd, mexaniki qarışıqlar, mineral duzlar, porfirinlər və s. kimi birləşmələr var ki, onların da faiz göstəriciləri bir-birindən nəzərəcarpacaq dərəcədə fərqlənir. Həmçinin, neftlə birlikdə çıxarılan lay sularının kimyəvi tərkibində *Cl*, *SO<sub>4</sub>*, *Na*, *Mg*, *Ca*, *HCO<sub>3</sub>*, *J* və digər elementlərin ionlarının, eləcə də onların birləşmələrinin mövcudluğu səbəbindən lay mayələrinin tərkibində yer alan bu komponentlər müəyyən şəraitdə emulsiya əmələgətirmə üsürləri kimi səciyyəvləndirilirlər [3].

Neft yataqlarının işlənməsinin müəyyən mərhələsindən başlayaraq neftin çıxarılması, yığılımı və boru kəmərləri ilə nəqli proseslərində bir-birində qarşılıqlı həll olmayan «maye-maye» tipli su və neft flüidlərinin intensiv qarışması baş verir ki, bunun da nəticəsi olaraq mürəkkəb polidispers sistemlər – su-neft emulsiyaları yaranır [4]. Aparılmış çoxsaylı tədqiqatlar əsasında müəyyən edilmişdir ki, su-neft emulsiyaları – bir-birində kiçik dispers ölçülü qlobullar şəklində səpələnmiş, qarşılıqlı həll olmayan neft və lay suyunun mexaniki qarışığıdır [5].

Emulsiyaların yaranması və onların dayanıqlılığı bir çox amillərlə, xüsusən də su-neft qarışığının hərəkət sürəti, onun təşkiledici üsürlərinin fazalar nisbəti, neftin fiziki-kimyəvi xassələri, emulqatorların hidrofilyl-lipofil balansı (HLB) və temperatur rejimi ilə xarakterizə edilir [6]. Yüksək disperslilik dərəcəsi ilə xarakterizə edilən su-neft emulsiyaları əsasən stabil (müvazinətləşmiş) sistemlərdir. Su-neft emulsiyalarının dispers hissəciklərinin ölçülərinə uyğun olaraq, makroemulsiyalar (dispers hissəciklərinin ölçüləri  $d=0,1-50$  mikron intervalında dəyişən) kinetiki və mikroemulsiyalar ( $d=0,02-0,1$  mikron həddində olan) isə termodinamiki baxımdan stabilləşmiş sistemlər kimi təsnifatlandırılır [7].

Emulsiyaları səciyyələndirdikdə onların dayanıqlılığı amilini də nəzərdən qaçıрмаq olmaz. İndiyədək su-neft emulsiyaları üçün trivial olaraq qəbul edilmiş termodinamiki (qlöbul-ların flokulyasiyası və koalesensiyası proseslərinə istinad edən) və kinetiki (sedimentasiya prosesinə və Stoks qanununa əsaslanan) dayanıqsızlıq tiplərindən başqa, bəzi hallarda səhvən inversiya (faza çevrilməsi) hadisəsi də emulsiyanın daha bir dayanıqsızlıq amili kimi qələmə verilir. Lakin bu hələ də çoxsaylı polemika və cavabı araşdırılan bir çox suallar doğurduğundan elmdə mübahisəli bir mövqe tutur və «faza inversiyası və onun mütləqliyi» aksiomunun gələcəkdə yeni rəkursdan baxılması məsələsini qarşıya məqsəd kimi qoyur.

Bir çox tədqiqatlara istinadən, su-neft emulsiyalarının müxtəlif mənbələrdə - fontan quyularının kolonlarında, dərinlik dalma və mərkəzdənqaçma nasoslarının klapanlarında, nasos-kompresor qaldırıcı (NKB) borularında (ştanqların çoxsaylı «irəli-geri» hərəkəti zamanı), kompresor quyularının lüləsində (sıxılmış havanın və ya qazın disperqasiyası sayəsində), quyuağzı avadanlığın armaturlarında, ştuserlərdə (quyu məhsulunun su ilə intensiv qarışması nəticəsində), texnoloji boru kəmərlərində, seperatorlarda, məhsuldar layın açılması prosesində (neftin yuyucu maye ilə qarışması səbəbindən) əmələ gəlməsi mümkündür [8].

Lay suyunun tərkibində həll olan duz ionlarının qazma filtratının tərkibində olan duz ionları ilə qarşılıqlı kimyəvi reaksiyaya girərək, kollektorun məsaməli mühitində həll olmayan çöküntülər əmələ gətirməsi faktı da elmi cəhətdən cəlbədidir. Məhz bu çöküntülərin lay məsamələrinin kanallarını daraltması səbəbindən təzahür edən «ştuserləyici» effekt nəticəsində lay suyu ilə neftin disperqasiyası prosesinin sürətlənməsilə emulsiya yaranma ehtimalını artırmış olur. Həmçinin, layın quyudibi zonasında termodinamiki şəraitin (təzyiqin sabit saxlanması məqsədilə laya soyuq su vurulması nəticəsində lay temperaturunun kəskin azalması və s.) dəyişməsi də neftin tərkibində olan təbii «qara emulqatorların» (asfalten, parafin, qətran, mineral duzlar, kvarts hissəciklər, naften turşuları, qumatlar və s.) təsir dairəsini dəfələrlə artırır.

Reoloji və fiziki-kimyəvi xassələrinə görə anomal xüsusiyyətlərə malik qeyri-Nyuton mayələrinə aid edilən polidispers su-neft sistemlərinin yaranması neftin hasilatı, yığılımı və nəqli prosesləri qarşısında tezliklə həllinin tapılması tələb olunan bir sıra aktual problemlər qoyur. Çünki, neft yataqlarının ifrat sulaşma templəri sayəsində su-neft emulsiyalarının yaranması amili neftin çıxarılması, yığılması, hazırlanması və nəqli proseslərində ciddi mürəkkəbləşmələrə - intensiv çökmə proseslərinə, neftin donma temperaturunun artmasına, su-neft qarışığının özlülük və sıxlıq göstəricilərinin anomal yüksəlişinə səbəb olmaqla bərabər, neftçıxarmanın texnoloji proseslərində əlavə çətinliklər (nasos-kompresor borularında və nəql sistemində təzyiq döyüntüləri (pulsasiyalar), ballast rolunu oynayan əlavə su həcmının borularla nəql edilməsinə izafi sərf edilən enerji xərclərinin artması, avadanlığın mexaniki və kimyəvi aşınmalar nəticəsində vaxtından əvvəl sıradan çıxması və s.) yaradır [9].

Belə mürəkkəb şəraitdə hasil olunan sulaşmış neftlər, bir qayda olaraq, özünün fiziki-kimyəvi xassələrinə görə reoloji mürəkkəb mayələrə aid olub, anomal xüsusiyyətlərə malikdirlər ki, bu da öz əksini yataqların istismarı və quyu məhsulunun mədəndaxili texnoloji boru kəmərləri ilə nəqli proseslərində tapır [10].

**Tədqiqatların məqsədi və metodiki əsası.** Yuxarıda qeyd edilənləri nəzərə almaqla, müəlliflər tərəfindən aparılmış fenomenoloji (təcrübi) və konseptual (nəzəri) tədqiqatların əsas

məqsədi - neftçixarmanın texnoloji proseslərinin səmərəliliyinin artırılması üçün reotexnologiya elmi əsasında enerji və təbii resurslara qənaət baxımından yeni innovativ üsullarının yaradılması və tətbiqi perspektivlərinin araşdırılmasıdır. Su-neft dispers sistemlərində (tərkib hissəsinin çoxkomponentliliyi, heterogenliyi, çoxfazlılığı, kolloid-dispers birləşmələrinin mövcudluğunu, faza və komponentlər arasındakı təsirin mexanizminin mürəkkəbliyini nəzərə alaraq, məqalədə tədqiqat obyektini kimi seçilmiş su-neft emulsiyalarını da qətiyyətlə mürəkkəb dispers sistemlərə aid etmək olar) müəyyən şəraitdə təzahür edən bu cür fərqli mikro- və makroeffektlər əsasında neftçixarmada mövcud problemlər üçün yeni texniki və texnoloji həllərin yaradılması isə yerinə yetirilmiş tədqiqatların metodik əsasını təşkil edir.

**Ümumi hissə.** Hal-hazırda su-neft emulsiyalarının yaranması, onların fiziki-kimyəvi və reoloji xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi məsələlərinə çoxsaylı tədqiqat işlərinin həsr olunmasına baxmayaraq, vahid hidrodinamiki «lay-quyu-neft yığılı» sistemində, eləcə də texnoloji boru kəmərlərində anomal xassəli emulsiyaların yaranması ilə əlaqədar problem məsələlərin bir çoxu hələ də öz həllini tapmamışdır.

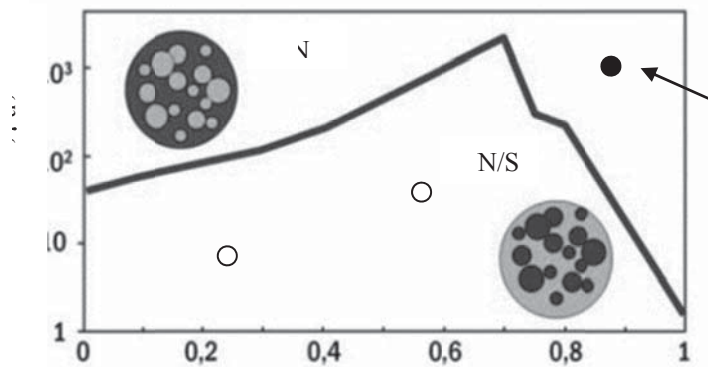
Aparılmış çoxsaylı tədqiqatlar göstərir ki, su-neft sistemlərində baş verən proseslər «maye-maye» tipli ikifazlı və ya «maye-bərk cisim-maye», eləcə də «maye-qaz-maye» tipli çoxfazlı mühitlərin faza ayrılması sərhədində mövcud olan bir sıra kapillyar və səthi-molekulyar təzahürlər çox vaxt müxtəlif paradoksal fiziki effektlərin meydana çıxması ilə səciyyəvidir ki, bunların da əsasında neftqazçixarmada və karbohidrogenlərin boru kəməri ilə nəqli proseslərində müvəffəqiyyətlə tətbiq edilə və səmərəliliyini artırmaqla yeni enerji və sərvətqoruyucu texnologiyaların yaradılması imkanları durur.

Müxtəlif fiziki-kimyəvi üsulların tətbiqi ilə bir-birindən köklü dərəcədə fərqli, qeyri-ənənəvi texnologiyaların yaradılması üçün əsas amil - neftçixarmanın müxtəlif texnoloji proseslərində təzahür edən fiziki və ya sinergetik effektlər təşkil edir ki, bunlardan da məqsədyönlü istifadə edilməsi səmərəli nəticələrin əldə edilməsinə doğru yollar açır. Məsələn, köpük sistemlərinin və mikroemulsiyaların tətbiqi zamanı sistemin psevdoözlülüyünün, onu təşkil edən komponentlərin özlülüyündən dəfələrlə yüksək olması tez-tez müşahidə edilən bir haldır. Lakin, qeyd olunan hal spesifik xüsusiyyətləri ilə də seçilir. Məsələn, mühitlərdə dayanıqlı köpük sistemlərinin axını prosesində bu effekt bəzən daha qabarıq sezilir, bəzi hallarda isə heç təzahür etməyə də bilər [11]. «Maye-maye» tipli dispers sistemlərdə isə belə halların yaranması daha fərqli xarakter daşıyır və onları müşahidə etmək üçün xətti (kapillyar, çatvari, məsaməli və s.) və radial lay modellərində yaranan fiziki və ya sinergetik effektlərin təkcə ənənəvi - viskozimetrik ölçmələr vasitəsilə tədqiqi kifayət etmir və çox vaxt həmin proseslərin vizuallaşdırılması da tələb olunur. Tədqiq edilən dispers sistemlərin relaksasiya xassələrinin diaqnostikası və onların təzahürü əsasında texnoloji proseslərin səmərəliliyinin artırılması üçün bu effektlərdən düzgün istifadə etməklə yeni reotexnoloji üsulların işlənməsi mümkündür və vacibdir.

**Tədqiqatların nəticələri və onların müzakirəsi.** Mövcud texniki ədəbiyyatın təhlili göstərir ki, bir çox müəlliflər bu və ya digər texnoloji proseslər zamanı yaranan su-neft emulsiyalarının qeyri-adi davranışını təcrübədən alınmış nəticələrin ekstrapolyasiyası ilə əsaslandırmağa cəhd edirlər. Məqalədə yalnız bir misal nümunəsində - su-neft emulsiyalarında

reallaşan inversiya hadisəsinin başvermə səbəbinin reotexnologiya baxımından - «hidravliki yastıq» effektinin təzahürü əsasında konkret izahı öz əksini tapmışdır.

Son zamanlar elmdə su-neft emulsiyalarının növləri və onlar arasında faza çevrilmələri ilə bağlı elmi mühakimələr indi heç də birmənalı qarşılanmır. Tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, emulsiya tipinin dəyişməsi haqda mülahizələrə artıq yeni rəkursdan baxılması vaxtı çatmışdır. Adətən mədən şəraitində (həmçinin laboratoriya tədqiqatlarında da) faza çevrilməsi prosesinin təsdiqi, başqa sözlə desək, inversiya nöqtəsinin təcrübi təyini məsələsi ənənəvi ssenari əsasında - emulsiyanın effektiv özlülüyünün sulaşma dərəcəsi ilə asılılığı əyrilərindən istifadə etməklə reallaşdırılır. Bu zaman belə ehtimal edilir ki, emulsiyanın özlülüyünün maksimum qiymətə - yəni böhran sulaşma həddinə çatdıqdan sonra kəskin eniş nöqtəsi - inversiya nöqtəsidir (şəkl.1).



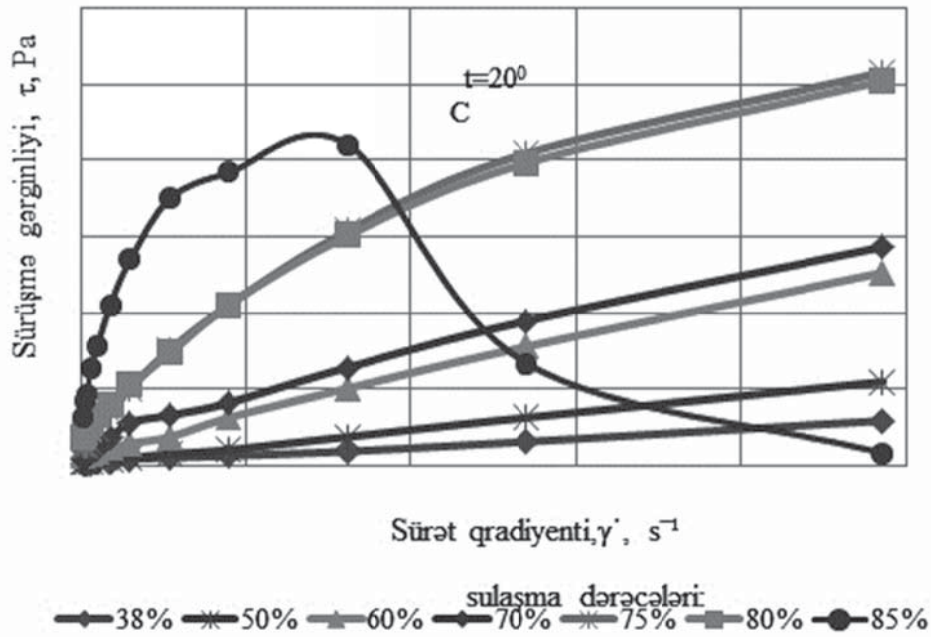
Şəkl.1. Emulsiya tipinin dəyişməsinin ənənəvi ssenarisi

Laboratoriya şəraitində su-neft emulsiyalarının reoloji xassələrinin kompleks şəkildə öyrənilməsi məqsədilə «Muradxanlı» yatağının 17 saylı quyusunun neft məhsulu əsasında süni hazırlanmış su-neft qarışıqlarının  $t=20^{\circ}\text{C}$ -də «Reotest-2» tipli rotasion viskozimetrdə təyin edilmiş göstəricilərinə (sürət qradiyentləri və sürüşmə gərginliklərinə) istinadən qurulmuş  $\tau=f(\dot{\gamma})^n$  axma əyriləri şəkil 2-də verilmişdir.

Rotoviskozimetrik sınaqlardan əldə edilmiş nəticələrin hərtərəfli təhlili nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, tədqiq olunan su-neft emulsiyalarında sulaşma dərəcəsinin artımı onların reoloji xassələrinə nəzərəcarpacaq dərəcədə təsir edir. Şəkil 2-dən görüldüyü kimi, mexaniki qarışdırma və hesabi həcmdə su qatma üsulu ilə süni hazırlanmış su-neft qarışığının sulaşma dərəcəsinin müvafiq yüksəlişinə uyğun olaraq özlülüyün də proporsional artımı aydın sezilir. Lakin sulaşma dərəcəsinin müəyyən həddində - 85 % sulaşma həddi ətrafında özlülüyün kəskin azalması diqqətdən yayınmır.

Temperatur amilinin bu «eniş» faktına təsirini istisna etmək məqsədilə tədqiqatlar müxtəlif temperaturalarda - 20, 40 və  $60^{\circ}\text{C}$ -də aparılmış və analoji nəticələr alınmışdır. Müəlliflərin fikrincə, bu hadisənin faza inversiyası (katastrofik və ya keçid növündən asılı olmayaraq) ilə əlaqələndirməsi heç də düzgün sayıla bilməz. Çünki, emulsiya tipinin təyini

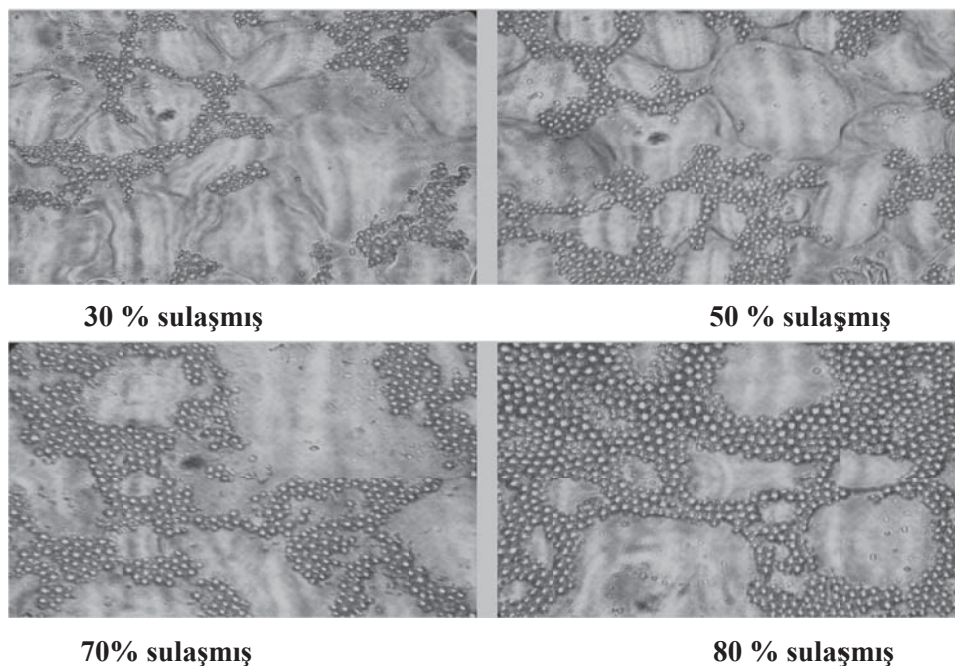
üçün emulsiya elmində geniş istifadə edilən «Fazaların qarışdırılması» üsulunun tədqiq edilən sistemə tətbiqi baxılan sulaşma dərəcəsinə ( $\beta = 85\%$ ) malik su-neft qarışığında faza çevrilməsi hadisəsinin baş vermədiyini isbat edir. Bu paradoksal hadisənin həllinin reotexnologiya baxımından izahının, su-neft sistemlərində su qlobullarının flökulyasiyası və koalesensiyası proseslərinin reallaşması səbəbindən su ilə «doymuş» emulsiyadan təbəqələşərək, ayrılan «qalıq» sudan ibarət divarətrafi təbəqənin yaranması ilə əlaqələndirilən «divarətrafi sürüşmə» (bunu ədəbiyyatda çox zaman «hidravliki yastıq» effekti də adlandırılır) effektinin təzahüründə axtarılması daha məqsədəuyğundur [12].



Şək.2. «Muradxanlı» yatağının 17 sayılı quyusunun neft məhsulu əsasında süni hazırlanmış su-neft emulsiyalarının  $t=20^{\circ}\text{C}$ -də rotoviskozimetrik ayrılırları

Məhz göstərilən fiziki-kimyəvi proseslər nəticəsində yaranan iri su qlobulları «zəncirvari» və makroskopik «lentlər» şəklində birləşərək, reotest silindrinin ortasına doğru miqrasiya edir və bununla da şpindelin fırlanma hərəkətinə əks yönəlmiş hidravliki müqaviməti azaldır. Başqa sözlə desək, axın istiqaməti boyunca yönəlmiş, iri damlalardan və onların aqreqativ birləşmələrindən yaranan «zəncirlər»-dən formalaşmış makroskopik araqatılar (laycıqlar) qrupu meydana çıxır (şək.3).

Qeyd edilən effektin təzahürü sayəsində reotest «şpindel-silindr» cütliyündə kiçik dispers ölçülü su qlobulları ilə artıq «doymuş» emulsiyada nisbətən daha yüksək özlü qatı olan iri qlobullarının yaratdığı təbəqələrin bir-birinə nəzərən «sürüşməsi» baş verir və özlülüyün zahirən azalması illüziyası yaradır. Bu zaman reotest silindrinin daxili səthi boyunca üzükvari maye halqası - «hidravliki yastıq» yaranır ki, su-neft emulsiyasının bu «yastıq» üzərində (halqa daxilində) rəvan «fırlanması» sayəsində sürtünmədən yaranan hidravliki itkilər xeyli azalır.



**Şək.3. Müxtəlif sulaşma dərəcələrində su-neft emulsiyalarının daxili strukturunda su qlobullarının flokulyasiyası və koalesensiyası prosesi nəticəsində makroskopik «zəncirlərin» yaranması (mikroskopun böyütmə dərəcəsi – Z=60 dəfə olmuşdur)**

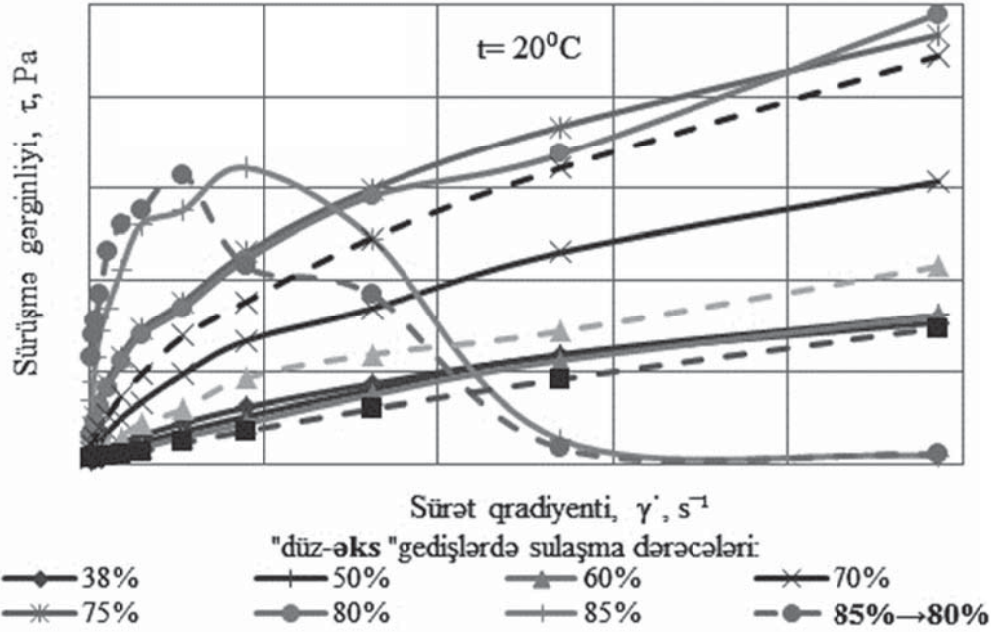
Doğrudur, su-neft emulsiyasının effektiv özlülüyünün azalması faktı heç də mütləq olaraq polidispers sistemin özlülüyünün həqiqi göstəricisini əks etdirməsə də, son nəticə kimi böyük praktiki maraq doğuranı - emulsiyanın effektiv özlülüyünün mütləq qiyməti deyil, sınaqların keçirildiyi şəraitə uyğunlaşdırılmış və tədqiq edilən heterogen sistemlərdə mövcud olan müəyyən sürtünmə itkilərini xarakterizə edən su-neft qarışığının özlülüyünün real qiymət göstəricisidir ki, bu da öz əksini «hidravliki yastıq» effektinin təzahüründə tapmış olur.

Ədəbiyyatdan məlumdur ki, su- neft qarışıqlarında emulsiya tipinin dəyişməsi ilə nəticələnən faza inversiyası - geri dönməyən, qeyri-reversiv bir prosesdir. Çünki, bu zaman emulsiyanın daxili strukturunda nəzərəcarpacaq dəyişikliklərin baş verməsi iddia edilir [7]. Reotexnologiyanın tətbiqi ilə emulsiyanın reoloji xassələrinin tənzimlənməsi və idarə edilməsi imkanları isə bir çox ehtimalların meydana çıxmasına zəmin yaradır. Yuxarıda qeyd olunanları təcrübi yolla sübuta yetirmək, eləcə də reotexnoloji üsulların tətbiqilə texnoloji proseslərin tənzimlənməsi imkanlarını bir daha əyani nümayiş etdirmək məqsədilə, «düz-əks gediş» üsulunun tətbiqilə, düz gedişdə - əvvəlcə ilkin sulaşma dərəcəsinə malik qarışığa hesabi həcmdə su qatmaqla maksimal sulaşma dərəcəsinə çatdırılmış və artıq su ilə «doymuş» su-neft emulsiyalarına sonradan- yəni əks gedişdə müəyyən hesabi neft həcmi əlavə etməklə onların sulaşma dərəcələrinin əvvəlki qiymətlərinə təqribən qaytarılması – yəni tənzimlənməsi imkanların və mövcud reoloji parametrlərin dəyişməsi dinamikasının öyrənilməsi üçün model emulsiyalarla əlavə laboratoriya tədqiqatları aparılmışdır.

Tədqiqatlar zamanı, su-neft emulsiyaları üçün «düz» və «əks» gedişlərdə alınmış rotoviskozimetrik göstəricilər əsasında reoloji axma əyriləri qurulmuş və bir-birilə qarşılıqlı



müqayisə edilmişdir. Fərqləndirmə məqsədilə «düz gediş»-ə uyğun gələn əyrilər bütöv xətlə, «əks gediş»-i əks etdirən əyrilər isə punktir xətlərlə göstərilmişdir (şək.4).

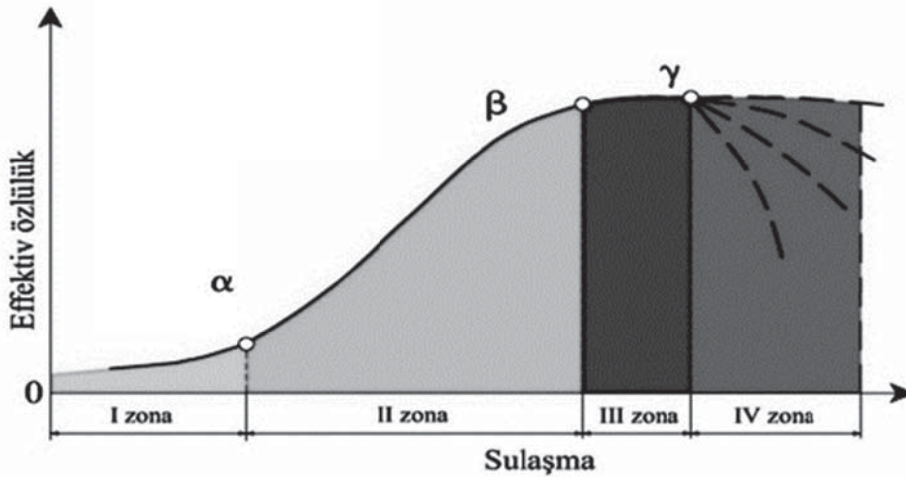


**Şək.4.** «Muradxanlı» yatağının 17 sayılı quyusunun yüksək özlülüklü nefti əsasında süni hazırlanmış su-neft emulsiyasında tənzimlənmə prosesinin təbiiqi nəticələri

Aparılmış laboratoriya tədqiqatlarının nəticələri bunu söyləməyə əsas verir ki, su-neft emulsiyasının zahiri özlülüynün interpretasiyası ilə təyin edilən «inversiya» nöqtəsinin heç də həmişə emulsiya tipinin dəyişməsi ilə izah edilməsi düzgün deyil. Çox böyük ehtimal ki, o, neftdə dispers halda paylanmış su qlobullarının maksimal doyma həddini - yəni dispersliliyi xarakterizə edir. Disperslilik - emulsiyanın xassələrini müəyyən edən mühüm xüsusiyyətlərdən biridir və onun təyini metodikaları müxtəlifdir. Emulsiyanın disperslik göstəricisi aşağıdakı kəmiyyətlərlə: qlobulların orta diametri  $d$ , su qlobullarının diametrinin əks qiymətinə bərabər olan  $D = 1/d$  disperslilik və su qlobullarının cəm səthinin ümumi həcmə nisbətində bərabər olan fazalararası səth göstəricisi  $S$  ilə xarakterizə edilir [13].

Su-neft qarışıqları ilə aparılmış laboratoriya tədqiqatlarının nəticələri əsasında onların effektiv özlülüynün sulaşma dərəcələrindən asılılığını əks etdirən, müəllif tərəfindən təklif edilmiş yeni logistik əyri şəkil 5-də verilmişdir.

Şəkildən göstərilirdiyi kimi, əyrinin  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  nöqtələrini əhatə edən hissəsinin həndəsi forması, prosesin "S" - şəkilli xüsusiyyətini bir daha təsdiqləyir ki, bu da əsasən qeyri-Nyuton mayelərinə xasdır. Əyrinin  $\alpha$  nöqtəsindən başlayaraq, su-neft qarışığının sulaşma dərəcəsinin artımı baxılan sistemin effektiv özlülüynün yüksəlişinə səbəb olur.  $\beta$  nöqtəsində bu artım tempi get-gedə yavaşlayır və  $\gamma$  nöqtəsində effektiv özlülük göstəricisinin qərarlaşması müşahidə edilir. Lakin, logistik əyrinin  $\gamma$  nöqtəsində effektiv özlülüynün azalma tendensiyası diqqəti cəlb etməyə bilməz ki, bu paradoksalığın izahını «hidravliki yastıq» effektinin təzahüründə axtarmaq daha məqsədəuyğundur.



Şək. 5 Neftdə disperqləşmiş su həcmi səciyyələndirən logistik əyrinin şərti zonalara bölünməsi

Yuxarıda deyilənləri nəzərə alaraq, su-neft emulsiyaları üçün qurulmuş xarakterik əyri reotexnologiya aspektindən aşağıda qeyd edilən 4 şərti zonaya bölünmüşdür :

- I – başlanğıc (və ya su ilə əlavə doydurula bilən) zona ;
- II - reotexnologiya ( tənzimlənmə və ya özünü təşkil) zonası ;
- III – plato (su ilə doymuş, disperqləşmiş) zona ;
- IV – «hidravliki yastıq» effekti zonası.

Deməli, heterogen su-neft sistemləri üçün müəyyən səciyyəvi sahə mövcuddur ki, burada onlar zahirən kiçik özlülüyə, həmçinin aydın sezilən qeyri-xətti xassələrə malikdirlər və bu da tədqiq edilən mayələrin reoloji xassələrinin tənzimlənməsi imkanları verir. Məhz bu zonada çoxfazlı mürəkkəb flüidlərin reoloji xassələrinin tənzimlənməsinə əsaslanan reotexnoloji üsulların tətbiqi ilə heterogen sistemlərə, ünvanlı təsir edilməsi nəticəsində onlardan tələb olunan sahələrdə məqsədyönlü istifadə etmək mümkündür.

Yuxarıda qeyd edilən «hidravliki yastıq» effekti əsasında yüksək özlüklü, anomal sulaşmış neftlərin, onların qarışıqlarının, eləcə də anbar və «tələ» neftlərinin və neft şlamlarının boru kəmərilə səmərəli hidronəqli üsulu təklif edilmiş və Azərbaycan Respublikasının Patentini almışdır [14]. Yeni reotexnoloji üsul «Muradxanlı» yatağının «Cəfərli» sahəsinin neft yığımlı sisteminin iş rejiminin yaxşılaşdırılması məqsədilə tətbiq edilmişdir. Yeni texnologiyanın mədən şəraitində tətbiqi hesabına yığım sistemində mövcud təzyiqli itkisi  $\Delta P_{\text{əvvəl}} = 1,0$  MPa-dan  $\Delta P_{\text{sonra}} = 0,4$  MPa-ya qədər enmiş, nəqlin səmərəliliyi 17,4 % artmışdır. Gözlənilən illik iqtisadi səmərə 260 min AZN təşkil etmişdir.

Anomal sulaşmış su-neft sistemlərinin mədəndaxili boru kəmərləri ilə səmərəli hidronəqli üçün təklif edilən yeni reotexnologiya həm mövcud olan texnoloji (təzyiqli itkilərinin xeyli azaldılması), həm də ekoloji (emulsiyaları su ilə doyma həddinə çatdırılması məqsədilə əlavə edilən su qismində istifadə edilən lay sularının utilizasiyası) problemlərin həllini asanlaşdırmağa imkan verildiyindən, səmərəli hesab edilə bilər. Perspektivdə, bir sıra hidrodinamik məsələlərin həlli üçün - məsələn, üçkomponentli (neft-su-qaz) heterogen sistemlərin qeyri-bircins layda qalıq neftinin sıxışdırılması məqsədilə yeni reotexnoloji üsulların işlənilməsi və tətbiqi planlaşdırıldığından, baxılan istiqamətdə tədqiqat işlərinin daha geniş miqyasda davam etdirilməsi nəzərdə tutulmuşdur.

**Nəticə.** Aparılmış tədqiqatlar aşağıdakı nəticələrin əldə edilməsinə səbəb olmuşdur:

Konsistensiyası «maye-bərk cisim-qaz» geniş diapazonunda dəyişən su-neft qarışıqlarının yaranmasına və onların anomal xüsusiyyətlərinin tədqiqinə fərqli elmi yanaşmanın formalaşdırılması əsasında «lay-quyu-neft yığıcı» sistemində yaranan bu heterogen qarışıqların fərqli reofiziki xassələri nəzərə alınmaqla yeni reotexnoloji (özünü-təşkil) Üsulların yaradılması və neftçixarmanın texnoloji proseslərinin səmərəliliyinin artırılması mümkünlüyü göstərilmişdir.

Su-neft sistemlərinin reoloji xassələrinin və cərəyan edən dinamik proseslərin təhlili istiqamətində indiyədək aparılmış tədqiqatların ümumiləşdirilmiş nəticələri əsasında yaradılan yeni reotexnoloji üsullar polidispers su-neft sistemlərinin mikro- və makro parametrlərinin fiziki effektlər əsasında tənzimlənməsinə və struktur idarəetmə prinsiplərinin işlənilib hazırlanmasına geniş imkanlar açır.

## REFERENCE

1. **Mirzadzhanzade A.H., Hasanov M.M., Bahtizin R.N.** Modelirovanie processov nefte-dobychi (nelinejnost, neravnomernost, neopredelennost). Moskva-Izhevsk, Institut kompjuternyh issledovaniy, 2004. - 368 s.  
**Мирзаджанзаде А.Х., Хасанов М.М., Бахтизин Р.Н.** Моделирование процессов нефтедобычи (нелинейность, неравномерность, неопределенность). Москва-Ижевск, Институт компьютерных исследований, 2004. - 368 с.
2. **Ismajlov G.G., Safarov N.M., Gasanov H.I.** O perspektivah i celesooraznosti primenenija tehnologij gidrotransporta v Azerbajdzhane // Materialy IV Mezhdunarodnogo tehniçeskogo simpoziuma «Truboprovodnyj transport-2011», Moskva, 21-22 aprelja, 2011. - s.21-26.  
**Исмайлов Г.Г., Сафаров Н.М., Гасанов Х.И.** О перспективах и целесообразности применения технологий гидротранспорта в Азербайджане // Материалы IV Международного технического симпозиума «Трубопроводный транспорт-2011», Москва, 21-22 апреля, 2011. - с.21-26.
3. **Abbasov Z.Ja.** Issledovanie mehanizma obrazovaniya vodoneftjanyh emulsij i ih fiziceskih svojstv. Avtoref. diss. na uch.step. kand. teh. nauk, Baku, 1973. - 25 s.  
**Аббасов З.Я.** Исследование механизма образования водонефтяных эмульсий и их физических свойств. Автореф. дисс. на уч. степ. канд. тех. наук, Баку, 1973. - 25 с.
4. **Sjunjaev Z.I., Safieva R.Z., Sjunjaev R.Z.** Neftjanye dispersnye sistemy, Moskva: «Himija», 1998. - 448 s.  
**Сюняев З.И., Сафиева Р.З., Сюняев Р.З.** Нефтяные дисперсные системы, Москва: «Химия», 1998. - 448 с.
5. **Chekaluk Ee.B., Filas Ju.A.** Vodoneftjanye rastvory, Kiev, 1977. - 240 s.  
**Чекалюк Э.Б., Филяс Ю.А.** Водонефтяные растворы, Киев, 1977. - 240 с.
6. **Uilkinson U.L.** Nenjutonovskie zhidkosti , M.: «Mir» , 1964. - 216 s.  
**Уилькинсон У.Л.** Неньютоновские жидкости , М.:«Мир» , 1964. - 216 с.
7. **Alwadani M.S.** Characterization and Rheology of Water-in-Oil , 2009. Emulsion from Deep Water Fields. Master thesis, Rice University, Houston,121p.
8. **Tadros T.F.** Fundamental principles of emulsion rheology and their applications. Colloids Surfuctants J., A 91, 1994. Pp.39-55.
9. **Ismajlov G.G., Safarov N.M., Kelova I.N.** O novom podhode k strukturno-reologicheskim svojstvam vodoneftjanyh jemulsij. // Vestnik Azerbajdzhanskoj inženernoj akademii, tom 2, Baku, 2011. - s.71-82.  
**Исмайлов Г.Г., Сафаров Н.М., Келова И.Н.** О новом подходе к структурно-реологическим свойствам водонефтяных эмульсий. // Вестник Азербайджанской инженерной академии, том 2, Баку, 2011. - с.71-82.

10. **Ismail-zade D.I., Abbasov Z.Ja., Volodchenko A.P. i dr.** Vlijanie uslovij obrazovanija emulsii na ee vjazkost. Azerbajdzhanskoe Neftjanoe Hozjajstvo, № 5, 1971. - с.30-32.  
**Исмаил-заде Д.И., Аббасов З.Я., Володченко А.П. и др.** Влияние условий образования эмульсии на ее вязкость. Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, № 5, 1971. с.30-32.
11. **Unger F.G., Andreeva L.I., Kim O.P.** Priroda dispercij v nefrepodobnyh sistemah. Sibirskij him. zhurnal, №1, 1992, s. 38-42  
**Унгер Ф.Г., Андреева Л.И., Ким О.П.** Природа дисперсий в нефтеподобных системах. Сибирский хим.журнал, №1, 1992. - с. 38-42.
12. **Ismajylov G.G., Safarov N.M.,** Reotehnologija geterogennyh sistem i ee otrazhenie v effektah, pojavljaemyh pri neftegazodobyche. // Izvestija NANA (Serija nauk o Zemle), 2011. № 4, s.49-55.  
**Исмайылов Г.Г., Сафаров Н.М.** Реотехнология гетерогенных систем и ее отражение в эффектах, проявляемых при нефтегазодобыче // Известия НАНА (Серия наук о Земле), 2011. № 4, с.49-55.
13. **Abbasov Z.J.** K metodike opredelenija dispersnosti vodoneftjanyh emulsij. Izvestija AN Azerb. SSR (Serija nauk o Zemle), 1979. №1, s.56-61.  
**Аббасов З.Я.** К методике определения дисперсности водонефтяных эмульсий. Известия АН Азерб. ССР (Серия наук о Земле), 1979, №1. с.56-61.
14. **İsmayılov F.S., İsmayılov Q.Q., Səfərov N.M. və b.** Yüksək özlülüklü neftlərin boru kəməri ilə nəqli üsulu . İ 20140032 sayılı Azərbaycan Respublikasının Patenti, Bakı. 2014.

#### **О ПЕРСПЕКТИВНОСТИ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ РЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В НЕФТЕДОБЫЧЕ НА ОСНОВЕ ВОДОНЕФТЯНЫХ СИСТЕМ**

Г.Г. ИСМАЙЫЛОВ, Н.М. САФАРОВ, Г.И. ДЖАЛАЛОВ

В результате проведенных экспериментальных и научных исследований авторами изучены перспективы создания и применения новых реотехнологических методов на основе физических эффектов, произвольно проявляющихся в технологических процессах нефтедобычи и реотехнологии гетерогенных водонефтяных систем. Установлено, что создание и внедрение новых реотехнологических методов управления на основе формирования отличительного научного подхода к аномальным особенностям, целенаправленного использования и регулирования реофизических свойств смесей, образующихся в единой гидродинамической системе «пласт-скважина-сбор», открывает широкие возможности для увеличения эффективности технологических процессов нефтедобычи.

**Ключевые слова:** водонефтяные эмульсии, реофизические свойства, реотехнология, инверсия, физические эффекты, гидрородоподшипниковый эффект.

#### **PROSPECTS OF CREATING AND APPLYING THE RHEOTECHNOLOGICAL METHODS IN OIL PRODUCTION ON THE BASIS OF WATER-OIL SYSTEMS**

G.G. ISMAYILOV, N.M. SAFAROV, G.I. JALALOV

As a result of numerous experimental and scientific researches, the authors studied the prospects of development and application of new rheotechnological methods based on physical effects arbitrarily manifested in the technological processes of the oil production process and the rheotechnology heterogeneous water-oil systems. It was found that the creation and introduction of new rheotechnological management techniques based on the formation of a distinctive scientific approach to the anomalous features, the purposeful use and the regulation of rheotechnological properties of mixtures formed in the union of hydrodinamical system «layer-well-collection», it offers the great opportunities to increase the efficiency of technological processes in the oil production.

**Key words:** water-oil emulsions, rheophysical properties, rheotechnology, inversion, physical effects, effect of hydraulic bearing.

## NEFT MƏHSULLARININ QARIŞMASININ TƏHLİLİ VƏ YANACAQ RESURSLARININ ARTIRILMASININ İQTİSADI SƏMƏRƏLİ YOLLARI

V.X. NURULLAYEV, F.Q. SEYFİYEV

Son zamanlar neft və neft məhsullarının nəqli həcmlərinin artımı tendensiyası qeyd edilir. Beləliklə, yüksək keyfiyyətli neftlərin və neft məhsullarının nəql həcmində artımı üzrə yaranan problemlərin həlli üçün, onların reoloji xüsusiyyətlərini və neft, neft məhsulları boru kəmərlərinin istismar xarakteristikalarını nəzərə alaraq nəql texnologiyalarının optimallaşdırılması lazımdır. Problemin aktuallığına əsaslanaraq, neft məhsullarının ardıcıl nəqlinin tətbiqiylə, aparılan eksperimental tədqiqatların nəticələri böyük maraq doğurur.

*Açar sözlər: fraksiya tərkibi, alışıma temperaturu, fiziki-kimyəvi xassələr, realogiya, kinematik özlülük.*

Neft emalı zavodları şəffaf neft məhsullarının istehsalı üçün nəzərdə tutulmuşdu. Müasir dövrdə mövcud iqtisadiyyat, neftlərin qiymətindəki dəyişikliklər və neft distillatlarının tullantıların zənginliyi, neft emalı zavodlarını məcbur edir ki, neftin maya dəyərini aşağı salsın.

Bir qayda olaraq qiymətli şəffaf neft məhsulları ilə zəngin neft ağır, qeyri standart aşağı keyfiyyətli neftlə qarışdırılıb istehsala göndərilir.

Aşağı keyfiyyətli neftlər mövcud mədənlərdə ağır xammal kimi qəbul edilir, həmçinin təsadüfi neftlər dünya bazarına müxtəlif dövlətlər tərəfindən nəql olunur.

Bu cür aşağı keyfiyyətli neftləri daha ucuz qiymətə almaq olar, belə neftləri yüksək keyfiyyətli neftlərlə qarışdırıb istehsala göndərmək qaçılmazdır, onlara minimum xərclər sərf edib optimal şəraitdə qarışdıraraq emal zavodlarına göndərmək lazımdır.

Dünyada neft emalı zavodlarının tikintisi və materialları elə nəzərdə tutulmuşdur ki, yüksək dəqiqliklə neftlərin qovulması mümkün olsun.

Bu zavodlar mövcud neftlərin xarakteristikalarına uyğun inşa edilmiş, onların bölgələrdə səmərəli istifadəsi xüsusən yüngül fraksiyaların və benzinin istehsalı üçün nəzərdə tutulmuşdu.

Neftin qovulmasının əsası, benzin komponentlərinin istehsalı, şəffaf və orta distillatların alınmasına yönəlmişdir.

Yaxın vaxtlarda ABŞ və Avropa dövlətlərində benzinə olan tələbat dizel yanacağı ilə əvəz olundu.

Bu o deməkdir ki, keçmişdə neft emalı zavodları yüngül neft məhsullarını emal edirdilərsə, hazırda daha ağır növ neft məhsulları istehsal etsinlər. Bu cür vəziyyətə çoxlu zavodlar öyrəşə bilmədiyindən onların istehsal gücü xeyli aşağı düşmüşdü.

Texnoloji məhdudiyyətlər əksər neft emalı zavodlarını məcbur etdi ki, bahalı yüngül neftlər alsınlar hansı ki, həmin neftlərə dünya bazarında daha çox tələbat var. Alınmış bahalı yüngül neftlər benzin istehsalı üçün nəzərdə tutulursa, digər neft məhsulların kerosin, dizel yanacaqların, yağların və bitumun mövcud regionlarda olan tələbat həmin emal zavodları tərəfindən həyata keçirilməsi qeyri mümkündür. Belə bir şəraitdə emal zavodları mövcud qurğularda rekanstruksiya etmək məcburiyyətində qalır, bu da həm texnoloji cəhətdən həm də iqtisadi nöqteyi nəzərdən səmərəsizdir. Neft məhsullarına olan tələbatı ödəmək üçün həmin regionlarda, emal zavodlarında mümkün olmadığından, neft məhsullarını xüsusi tankerlər, boru kəmərləri və dəmir yolu vasitəsi ilə əldə edirlər [1,2].

Neft məhsullarının nəqli zamanı, yanacaqların keyfiyyət bankının qorunub saxlanılması əsas şərtlərdən biridir. Neft emalı sənayesi 500 addan çox çeşidli qaz, maye və bərk halda olan neft məhsulları istehsal edir. Onlara tələblər olduqca müxtəlifdir və bu və ya digər konkret neft məhsulunun istifadəsi və ya istismarı şərtlərinin daima dəyişməsinə əsaslanır. Hazırki dövrdə maraq doğuran neft məhsullarından reaktiv yanacaqları və bitumlar sənayedə geniş tətbiq olmaqdadır. Bu cür neft məhsullarının nəqli zamanı istehsalatda xüsusən, boru kəmərlərində nəqlində, arzu olunmaz halların baş verməsi müşahidə olunur. Belə halların baş verməməsi üçün neft məhsullarının keyfiyyət bankını və bir-biri ilə qarışmasından alınan bufer fraksiyanın, nəqlə başlamazdan qabaq təhlili əsas şərtlərdən biridir.

Müasir mülkü və hərbi aviasiyada hava-reaktiv mühərrikləri geniş istifadə olunur və onlar maye yanacaq ilə işləyir. Bu, neft karbohidrogen yanacaqlarının kifayət qədər geniş ehtiyatının olması, onların nisbətən ucuz olması, yüksək energetik göstəricilərə malik olması ilə əlaqədardır. Reaktiv yanacaqların əsas tələblərinə ciddi nəzarət edilir. Yanacaq tam buxarlanmalı, asan alımalı və mühərrikdə alov kəsilmədən və sıçrayış olmadan tez yanmalıdır. Yanacağın həcmi yanma istiliyi mümkün olan qədər yüksək olmalıdır, saxlandıqda və istifadə olunduqda daha az yanğın təhlükəli olmalıdır. Reaktiv yanacağının ən əhəmiyyətli göstəricilərindən biri buxarlanmadır. O, yanacağın və havanın yanar qarışığının əmələ gəlmə sürətini xarakterizə edir və beləliklə də yanmanın tamlığı və stabilliyinə təsir göstərir. Reaktiv yanacaqlarının buxarlanması avtomobil benzinlərində olduğu kimi fraksiya tərkibi və doymuş buxar təzyiqi ilə xarakterizə olunur. Belə yanacaqlarda qaynama başlanğıcı temperaturu, yanacağın 10, 50, 90 və 98 %-nin qaynama temperaturları normalaşdırılır.

Reaktiv yanacaqlarının doymuş buxar təzyiqi çənlərdə yanacaq itkisinə və izafi təzyiqin yaranmasına səbəb olur.

Yanma qabiliyyəti reaktiv yanacaqlarının olduqca əhəmiyyətli istismar xassələrindəndir, o, xüsusi yanma istiliyi, hirsənməyən alovun hündürlüyü, lüminometrik ədəd və aromatik karbohidrogenlərin miqdarı ilə xarakterizə olunur.

Reaktiv yanacaqlarının xüsusi kütlə yanma istiliyi geniş olmayan həddə 10250-10300 kkal/kq olur, xüsusi yanma istiliyi isə yanacağın sıxlığından asılı olaraq daha geniş həddə

dəyişir. Yanacağın sıxlığı olduqca əhəmiyyətli göstəricidir və uçuşun uzaqlığını təmin etdiyindən maksimum yüksək sıxlıqlı yanacaq alınmasına cəhd olunur.

Yanacağın hirsələnməyən alovun hündürlüyü, aromatik karbohidrogenlərin miqdarından və fraksiya tərkibindən asılıdır. Yanacaq yanarkən istilik şualanmasının intensivliyi lüminometrik ədədlə xarakterizə edilir. Yanacağın his əmələ gətirməyə meyilliliyi lüminometrik ədəddən aromatik karbohidrogenlərin miqdarından yüksək dərəcədə asılıdır. Alovlanma və öz-özünə alovlanmanın qatlıq və temperatur hədləri alışıma temperaturu ilə müəyyən edilir və yanacağın karbohidrogen tərkibindən asılı olaraq dəyişir [4,6].

Reaktiv yanacaqların nəqlində əsas rolu, kinematik özlülük, kristallaşmanın başlanğıc temperaturu, neft turşularının duzları, su və mexaniki qarışıqlarının miqdarı, oynayır. Göründüyü kimi reaktiv yanacaqların nəqlində, kimyəvi sabilliyi keyfiyyət bankı ilə sıx əlaqədardır. Reaktiv yanacaqlar əsasən birbaşa qovulan distillat fraksiyalarından hazırlandığından, onlar praktiki olaraq alkenlərə malik olurlar, aşağı yod ədədinə və kifayət qədər yüksək kimyəvi sabilliyə malik olurlar. Belə yanacaqlarda saxlama şəraitlərində oksidləşmə prosesləri olduqca ləng gedir. Hidrogenlə təmizlənmiş reaktiv yanacaqlardan hetroatomlu birləşmələr

Kənarlaşdırılrsa da, onlar havadakı oksigenlə asan oksidləşir və neytral, turş xarakterli, qətranabənzər maddələr əmələ gətirirlər. Buna səbəb hidrogenlə təmizləmə prosesində yanacaqlardan təbii antioksidantların kənarlaşdırılmasıdır. Hidrogenlə təmizlənmiş reaktiv yanacaqlarının kimyəvi sabilliyini artırmaq üçün onlara oksidləşmənin qarşısını alan aşqarlar əlavə olunur, yanacağın kimyəvi sabilliyi yod ədədi və faktiki qətranın miqdarı ilə müəyyənləşdirilir.

Reaktiv yanacaqlarının yüksək temperaturlarda çöküntülər və qətranlı çöküntülər əmələ gətirməklə oksidləşməyə meyilliliyi termooksidləşdirici sabilliklə xarakterizə olunur. Aviasiya uçuşları şəraitində yanacağın yanacaq sistemində 200<sup>0</sup>C-ə qədər və daha çox qızması baş verə bilər. Müəyyən edilmişdir ki, temperaturun 100-dən 300<sup>0</sup>C-ə qədər dəyişməsi zamanı yanacaqlarda çöküntünün əmələ gəlmə asılılığı ekstrimal xarakter daşıyır. Bu temperaturlar TC-1 yanacağı üçün uyğun olaraq 150<sup>0</sup>C-dır. Yanacağın fraksiya tərkibi nə qədər ağır olarsa, yüksək temperaturda bir o qədər çox çöküntü əmələgəlmə baş verir. Yüksək temperaturlarda yanacaqların oksidləşməsi yanacaq sisteminin detallarının materiallarının katalitik təsiri ilə xeyli sürətlənir. Oksidləşmə proseslərinin intensivliyini azaltmaq üçün reaktiv yanacaqlarına metalların katalitik təsirini passivləşdirən aşqarlar əlavə edilməsi daha səmərəlidir. Yanacaqların termooksidləşdirici sabilliyinin qiymətləndirilməsi xüsusi cihazlarda statik və dinamik şəraitlərdə aparılır. Statik üsul ilə qiymətləndirmə zamanı yanacaq nümunəsi təcrid olunmuş tutuma 150<sup>0</sup>C-də oksidləşdirilir və 4 saat ərzində əmələ gələn çöküntünün kütləsi mq/100ml ölçü vahidi ilə təyin olunur. Dinamik şəraitdə sabillik 150-180<sup>0</sup>C-ə qədər qızdırılmış yanacağı 5 saat müddətində nasos ilə vurduqda filtirdə təzyiqin azalma qiyməti ilə və ya qızdırıcıda çöküntünün əmələ gəlməsi ilə, BAL-la təyin edilir. Reaktiv yanacaqlarının istehsalında, ən çox naften və parafin əsaslı neftlərdən istifadə olunur. Təhlil etdiyimiz xarakterizələr, yanacağın qorunub saxlanılmasında və nəqlində böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Belə ki, yanacaq itehsalatdan çıxarıldıqdan bir başa çənlərə vurulmalıdır və ətraf mühitin təsiri yanacağın keyfiyyətinin qorunub saxlanılmasına böyük təsiri vardır [7,9].

Reaktiv yanacaqların nəqli zamanı onların keyfiyyətinə nəzarət istehsalçı ilə istehlakçı üçün əsas tələblərdən biridir və o standartlar çərçivəsində qorunub saxlanılır. Yanacağın keyfiyyətinin bu standartlar çərçivəsində qorunub saxlanılması, neft emalı zavodundan, təyyarənin tutumuna boşaldana qədər ciddi nəzarətdə saxlanılır. Hazırda Rusiya Federasiyasının aviyaasiya sənayesində təyyarə istehsalında xarici ölkələrin mühərriklərindən də istifadəyə başlanmışdır. Bu, ona gətirib çıxarır ki, Rusiya Federasiyasında aviyaasiya yanacaqlarının keyfiyyəti Avropa və Amerika aviyaasiya yanacaqlarının keyfiyyətinə yaxınlaşacaqdır. MDB ölkələrində Jet A-1 yanacağının istehsalının təşkili məsələsi aktualdır. Bu digər yanacaq məhsullarının, benzinin və dizel fraksiyasının çıxımının dəyişməsinə gətirib çıxardacaqdır. Bunun səbəbi, Jet A-1 yanacağının 10%-nin qovulmasının son nöqtəsi xeyli yüksəkdir, 205 °C və alışma temperaturu da yüksək olub 380°C-dən aşağı deyil.

**Cədvəl 1**

**TC-1 markalı kerosinin ГОСТ 10227-86 standartların tələbləri əsasında aparılmış fiziki-kimyəvi analizlərin nəticələri**

Göstəricilər		TC-1		Analizlərin aparılma üsulları
		Standart	Faktiki	
Qaynama temperaturu, °C	Başlanğıc	150	148	QOST 2177-99
	10%-li distillə.	165	162	
	50%-li distillə.	195	186	
	90%-li distillə.	230	227	
Qapalı putada alışma temperaturu, °C		28	33	QOST 6356-75
Sıxlıq 20° C-də, kq/m <sup>3</sup>		775,0	791,2	QOST 3900-85
Kinematik özlülük, mm <sup>2</sup> /san, 20°C-də		1,25	1,54	QOST 33-2000
Asfaltenlərin Miqdarı, %-lə		-	Hiss olunmur ( H.O.)	QOST 11851
Faktiki qatranların miqdarı, 100 sm <sup>3</sup> yanacaqda, mq-la.		5	5,28	QOST 1567-97
Parafinlərin miqdarı, %-lə		-	(Bərk parafin.) -H.O. (Maye parafin.) - 8,65	QOST 11851, QOST 13379
Kristallaşma başlanğıcı temperaturu °C		-60	-64	QOST 5066-11
Ümumi kükürdün miq. %-lə		0,25	0,067	QOST 19121-73
150 °C-də Statik şəraitdə termooksidləşmə stabilliyi 100 sm <sup>3</sup> yanacaqda çöküntünün qatılığı, mq-la		16	14	QOST 11802
Doymuş buxar təzyiqi, kPa (mm c. st.)		-	21,3	QOST 1756-2000
Arom. karbohidrogenlərin həcmli miqdarı, %-lə,		22	16	QOST 6994-74

Rusiya Federasiyasında QOSTR 52050-2003 standartları çərçivəsində Jet A-1 yanacağının istehsalatı üçün reqlament hazırlansa da hazırkı dövrdə istehsalatda geniş miqyasda emalı təşkil edilməmişdir. Mütəxəssislərin rəyinə görə Jet A-1 yanacağının əksər keyfiyyət göstəriciləri QOST 10227-82 tələblərinə uyğundur, emal zavodlarında Jet A-1



yanacağının alınmasını iqtisadi cəhətdən səmərəsiz sayırlar. MDB ölkələrində bir neçə neft emalı zavodu Jet A-1 yanacağını buraxmağa başlamış və ASTM standartları tələbləri əsasında işlərini qurmuşlar.

Tərəfimizdən Azərbaycan neftlərindən alınan QOST 10227-82-nin tələblərinə əsasən TC-1 yanacaq, kerosin fraksiyasının təhlili cədvəl 1-də verilmişdir.

TC-1 yanacaq fraksiyasının təhlili QOST standartları çərçivəsində aparılmışdır, nəticələr göstərir ki bu cür yanacaq fraksiyaları, yanacaq kimi istifadə edilməsi üçün müvafiq texnoloji proseslərdən keçməlidir. Buna baxmayaraq TC-1 yanacaq fraksiyası güclü həlledici və çətin həll olan neft məhsulları üçün qiymətli xammaldır. Çətin həll olan neft məhsullarının nəqlində və onların resurslarının artırılmasında iqtisadi cəhətdən əvəz olunmazdır [10,11].

Neft sənayesində nəql prosesində çətinlik yaradan məhsullardan biri bitumdur, onun realogiyasını və fiziki-kimyəvi təhlillərinin aparılması müasir dövr üçün elm və istehsalatda əsas iqtisadi məsələlərdən biridir. Mühəndis tikinti materialı kimi bitumdan sənayedə geniş istifadə edilir. Bitumun adgeziya və hidrofob xassəsi tətbiq sahəsinə görə əvəz olunmaz neft məhsullarındandır. Hazırda bitumdan istifadə istiqamətləri olduqca genişdir, yol tikintisində, dam örtüyü materialları, binaların və qurğuların tikintisi, boru kəmərlərinin izolə olunması, lak-boya və kabel sənayesində, tökmə akkumulyatorlarının mastikası üçün və sənayenin digər sahələrində istifadə edilir.

Bitumlar neftin ilkin qovulma məhsullarının oksidləşmə məhsullarından, neftin ilkin emal nə neft məhsullarının ekstraksiyalı ayrılması zamanı, asfaltsızlaşdırma asfaltı, selektiv təmizləmə ekstraktı kimi, alınan məhsulların oksidləşdirilmiş və oksidləşdirilməmiş halda qarışdırılması ilə alınır.

Bitumları təyinatına görə təsnif etmək qəbul olunmuşdur, belə ki yol, dam örtüyü, izolə tikinti və xüsusi bitumlar kimi təsnif edilir.

İstehsal olunan bitumun, demək olar ki, üçdə iki hissəsi yol bitumudur, əsas yol-tikinti işləri üçün özüllü, yol tikintisini ucuzlaşdırmaq üçün isə üç növ maye bitumlar istifadə olunur. Maye bitumlar özüllü bitumlara kerosin, solyarka və müxtəlif növ həlledicilər əlavə etməklə hazırlanır və ona səthi aktiv maddələrdə qatılır.

Bitumun keyfiyyət göstəricilərinə aşağıdakı amillərə görə nəzarət edilir, standart iynənin batma dərinliyi, penetrasiya, yumşalma temperaturu, kövrəklik, sap kimi dartılması, duktillik, adgeziya, alışma temperaturu, realoji və digər fiziki-kimyəvi xassələri.

Neft bitumlarının alınması üçün aşağıdakı üsullardan istifadə olunur.

- Neft qalıqlarının vakuum altında qovmaqla qatılaşdırmaqla qalıq bitum alınır. Qalıq bitum almaq üçün yalnız tərkibində asfalt qatran birləşmələri çox olan xammaldan istifadə oluna bilər.

- Müxtəlif neft məhsullarını və onların kompozisiyalarını hava oksigeni ilə 180-300 °C-də oksidləşdirməklə oksidləşmiş bitum alınır.

Hava ilə oksidləşdirmə asfalt qatran maddələrinin miqdarını əsaslı olaraq artırmağa imkan verir.

Başqırdıstan Elmi Tədqiqat Neft Emalı İnstitutu neftləri onlarda olan asfaltenlərin, qatranların və bərk parafinlərin miqdarı ilə təsnif etməyi təklif etmişdir.

Əgər neft,

Asfalten+ Qatran-2,5Parafin $\geq$ 0

Asfalten+ Qatran > 6 olduqda

verilmiş şərti ödəyirsə, o, oksidləşmiş bitum almaq üçün yararlı hesab olunur.

- Müxtəlif oksidləşmiş və qalıq bitumlar, həmçinin, neft qalıqlarını və distillatlarını qarışdırmaqla kompaundlaşdırılmış bitumlar alınır.

Yol örtüyündə istifadə olunan özülü bitumlar daş materiallar arasında yapışdırıcı, əlaqələndirici kimi istifadə olunur. Asfaltın markasından asılı olaraq onun tərkibində bitumun miqdarı 5-8 % arasında olur. Yol örtüyünün uzun ömürlülüüyü əsasən istifadə olunan bitumun markasında və onun keyfiyyətindən asılıdır. Avropa dövlətlərində bituma geniş tələbat olduğundan onların istehsalı ekoloji cəhətdən təhlükəli olduğundan, istehsal olunan məhsulun keyfiyyəti, nəqli və saxlanması, ISO9001, ISO 14001 и OHSAS 18001 beynəlxalq standartlarla tənzimlənir. Avropada yol tikintisində əsasən multigrad universal bitumdan istifadə edilir. Avropada istehsal olunmuş bitumlar digər dövlətlərə nəql olunarsa onda onların keyfiyyət göstəriciləri EN 12591 və EN 14023 standartlarının tələblərinə cavab verməlidirlər. Bitumlar avropa standartların görə xüsusi çənlərdə qorunub saxlanılır EN 13108-21 standartları əsasında gün ərzində bir dəfə yoxlanılmalıdır. Çənlərdə saxlanılan bitumun maksimal saxlama müddəti 10 gündür, çənin ümumi temperaturu 160÷180°C olmalıdır və 6 saatdan bir bunkerdə qarışdırılmalıdır.

Əgər bitumlar 10 gündən artıq müddətdə çənlərdə qorunub saxlanılırsa onda, bitumun keyfiyyətinin pisləşməsinin qarşısını almaq üçün, əsas keyfiyyət göstəricisi olan penetrasiya 25 °C-də EN 1426 standartı əsasında nəzarətdə olmalıdır. Əgər bitumların nəqli zamanı və qorunub saxlanıldıqları zaman hər hansı mübahisəli məsələ ortaya çıxırsa onda EN ISO 4259 standartları ilə həmin məsələlər öz həllini tapır. Həmçinin QOST 22245-90 və QOST 11955-82 standartlarının tələblərinə uyğun olaraq özüllü bitumlar yol tikintisi üçün iki növdə, BND və BN, istehsal olunur və 25 °C-də penetrasiyaya əsasən markalanır. Yolların tikintisi və təmiri zamanı bitum həlledici ilə, kerosin fraksiyası ilə durulaşdırıla bilər, durulaşdırılmış bitumlar tez, orta sürətlə və ləng bərkiyən markalara ayrılır. Səthləri ilkin işləmək üçün bitum emulsiyaları istifadə olunur, bu emulsiyalar bituma su və emulqator əlavə etməklə hazırlanır. Avropada bitumların həll olunması üçün ən güclü həlledici kim toluol, ksilol və tetraxloretilen istifadə edilir, onların tətbiqi EN 12697-1 standartları ilə həyata keçirilir.

Azərbaycan neftlərindən alınmış bitumun keyfiyyət göstəriciləri tərəfimizdən təhlil edilmiş və cədvəl 2-də öz əksini tapmışdır. Bitumun fiziki-kimyəvi xarakteristikaları QOST11955-82 (40/70) və ya EN 12591-2009 (50/70) əsasında aparılmışdır, təhlillər göstərir ki, bu cür bitumun sənayedə istifadəsi böyük iqtisadi səmərə verə bilər.

Xüsusən belə bitumun TC-1 markalı kerosin fraksiyası ilə qarışığı və alınmış məhsulların elmi sürətdə, müvafiq standartlara uyğun tədqiqi yanacaq resusların inkişafına böyük təkan vermiş olar. Bunun üçün tərəfimizdən Azərbaycan neftlərindən alınmış, TC-1 markalı kerosin fraksiyası ilə 50/70-markalı bitum qarışığından alınmış kampaundun reofiziki-kimyəvi xassələri təhlil edilmişdir. Qarışdırılmış kampaundlar iki mərhələdə aparılmışdır, birinci

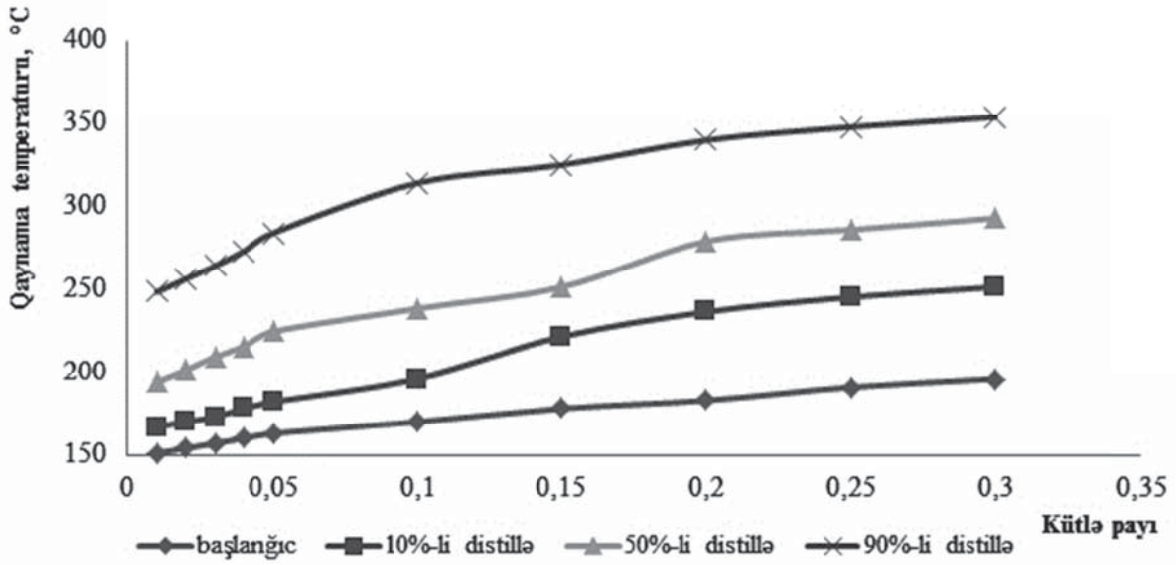
mərhələdə 50/70-markalı bitumun üzərinə, TC-1 markalı kerosin fraksiyasını əlavə edilərək təhlillər aparılmışdır, aparılmış təhlillərin nəticələri cədvəl 3-də verilmişdir.

**Cədvəl 2.**

**Analizlər üçün ilkin götürülən, 40/70 və ya (50/70)-markalı Bitumun fiziki-kimyəvi xarakteristikaları**

Sıxlıq 20 °C-də, kq/m <sup>3</sup>	1004,5
Kinematik özlülük, mm <sup>2</sup> /san, 135 °C	370,9
Qatranların miqdarı, % (kütlə) - lə	47,38
Asfaltenlərin miqdarı, % (kütlə) - lə	8,92
Bərk parafinlərin miqdarı, % (kütlə) - lə	2,23
Açıq putada alışıma temperaturu °C	328
Ərimə temperaturu, °C	86
Benzolda həll olunma %-lə	99,9
Toluolda həll olunma %-lə	99,9
Ksilolda həll olunma %-lə	99,9
Pentanda həll olunma, Pentan/Bitum (kütlə nisbəti). Qeyri-stabil çök.	28/1 çöküntü
Heksanda həll olunma, Pentan/Bitum (kütlə nisbəti). Qeyri-stabil çök.	29/1 çöküntü
Heptanda həll olunma, Pentan/Bitum (kütlə nisbəti). Stabilçöküntü	30/1 çöküntü
Kükürdün miqdarı, % (kütlə) - lə	2,48

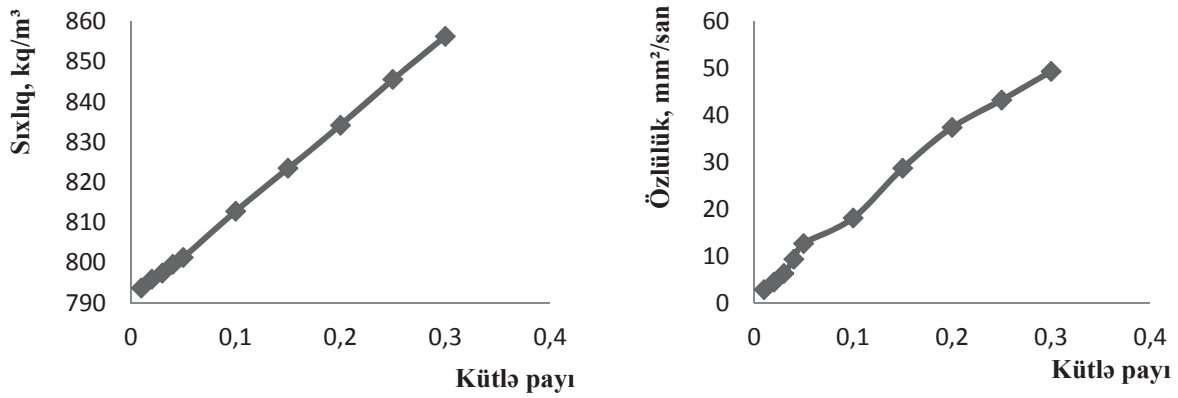
Cədvəldən görüldüyü kimi 50/70-markalı bitumun TC-1 markalı kerosində optimal həll olunma miqdarı 20 %-ə qədərdir, yuxarı faiz dərəcələrində sürətli çöküntünün əmələ gəlməsi baş verir, bu da fazaların əmələ gəlməsinə xüsusən hetrogen fazanın artmasına səbəb olur. Əmələ gəlmiş hetrogen faza çöküntü halında kampaundan ayrılır, qarışıqın keyfiyyətini pisləşdirmiş olur. Qarışıqın parametrlərinin reofiziki-kimyəvi təhlilləri qrafiklərdə göstərilmişdir (şəkil.1-4). Qarışdırılmış kampaundların ikinci mərhələsində, 50/70-markalı bitumun 90 °C qızdırılaraq, TC-1 markalı kerosin fraksiyasının üzərinə əlavə edilmiş və laborator sınaqlar aparılmışdır, aparılmış sınaqların nəticələri cədvəl 4-də verilmişdir. Cədvəldən görüldüyü kimi birinci mərhələdə, yəni bitumun üzərinə kerosini əlavə etdikdə kolloid çöküntünün əmələ gəlməsi tədricən baş verir və əksinə kerosinin üzərinə bitum əlavə edildiyi zaman, ilk əlavə edilən qatlıqda kiçik kolloid hissəciklər əmələ gəlməyə başlayır.



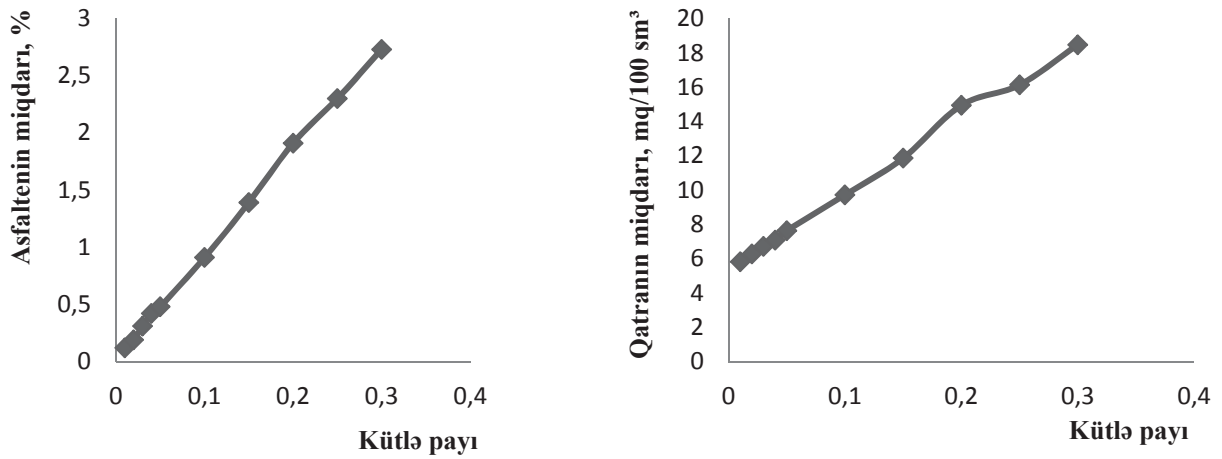
**Şəkil 1. TC-1 kerosinlə 50/70 markalı bitum qarışığının fraksiya tərkibinin bitumun kütlə payından asılılığı**

Kiçik kolloid hissəciklərin əmələ gəlmə prosesi 30% bitum əlavə etdikdən sonra tədricən (10 gün) müəyyən müddətdə həll olmağa başlayır. Bitumun üzərinə kerosin əlavə etdikdə bu proses 70% kerosin əlavə etdikdə kolloid hissəciklərin əmələ gəlməsi müşahidə olunur. Hər iki prosesi dəqiqləşdirmək üçün əmələ gələn çöküntünün miqdarını, QOST 11802 əsasında 150 °C-də statik şəraitdə termooksidləşmə stabilliyi, 100 sm<sup>3</sup> yanacaqda çöküntünün qatılığı, mq-la təyin edilmişdir. Bu cür çöküntülərin əmələ gəlməsi qatran-asfaltların nanofazaların sərhədlərinin təsiri nəticəsində baş verir. Bunları dəqiq elmi izah olunması üçün təhlil olunan hər bir neft məhsuluna fərdi yanaşaraq rentgenoqrafik faza analizlərinin aparılması əsas şərtlərdən biridir.

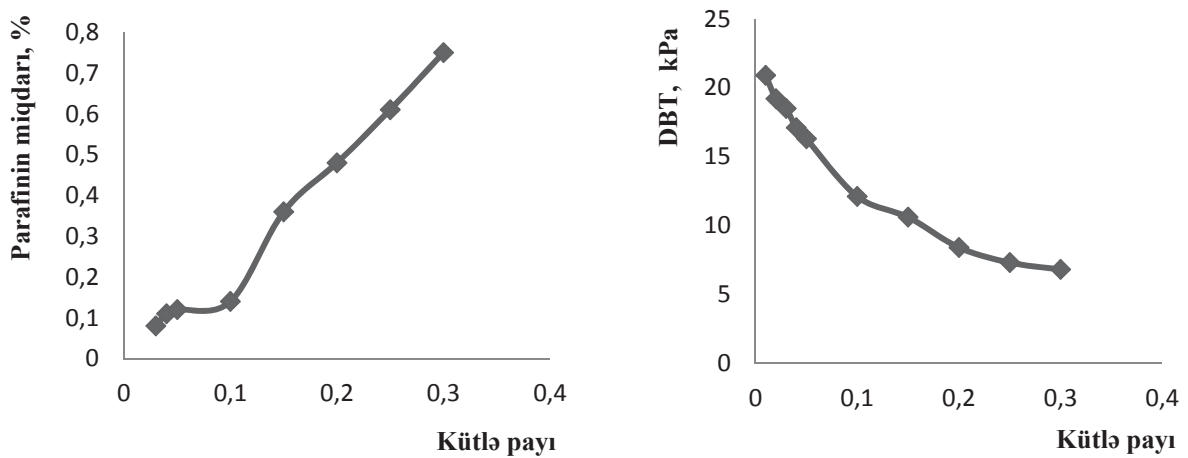
Aparılmış analizlərin nəticələri əsasında nanofazalar üçün diaqram qurmaqla, müxtəlif neft məhsullarının qarışması üçün qabaqcadan tövsiyələr vermək mümkündür. Kerosinin üzərinə bitum əlavə edildiyi zaman alınmış qarışığın reofiziki-kimyəvi nəticələrin qrafikləri aşağıda verilmişdir. Alınmış nəticələr bitum kerosin qarışığında anomallıqlarla müşahidə olunur, sıxlıq faktorunda bu cür anomallıq hiss olunmur, bunun izahı kütlənin stabil qalması, qurluşun dəyişməsi ilə izah olunur. Bitumun kerosində yaxşı həll olunması, TC-1 yanacaq fraksiyasında aromatik karbohidrogenlərin miqdarının çox, bərk parafin karbohidrogenlərin miqdarının hiss olunmaz səviyyədə olması ilə əlaqədardır. Bu cür prosesin izahı oxşar mayelərin biri-birində yaxşı həll olması ilə məhlullar nəzəriyyəsində öz əksini tapır. Belə proseslər neft məhsullarının nəqlində istehsalatda tez-tez baş verir, xüsusən ardıcıl nəqldə böyük texniki problemlərin əmələ gəlməsinə səbəb olur. Ardıcıl nəql zamanı neft məhsulları ayrı-ayrı partiyalarla kəməre vurularaq biri-birinin ardınca nəql edilir. Ardıcıl nəqlin üstünlüyü müxtəlif neft məhsullarının eyni boru kəməri vasitəsilə nəql edilməsinin mümkün olmasıdır.



Şəkil 2. TC-1 kerosinlə 50/70 markalı bitum qarışığı üçün sıxlığın və özlülüğün bitumun kütlə payından asılılığı



Şəkil 3. TC-1 kerosinlə 50/70 markalı bitum qarışığı üçün asfaltin və qatranların miqdarının bitumun kütlə payından asılılığı



Şəkil 4. TC-1 kerosinlə 50/70 markalı bitum qarışığı üçün parafinin miqdarı və doymuş buxar təzyiqinin (DBT) bitumun kütlə payından asılılığı

**Cədvəl 3.**

**TC-1 markalı kerosinin və 50/70-markalı Bitumun müxtəlif qarışıqlarının fiziki-kimyəvi analizlərin nəticələri**

Göstəricilər		50/70-markalı Bitumun kütlə miqdarı									
		0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
Qaynama temperatur	Başlanğıc	151	154	157	160	163	170	178	183	191	196
	10%-li dist.	167	170	173	178	182	196	221	236	245	251
	50%-li dist.	194	201	209	215	224	238	251	279	286	293
	90%-li dist.	248	256	264	273	284	314	325	340	348	354
Qapalı putada alışıma temperatur. °C		39	42	44	46	47	53	58	69	74	79
Sıxlıq 20 <sup>0</sup> C, kq/m <sup>3</sup>		793,7	795,9	797,4	799,6	801,3	812,8	823,5	834,2	845,6	856,3
Kinematik özlülük, mm <sup>2</sup> /san, 20 <sup>0</sup> C		2,82	4,43	6,27	9,32	12,64	18,13	28,73	37,43	43,27	49,38
Asfaltların Miqdarı, %-lə		0,12	0,19	0,31	0,42	0,48	0,91	1,39	1,91	2,30	2,73
Faktiki qətranların miqdarı, 100 sm <sup>3</sup> yanacaqda, mq-la.		5,82	6,27	6,71	7,08	7,63	9,72	11,86	14,94	16,13	18,47
Parafin. miq. %-lə		İzləri	İzləri	0,08	0,11	0,12	0,14	0,36	0,48	0,61	0,75
Kris. Baş. Tem. °C		-62	-60	-58	-56	-54	-42	-36	-27	-24	-18
Üm. kük. miq. %-lə		0,071	0,13	0,15	0,17	0,19	0,32	0,44	0,57	0,69	0,82
150 <sup>0</sup> C-də Sta. şər. Termo. St. 100 sm <sup>3</sup> yan. Çök. Qat. mq-la		39	73	94	131	162	207	298	586	775	963
Doy. Bux. təz. kPa		20,9	19,2	18,5	17,1	16,3	12,1	10,6	8,4	7,3	6,8
Ar. kar. miq. %-lə,		17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	23,0	26,0	29,0	30,0	33,0

**Cədvəl 4.**

**TC-1 markalı kerosinin və 50/70-markalı Bitumun müxtəlif qarışıqlarının fiziki-kimyəvi analizlərin nəticələri**

Göstəricilər	TC-1 markalı kerosinin kütlə miqdarı									
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
Qap. Put. Alış. tem. °C	194	189	182	179	171	167	149	127	118	109
Sıxlıq 20 <sup>0</sup> C-də, kq/m <sup>3</sup>	1002,7	1000,6	998,9	996,5	994,7	983,6	973,1	962,5	951,9	941,2
Kin. öz. mm <sup>2</sup> /san, 100 <sup>0</sup> C	314,6	290,8	277,6	253,8	239,2	191,3	164,5	117,9	92,1	63,7
Asfalt. miq. %-lə	8,71	8,62	8,41	8,23	8,18	7,86	7,54	7,30	7,11	6,82
Qət. miq. %-lə	47,13	46,25	43,92	45,17	44,78	42,13	39,74	37,21	35,09	32,98
Paraf. miq. (bərk), %-lə	2,21	2,14	2,09	2,02	1,98	1,82	1,71	1,59	1,45	1,32
Donma tem. °C	85	84	83	82	81	74	68	64	55	48
Üm. kük. miq. %-lə	2,37	2,31	2,23	2,16	2,12	1,97	1,82	1,73	1,60	1,49
150 <sup>0</sup> C-də Sta. şər. term. stab. 100 sm <sup>3</sup> yan. çök. qat, mq-la	1618	1596	1585	1577	1567	1509	1457	1413	1364	1326

Ardıcıl nəqli mənfi cəhəti ondan ibarətdir ki, iki məhsulun təmas zonasında qarışıq əmələ gəlir, təcrübə göstərir ki, laminar axın rejiminə nisbətən turbulent axın rejimində qarışıqın miqdarı az olur. Neft emalı zavodlarında olan texnoloji kəmərlərdə bitumun, kerosin fraksiyası ilə təmizlənməsi və əksinə kerosin fraksiyası olan kəməyə bitumun nəqli, texnoloji problemlərin yaranmasına səbəb olur. Ardıcıl nəql zamanı yaranan qarışıqın miqdarının təyin edilməsi, son məntəqədə qəbulu və ondan istifadə edilməsi əsas amillərdəndir. Tərəfimizdə təhlil edilmiş TC-1 markalı kerosinin və 50/70-markalı bitumun müxtəlif qarışıqlarının fiziki-kimyəvi analizlərin nəticələri əsas verir ki, bu cür qarışıqları təzədən emala deyil, onları müvafiq yanacaq fraksiyası kimi təhlil etmək lazımdır. Alınmış təhlillərin nəticəsi əsasında, mövcud standartlar çərçivəsində yanacaq resurslarının artırılması mümkündür, belə bir proses iqtisadiyyata böyük səmərə verə bilər.

#### REFERENCE

1. **Samedova F.I.** Azerbajdzhanskie nefte i ih komponentnyj sostav. – Baku: Elm. 2002. - 247 p.  
**Самедова Ф.И.** Азербайджанские нефти и их компонентный состав. – Баку: Элм. 2002. - 247 с.
2. **Mirələmov H.F., İsmayılov Q.Q.** Neft və qazın boru kəmərləri ilə nəqli. B., NQETLİ, 2010. - 506 s.
3. **Abbasov V.M., Məmmədov D.N., Rəsulov S.R., Cəfərova R.Ə., Abbasov M. M.** Neft kimyası və neftin ilkin emalı. – Bakı, 2010. - 418 s.
4. **Gun R.B.** Neftjanye bitumu. - M., Himija, 1973. - 432 p.  
**Гун Р.Б.** Нефтяные битумы. - М., Химия, 1973. - 432 с.
5. **Anderson R.M., Walker D.E., Turner P.A.** Low-temperature evaluation of Kentucky performance-graded 70-22 asphalt binders. Annual Meeting of the Transportation Research Board No78 (01/1999) 1999, no 1661. Pp. 69-74
6. **Bahia H.U. et al.** Characterization of Modified Asphalt Binders in Superpave Mix Design. National Cooperative Highway Research Program 2001. REPORT 459. ISBN 0-309-06707-3
7. **Abdullaev A.A., Blank V.V., Jufin V.A.** Kontrol v processah transporta i hranenija nefteproduktov. - M.: Nedra, 1990. - 264 p.  
**Абдуллаев А.А., Бланк В.В., Юфин В.А.** Контроль в процессах транспорта и хранения нефтепродуктов. - М.:Недра, 1990. - 264 с.
8. **Lurye M.V., Maron V.I., Mackin L.A., Jufin V.A.** Optimizacija posledovatelnoj perekachki nefteproduktov. - M.:Nedra, 1975. - 256 p.  
**Лурье М.В., Марон В.И., Мацкин Л.А., Юфин В.А.** Оптимизация последовательной перекачки нефтепродуктов. - М.: Недра, 1975.-256 с.
9. **Abuzova F.F., Bronshtejn I.S., Novoselov V.F. i dr.** Borba s poterjami nefte i nefteproduktov pri ih transportirovke i hranenii. - M.: Nedra, 1981. - 248 p.  
**Абузова Ф.Ф., Бронштейн И.С., Новоселов В.Ф. и др.** Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов при их транспортировке и хранении.- М., Недра, 1981.-248 с.
10. **Ismajylov G.G., Nurullaev V.H., Kelova I. N., Nurmamedova R.G.** O vlijanii smeshenija raznosortnyh nefteproduktov na ih reologicheskie i fiziko-himicheskie svojstva. Materiali V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, problemy innovacionnogo razvitija neftegazovoj industrii. Almaty, KBTU, 21-22 fevralja, 2013. Pp. 21-27.

**Исмайылов Г.Г., Нуруллаев В.Х., Келова И.Н., Нурмамедова Р.Г.** О влиянии смешения разнородных нефтепродуктов на их реологические и физико-химические свойства.

Материалы V Международной научно-практической конференции, проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии. Алматы, КБТУ, 21-22 февраля, 2013. 21-27 с.

11. **Nurullayev V.X., Rüstəmov M.İ., Sultanov S.Ə.** Hidrogenlə təmizləmə üsulu ilə RT və A-1 yanacaqlarının alınması. Azərbaycan neft təsərrüfatı, 2001, № 1, s. 48-50

#### **АНАЛИЗ СМЕШЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ РЕСУРСОВ**

**В.Х. НУРУЛЛАЕВ, Ф. Г. СЕЙФИЕВ**

Для решения задачи по увеличению объема перекачки нефти и нефтепродуктов необходима разработка новых или оптимизация применяемых технологий транспортировки нефти и нефтепродуктов с учетом их реологических свойств и эксплуатационных характеристик трубопроводов. Ввиду актуальности проблемы, большой интерес представляют результаты экспериментальных исследований последовательной перекачки нефтепродуктов.

***Ключевые слова:** фракционного состав, температура вспышки, физико-химические свойства, реология, кинематическая вязкость.*

#### **ANALYSIS OF MIXING OIL PRODUCTS AND EFFECTIVE ECONOMIC WAYS TO IMPROVE FUEL RESOURCES**

**V.H. NURULLAYEV, F.Q. SEYFIYEV**

To solve the problem on boosting the pumping volume of petroleum products, it is necessary to develop new technologies or optimize the already existing transportation technologies based on the rheological properties of petroleum products and the pipeline characteristics. In view of the relevance of issues, the result of experimental studies on the coherent oil pumping is of great interest.

***Key words:** distillation fractions, flash point, physical and chemical properties, rheology, kinematic viscosity.*



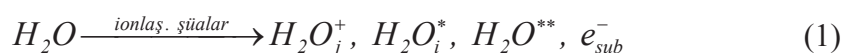
## **NaOH-in SULU MƏHLULUNUN RADİOLİZİ ZAMANI ƏMƏLƏ GƏLƏN MOLEKULAR HİDROGENİN RADİASIYA-KİMYƏVİ ÇIXIMINA MƏHLULUN QATILIĞININ TƏSİRİ**

S.R. HACIYEVA, N.K. RAMAZANOVA, Y.D. CƏFƏROV,  
S.M. ƏLİYEV, R.T. QULİYEV

NaOH-in sulu məhluluna ( $C_M = 0,025 \div 8$  mol/l)  $\gamma$ -kvantların ( $^{60}\text{Co}$ ,  $P=26,1$  rad/san) təsiri ilə gedən radiolitik çevrilmə zamanı əmələ gələn molekular hidrogenin radiasiya-kimyəvi çıxımına məhlulun qatılığının təsiri tədqiq edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, məhlulun qatılığından asılı olaraq molekular hidrogenin radiasiya-kimyəvi çıxımı azalır. Bu onunla əlaqədardır ki, radiasiyanın təsiri ilə əmələ gələn istilik elektronları  $\text{Na}^+$  ionları ilə kiçik rəbitə enerjili, həyəcənlanmış, aralıq ( $\text{Na}^+ \cdots e^-$ )<sup>\*</sup> kompleksini əmələ gətirir. Bu isə molekular hidrogenin əmələ gəlməsində birbaşa rol oynayan solvatlaşan elektronların çıxımını azaldır.

**Açar sözlər:**  $\gamma$ -kvantlar, sulu məhlul, radiolitik parçalanma, enerji daşıyıcısı, dozadan asılılıq, əmələgəlmə sürəti, məhlulun qatılığı.

**Giriş.** Dördüncü nəsil nüvə reaktorlarında (PWR, BWR, SCWR və s.) enerji daşıyıcısı və soyutma sistemi kimi adi sudan [1-8] istifadə olunur. Reaktor daxilində aktiv zonada nüvə parçalanması zamanı əmələ gələn müxtəlif enerjili ionlaşdırıcı şüalar (ağır ionlar, protonlar, neytronlar, elektronlar,  $\gamma$ -kvantlar və s.) su və su buxarı daxilindən keçərkən, su molekulları ilə elastiki və qeyri-elastiki toqquşmada öz kinetik enerjilərini tədricən itirirlər. Enerjinin radiasiya itkisi mexanizminə görə, qeyri-elastiki toqquşma zamanı (1) prosesin fiziki mərhələsində ( $<10^{-15}$  san) müxtəlif molekular orbitaların birbaşa birqat ionlaşması –  $H_2O_j^+(1a_1, 2a_1, 1b_2, 3a_1, 1b_1)$ , öz enerjisini birinci elektron-həyəcənlanma enerjisinə qədər itirmiş elektron –  $e_{sub}^-$  və elektron-həyəcənlanma halları ( $H_2O_i^*$ ) –  $A^1B_1, B^1A_1$ , Ridberq halı, diffuzion zolaq, dissosiativ həyəcənlanma və kollektiv həyəcənlanma ( $H_2O^{**}$ ) kimi



aktiv aralıq hissəciklər yaranır.

Fiziki mərhələ məhsulları sonrakı fiziki-kimyəvi mərhələdə ( $10^{-15} \div 10^{-12}$  san),  $e_{sub}^-$  - elektronlar elastiki toqquşma və dipol relaksasiyası nəticəsində öz kinetik enerjisini tədricən itirərək kvazisərbəst istilik elektronlarına çevrilirlər. İstilik elektronları (2) solvatlaşa



və məhlul daxilində  $\text{Na}^+$  ionları ilə (3) zəif rəbitə enerjili, həyəcənlanmış, aralıq

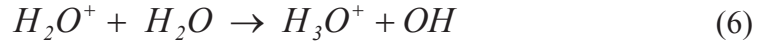


kompleksini [9] əmələ gətirə bilirlər. Kompleks müəyyən yaşama müddətindən sonra istilik verməklə neytral Na atomuna (4) və solvatlaşmış  $e_{aq}^{-}$  halı ilə  $Na^{+}$  ionuna (5)



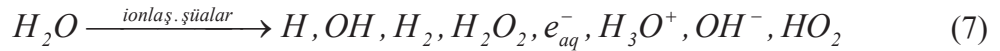
(5)

çevrilirlər.  $H_2O^{+}$  ionları isə ion-molekulyar (6) reaksiyası nəticəsində



protonlaşmış hidroksonium  $H_3O^{+}$  ionunu və OH radikalını əmələ gətirirlər. Elektron-həyacanlanmış halları müəyyən yaşama müddətində molekullar relaksasiya, avtoionizasiya və dissosiasiya nəticəsində növbəti məhsullarına [10-11] çevrilirlər.

**Məsələnin qoyuluşu.** İonlaşdırıcı şüaların suya təsirindən əmələ gələn fiziki-kimyəvi mərhələ məhsullarını simvolik olaraq aşağıdakı şəkildə



təsvir etmək olar. Burada, həm oksidləşdirici, həm də reduksiyaedici xassəyə malik aktiv hissəciklər əmələ gəlir ki, konsruksiya materialı kimi istifadə olunan paslanmayan poladın korroziya və deqradasiya proseslərində onların bəziləri birbaşa iştirak edirlər. Konstruksiya materiallarının korroziya və deqradasiyasını aradan qaldırmaq üçün bəzi reaktorlarda ((PWR, BWR və SCWR) LiOH-ın müəyyən qatılıqlı sulu məhlullarından [1-8] istifadə olunur. Müəyyən konsentrasiyada əlavə olunan LiOH həm konsruksiya materialının davallılığını artırır, həm də reaktor daxilində ionlaşdırıcı şüaların təsirlə reaktor üçün təhlükəli olan  $H_2$  və  $O_2$  məhsullarının radiasiya-kimyəvi çıxımlarını azaldır.

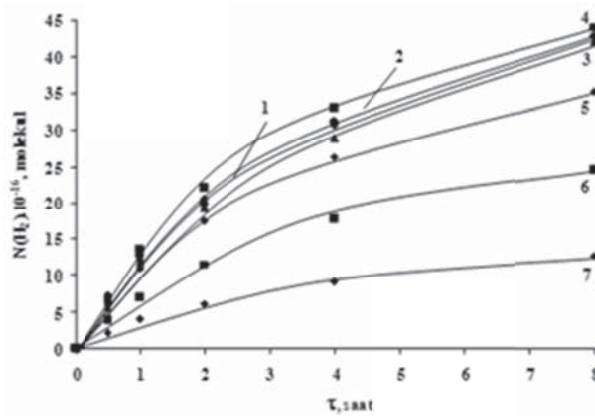
Təqdim olunan işdə yüksək təmizlikli NaOH-ın müxtəlif qatılıqlı sulu məhlullarından ( $C_M = 0,025 \div 8$  mol/l) istifadə edilmişdir. Məhlul  $\gamma$ -kvantlarla ( $^{60}Co$ ,  $P = 26,1 \frac{rad}{san}$ ) şüalandırılmış və alınan molekulyar hidrogenin radiasiya-kimyəvi çıxımının qatılıqdan asılı olaraq dəyişməsi müəyyən edilmişdir.

**Təcrübi hissə.** Təcrübədə yüksək təmizlikli (99,9%) müxtəlif qatılıqlı ( $C_M = 0,025 \div 8$  mol/l) NaOH-ın sulu məhluldan istifadə edilmişdir. 20ml həcmli şüşə ampula xüsusi rejimdə təmizlənmiş,  $500^{\circ}C$  temperaturda hava mühitində 48 saat müddətində işləndikdən sonra, ampula yenidən  $400^{\circ}C$  temperaturda vakuum şəraitində ( $p=10^{-3}$ mm c.st.) işlənilərək otaq temperaturuna qədər soyudulmuş və ampulaya verilmiş qatılıqda NaOH məhlulu əlavə olunur. Həmin məhlul daxilində həll olmuş havanı bir neçə dəfə vakuum şəraitində deqazifikasiya etdirdikdən sonra bağlanmışdır. Ampula  $\gamma$ -şüalarla ( $^{60}Co$ ,  $P = 26,1 \frac{rad}{san}$ ) şüalandırılmışdır.

Radiolitik parçalanma nəticəsində alınan molekulyar hidrogenin miqdarı ( $\sim 5 \pm 10\%$  dəqiqliklə) xromatoqrafik üsulla təyin edilmişdir. Xromatoqrafda, uzunluğu 1m, daxili diametri 3mm olan

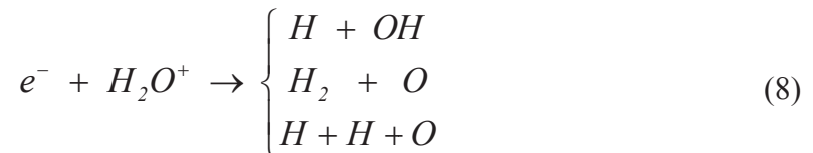
kalonka daxilində, ölçüləri  $d = 0,25 \pm 0,5$  mm olan aktivləşmiş kömürdən istifadə edilmişdir. Qaz daşıyıcısı kimi yüksək təmizlikli (99,9%) arqondan istifadə edilmişdir.

**Nəticələrin müzakirəsi.** NaOH-ın sulu məhluluna  $\gamma$ -kvantların təsiri ilə gedən radiolitik çevrilmə prosesinin həm fiziki, həm də fiziki-kimyəvi mərhələlərində H, OH, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, HO<sub>2</sub>,  $e_{aq}^-$ , H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> və OH<sup>-</sup> aralıq məhsulları əmələ gəlir. Həmin məhsulların bəziləri reaktor materiallarının korroziya və deqradasiyasını yaradır. Bu problemləri aradan qaldırmaq mütəxəssislər qarşısında duran əsas məsələdir. Bu məqsədlə də enerji daşıyıcısı və soyutma materialı olan su ilə NaOH-ın müxtəlif molyar qatılıqlarında məhlulları hazırlanmışdır. Həmin məhlullar  $\gamma$ -kvantlarla şüaladılmış və radiolitik yolla alınan molekulyar hidrogenin miqdarı xromatoqrafik üsulla təyin edilmişdir.

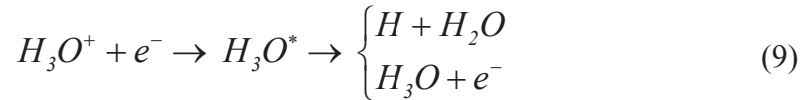


*Şəkil 1. 5 ml müxtəlif qatılıqlı NaOH-ın sulu məhluluna  $\gamma$ -kvantların təsiri ilə ( $P = 26,1$  rad/san) əmələ gələn molekulyar hidrogenin dozadan asılılığı ( $C_M = 0$  (1); 0,025 (2); 0,05 (3); 0,1 (4); 1 (5); 5 (6); 8 (7) mol/l).*

Şəkil 1-də 5 ml məhlul daxilində əmələ gələn molekulyar hidrogenin dozadan asılılığı verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi məhlulun aşağı qatılıqlarında əmələ gələn molekulyar hidrogenin miqdarı dəyişməz qalır. Lakin müəyyən qatılıqdan sonra molekulyar hidrogenin radiasiya-kimyəvi çıxımı azalır. Bu onunla izah olunur ki, məhlul daxilində Na<sup>+</sup> ionunun konsentrasiyası artdıqca, (3)-ə əsasən termolizə olunmuş elektronların bir hissəsi (Na<sup>+</sup>...e<sup>-</sup>)<sup>\*</sup> kompleksinin yaranmasına sərf olunur. Bu isə termolizə olunmuş elektronların konsentrasiyasının azalması deməkdir. Konsentrasiyanın azalması radiolitik çevrilmədən alınan molekulyar və atomar hidrogenin radiasiya-kimyəvi çıxımını azaldır. Həmin reaksiyaları simvolik olaraq aşağıdakı (8) və (9) şəklində:



və eləcə də



təsvir etmək olar.

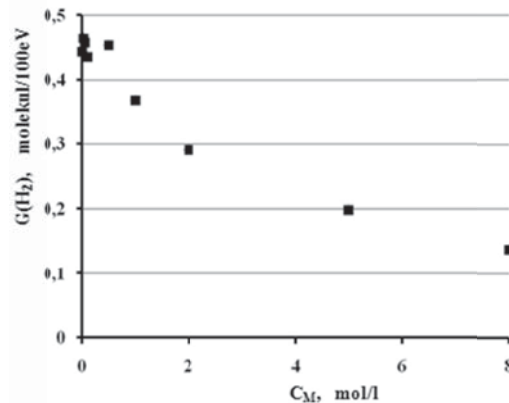
Molekulyar hidrogenin əmələ gəlməsində əsas kanallar olan (8) və (9) reaksiyaların sürətləri termolizə olunmuş elektronların konsentrasiyasından asılıdır. Ona görə də həm birbaşa, həm də  $H + H \rightarrow H_2$  yolu ilə alınan molekulyar hidrogenin miqdarı azalır.

### Cədvəl

**NaOH-ın sulu məhlulunun radiolzi ( $P = 26,1$  rad/san) zamanı əmələ gələn molekulyar hidrogenin əmələgəlmə sürəti ( $w(H_2)$ ) və radiasiya-kimyəvi çıxımının  $G(H_2)$  onun qatılıqlarından asılılığı**

	NaOH-ın molyar qatılığı, mol/l								
	0	0,025	0,05	0,1	0,5	1	2	5	8
$w(H_2) \cdot 10^{-13}$ , molekul/q·san	0,724	0,791	0,746	0,71	0,694	0,6	0,473	0,322	0,222
$G(H_2)$ , molekul/100eV	0,443	0,464	0,457	0,435	0,42	0,368	0,29	0,198	0,136

Şəkil 1-ə əsasən molekulyar hidrogenin əmələgəlmə sürəti və radiasiya-kimyəvi çıxımları təyin edilmiş və alınan nəticələr cədvəldə verilmişdir.



**Şəkil 2. NaOH-ın sulu məhlulunun radiolzi zamanı əmələ gələn molekulyar hidrogenin radiasiya-kimyəvi çıxımının məhlulun qatılığından asılılığı**

Şəkil 2-də NaOH-ın sulu məhlulunun radiolzi zamanı əmələ gələn molekulyar hidrogenin radiasiya-kimyəvi çıxımının məhlulun qatılığından asılılığı verilmişdir.

**Nəticə.** Alınan nəticələrdən göründüyü kimi, təmiz suda molekulyar hidrogenin radiasiya-kimyəvi çıxımı  $G(H_2) = 0,443 \frac{\text{molekul}}{100eV}$  qiymətini alır. Müxtəlif qatılıqlı məhlulları şüalandırıqda isə molekulyar hidrogenin radiasiya-kimyəvi çıxımı, qatılığı  $C_M = 0 \div 0,5 \frac{\text{mol}}{l}$  aralığında olan məhlullarda demək olar ki, dəyişmir,  $C_M > 0,5 \frac{\text{mol}}{l}$  qiymətlərində isə qatılıqdan asılı olaraq azalır.

## REFERENCE

1. **Igor M. Svishehev, Ruth A.Carvajal-Ortiz, Kashif I.Choudhry, David A.Guzonas.** Corrosion Science 72, (2013), 20-25
2. **Sunuchakan Sanguanmith1, Jintana Meesungnoen1, David A. Guzonas, Craig R. Stuart and Jean-Paul Jay-Gerin.** Recent Res. Devel. Physical Chem., 11 (2014): 1-14 ISBN: 978-81-7895-608-4
3. **Baindur S.** Materials challenger for the supercritical water-cooled reactor (SCWR), Bull. Canadian Nuclear Soc. 29 (2008) 32-38.
4. **C.K. Chow, H.F. Khartabil.** Conceptual fuel channel designs for CANDU-SCWR, Nucl. Eng. Tech. 20 (2007) 139-146.
5. **D.F. Torgerson, B.A. Shal by, P. Pang.** CANDU technology for generation III+ and IV reactors, Nucl. Eng. Des. 236 (2006) 1565-1572.
6. **I.M. Svishehev, D.A. Guzonas.** Supercritical water and particle nucleation: implications for water chemistry control in a GEN IV supercritical water cooled nuclear reactor, J. Supercrit. Fluids 60 (2011) 121-126.
7. **C. Koehly, J. Starflinger, T. Schulenberg, M. Brandauer, D. Lemasson, R. Velluet, H. Herbell.** Draft layout of the HPLWR power plant, in: Proc. Of the 5<sup>th</sup> Int. Sym. SCWR (ISSCWR-5), Vancouver, 2011.
8. **C.J. Wood** Advances in water chemistry control for BWRs and PWRs: water chemistry of nuclear reactor systems, Nucl. Eng. 36 (1997) 385-392.
9. **Nichiporov F.G., Bjakov V.M.** Himija vysokih energij, 2001, tom 35, № 1, s.22-35  
**Ничипоров Ф.Г., Бяков В.М.** Химия высоких энергий, 2001, том 35, № 1, с.22-35
10. **S. Uehara, H.Nikjoo // J. Radiat. Res.** 47 (2006) 69-81.
11. **Y.D. Jafarov.** Mathematical modeling of radiolysis proses of water under the impact of low-energy electrons, Problems of atomic science and technology, 2011, N5, Series: Nuclear Physics Investigations 56 (2011) 42-47.

### ВОЗДЕЙСТВИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА НА РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКИЙ ВЫХОД МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДОРОДА, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ВО ВРЕМЯ РАДИОЛИЗА ВОДНОГО РАСТВОРА NaOH

С.Р. ГАДЖИЕВА, Н.К. РАМАЗАНОВА, Я.Д. ДЖАФАРОВ, С.М. АЛИЕВ, Р.Т. ГУЛИЕВА

Исследовано воздействие концентрации раствора на радиационно-химический выход молекулярного водорода, образующегося в процессе радиолитического превращения под воздействием  $\gamma$ -квантов ( $^{60}\text{Co}$ ,  $P=26,1$  рад/сек) на водный раствор NaOH ( $C_M = 0,025 \div 8$  моль/л). Определено, что в зависимости от концентрации раствора радиационно-химический выход водорода уменьшается. Это связано с образованием низкоэнергетических связей, возбужденных, промежуточных  $(\text{Na}^+ \cdots e^-)^*$  комплексов тепловых электронов, образующихся под радиационным воздействием, с ионами  $\text{Na}^+$ . Это уменьшает выход сольватированных электронов, играющих непосредственную роль при образовании молекулярного водорода.

**Ключевые слова:**  $\gamma$ -кванты, водный раствор, радиолитическое расщепление, носитель энергии, зависимость от дозы, скорость образования, концентрация раствора.

### THE INFLUENCE OF CONCENTRATION ON THE RADIATION-CHEMICAL YIELD OF MOLECULAR HYDROGEN, FORMING IN RADIOLYSIS OF WATER SOLUTION OF NaOH

S.R. HACIYEVA, N.K. RAMAZANOVA, Y.D. JAFAROV, S.M. ALIYEV, R.T. QULIYEVA

It was investigated the influence of concentration on the radiation-chemical yield of molecular hydrogen forming during the radiolytic conversion occurring by the influence of  $\gamma$ -quantum on water solution of NaOH ( $C_M = 0,025 \div 8$  mol/l). It was determined that radiation-chemical yield of molecular hydrogen decreases depending on solution concentration. It is connected with the fact that thermal electrons forming by the influence of radiation forms excited, intermediate  $(\text{Na}^+ \cdots e^-)^*$  complex with little binding energy together with  $\text{Na}^+$  ions. And it decreases the yield of electrons which plays direct role in forming molecular hydrogen.

**Key words:**  $\gamma$ -quantum, aqueous solution, radiolytic decomposition, energy carrier, dose-dependent, rate of formation, concentration of solution.

## **ПРИМЕНЕНИЕ КООРДИНАЦИОННЫХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ**

**Б.Т. УСУБАЛИЕВ, Ф.Т. МУРВАТОВ, Ф.Б. АЛИЕВА**

Впервые применено и изучено действие композитных материалов БАФ-1 и БАФ -2 на основе координационных полимеров на улучшение реологических свойств нефти. Установлено, что композитные материалы на 60-70% снижают вязкость и также положительно действуют на другие свойства.

**Ключевые слова:** *нефть, вязкость, реологические свойства, композитные материалы, координационные полимеры, нефтеотдача.*

**Введение.** Проблема увеличения степени извлечения нефти из пластов уже в течение нескольких десятилетий является одной из наиболее значимых и обсуждаемых в нефтеперерабатывающих странах мира. Необходимо подчеркнуть, что в большинстве нефтедобывающих стран мира, даже в тех, которые обеспечены запасами на 50 и более лет вперед, забота о полноте извлечения нефти из недр становится приоритетной. Создаются такие экономические условия, при которых недропользователям выгодно развивать и осваивать современные методы увеличения нефтеотдачи (МУН) [1-3].

По состоянию на 2011 год количество действующих проектов МУН в мире составляло 361. Годовая добыча за счет их применения оценивается в 120-130 млн. тонн.

Среди предлагаемых методов особого внимания заслуживает так называемое полимерное заводнение пластов. Лидером по применению этого метода являются США.

Закачка композиции «щелочь - ПАВ – полимер» производится на месторождениях, в разрабатываемых пластах которых уменьшается остаточная нефтенасыщенность.

В последнее время лидером в области закачки является Китай. Применение полимерного заводнения в Китае только на двух месторождениях способствовало получению в 2004 году около 14 млн. тонн нефти, при этом прирост коэффициента извлечения нефти (КИН) составил 14%. Распространение полимерного заводнения на всех месторождениях КНР началось в 1996 году.

Двадцатилетний успешный опыт применения полимерного заводнения пластов в Китае показал, что оно может эффективно применяться на месторождениях с обводненностью выше 95%. Также установлено, что полимеры с молекулярной массой

$(10-18) \cdot 10^6$  могут применяться в большинстве коллекторов, полимеры с большей молекулярной массой более эффективны в высокопроницаемых пластах, а солестойкие полимеры с молекулярной массой – в низкопроницаемых коллекторах.

Закачка композиции «щелочь - ПАВ – полимер» производится на месторождении Cambridge, цель которой состоит в уменьшении остаточной нефтенасыщенности разрабатываемого пласта. При этом контролируются такие характеристики, как соотношение вязкостей вытесняемого и вытесняющего агентов и поверхностное натяжение на границе их раздела. К настоящему времени известно четыре проекта с использованием такой технологии: три проекта в США и один в Китае.

Согласно выполненным расчетам по адаптированной модели заводнение обеспечивало КИН охваченной области пласта – 32,8%, а с использованием композиции «щелочь - ПАВ – полимер» – 56,2%, т.е. прирост нефтеотдачи составил 23,4%.

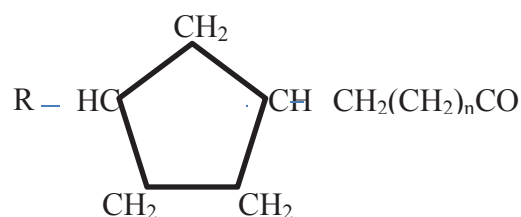
Ввиду геолого-физических особенностей строения продуктивных пластов, расположения скважин, различия вязкостей нефти и воды и т.д. практически на всех нефтяных месторождениях Азербайджана, особенно на суше, наблюдается резкое снижение среднесуточных дебетов нефти по скважинам при их высокой обводненности 65-90% [4]. При этом разработка нефтяных месторождений становится низкоэффективной, хотя в нефтяных коллекторах остается еще значительное количество нефти [5].

В связи с этим важнейшей задачей становится повышение коэффициентов извлечения нефти из пластов на основе применения эффективных МУН.

**Цель исследования.** Настоящая работа посвящена применению координационных соединений, имеющих полимерную структуру, с целью увеличения степени извлечения тяжелых нефтей из пластов.

#### Экспериментальная часть.

**Приготовление композитов.** Композиция БАФ-1 и БАФ-2 приготовлена на основе отхода дизельной фракции, так называемый дизельно-щелочной отход (ДЩО), (ПАВ) и координационных полимеров. Дизельно-щелочной отход по внешнему виду – жидкость темно-коричневого цвета, легко растворяющаяся в воде, и характеризуется следующими показателями: температура кипения 135-210<sup>0</sup>С/3мм рт.ст., плотность  $d_{4}^{20}=1,05\text{г/см}^3$ , коэффициент преломления  $n_{20}^d=1,4710$ , кислотное число = 218 мг КОН/г. Средняя молекулярная масса – 256. По данным элементного анализа содержание углерода – 72,1%, водорода – 11,1%, кислорода – 16,8%. Это алкилциклопентанкарбоновые кислоты с небольшой примесью алкилциклогексанкарбоновых кислот:

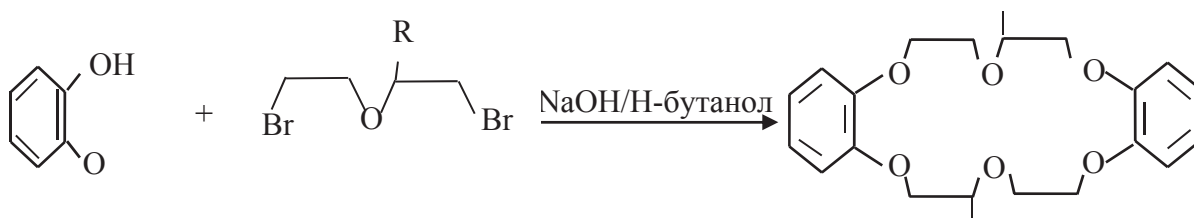


Алкилциклопентанкарбоновые кислоты:



Содержащиеся в отходах щелочной обработки топливных фракций нафтенаты натрия (14,0 – 18,0%) с общей формулой  $\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{COO}^-\text{Na}^+$  по свойствам представляют собой водорастворимые анионоактивные ПАВ. Водный раствор содержит также 2,0 - 2,5% неомыляемых соединений в состоянии эмульсии [6].

Координационные полимеры, которые имеют основы композитов БАФ-1 и БАФ-2, представляют собой поликристаллические порошки, не растворяющиеся в воде и нейтральных органических растворителях, устойчивы в нейтральной и основной средах, солестойки. Они имеют пористо-полимерную структуры с размерами пор 15 - 20Å. Поры сквозные. Композиты БАФ-1 и БАФ-2 приготовили в виде 1%-го раствора координационных полимеров в ДЩО. Выбор ДЩО, как и ПАВ, неслучаен.



Известно, что успех в применении химических реагентов с целью увеличения коэффициента извлечения нефти оценивается вполне определенным свойством поверхностей раздела фаз, характеризуемым точно измеряемой величиной межфазного натяжения ( $\sigma$ ) на границе раздела: применяемый раствор химического реагента – углеводородная жидкость. В связи с этим авторами [6] для исследования механизма физико-химических процессов, происходящих в пласте на границе раздела растворов ДЩО - углеводородная жидкость, был изучен именно этот параметр. Установлено, что наблюдается снижение межфазного натяжения ( $\sigma$ ) на границе со всеми исследованными углеводородными жидкостями. Причем это явление для всех углеводородных жидкостей практически всегда наблюдается в диапазоне концентраций ДЩО в растворе 0,25 - 0,75%, но с разными характеристиками.

В связи с этим 1%-й раствор координационных полимеров в ДЩО разбавляли пластовой водой до получения 3%-го раствора.

Для проведения лабораторного испытания были выбраны образцы нефти, взятые из скважины 1463, эксплуатируемой в данный момент на Сиязанском моноκлиналном участке Амирханлы. Были взяты 7 образцов нефти в объеме 300мл. К первому образцу ничего не добавляли. К оставшимся образцам добавляли 20,40,60,80,100,120 и 140 мл соответственно 3%-ного раствора композита БАФ-1 и БАФ-2 и после 5 часов измеряли их физико-химические характеристики.



Также лабораторные испытания, проводились с участием смеси композитов БАФ-1 и БАФ-2. Для приготовления смеси композиты брали в равном количестве. Например, для приготовления 100 мл 1%-го раствора брали 0,5 г БАФ-1 и 0,5 г БАФ-2. Испытания проводились без добавления и с добавлением пластовой воды. Для испытания с участием пластовой воды из 1%-го раствора ДЩО приготовили 3%-й раствор в пластовой воде. Количество образцов нефти составляло 300 мл.

### Результаты экспериментов и обсуждение полученных результатов.

Результаты замеров вязкостей образцов нефти приведены в таблице 1,2 и 3.

Таблица 1.

#### Результаты замеров вязкостей образцов нефти

Количество 1 и 2%-х растворов БАФ-1,мл	БАФ-1, 1%-й	БАФ-1, 2%-й
	Вязкость,сСт	Вязкость, сСт
0	9,0	9,0
20	7,3	6,4
40	6,4	5,9
60	6,1	5,2
80	5,7	4,8
100	4,8	4,2
120	3,4	3,4
140	2,7	2,7
160	-	2,1

Таблица 2.

#### Результаты замеров вязкостей образцов нефти

Количество 1 и 2%-х растворов БАФ-2,мл	БАФ-2, 1%-й	БАФ-2, 2%-й
	Вязкость, сСт	Вязкость, сСт
0	9,6	9,6
20	7,9	6,8
40	7,1	5,9
60	6,1	4,8
80	5,5	2,9
100	4,6	2,9
120	3,4	1,0
140	2,7	-
160	2,3	-

Таблица 3.

**Изменение вязкостей образцов нефти**

Количество 1%-го раствора смеси композиата БАФ-1 и БАФ-2	Без пластовой воды	Без пластовой воды
	Вязкость, сСт	Вязкость, сСт
0	8,4	8,4
20	6,5	6,5
40	5,7	5,9
60	5,5	5,5
80	5,3	4,2
100	3,8	3,6

Из таблиц 1,2 и 3 и рисунка 1 видно, что с увеличением объема 1 и 2%-х растворов БАФ-1 и БАФ-2, вязкость образцов нефти уменьшается. Уже при 140 мл объема раствора достигается оптимальное значение вязкости. При добавлении растворов можно достичь минимальных значений вязкости, однако слишком низкое значение вязкости нецелесообразно.

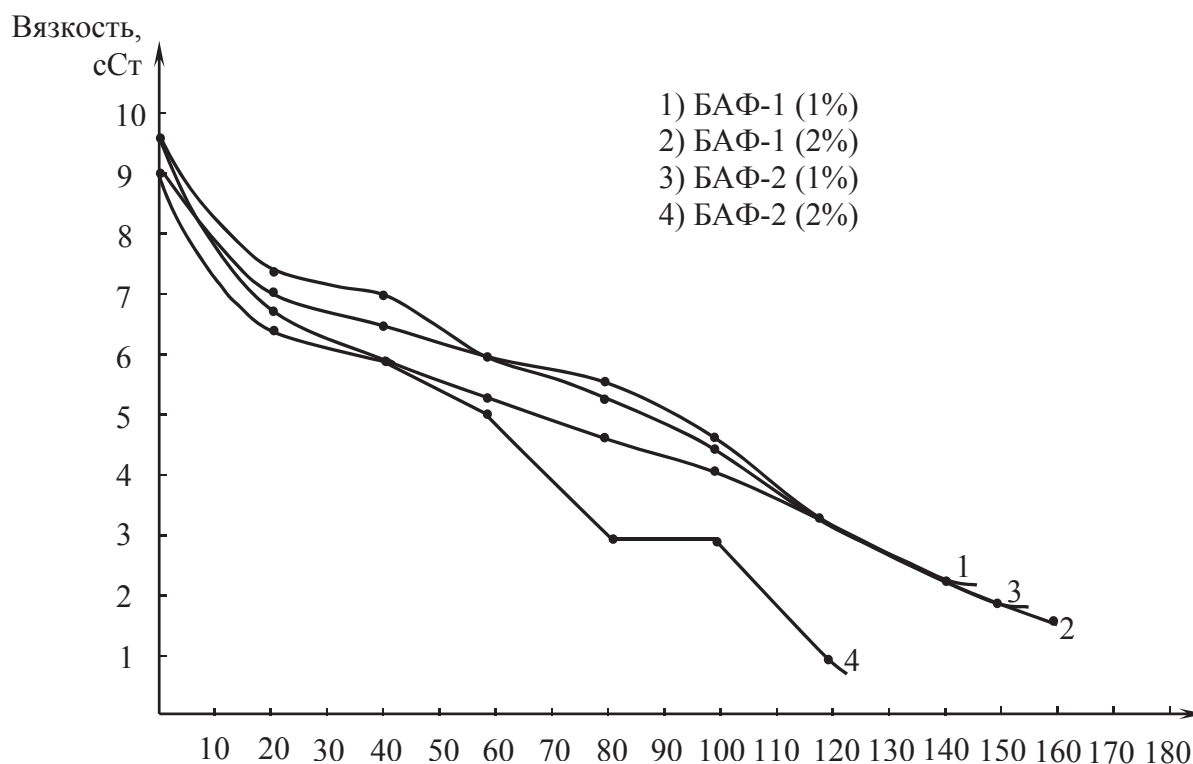


Рис. 1.

Из таблицы 2 видно, что даже 2%-й раствор БАФ-2 при 120 мл объема снижает вязкость до 1 сСт.

При добавлении к образцам нефти композитов БАФ-1 и БАФ-2 не только снизится вязкость, но изменяются и другие характеристики образцов нефти. Изменение этих характеристик нефти представлены в таблице 4. Другие характеристики образцов нефти измерены только после добавления 140 мл композита БАФ-1 (1%) к образцам нефти.

Таблица 4

**Характеристики образца нефти при добавлении 140 мл 1%-го композита БАФ-1**

Характеристики	До введения добавки	После введения добавки
Чистая нефть, %	60,0	80,0
Удельный вес, кг/м <sup>3</sup>	878,0	889,0
Выделенная вода, %	8,0	3,0
Вязкость, сСт	9,0	2,7
Смоли, %	36,04	0,0
Механические смеси, %	32,0	17,0

Таким образом, проведенные опыты показывают, что композиты БАФ-1 и БАФ-2 не только снижают вязкость образцов нефти, но и улучшают другие характеристики нефти.

Для выяснения механизма действия реагентов на реологические свойства нефтей рассмотрены некоторые характеристики различных нефтей в зависимости от содержащихся в ней компонентов.

Физико-химические показатели различных нефтей представлены в табл.5.

Таблица 5.

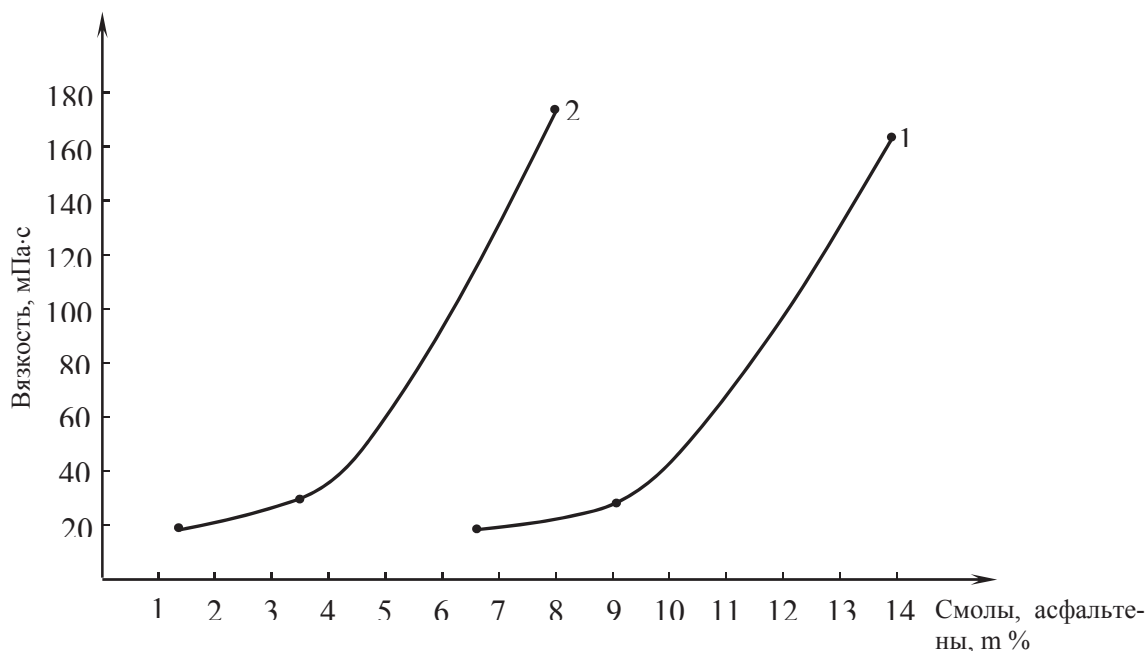
**Физико-химические показатели азербайджанских нефтей**

Месторождения	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Вязкость при 20 <sup>0</sup> С, Мпа*С	Кислотное число, мг КОН/г	Содержание, % (масс.)		
				смоли	Асфальтенов	Парафинов
Биби-Эйбат	877	20,5	1,48	6,5	0,12	0,76
Сангачалы	856	31,8	0,32	8,9	0,35	9,3
Балаханы-Сабунчи-Романа (Кашанаур)(ИКС <sub>4</sub> )	926	164	2,5	14,0	0,8	0,62
Сиязань(Мурдаханлы)	882,5	11,93	-	105,37	0,72	0,78

Как видно из таблицы 3, динамическая вязкость различных нефтей в основном зависит от процентного содержания смоли и асфальтенов в составе нефтей.

На рис.2 приведены изменения динамических вязкостей различных нефтей при 20<sup>0</sup>С в зависимости от процентного содержания смоли и асфальтенов в их составе.

Как известно, массовое содержание смол в нефтях в большинстве случаев находится в пределах 5-20%, однако имеются нефти как вообще не содержащие смол, так и содержащие 30% и более. Смолы различных нефтей существенно различаются по средней молекулярной массе – от 450 до 1500.



**Рис. 2. Изменение вязкостей различных нефтей при 20 °С в зависимости от процентного содержания смол и асфальтенов (1- смолы; 2 - асфальтены)**

Суммарное содержание гетероатомов изменяется также в широких пределах – от 3,5 до 12,5%, но во всех случаях содержание гетероатомов в средней молекуле больше единицы, т.е. смолы можно рассматривать как смесь гетероатомных соединений, содержащих более одного атома в молекуле, и имеющие ареновые и циклоареновые кольца с алкильными заместителями. По-видимому, кольца в основном конденсированы в одном ядре. Явно прослеживается близость строения аренов, гудронов и смол, последние отличаются содержанием гетероэлементов и большей цикличностью [7].

Таким образом, мы предполагаем, что снижение вязкости нефтей связано с тем, что при добавлении к нефти возникают невалентные скекинг-взаимодействия между пористыми координационными полимерами и хроматическими, гетероатомными макроассоциатами, содержащимися в нефти и разрушают их в мелкие фрагменты, что обеспечивает снижение вязкости нефти.

**Заключение.** Впервые установлено, что вязкость нефтей прямо связана с количеством смол и асфальтенов, содержащихся в нефти.

Выявлено, что композиты БАФ-1 и БАФ-2, приготовленные на основе наноструктурных координационных полимеров, снижают вязкость нефтей на 70-75%.

REFERENCE

1. **Volchenko D.A.** Zarubezhnyj opyt primeneniya metodov uvelicheniya nefteotdachi /Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii i neftegazovaya jenergetika - 2013. Ivano-Frankovsk. 2013. s. 26-28 (Ukraina)  
**Вольченко Д.А.** Зарубежный опыт применения методов увеличения нефтеотдачи /Материалы Международной научно-технической конференции и нефтегазовая энергетика - 2013. Ивано-Франковск. 2013. с. 26-28 (Украина)
2. **Vazhkov N.M.** Zakachki CO<sub>2</sub> i para-osnovnyye metody uvelicheniya nefteotdachi //Neftjanaja promyshlennost za rubezhom. Moskva. 2010. №19. s.156-158  
**Бажков Н.М.** Закачки CO<sub>2</sub> и пара-основные методы увеличения нефтеотдачи //Нефтяная промышленность за рубежом. Москва. 2010. №19. с.156-158
3. **Volchenko D.A.** Primenenie metodov uvelicheniya nefteotdachi plastov v mire: opyt i perspektivy. //Vestnik Azerbajdzhanskoj Inzhenernoj Akademii. 2014. t.6. №3. s.69-76  
**Вольченко Д.А.** Применение методов увеличения нефтеотдачи пластов в мире: опыт и перспективы. //Вестник Азербайджанской Инженерной Академии. 2014. т.6. №3. с.69-76
4. **Gusejnov A.N., Ibragimov Z.M., Aslanov T.I.** Obshhie rezultaty po voz-dejstviyu vody na plasty neftyanyh mestorozhdenij na sushe. «Neftjanoe hozjajstvo», Baku, № 9, 2000.  
**Гусейнов А.Н., Ибрагимов З.М., Асланов Т.И.** Общие результаты по воздействию воды на пласты нефтяных месторождений на суше. «Нефтяное хозяйство», Баку, № 9, 2000.
5. **Abbasov M.T., Allahverdiev I.M., Bagirov B.A. i dr.** O dorazrobotke zalezhej Azerbajdzhana s trudnoizvlekaemymi zapasami nefti. //Izvestija NAN Azerbajdzhana, Nauka o Zemle. 2000.№2. s.121-129  
**Аббасов М.Т., Аллахвердиев И.М., Багиров Б.А. и др.** О доработке залежей Азербайджана с трудноизвлекаемыми запасами нефти. //Известия НАН Азербайджана, Наука о Земле. 2000.№2. с.121-129
6. **Strekov A.S., Abbasov M.I., Litvishkov Ju.N. i dr.** Issledovanie poverhnostno-aktivnyh svojstv i nefteizvlekajushhej sposobnosti dizelno-shhelochnogo othoda. // Izvestija NAN Azerbajdzhana. 2006. №2. s.80-85  
**Стреков А.С., Аббасов М.И., Литвишков Ю.Н. и др.** Исследование поверхностно-активных свойств и нефтеизвлекающей способности дизельно-щелочного отхода. // Известия НАН Азербайджана. 2006. №2. с.80-85
7. **Magarija R.Z.** Teoreticheskie osnovy himicheskikh processov pererabotki nefti. /L.:Himija. 1985. 280 s.  
**Магария Р.З.** Теоретические основы химических процессов переработки нефти. /Л.:Химия. 1985. 280 с.

LAYIN NEFT VERİMİNİ ARTIRMAQ ÜÇÜN KOORDİNASİYALI POLİMERLƏRİN TƏDBİQİ

B.T. USUBƏLİYEV, T.F. MÜRVƏTOV, F.B. ƏLİYEV

İlk dəfə olaraq koordinasiya polimerlər əsasında hazırlanmış BAF -1 və BAF-2 kompozit materialların neftin reoloji xassələrinin yaxşılaşdırılması təsiri öyrənilmiş və tətbiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, göstərilən kompozit materialar neftin özlülüyünü 60-70% aşağı salmaqla onun digər xassələrinə də müsbət təsir göstərir.

*Açar sözlər: neft, özüllülük, reoloji xassələr, kompozit materiallar, koordinasiya polimerlər, neft verimi.*

THE LAYER OIL RECOVERY BOOST USING THE COORDINATION POLYMERS

B.T. USUBALIEV, F.T. MURVATOV, F.B. ALIYEV

For the first time, the composite materials such as BAF-1 and BAF-2 are studied to improve the rheological properties of oil on the basis of coordination polymers. It is established that the composite materials reduce the viscosity by 60-70% and have a positive impact on other properties.

*Key words: oil, viscosity, rheology, composite materials, coordination polymers, oil recovery.*

## РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ УЗЛОВ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ УСТАНОВОК

Э.Д. ГУРБАНОВ

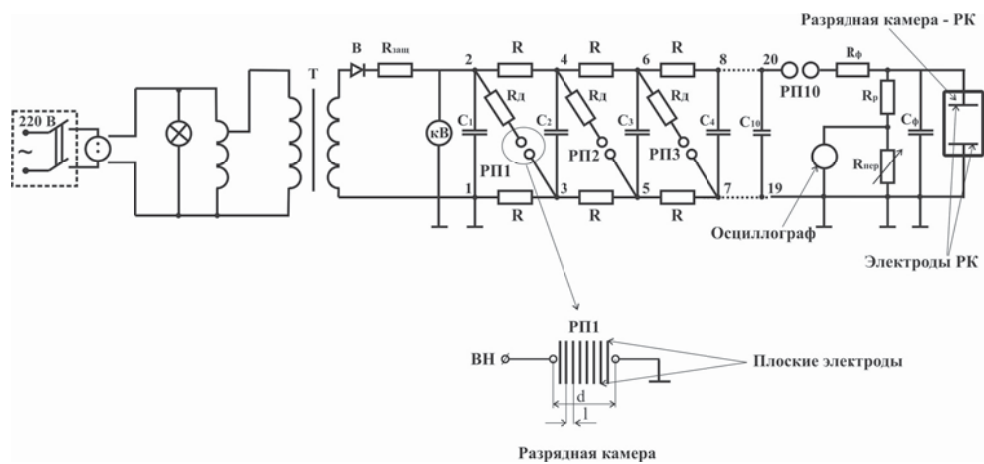
Настоящая статья посвящена рассмотрению параметров основных узлов – искровых разрядников высоковольтных импульсных генераторов напряжения при разработке высокочастотных импульсных установок различного назначения. Приведена методика расчета и учета взаимовлияющих характеристик искровых промежутков, процессов в них и электрических параметров импульсных генераторов для достижения более эффективного приложения высокочастотных импульсных полей на исследуемый объект – нагрузку генератора. Показано, что для стабилизации генерации высокочастотных (наносекундных) импульсов напряжения с требуемой частотой их следования целесообразно в конструкции генератора в качестве стартового искрового разрядника применять схему многозазорного искрового разрядника.

**Ключевые слова:** *генератор импульсных напряжений, высокочастотный импульс, длительность импульса, фронт импульса, многозазорный искровой разрядник, разрядный промежуток, восстановление электрической прочности, частота следования импульсов.*

**Введение.** Развитие импульсной техники для решения многих научных, производственных и экологических задач уже несколько десятилетий вызывает у исследователей данного направления повышенный интерес [1,2]. Наблюдается приоритетное отношение к развитию высокочастотных источников энергии взамен низкочастотным, что объяснимо как с точки зрения их энергоэффективности, так и нестандартности подхода к решению многих важных вопросов, как научного, так и прикладного характера. В этой связи можно отметить работы автора по разработке высоковольтных импульсных установок для решения экологических и технологических задач (защита окружающей среды от токсичных выбросов в атмосферу химических, металлургических предприятий и теплоэлектростанций, очистка и обеззараживание питьевой и сточных вод от патогенных микроорганизмов, продление срока хранения текучих пищевых продуктов без применения консервантов и т.д.) [3-5]. Основным и определяющим звеном во всех этих установках является, без сомнения, высокочастотный источник энергии, разработке конструкции которого уделяется особое внимание. В зависимости от характеристик исследуемой среды, для эффективного решения поставленной технологической задачи проводятся сложные расчеты основных электрических и геометрических параметров таких

устройств. Особо важным в таких устройствах является разработка и усовершенствование конструкций отдельных узлов - искровых разрядников.

Существующие коммутаторы (помимо искровых разрядников) – игнитроны, тиратроны разных видов, вакуумные разрядники [6-8], полупроводниковые коммутаторы – не всегда могут быть использованы в технологических целях, прежде всего из-за недостаточных рабочих напряжений, а также больших времен коммутации токов. Мощные высоковольтные полупроводниковые коммутаторы размыкающего типа (SOS-диоды) [9,10] дорогостоящи и позволяют коммутировать лишь короткие импульсы длительностью до десятков наносекунд. У наиболее высоковольтных тиратронов максимальное коммутируемое напряжение не превышает 200 кВ [11]. Последовательное соединение подобных коммутаторов неизбежно приводит к росту индуктивности разрядного контура и длительности фронта излучаемого импульса. Кроме того, ресурс приборов не превышает  $2 \cdot 10^8$  импульсов [11], что явно недостаточно для технологических установок.



**Рис.1. Электрическая схема высоковольтной импульсной установки**

Статья посвящена разработке более совершенных (в конструктивном плане) узлов – искровых разрядников высоковольтных импульсных источников энергии с целью наибольшего эффективного приложения потребляемой ими энергии в нагрузке и генерации более коротковолновых (наносекундных) импульсов для решения экологических проблем в водосодержащих средах, в частности их обеззараживания от содержащихся в них патогенных болезнетворных микроорганизмов. Следует отметить, что для генерации коротковолновых импульсов и обеспечения длительного ресурса работы искровых разрядников необходимо постоянное совершенствование конструкции отдельных их узлов. Речь идет о модернизации конструкции искровых разрядников высоковольтных генераторов напряжения, обеспечивающей быстрое восстановление электрической прочности разрядных промежутков и длительный непрерывный срок их службы. Для технологических генераторов импульсов в установках со средними мощностями, выделяемыми в нагрузке  $\geq 10$  кВт при требуемой частоте следования импульсов  $\geq 100$  Гц, целесообразнее использование воздушных искровых разрядников, т.к. нет необходимо-

сти в сменных диэлектриках при их непрерывной работе в требуемом частотном режиме. Основные преимущества воздушного искрового разрядника: возможность получения с его помощью нано- и субнаносекундной длительности фронта формируемого импульса, большая пропускная способность по току, простота изготовления и надежность в работе [12,13].

**Экспериментальная установка.** Предлагаемая конструкция генератора предназначена для обеззараживания водосодержащих сред от патогенных микроорганизмов, где должна быть обеспечена генерация импульсов наносекундного диапазона. Данный генератор (рис.1) рассчитан на выходное напряжение 100 кВ и состоит из параллельно включенных емкостных накопителей энергии ( $C_1-C_{10}=1000$  пкФ) с суммарной емкостью  $C_p=100$  пкФ, искровых разрядников с варьируемым межэлектродным расстоянием  $d$ . Длительность фронта и длительность импульса составляют 18 нс и 350 нс соответственно с частотой следования  $\sim 5000$  Гц. При указанных электрических параметрах генератора максимальная рассеиваемая мощность в промежутке одной электродной системы в нагрузке составляет  $\sim 2500$  Вт, что при скорости потока среды  $\sim 5 \cdot 10^{-2}$  м<sup>3</sup>/с и удельных затратах энергии на ее обеззараживание  $\sim 5 \cdot 10^5$  Дж/м<sup>3</sup> составляет  $\sim 25000$  Вт.

Срабатывающие от перенапряжения при атмосферном давлении воздушные разрядные промежутки – РП1-РП10 составляют суммарный искровой промежуток между накопительным конденсатором –  $C_1$  и нагрузкой – разрядной камерой (РК).

Следует отметить, что генераторы импульсных напряжений на емкостных накопителях энергии выгодно отличаются от других генераторных схем с гораздо более низким внутренним сопротивлением, что позволяет на низкоомной нагрузке в 10-30 Ом формировать импульсы напряжения с амплитудой, близкой к амплитуде зарядного напряжения –  $U$ . Форма и стабильность генерируемых импульсов существенно зависят от параметров элементов генератора. Для своевременного срабатывания искровых разрядников и обеспечения требуемой частоты следования импульсов необходимо соблюдение условия быстрого восстановления электрической прочности разрядного промежутка после окончания импульса тока, т.е. быстрого распада плазмы газового разряда после прекращения действия источников ионизации в ней. В связи с этим и одновременно с целью укорочения фронта импульса разрядный промежуток РП1 был выполнен многоззорным из плоских пластин (рис.1).

С другой стороны, необходимыми требованиями к генераторам высоковольтных импульсов для технологических установок являются простота конструкции, их долговечность и дешевизна составляющих элементов. Как уже отмечалось, в генераторах импульсов напряжения с емкостными накопителями энергии на 100...150 кВ в качестве коммутирующих элементов указанным требованиям в наибольшей степени отвечают воздушные искровые разрядники при атмосферном давлении [14]. К недостаткам искровых разрядников следует отнести больший, чем у полупроводниковых высоковольтных коммутаторов, разброс амплитуд и времени коммутации. Кроме того, к технологическим установкам такого назначения предъявляются и достаточно высокие требования по частоте следования генерируемых импульсов.



**Аналитическая часть.** Высоковольтные генераторы импульсных напряжений на емкостных накопителях энергии с воздушными искровыми разрядниками должны обеспечивать бесперебойную стабильную генерацию импульсов требуемой высокой частоты следования. Для достижения этих условий необходимо при разработке искровых разрядников учитывать физические процессы, протекающие в разрядном промежутке и непосредственно влияющие на стабилизацию вышеуказанных параметров. В частности, для обеспечения высокой частоты следования импульсов необходимо за короткое время обеспечить восстановление электрической прочности разрядного промежутка, т.е. обеспечить процесс быстрого распада плазмы в канале разряда. Это происходит в результате уменьшения температуры заряженных частиц, когда потери энергии не компенсируются внешними источниками и вследствие процессов диффузии и рекомбинации заряженных частиц происходит уменьшение их концентрации [15]. При этом соблюдаются следующие условия:

$$\tau_{Ti} = \frac{2}{v_{ia}} \ll \tau_{Te} = \frac{1}{k_{ea}v_{ea}} \ll \tau_D \quad (1)$$

где -  $\tau_{Ti}, \tau_{Te}$  - постоянные времени спада температуры ионов и электронов соответственно,  $\tau_D$  - постоянная времени диффузии заряженных частиц,  $v_{ia}, v_{ea}$  - частоты столкновений с атомами ионов и электронов соответственно,  $k_{ea}$  - коэффициент передачи энергии при столкновениях электронов с атомами. Время спада электронной температуры много больше времени спада температуры ионов вследствие малой эффективности передачи энергии электронами при столкновениях с атомами ( $k_{ea} \ll 1, k_{ia} = \frac{1}{2}, k_{ia}$  - коэффициент передачи энергии при столкновениях ионов с атомами). Поэтому на первой стадии восстановления происходит уменьшение температуры ионов, затем электронов, а концентрация заряженных частиц остается практически неизменной. На следующей стадии температура заряженных частиц практически равна температуре нейтральных атомов газа, и происходит относительно медленное уменьшение концентрации заряженных частиц.

Уменьшение концентрации заряженных частиц характеризуется постоянной времени диффузии -  $\tau_D$  и постоянной времени рекомбинации -  $\tau_r$  [15]:

$$\tau_D = \frac{\Lambda^2}{D_\Lambda} = \frac{\Lambda^2 m_i v_{ia}}{2(T_e + T_i)} = \frac{(k_\Lambda a)^2 m_i v_{ia}}{2(T_e + T_i)} \quad (2)$$

$$\tau_r = \frac{1}{\alpha n_0} \quad (3)$$

где -  $\Lambda$  - диффузионная длина,  $k_\Lambda$  - коэффициент пропорциональности,  $a$  - радиус или характерный размер плазмы,  $T_e, T_i$  - температура электронов и ионов соответственно в энергетических единицах,  $m_i$  - масса ионов,  $D_\Lambda$  - коэффициент амбиполярной диффузии,  $n_0$  - концентрация заряженных частиц в центральной области плазмы,  $\alpha$  - коэффициент рекомбинации [15].

Плотность тока в плазме:

$$\vec{j} \cong en(\vec{v}_i - \vec{v}_e) \quad (4)$$

где  $-e$  – заряд электрона,  $n$  – концентрация электронов, равная концентрации ионов,  $\vec{v}_i, \vec{v}_e$  – вектор скорости ионов и электронов соответственно.

Восстановление электрической прочности разрядного промежутка можно считать завершившимся, когда:

$$t > \tau_D \quad (5)$$

Согласно [15], на поздней стадии распада, когда  $t > \tau_D$  и (или)  $t > \tau_r$  при  $\tau_D \ll \tau_r$  имеет место диффузионный вариант распада плазмы:

$$n(t) = n(0) * \exp\left(-\frac{t}{\tau_D}\right) \quad (6)$$

а при  $\tau_r \ll \tau_D$  имеет место рекомбинационный вариант распада:

$$n(t) = \frac{n(0)}{1 + \alpha n(0)t} \quad (7)$$

Из (2)-(7) следует, что ускорить распад плазмы можно увеличением коэффициента рекомбинации, уменьшением характерного размера плазмы, чего можно достичь при соответствующей замене искрового разрядника на многоззорную конструкцию (рис.1) с микроззорами  $a \leq 1$  мм, уменьшением массы ионов газа в разрядном промежутке (наилучшая среда – водород, имеющий минимальную массу ионов), уменьшением частоты столкновений ионов с атомами. Из (2) следует, что постоянная времени диффузии пропорциональна квадрату характерного размера плазмы. Поэтому в разрядниках следует стремиться к минимально возможным продольным размерам отдельных разрядных промежутков для ускорения протекания процесса диффузии заряженных частиц, причем процесс деионизации протекает быстрее в случае разбиения промежутка на несколько частей [13]. Кроме того, через 150-200 мкс после прекращения импульса тока через разрядный промежуток в процессе охлаждения газа вследствие увеличения его плотности в нем развивается радиальное движение газа к центру канала, имеющее резко выраженную турбулентность [16]. Турбулентное движение способствует быстрому охлаждению газа и, следовательно, скорейшему восстановлению электрической прочности. Вероятно, в многоззорном разряднике турбулентное движение в каждом отдельном промежутке обеспечивает более быстрое восстановление электрической прочности промежутка всего разрядника, способствующее обрыву тока через разрядный промежуток [17]. Таким образом, одним из путей повышения частоты срабатывания разрядников является использование нескольких последовательно включенных коротких разрядных промежутков вместо одного длинного (рис.1).

В общем случае, чем меньше исходная концентрация  $n_0$  заряженных частиц, при которой начался распад плазмы после разряда в промежутке, тем быстрее восстановится электрическая прочность промежутка, тем быстрее концентрация  $n(t)$  достигнет такого малого значения, которое обеспечивает погасание искрового разряда. Поэтому в (4) следует стремиться достичь требуемой высокой плотности тока в плазме за счет увеличения не концентрации заряженных частиц (электронов и ионов), а их направленной скорости движения.

Этого можно достичь в сильном электрическом поле, напряженность которого можно тем сильнее увеличить, чем короче длительность фронта импульса (в наносе-

кундном диапазоне характерных времен). В сильном электрическом поле электроны между столкновениями набирают энергию, сравнимую с критической, и могут перейти в режим непрерывного ускорения (убегания) при напряженности поля [15]:

$$E_c \approx 0,2 \frac{ne^3}{\varepsilon^2 T_e} \ln \left[ \frac{12\pi(\varepsilon T_e)^{3/2}}{e^2 n^{1/2}} \right] \quad (8)$$

где  $\varepsilon$  - абсолютная диэлектрическая проницаемость плазмы.

Согласно [18] критическая напряженность  $E_c$  превышает пробивную напряженность в азоте –  $E_{np}=30$  кВ/см (при  $p=1$  атм) – примерно в 15 раз. При повышенных давлениях в газоразрядных промежутках можно достичь значений  $E \approx E_c$ , но только на стадии формирования пробоя промежутков. Длительность этой стадии составляет единицы, и даже доли наносекунд. Соответственно, длительность фронта импульсов напряжения на разрядниках должна быть соизмерима либо меньше времени формирования.

Изложенные соображения подтверждаются экспериментальными исследованиями [19], в которых показано, что, чем короче фронт импульса в наносекундном диапазоне, тем быстрее восстанавливается электрическая прочность (ВЭП) разрядного промежутка.

Оценим время восстановления электрической прочности. Пусть  $t_{ВЭП} = 10\tau_D = 5 \frac{(k_A a)^2 m_i v_{ia}}{T_e + T_i}$ , тогда при  $k_A = 0,3$ ;  $a=10^{-3}$  м;  $m_i = 2,34 * 10^{-26}$  кг;  $v_{ia} = 10^{10}$  Гц;  $T_e = T_i = 5 * 10^{-20}$  Дж, получим  $t_{ВЭП} \approx 10^{-3}$  с. Реальная картина распада плазмы существенно сложнее рассмотренной здесь модельной трехкомпонентной плазмы (атомы, электроны, положительные однозарядные ионы). Однако такое рассмотрение позволяет оценить основные процессы при восстановлении электрической прочности разрядного промежутка.

**Обсуждение результатов.** Известно [19], что в воздухе при атмосферном давлении без продувки после прекращения тока через разрядник восстановление его электрической прочности по напряжению до 80% статического пробивного напряжения достигается за время ( $10^{-3}$ - $10^{-2}$ ) с, а полное восстановление электрической прочности промежутка – за сотни миллисекунд. Это справедливо для мощных импульсов тока с амплитудами в десятки-сотни килоампер, длительностями в десятки и сотни микросекунд и фронтами в единицы-десятки микросекунд. Согласно этому частота срабатывания разрядников при указанных условиях работы не должна превышать 10 Гц. В областях же наносекундных импульсов, согласно [19], восстановление электрической прочности промежутка (ВЭП) разрядника тем эффективнее, чем короче длительность фронта импульса (при длительностях импульсов в сотни микросекунд эта тенденция ослабевает): при длительности фронта импульсов  $\sim 100$  нс восстанавливающая электрическая прочность искрового разрядника по напряжению достигает уровня 80% от статического пробивного напряжения за  $\sim 2 * 10^{-3}$  с, а уровня 95% - за  $\sim 5 * 10^{-3}$  с. Следовательно, путем укорочения длительности фронта импульса за счет быстрого восстановления электрической прочности промежутков возможно достичь повышения частоты срабатывания искровых разрядников. Предложенный вариант использования многозазорного разрядника

в качестве стартового позволит достичь высокой частоты следования импульсов ( $>1000$  Гц) с амплитудой более 100 кВ, с фронтом в десятки наносекунд и длительностью в сотни наносекунд. После срабатывания всех искровых разрядников на нагрузке формируется импульс с длительностью фронта  $\sim 20$  нс и длительностью импульса  $\sim 400$  нс (в зависимости от полного сопротивления нагрузки – разрядной камеры с исследуемым объектом).

В описанных конструкциях разрядников используются легкодоступные материалы. Так, в качестве материала электродов была выбрана сталь как материал, близкий к оптимальному и характеризующимся равномерным небольшим износом (эрозией) [20, 21]. В качестве изоляционного материала в конструкциях разрядников широко использовано оргстекло (стенки корпусов, держатели электродов), т.к. оно превосходит другие широко используемые электроизоляционные материалы по сочетанию таких характеристик, как электрическая прочность (в том числе вдоль поверхности) и удобство обработки как конструкционного материала.

При отработке режима обработки водосодержащих пищевых продуктов с целью повышения их микробиологической стойкости была использована рабочая камера с плоскими параллельными электродами размером 35 мм x 35 мм каждый и расстоянием между ними 10 мм. Омическое сопротивление обрабатываемой среды в камере составляло  $\sim 40$  Ом. На этой нагрузке была получена амплитуда импульсов по напряжению  $\sim 100$  кВ с длительностью фронта  $\sim 18$  нс при оптимальных зазорах в многозазорном разряднике: РП1 – 8 зазоров по 3 мм. Для получения коротковолнового импульса максимальное межэлектродное расстояние последнего разрядника РП10 составляло  $\sim 17$  мм. Нестабильность по амплитуде не превышала  $\pm 20\%$  относительно средней амплитуды при частоте следования  $\sim 5000$  Гц. Дальнейшее увеличение межэлектродного расстояния РП10 приводит к завалу фронта и падению амплитуды импульса. Указанные режимы получены для воздушных разрядников при атмосферном давлении без применения продувки.

Следует отметить, что ресурс искровых разрядников определяется характером и степенью эрозии их электродов. Экспериментальные исследования показали, что наименее стойкими к эрозии являются электроды разрядника РП1 в двухэлектродном исполнении, поскольку время нарастания тока в нем наибольшее, а условия погасания искры наихудшие. Поэтому этот разрядник был выполнен многозазорным, а его электроды в конечном варианте имели развитую поверхность. Экспериментально проверенная на протяжении  $\sim 2 \cdot 10^9$  импульсов рабочая поверхность каждого из электродов РП1 в конечном варианте, по которой от импульса к импульсу перемещается основание искры, составляет  $\sim 40$  см<sup>2</sup>. Электроды остальных искровых разрядников являются наиболее стабильными к эрозии, так как время нарастания тока в этих промежутках наименьшее и при работе на нагрузку составляет  $\sim 20$  нс. При этом следует иметь в виду, что заряд, передаваемый через разрядники в нагрузку, практически одинаков для всех разрядников.

**Заключение.** Таким образом, по результатам проведенных исследований можно заключить, что в настоящее время в высоковольтных импульсных установках для реше-

ния задач частотной коммутации (с частотой следования импульсов до десятков килогерц) больших мощностей при рабочих напряжениях более 100 кВ с малыми финансовыми затратами альтернативы воздушным искровым разрядникам пока нет. Решение проблемы разрушения электродов искровых разрядников, на наш взгляд, должно осуществляться в нескольких направлениях. Во-первых, это создание конструкций разрядников с максимально возможными активными поверхностями электродов, в которых основания искровых каналов в процессе разряда перемещаются по поверхности электродов. Во-вторых, это создание условий многоканального разряда. Помимо повышения ресурса разрядников, это позволит также уменьшить его индуктивность. И, наконец, поиск, создание достаточно дешевых, стойких к эрозии материалов для электродов.

Повышение частоты следования можно, на наш взгляд, достичь путем использования импульсов с длительностями в десятки наносекунд с предельно короткими фронтами и путем применения миллиметровых зазоров в разрядных промежутках, поскольку оба пути повышают эффективность восстановления электрической прочности промежутков искровых разрядников. Анализ кривых зависимости ВЭП от длительности разрядного импульса [19] позволяет предположить, что в области наносекундных и субнаносекундных фронтов время полного восстановления электрической прочности разрядных промежутков не намного будет превышать длительность самого импульса. Для длительностей импульсов в десятки–сотни наносекунд это может означать возможность повышения частоты следования для разрядников до 1 МГц. Причем предположительно, чем короче длительность импульса, тем эффективнее гашение искры в разрядном промежутке [22].

Анализ информации о скорости восстановления электрической прочности в многозазорных разрядниках показывает [23], что при увеличении амплитуды импульсов тока скорость восстановления электрической прочности промежутка разрядника возрастает. Вероятно, это связано с тем, что при больших амплитудах тока при охлаждении канала разряда большая доля рассеиваемой в нем энергии приходится на излучение, а также с тем, что турбулентное охлаждение канала разряда идет более интенсивно, чем при меньших амплитудах тока. Таким образом, в технологических установках с высокой средней мощностью (50...100 кВт) при высокой частоте посылок наносекундных импульсов целесообразно увеличивать амплитудное значение коммутируемых с помощью токов многозазорных разрядников. В [24] рассматривается механизм восстановления электрической прочности промежутка. Согласно ему, в начальный отрезок времени (до 100-150 мкс для водорода) после разряда восстановительная способность не зависит от длины промежутка (если это расстояние больше 3-4мм) и определяется прочностью ионного слоя у катода, образующегося под действием прикладываемого к промежутку напряжения, и только потом – плотностью газа в столбе. Толщина ионного слоя определяется концентрацией зарядов в канале разряда и не зависит от его длины. Пока концентрация зарядов не упадет настолько, что ионный слой распространится на весь промежуток, восстанавливаемая электрическая прочность не зависит от расстояния между электродами. Кроме того, согласно [24], охлаждающее действие электродов сказывается на

прилегающих к ним участках каналов разряда длиной до 1мм. Исходя из этого, также следует применять разрядники с малыми зазорами (до 2мм), чтобы использовать только начальные крутые участки кривой восстановления промежутков.

Повышая давление в зоне разряда, можно добиться еще большего градиента плотности газа в направлении от оси канала разряда к его внешней оболочке по сравнению с разрядом при атмосферном давлении [16]. Повышенный градиент плотности газа вызывает более интенсивное турбулентное движение и охлаждение газа, что в конечном итоге повышает скорость восстановления разрядного промежутка на пологом участке кривой восстановления и, следовательно, частоту срабатывания разрядника. С другой стороны, повышая давление от 1 до 7-10 атм., можно на порядок повысить мощность, рассеиваемую на единицу длины канала, (с 20 до 250 Вт/мм) без потери управляемости разрядника до частот 2 кГц [25], а это значит, что также на порядок можно повысить и коммутируемую мощность за счет увеличения величины пробивного напряжения разрядника при тех же значениях частот следования импульсов.

Таким образом, имеющиеся теоретические предпосылки и экспериментальные результаты позволяют сделать вывод о перспективности применения воздушных искровых разрядников в сочетании с многозазорным стартовым разрядником в высоковольтных импульсных технологических установках с требованием высокой частоты следования импульсов.

## REFERENCE

1. **Kuzmenko M.E., Mitichkin O.V., Bezlepkin A.I., Kostyuchenko S.V., Kudryavtsev N.N.** "Pecherkin. Experimental exploration of the low pressure amalgam lamp at the increased power of the discharge", TVT. Russia, V. 38, № 3, 2000. p. 510-513.
2. **Mammadov N.A., Davudov B.B., Dashdamirov K.M., Sadikhzadeh G.M., Alekberov Sh.Sh.** "Using of Ozone Technology during Biological and Chemical Processes and Polluted water Purification", International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE), Issue 17, Vol. 5, No. 4, December 2013. p. 184-189.
3. **Kuznecov V.G., Gashimov A.M., Qurbanov E.D.** Issledovanie struktury nanosekundnogo strimer'nogo razryada metodom jelektrografii. Tehnicheskaja jelektrodinamika. Kiev, № 6, 2009. s. 17-22.  
**Кузнецов В.Г., Гашимов А.М., Гурбанов Э.Д.** Исследование структуры наносекундного стримерного разряда методом электрографии. Техническая электродинамика. Киев, № 6, 2009. с. 17-22.
4. **Qurbanov E.D.** Kompleksnoe issledovanie harakteristik nanosekundnogo strimer'nogo razryada v rezkoneodnorodnom pole pri nalichii v promezhutke dielektricheskikh plastin. Izvestija NAN Azerbaj dzhana. Baku, t. 29, № 5, 2009. s. 20.  
**Гурбанов Э.Д.** Комплексное исследование характеристик наносекундного стримерного разряда в резконеоднородном поле при наличии в промежутке диэлектрических пластин. Известия НАН Азербайджана. Баку, т. 29, № 5, 2009. с. 20.
5. **Kuzhikin I.P., Qurbanov E.D.** Silnye elektricheskie polya i impulsnye razryady v vode. Vestnik MJeI, № 2, Moskva, 2008. s. 33-36.  
**Кужикин И.П., Гурбанов Э.Д.** Сильные электрические поля и импульсные разряды в воде. Вестник МЭИ, № 2, Москва, 2008. с. 33-36.
6. **Alferov D.F., Sidorov V.A.** Modernizirovannyj vakuumnij upravljaemyj razryadnik s shestizazorn oj sterzhnevoj elektrodnoj sistemoj // Pribory i tehnika eksperimenta. – 1996. - № 3. –s.80-86.

- Алферов Д.Ф., Сидоров В.А.** Модернизированный вакуумный управляемый разрядник с шестизорной стержневой электродной системой // Приборы и техника эксперимента. – 1996. - № 3. – с.80-86.
7. **Alferov D.F., Ivanov V.P., Sidorov V.A.** Silnotochnye vakuurnye kommutirujushhie ustrojstva dlja moshhnyh nakopitelej energii // Pribory i tehnika eksperimenta. – 1998, № 5. – s.83-90.  
**Алферов Д.Ф., Иванов В.П., Сидоров В.А.** Сильноточные вакуумные коммутирующие устройства для мощных накопителей энергии // Приборы и техника эксперимента. – 1998, № 5. – с.83-90.
8. **Kichaeva G.S.** Issledovanie i razrabotka silnotochnyh upravlyaemyh vakuurnyh razrjadnikov na naprjazhenie do 100 kV dlja emkostnyh nakopitelej energii: Diss. kand. tehn. nauk: 05.14.12 / Leningradskij politehnicheskij institut. - L.: 1981. – s.275.  
**Кичаева Г.С.** Исследование и разработка сильноточных управляемых вакуумных разрядников на напряжение до 100 кВ для емкостных накопителей энергии: Дисс. канд. техн. наук: 05.14.12 / Ленинградский политехнический институт. - Л.: 1981. – с.275.
9. **Ljubutin S.K., Mesjac G.A., Rukin S.N., Slovikovskij B.G.** Subnanosekundnyj obryv toka v moshhnyh poluprovodnikovyh SOS-diodah // Doklady Akademii nauk. – 1998. – Т.360, № 4. – s.477-479.  
**Любутин С.К., Месяц Г.А., Рукин С.Н., Словиковский Б.Г.** Субнаносекундный обрыв тока в мощных полупроводниковых SOS-диодах // Доклады Академии наук. – 1998. – Т.360, № 4. – с.477-479.
10. **Rukin S.N.** Generatory moshhnyh nanosekundnyh impulsov s poluprovodnikovymi pregyvateljami toka (obzor) // Pribory i tehnika eksperimenta. – 1999. - № 4. – s. 5-36.  
**Рукин С.Н.** Генераторы мощных наносекундных импульсов с полупроводниковыми прерывателями тока (обзор) // Приборы и техника эксперимента. – 1999. - № 4. – с. 5-36.
11. **Impulsnye sistemy bolshoj moshhnosti: Sb. statej / Per. s angl. pod red. E.I. Asinovskogo V.S. Komelkova.** – М.: Mir, 1981. – s.248.  
**Импульсные системы большой мощности: Сб. статей / Пер. с англ. под ред. Э.И. Асиновского В.С. Комелькова.** – М.: Мир, 1981. – с.248.
12. **Kremnev V.V., Mesjac G.A.** Metody umnozhenija i transformacii impulsov v silnotočnoj elektronike. – Novosibirsk: Nauka, 1987. – s.226.  
**Кремнев В.В., Месяц Г.А.** Методы умножения и трансформации импульсов в сильноточной электронике. – Новосибирск: Наука, 1987. – с.226.
13. **Mesjac G.A.** Generirovanie moshhnyh nanosekundnyh impulsov. – М.:Sov. Radio, 1974. – s.256.  
**Месяц Г.А.** Генерирование мощных наносекундных импульсов. – М.:Сов. Радио, 1974. – с.256.
14. **Vojko N.I., Evdoshenko L.S., Zarochencev A.I., Ivanov V.M., Tur A.N.** Vysokovoltnye iskrovye razrjadniki dlya tehnologicheskix ustanovok // Pribory i tehnika eksperimenta. – 2001. - № 2. – s. 79-88.  
**Бойко Н.И., Евдошенко Л.С., Зароченцев А.И., Иванов В.М., Тур А.Н.** Высоковольтные искровые разрядники для технологических установок // Приборы и техника эксперимента. – 2001. - № 2. – с. 79-88.
15. **Golant V.E., Zhilinskij A.P., Saharov I.E.** Osnovy fiziki plazmy. - М.: Atomizdat, 1977. – s.384.  
**Голант В.Е., Жилинский А.П., Сахаров И.Е.** Основы физики плазмы. - М.: Атомиздат, 1977. – с.384.
16. **Belkov E.P.** Vosstanovlenie elektricheskoj prochnosti iskrovyh promezhutkov posle protekanija bolshih impulsov toka // Zhurnal tehničeskoj fiziki. – 1974. – Т.44, вып.9. – s. 1946-1951.  
**Бельков Е.П.** Восстановление электрической прочности искровых промежутков после протекания больших импульсов тока // Журнал технической физики. – 1974. – Т.44, вып.9. – с. 1946-1951.

17. **Perunov A.A.** Razrabotka i issledovanie sistem kommutacii mnogostupenchatyh generatorov impulsov vysokogo napryazhenija: Diss. kand. tehn. nauk: 05.14.12 / Vsesojuznyj elektrotehnicheskij institut. - M.: 1982. – s.234.  
**Перунов А.А.** Разработка и исследование систем коммутации многоступенчатых генераторов импульсов высокого напряжения: Дисс. канд. техн. наук: 05.14.12 / Всесоюзный электротехнический институт. - М.: 1982. – с.234.
18. **Korolev Ju.D., Mesyac G.A.** Fizika impulsnogo proboja gazov. - M.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., 1991. – s.224  
**Королев Ю.Д., Месяц Г.А.** Физика импульсного пробоя газов. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. – с.224
19. **Borisov R.K., Budovich V.L., Kuzhekin I.P.** Issledovanie vosstanovlenija elektricheskoy prochnosti promezhtukov posle protokanija impul'snyh tokov // Mezhvuzovskij sbornik "Vysokovoltnaja impulsnaja tehnika". – Cheboksary: Izd-vo Chuvashskogo gos. un-ta, 1980. – s.3-11.  
**Борисов Р.К., Будович В.Л., Кужекин И.П.** Исследование восстановления электрической прочности промежутков после протекания импульсных токов // Межвузовский сборник "Высоковольтная импульсная техника". – Чебоксары: Изд-во Чувашского гос. ун-та, 1980. – с.3-11.
20. **Kovalchuk B.M., Kremnev V.V., Potalicyn Ju.F.** Silnotochnye nanosekundnye kommutatory / Pod red. G.A. Mesyaca. - Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1979. – s.176.  
Ковальчук Б.М., Кремнев В.В., Поталицын Ю.Ф. Сильноточные наносекундные коммутаторы / Под ред. Г.А. Месяца. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. – с.176.
21. **Potalicyn Ju.F.** Impul'snyj razryad v szhatom gaze pri megavoltnyh napryazhenijah // Impul'snyj razryad v dielektrikah: Pod red. G.A. Mesyaca. - Novosibirsk: Nauka. Sibirskoe otdelenie, 1985. – s.55-83.  
**Поталицын Ю.Ф.** Импульсный разряд в сжатом газе при мегавольтных напряжениях // Импульсный разряд в диэлектриках: Под ред. Г.А. Месяца. - Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1985. – с.55-83.
22. **Belkov E.P.** Gashenie razryada i vosstanovlenie elektricheskoy prochnosti v iskrovyyh razryadnikah // Tezisy dokladov i soobshhenij na zasedanii sekcii IV Nauchnogo soveta po teoreticheskim i elektrofizicheskim problemam elektroenergetiki otd-nija fiziko-tehnicheskikh problem energetiki AN SSSR "Elektrofizicheskie harakteristiki kanalnoj stadii razryada primenitelno k probleme kommutacii". – Karaganda, 23-26 ijunya 1976. – s.92-95.  
**Бельков Е.П.** Гашение разряда и восстановление электрической прочности в искровых разрядниках // Тезисы докладов и сообщений на заседании секции IV Научного совета по теоретическим и электрофизическим проблемам электроэнергетики отд-ния физико-технических проблем энергетики АН СССР "Электрофизические характеристики канальной стадии разряда применительно к проблеме коммутации". – Караганда, 23-26 июня 1976. – с.92-95.
23. **Perunov A.A.** Razrabotka i issledovanie sistem kommutacii mnogostupenchatyh generatorov impulsov vysokogo napryazhenija: Diss. kand. tehn. nauk: 05.14.12 / Vsesojuznyj elektrotehnicheskij institut. - M.: 1982. – s.234.  
**Перунов А.А.** Разработка и исследование систем коммутации многоступенчатых генераторов импульсов высокого напряжения: Дисс. канд. техн. наук: 05.14.12 / Всесоюзный электротехнический институт. - М.: 1982. – с.234.
24. **Rubchinskij A.V.** Vosstanovlenie probivnoj prochnosti posle iskrovogo razryada // Issledovanija v oblasti elektricheskogo razryada v gazah: Trudy VEI. – Vyp. 63 / Pod red. B.N. Kljarfelda. – M. - L.: Gosjenergoizdat. – 1958. – s.54-87.  
**Рубчинский А.В.** Восстановление пробивной прочности после искрового разряда // Исследования в области электрического разряда в газах: Труды ВЭИ. – Вып. 63 / Под ред. Б.Н. Клярфельда. – М. - Л.: Госэнергоиздат. – 1958. – с.54-87.



25. Vanyukov M.P., Isaenko V.I., Travleev G.N. Issledovanie processov vosstanovleniya elektricheskoy prochnosti iskrovogo promezhutki pri rabote ego v rezhime povtornykh razryadov // Zhurnal tehnicheckoy fiziki. – 1962, T. 32, vyp. 6. – s.746-752.  
**Ванюков М.П., Исаенко В.И., Травлеев Г.Н.** Исследование процессов восстановления электрической прочности искрового промежутка при работе его в режиме повторных разрядов // Журнал технической физики. – 1962, Т. 32, вып. 6. – с.746-752.

## **YÜKSƏK GƏRGİNLİKLİ VƏ YÜKSƏK TEZLİKLİ İMPULS QURĞULARININ ƏSAS HİSSƏLƏRİNİN İŞLƏNİLMƏSİ**

**E.C. QURBANOV**

Təqdim olunan məqalə müxtəlif təyinatlı yüksək tezlikli impuls qurğularının işlənilməsində istifadə olunan yüksək gərginlikli impuls generatorlarının əsas hissələrindən sayılan qığılcım qaz boşaldıcılarının parametrlərinin tədqiqinə həsr olunub. Məqalədə tədqiq olunan obyektə qarşı yüksək tezlikli impuls elektrik sahələrinin daha effektiv tətbiqi məqsədilə impuls generatorların elektrik, qığılcım qaz boşalmaları sahələrinin, orada baş verən fiziki proseslərinin xüsusiyyətlərinin biri-birinə qarşılıqlı təsirinin və onların riyazi üsullarla təyin olunması metodikası təqdim edilmişdir. Təyin edilmişdir ki, tələb olunan təkrarlanma tezliklərlə yüksək tezlikli (nanosaniyəli) impulsların generasiyasının tənzimlənməsi üçün impuls generatorların start qığılcım qaz boşaldıcılarının konstruksiyasının əvəzinə çoxsaylı - qaz boşalma sahəli qığılcım qaz boşaldırıcısı modelininin istifadəsi məqsədəuyğun sayılır.

***Açar sözlər:** impuls gərginlikli generator, yüksək tezlikli impuls, impulsun müddəti, impuls frontunun müddəti, çoxsaylı - qaz boşalma sahəli qığılcım qaz boşaldırıcısı, qaz boşalma sahəsi, elektrik möhkəmliyinin bərpası, impulsların təkrarlanma tezliyi*

## **DEVELOPMENT OF THE MAIN UNITS OF HIGH-FREQUENCY HIGH-VOLTAGE PULSE INSTALLATIONS**

**E.J. GURBANOV**

The present article is devoted to consideration of parameters of the main units – discharge gaps of high-voltage pulsed generators at developing of high-frequency pulsed installations for different purposes. The calculation method and accounting of the mutually influencing characteristics of spark dischargers, processes in them and electric parameters of pulse generators for reaching of more effective impact of high-frequency pulse fields on explored object – generator loading is given. It is shown, that for stabilization of generation of high-frequency (nanosecond) tension pulses with required frequencies of following pulses it is expedient to use in generator design the multigap starting spark dischargers.

***Key words:** generator of pulse tensions, high-frequency pulse, pulse duration, front of pulse, multigap spark discharger, discharge gap, recovery of electric durability, frequency of following pulses*

## İSTİSMAR ZAMANI SİLİNDİR GİLİZLƏRİN KÜTLƏ İTKİSİNİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

Z.Z. ŞƏRİFOV, Ç.M. ƏLİYEV

Məqalədə dizel mühərriklərinin silindr gilizlərinin kavitasiya yeyilməsi zamanı kütlə itkisinin qiymətləndirilməsinin analitik ifadələri verilir. Silindr gilizinin dayanıqlığını artırmaq üçün onun konstruksiyasında əlavə qabırğaların yerləşdirilməsi tövsiyə olunur. Gilizin kütlə itkisinin, dağılmaların lokallaşma sahəsinin və resursunun riyazi ifadələri alınmışdır.

*Açar sözlər:* gilizin kütlə itkisi, dağılma, resurs, gilizin rəqsi, qabırğa, kumulyativ şırnağı, kavitasiya yeyilməsi.

**Giriş.** Dizel mühərriklərinin silindr gilizlərinin kavitasiya yeyilməsinin mahiyyəti, mexanizmi və proseslərinin tədqiq olunmasının gedişatında mühərrikin resursu (xidmət müddəti, iş qabiliyyətini saxlama müddəti) ilə yeyilmənin parametrləri-dərinliyi, kütləsi, həcmi və s. arasında mövcud asılılıqlara müəyyən düzəlişlər edilməsinə cəhd olunmuşdur.

Belə düzəlişlər nəticəsində prosesi çox dar bir diapazonda təsvir edən və ya konkret mühərrik üçün analitik asılılıqlar alınmışdır.

**Nəticələrin müzakirəsi.** Ədəbiyyat mənbələrindən [1] məlumdur ki, gilizin sərbəst rəqslərinin tənliyi aşağıdakı kimi təqdim edilə bilər:

$$k_1 \Delta^3 - K_2 \Delta^2 - K_0 = 0, \quad (1)$$

burada

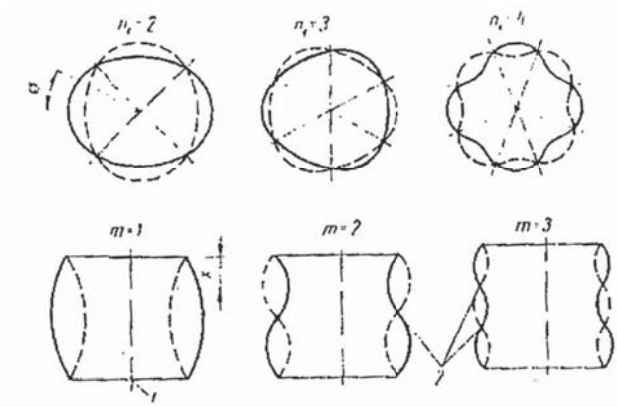
$$\left\{ \begin{array}{l} K_0 = \frac{1}{2}(1-\sigma)^2(1-\sigma)\lambda^4 + \frac{1}{2}(1-\sigma)\beta[(\lambda^2 + n_i^2)^4 - 2(4-\sigma^2)\lambda^4 n_i^2 - 8\lambda^2 n_i^4 - 2n_i^6 + 4(1-\sigma^2)\lambda^4 + 4\lambda^2 n_i^2 + n_i^4] \\ K_1 = \frac{1}{2}(1-\sigma)(\lambda^2 + n_i^2)^2 + \frac{1}{2}(3-\sigma-2\sigma^2)\lambda^2 + \frac{1}{2}(1-\sigma)n_i^2 + \\ + \beta \left[ \frac{1}{2}(3-\sigma)(\lambda^2 + n_i^2)^3 + 2(1-\sigma)\lambda^4 - (2-\sigma^2)\lambda^2 n_i^2 - \frac{1}{2}(3+\sigma)n_i^4 + 2(1-\sigma)\lambda^2 + n_i^2 \right] \\ K_2 = 1 + \frac{1}{2}(3-\sigma)(\lambda^2 + n_i^2) + \beta[(\lambda^2 + n_i^2)^2 + 2(1-\sigma)\lambda^2 + n_i^2] \end{array} \right. \quad (2)$$

bu zaman  $\lambda$  - aksial dalğa əmsalı,  $\sigma$  - puasson əmsalı,  $n$  - silindrik dalğalarının sayıdır.

Sərbəst rəqslərin tezliyi aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir:

$$f_s = \frac{1}{2\pi a} \sqrt{\frac{Eg\Delta}{\rho(1-\sigma^2)}}, \quad (3)$$

burada  $\rho$  - sıxlıq,  $E$ -Yunq moduludur.

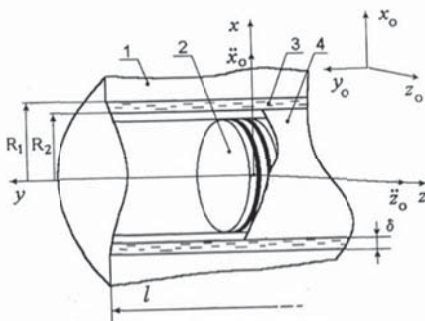


**Şəkil 1. Silindrik qabıqların rəqslərinin formaları**

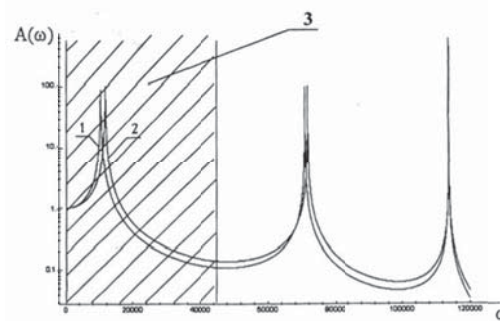
gilizi 4 orta səthinin radiusu  $R$  olan elastik silindrik qabıq kimi təsvir olunur [4, 5]. Qabığın qalınlığı  $h_0 \ll R$ . Qabıq mühərrikin gövdəsi ilə eninə sərt ucluqla birləşdirilmişdir. Mühərrikin gövdəsi silindrik boşluğa malikdir, onun daxili səthi və giliz müvafiq olaraq uzunluğu  $L$  və radiusları  $R_1, R_2$  olan çevrədə silindr əmələ gətirirlər. Qabığı soyuducu mayenin 3 qatı əhatə edir, maye tamamilə qabıq 4 və mühərrikin gövdəsi arasındakı radial ara boşluğunu doldurur.

8DP 30/50 gəmi dizel mühərriki silindr gilizi üçün rezonans tezliklərin hesablanması nəticələri aşağıdakı parametrlərlə müəyyən edilmiş və şəkl.3-də tədqiq olunmuşdur:

$R=64\text{mm}$ ,  $l=250\text{mm}$ ,  $h_0=8\text{mm}$ ,  $E=10^{11}\text{Pa}$ ,  $\mu_0=0,25$ ,  $\rho_0=6,5 \cdot 10^3 \text{kg/m}^3$ ,  $\rho=1000 \text{kg/m}^3$ ,  $\nu=10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ ,  $\delta=10\text{mm}$ .



**Şəkil 2. Silindr gilizi və mühərrikin gövdəsinin görünüşü**

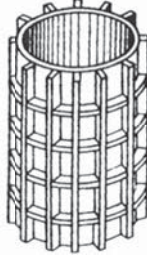


**Şəkil 3. Qabığın maye qatında A4X modeli:**

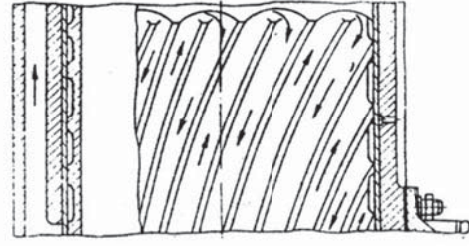
- 1 - radial yarıqdan mayenin axması olmayan model;
- 2 - radial yarıqdan mayenin sərbəst axması olan model;
- 3 - intensiv kavitasiya yeyilməsi zonası

Aparılmış hesablamalar soyuducu mayenin qatının, həmçinin DYM SPK gilizinin rəqslərinin tədqiqi zamanı radial yarıqdan mayenin axma xarakterinin nəzərə alınması zərurətini təsdiqləmişdir. Bundan başqa soyuducu maye qatında kavitasiyanın yaranma şəraitinə uyğun gələn rezonans tezliklərinin təyin olunmasına da ehtiyac vardır.

Silindr gilizlərinin dayanıqlığının artırılmasının praktiki həlləri gilizlərin xarici səthində sərtlik qabırğaları (şəkl. 4) və ya monbloklı konstruksiyanın istifadə olunma (şəkl. 5) yolları da məlumdur.



Şəkil 4. Dayanıqlığı artırmaq üçün gilizin səthinin qabırğalarla örtülməsi



Şəkil 5. Gilizin monoblok konstruksiyası

Lakin təcrübədə bunları reallaşdırmaq kifayət qədər çətin, çünki xarici səthdə soyuducu maye axır və bu nəzərə alınmalıdır. Qabırğalar həm gilizin divarından mayeyə istilikötürmə prosesləri, həm də mayenin gilizin divarlarından hidrodinamik zərbəsiz axmasına müəyyən təsir göstərir. Bu halda gilizin divarlarının gücləndirilməsi onun istilik gərginliyinin pisləşməsi və temperatur deformasiyalarının artmasına gətirib çıxara bilər.

Əgər kavitasiya yeyilməsini kumulyativ şırnağın təsiri nəticəsində yaranan bir yeyilmə kimi təsəvvür etsək, onda kütlə itkisi nəzəriyyəsi aşağıdakı kimi təqdim oluna bilər [6]:

$$\Delta M = \Delta M_0 (U/U_b)^3 f t, \quad (4)$$

burada  $\Delta M_0$  - elementar kütlənin təcrübi əmsalı;

$f$  - yükləmə dövrlərinin tezliyi;

$U$  - materialda möhkəmlik həddinə bərabər

$t$  - gilizin resursudur

$U_b$  - gərginliklərin baş verdiyi komulyativ şırnağın sürətidir.

Zərbə zamanı materialdakı gərginliyi hidravliki zərbənin təzyiqinə bərabər qəbul edirlər, yəni

$$\sigma = \rho c U \quad (5)$$

Gilizin həddi kütlə itkisi aşağıdakı düstur üzrə hesablanır:

$$\Delta M_h = S \xi, \quad (6)$$

burada  $S$  - kavitasiya dağılmalarının lokallaşma əmsalıdır;

$\xi$  - gilizin qalınlığından asılı olan əmsaldır.

Bu zaman dağılmaların lokallaşma sahəsi belə tapılır:

$$S = 0,02 l D_b l_b, \quad (7)$$

burada  $D_b$  - gilizin diametri;  $l$  - gilizin uzunluğudur.

Sonda gilizin resursunu tapırıq:

$$t_r = \Delta M_h / \Delta M f (U/U_b)^3 \quad (8)$$

Qeyd etmək lazımdır ki, bu asılılıq heç də gilizin intensiv yeyilməsinə mane olan antikavitasiya örtüyünün gilizin xarici səthinə çəkilməsini nəzərə almır.

**Nəticə.** Silindr gilizinin sərbəst rəqslərinin tənliyi və sərbəst rəqslərin tezliyinin gilizin kütlə itkisinin materialda yaranan gərginliyinin, gilizin həddi kütlə itkisinin dağılmaların lokallaşma sahəsinin ifadələri gilizin resursunu təyin etməyə imkan verir.

## REFERENCE

1. **Ivanchenko N.N.** Kavitacionnye razrusheniya v dizeljah. - L.: Mashinostroenie, 1970. – 183 s.  
**Иванченко Н.Н.** Кавитационные разрушения в дизелях. - Л.: Машиностроение, 1970. – 183 с.
2. **Epishkina I.N. i dr.** Matematicheskoe modelirovanie vynuždennyh kolebanij gilzy cilindra dvigatelja vnutrennego sgoraniya // Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin. – 2001, №4. - s.19-26.  
**Епишкина И.Н. и др.** Математическое моделирование вынужденных колебаний гильзы цилиндра двигателя внутреннего сгорания // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2001, №4. - с.19-26.
3. **Popov V.S. i dr.** Matematicheskoe modelirovanie dempfirovaniya kolebanij v DVS // Traktory i sel'skoxozjajstvennyye mashiny. – 2007, №8. - s.45-48.  
**Попов В.С. и др.** Математическое моделирование демпфирования колебаний в ДВС // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007, №8. - с.45-48.
4. **Simdjankin A.A.** Kontaktno-silovoe vzaimodejstvie detalej cilindro-porshnevoj grupy. - Saratov: Saratovskij GAU, 2003. – 144 s.  
**Симдянкин А.А.** Контактно-силовое взаимодействие деталей цилиндра-поршневой группы. - Саратов: Саратовский ГАУ, 2003. - 144 с.
5. **Starovojtov E.I. i dr.** Lokalnye i impulsnyye nagruženija trehslojnyh elementov konstrukcij. - Gomel: BelGUT, 2003. – 367 s.  
**Старовойтов Э.И. и др.** Локальные и импульсные нагрузки трехслойных элементов конструкций. - Гомель: БелГУТ, 2003. – 367 с.
6. **Indejcev D.A. i dr.** Raschet kavitacionnogo resursa vtulki sudovyh dizelej // Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin, №4, 1994. - s. 59-64.  
**Индеев Д.А. и др.** Расчет кавитационного ресурса втулки судовых дизелей // Проблемы машиностроения и надежности машин, №4, 1994. - с. 59-64.

## ОЦЕНКА МАССОВОЙ ПОТЕРИ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ВО ВРЕМЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

З.З. ШАРИФОВ, Ч.М. АЛИЕВ

В статье даны аналитические выражения оценки массовой потери гильз цилиндров дизельных двигателей во время кавитационного износа. Рекомендованы дополнительные ребра в конструкции гильз цилиндров для повышения их устойчивости. Получены математические выражения массовой потери, рассчитаны площади локализации разрушений и ресурсы гильзы.

**Ключевые слова:** *массовая потеря гильзы, разрушение, ресурс, колебание гильзы, ребро, кумулятивный поток, кавитационный износ.*

## ESTIMATE OF THE MASS LOSS OF THE CYLINDER LINERS DURING OPERATION

Z.Z. SHARIFOV, Ch.M. ALIYEV

The article provides analytical expressions of estimating the mass loss during the cavitation wear of cylinder liners of diesel engines. It is recommended the additional edge in the design of cylinder liners to improve its sustainability. The mathematical expression of mass loss are obtained, the area of the damage localization and the liner's durability are calculated.

**Key words:** *mass loss of liner, destruction, resource, liner fluctuation, rib, cumulative flow, cavitations wear.*

## **XƏZƏR DƏNİZİNDƏ NƏQLİYYAT DONANMASI GƏMİLƏRİNİN BEYNƏLXALQ KONVENSIYASININ TƏLƏBLƏRİNƏ UYĞUNLUĞUNUN ANALİZİ**

S.Ş. GÖZƏLOVA

Məqalədə Xəzər dənizinin Azərbaycan sektorunda fəaliyyət göstərən gəmilərdə Azərbaycan Respublikasının 18 iyun 2004-cü il tarixində qoşulduğu (AR-nın 697-IIQ nömrəli Qanunu) “Dənizin gəmilərdən çirkləndirilməsinin qarşısının alınması haqqında” 1973-cü il tarixli Beynəlxalq Konvensiyaya əlavə və dəyişikliklər edilməsi barədə 1997-ci il tarixli Protokol (MARPOL 73/78)-un tələblərinə müvafiq olaraq aparılan gəmilərin nəzarət yoxlamaları zamanı müəyyən edilmiş uyğunsuzluqlar araşdırılmışdır. 2006-13-cü illər ərzində Azərbaycan sahillərinə yan alan Azərbaycan və xarici bayraqlar altında üzən bütün növ gəmilərin maşın bölməsində mexanizmlərə dair tələblərə nə dərəcədə riayət olunması müzakirə olunaraq qiymətləndirilmişdir.

*Açar sözlər:* MARPOL 73/78, TRACECA, uyğunsuzluq, çirklənmə, ekoloji təhlükəsizlik, ballast suları, normativ aktlar.

**Giriş.** Sovet İttifaqı dağıldıqdan sonra müstəqillik əldə edən dövlətlər bu və ya digər dərəcədə dünya bazarına inteqrasiya etdilər. Unikal təbiətə, zəngin təbii ehtiyatlara malik, eyni zamanda Avropa və Asiya qitələrinin sərhəddində, geniş materik depresiyasında yerləşən Xəzər dənizi geosiyasi mövqeyi və iqtisadi əhəmiyyəti ilə dünya ölkələrinin marağını özünə cəlb etmişdir. Nəticədə transmilli şirkətlər regionda fəaliyyətə başlayaraq iri maliyyə qurumlarının dəstəyi ilə böyük nəqliyyat layihələrini həyata keçirməyə nail olmuşlar.

Xəzər dənizinin Qərblə Şərq arasında yerləşməsi regiondan keçən nəhəng Avropa-Qafqaz-Mərkəzi Asiya nəqliyyat dəhlizinin yaradılmasına səbəb olmuşdur. TRACECA (Transport Corridor Europe-Caucasus-Asia) beynəlxalq nəqliyyat dəhlizi vasitəsi ilə Avropaya çıxışı təmin edən “Böyük İpək yolu” layihəsinin fəaliyyətə başlaması ilə əlaqədar Xəzər dənizinin limanlarından daşınan yüklərin həcmi ildən ilə artaraq, 1995-ci ildə 355 min ton, 1999-cu ildə 4,8 mln.ton, 2002-ci ildə 12 mln. ton, 2014-cü ilin yanvar – noyabr aylarında isə daşınan yüklərin həcmi 53,1 milyon tona çatmışdır. 2014-cü ildə İpək yolu ilə daşınan yüklərin 15,9 faizi dəniz nəqliyyatının payına düşüb.

Xəzərsahili dövlətlər arasında getdikcə artan iqtisadi əlaqələr dənizlə daşımaların həcmnin artmasına səbəb olmuşdur. Daşımaların artması ilə əlaqədar olaraq Xəzərsahili dövlətlər öz nəqliyyat və texniki bazalarını artırır. Xəzər dənizi sahilində yerləşmiş dəniz limanlarının əksəriyyəti çoxfunksiyalı nəqliyyat qovşağı kimi bir neçə nəqliyyat növünü özündə birləşdirmişdir. Nəqliyyat qovşağında müxtəlif nəqliyyat növlərinin cəmləşməsi yükdaşımalarda yüksək iqtisadi səmərə versə də, ərazidə ekoloji gərginliyin yaranmasına səbəb

olur. Dəniz akvatoriyasında yük dövriyyəsinin artması isə ətraf mühitə neqativ təsirləri xeyli gücləndirir. Odur ki, nəqliyyatın sahil və su ərazilərində fəaliyyəti ilə bağlı ətraf mühitin mühafizəsi məsələlərinin həllinə xüsusi nəzər yetirilməsi tələb olunur.

Bu məqsədlə Azərbaycan Respublikası müstəqillik əldə etdikdən sonra Xəzər dənizinin ekoloji təhlükəsizliyinin təmin olunması istiqamətində mühüm əhəmiyyətə malik bir sıra beynəlxalq konvensiyalara qoşulmuşdur, eyni zamanda bir sıra dövlətdaxili normativ aktlar da qəbul olunmuşdur.

Xəzər dənizinin dəniz ətraf mühitinin beynəlxalq-hüquqi mühafizəsi üzrə əməkdaşlıq məsələsinə gəldikdə, burada Xəzəryanı dövlətlərin mənafelərinin üst-üstə düşməməsi probleminin həllini ləngidən əsas səbəblərdən biridir. Xəzər qapalı ekosistem olduğundan ümumi ekoloji vəziyyətin saxlanması yalnız Xəzəryanı dövlətlərin birgə nəzarətinin həyata keçirilməsi ilə mümkün ola bilər. Belə nəzarət Xəzəryanı dövlətlər tərəfindən yaradılacaq və müvafiq zəruri səlahiyyətlərlə təmin olunacaq dövlətlərarası ekoloji orqan vasitəsilə həyata keçirilə bilər.

Azərbaycan Respublikasının qoşulduğu beynəlxalq konvensiyalar arasında “Dənizin gəmilərdən çirkləndirilməsinin qarşısının alınması haqqında” 1973-cü il tarixli Beynəlxalq Konvensiyaya əlavə və dəyişikliklər edilməsi barədə 1997-ci il tarixli Protokol (MARPOL 73/78) xüsusi yer tutur.

Konvensiyaya altı əlavə-neftlə çirkləndirmənin qarşısının alınması; zəhərli maye maddələrlə çirklənməyə nəzarət; qablaşdırılmış formada zərərli maddələrlə çirkləndirmənin qarşısının alınması; gəmilərdən tullantı sularla çirkləndirmənin qarşısının alınması; gəmilərdən zibillə çirkləndirmənin qarşısının alınması; gəmilərdən atmosferi çirkləndirmənin qarşısının alınması daxil edilmişdir.

MARPOL 73/78-ə müvafiq gəmilərdə aparılan nəzarət yoxlamaları zamanı konvensiyanın əlavələri üzrə aşağıdakı uyğunsuzluqlar araşdırılmışdır:

- gəmilərdə ətraf mühitin mühafizəsinə dair yoxlamalar və müvafiq şəhadətnamələrin verilməsinə qoyulmuş tələblər;

- dənizin gəmilərdən çirkləndirilməsinin qarşısının alınması haqqında bütün növ gəmilərin maşın bölməsində mexanizmlərə dair tələblər.

2006-2013-cü illər ərzində Azərbaycan bayrağı altında üzən bütün növ gəmilərdə aparılan monitorinqlər zamanı MARPOL Konvensiyasına müvafiq 507 uyğunsuzluq qeydə alınmışdır. Bu uyğunsuzluqlar arasında əsas yeri gəmilərin maşın şöbəsində olan qurğu və mexanizmlərdən yağların sızması tutur. Uyğunsuzluqları aşkar edən ARDDA-nın ekspertləri MARPOL Konvensiyasının tələblərinə müvafiq olaraq cəza tədbirləri görmüşlər. Bir çox hallarda gəmi kapitanına uyğunsuzluğu gəmi limanı tərk etməzdən əvvəl aradan qaldırmaq tapşırılmışdır. Bəzi hallarda isə aşkar edilən uyğunsuzluqlar gəminin saxlanması üçün əsas yaratmışdır.

Son illər ərzində xarici bayraqlar altında üzən gəmilərdə aparılan yoxlamalar zamanı 50 uyğunsuzluq qeydə alınmışdır. Bu uyğunsuzluqların aradan qaldırılması haqqında gəmi sahiblərinə xəbərdarlıq edilmişdir.

Aparılan yoxlamalar zamanı gəmilərin heç birində ballast əməliyyatları haqqında tam dolğun məlumat yoxdur. Jurnal ixtiyari formada doldurulur. Çirkab suların təhvil verilməsi haqqında məlumatlar heç bir yerdə öz əksini tapmayıb. Bütün bunlar əməliyyatların lazımı qaydada aparılmadığını göstərir.

Bir damcı neftin  $0,75 \text{ m}^2$  su üzərində nazik təbəqə əmələ gətirdiyini nəzərə alsaq, bir qram neft  $12 - 13 \text{ m}^2$  sahəni, 1 litr isə  $12 - 13 \text{ min m}^2$  sahəni örtməlidir. Belə olduğu halda

tankerlərdən axıdılan ballast sularının Xəzər ekologiyasına necə zərər vurduğunu təsəvvür etmək heç də çətin deyil.

**Nəticə.** Aparılan yoxlamalar gəmilərdə vəziyyətin beynəlxalq normalara müvafiq olmadığını göstərdi. İstər maşın şöbəsində vəziyyət, istər sənədləşmə işləri, istərsə də aparılan əməliyyatlar heç bir normativ aktlara cavab vermir. Bütün bunlar əməliyyatların lazımı qaydada aparılmadığını göstərir. Belə halların təkrarlanmaması və təməmilə aradan qaldırılması üçün daha ciddi cəza tədbirləri görülməlidir.

#### REFERENCE

1. **Məmmədov R.M.** Xəzər dənizinin hidrometeorologiyası. - Bakı: "Avropa", 2013, 176 s.
2. **Mamedov R.M.** Zakonomernosti rasprostraneniya inorodnyh primesej v azerbajdzhanskom shelfe Kaspijskogo morja. Eekologicheskie problemy Kaspijskogo morja. // Materiali mezhd. seminara, Moskva, 2000, s. 80-86.  
**Мамедов Р.М.** Закономерности распространения инородных примесей в азербайджанском шельфе Каспийского моря. Экологические проблемы Каспийского моря. // Материалы межд. семинара, Москва, 2000, с. 80-86.
3. **İsmayılov Ç.N.** Xəzər dənizinin təbii sərvətləri. – Bakı: "Nurlan", 2007, 185 s.
4. MARPOL 73/78

#### АНАЛИЗ СООТВЕТСТВИЙ СУДОВ, ПЛАВАЮЩИХ В КАСПИЙСКОМ МОРЕ, ТРЕБОВАНИЯМ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНВЕНЦИИ

С.Ш. ГЕЗАЛОВА

В статье рассматриваются несоответствия, выявленные в ходе проверок соответственно требованиям международной конвенции MARPOL 73/78 (Международная конвенция по предотвращению загрязнения моря с судов от 1973 г., измененная и дополненная в соответствии с Протоколом от 1978 г., официально именуемое MARPOL) на судах, действующих в азербайджанском секторе Каспийского моря. Оценена степень выполнения требований к механизмам машинного отделения за 2006-13 годы судов, плавающих под азербайджанским и иностранными флагами и причаливающих к азербайджанским берегам.

**Ключевые слова:** MARPOL 73/78, TRACECA, несоответствия, загрязнение, экологическая безопасность, балластные воды, нормативные акты.

#### ANALYSIS OF VESSELS SAILING IN THE CASPIAN SEA TO MATCH THE INTERNATIONAL CONVENTION REQUIREMENTS

S.Sh. GEZALOVA

The article deals with non-compliance identified during the inspection according to the requirements of the international convention MARPOL 73/78 (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified and supplemented by the Protocol of 1978, formally called MARPOL) on the vessels operating in the Azerbaijani sector of the Caspian Sea. It discusses and evaluates the degree of fulfillment of the requirements to the mechanisms of the engine room for the 2006-13 years on the ships flying the Azerbaijani and foreign flags moored to the Azerbaijan shores.

**Key words:** MARPOL 73/78, TRACECA, non-compliance, pollution, environmental safety, ballast water, regulations.



## К ДНЮ РОЖДЕНИЯ ПРЕЗИДЕНТА АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ АКАДЕМИКА АРИФА МИР ДЖАЛАЛ ОГЛЫ ПАШАЕВА



Ариф Мир Джалал оглы Пашаев родился 15 февраля 1934 года в г. Баку.

В 1957 году окончил Одесский Электротехнический институт связи по специальности «Радиофизика».

Свою научную деятельность А.М. Пашаев начал в 1959 году в Институте Физики АН Азербайджана. Основным научным направлением его деятельности стала физика полупроводников и полупроводниковых приборов.

А.М. Пашаев в числе первых советских ученых начал разрабатывать методы неразрушающего контроля материалов и изделий и свыше 40 лет своей жизни посвятил развитию и исследованию научных основ физики неразрушающего контроля и методов измерения параметров полупроводников. Академик А.М. Пашаев по праву считается создателем физических основ исследований материалов контактными методами в области высоких и сверхвысоких частот.

Свои многолетние научные исследования в области неразрушающего контроля Ариф Мир Джалал оглы начал в Москве, поступив в 1960 году в аспирантуру в один из ведущих научных центров бывшего Советского Союза – Государственный Институт Редких Металлов (ГИРЕДМЕТ).

В 1966 году А.М. Пашаев успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Разработка методов и приборов для бесконтактного измерения параметров полупроводниковых материалов в области высоких и сверхвысоких частот» и получил ученую степень кандидата технических наук.

Значительная доля прикладных исследований А.М. Пашаева направлена на создание новой аппаратуры, усовершенствование существующих приборов, разработку новых методов измерения различных физических величин. В своих теоретических исследованиях и разработках Ариф Мир Джалал оглы особое внимание уделял внедрению методов и приборов неразрушающего контроля в производство полупроводников и полупроводниковых приборов.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований А.М. Пашаева в области полупроводниковой электроники и микроэлектроники были обобщены в докторской диссертации «Физические основы, принципы развития и перспективы применения неразрушающих методов в исследовании полупроводников», которую он успешно защитил в 1978 году и был удостоен ученой степени доктора физико-математических наук.

Продолжая работы в области микроэлектронных датчиков, А.М. Пашаев создал новые типы интегральных датчиков температуры, давления, влажности, усилий, ускорения и вибрации. Эти датчики были применены в создании телеметрических систем контроля, нашедших широкое применение в судостроении, нефтяном машиностроении, медицине, оборонной промышленности и в других областях. В частности, на их основе создавалась телеметрическая многофункциональная гидроакустическая комплексная аппаратура, предназначенная для контроля и исследования подводных объектов. В 1991 году А.М. Пашаев был удостоен звания Лауреата Государственной премии Азербайджана «За комплекс работ по созданию автономной гидроакустической информационной системы».

Результаты исследований в области микроэлектронных датчиков были опубликованы в виде двух монографий: «Твердотельные микроэлектронные преобразователи неэлек-

трических величин» (1998 г.) и «Твердотельные микроэлектронные магнитоэлектрические и влагоэлектрические преобразователи» (1999 г.).

Многие разработанные А.М. Пашаевым приборы и устройства выполнены на уровне изобретений, внедрены на различных промышленных предприятиях бывшего Советского Союза и удостоены золотых, серебряных, бронзовых медалей и дипломов на различных международных выставках и конкурсах.

А.М. Пашаев в 1971-1996 гг. работал руководителем лаборатории «Физических методов неразрушающего измерения и контроля» Института Физики АН Азербайджана, принимая самое непосредственное участие в выборе и определении научного направления института.

С 1996 г. по настоящее время А.М. Пашаев возглавляет Национальную Академию Авиации Закрытого Акционерного Общества «Азербайджан Хава Йоллары» (ЗАО «АЗАЛ»). Начав с организации учебного процесса и научно-исследовательских работ, он создал в Азербайджане высшее учебное заведение, отвечающее мировым стандартам в области обучения и подготовки авиационных специалистов. С 1996 года, когда А.М. Пашаев был назначен ректором, Национальная Академия Авиации вступает в новый этап своего развития.

Им создано Научно-производственное объединение, включающее в себя Научно-исследовательский институт транспортных и авиакосмических проблем, Конструкторское бюро и Опытно-экспериментальное производство.

По представлению Международного информационно-аналитического центра (представителя Европейской Ассамблеи бизнеса в России) Национальная Академия Авиации Азербайджана отмечена международной наградой «Европейское качество» - за стремление достичь высокого качества продукции и услуг в соответствии с европейскими стандартами, а также международной наградой «Лучшее предприятие Европы» - за достижения динамично развивающегося предприятия.

За большие достижения в области физики академик А.М. Пашаев был награжден медалью «Изобретатель СССР», медалью им. академика Ю. Мамедалиева и Золотой медалью Международного биографического центра Великобритании. Постановлением Комиссии по присуждению премий Международного Научного Центра "ВЕКТОР" академик А.М.Пашаев признан победителем международного проекта «Видные ученые Азербайджана» и награжден международным дипломом «Известный ученый XXI века».

Ректор Национальной Академии Авиации академик А.М. Пашаев избран Почетным доктором Национального авиационного университета Украины, Одесской Национальной академии связи им. А.С. Попова и Авиационного университета Грузии. Ему присвоено звание почетного профессора Международного университета Вены.

Он является Президентом Азербайджанской Инженерной Академии и вице-президентом Международной Инженерной Академии, президентом Инновационной Ассоциации и председателем Совета по космическим вопросам Азербайджанской Республики.

А.М. Пашаев – действительный член Международной Транспортной Академии, Международной Инженерной Академии, Международной Экоэнергетической Академии, Международной Академии Информатизации и Международной Академии Космонавтики.

Совместно с учеными из России и Грузии А.М. Пашаев является автором научного открытия в области физики полупроводников и обладателем специального диплома №340 и Золотой медали имени лауреата Нобелевской премии в области физики П.Л. Капицы. Избран Почетным академиком Российской Академии Естественных Наук и награжден Золотым знаком имени Вернадского.

За личный вклад в дело защиты прав человека и укрепление международных связей между Азербайджаном и Украиной академику А.М. Пашаеву вручена Золотая звезда «Честь и Достоинство» Международного комитета защиты прав человека.

А.М. Пашаев – автор более 500 научных статей. Им написано свыше 30 книг и монографий. Имеет авторские свидетельства и промышленные образцы на более чем 60 изобретений. Основные направления его научных работ – физика и техника полупроводников.

За заслуги в развитии азербайджанской науки Указом Президента Азербайджанской Республики удостоен орденов «Шохрат», «Шараф» и «Истиглал».

За выдающиеся заслуги в развитии науки и образования по решению Международного Совета по Научному Развитию Международной Академии Наук был награжден «Золотым знаком» имени лауреата Нобелевской премии Павлова. Удостоен высшей награды – Золотой медали Всемирной Организации Интеллектуальной Собственности.

За вклад в сокровищницу науки и образования Азербайджана и достойное представление отечественной науки на мировом уровне академик А.М. Пашаев был удостоен почетного звания «Заслуженный деятель науки», награжден Золотой медалью «Сын отечества», учрежденной журналом «Мир Азербайджана», и дипломом «Посол мира» Всемирного Совета Мира.

В феврале 2008 года за особые заслуги в подготовке авиационных специалистов и образцовую организацию учебного процесса ректор НАА, академик А.М. Пашаев награжден Золотой медалью Межгосударственного Авиационного Комитета.

В 2009 г. академик Ариф Пашаев был награжден дипломом лауреата Международной награды и большой золотой медалью Международной Инженерной Академии.

В марте 2010 г. за заботу и поддержку, оказанную студентам НАА, Ариф Мир Джалал оглу Пашаев был удостоен почетного диплома «Самый активный ректор года» Главного Управления Молодежи и Спорта города Баку.

Для реализации распоряжения Президента Азербайджана от 3 мая 2010 года «Об учреждении открытого акционерного общества «Азеркосмос» был создан Совет по космическим вопросам, и академик Ариф Пашаев назначен председателем Совета.

В мае 2011 г., согласно опросу, проведенному среди профессорско-преподавательского состава и студентов университета «Кавказ», ректор НАА, академик Ариф Пашаев был удостоен почетного звания «Человек науки года».

В 2012 году награжден Орденом «Инженерная Слава» Международной Инженерной академии. В этом же году он был избран академиком Инженерной академии Украины и был награжден Золотой медалью им. Подгорного.

В 2013 году за особые заслуги в развитии инженерной науки в Азербайджане награжден Золотой медалью «Инженерная Доблесть» Азербайджанской Инженерной академии.

В 2014 году стал Лауреатом II Республиканского конкурса в области изобретательства, на котором он был награжден дипломом. За заслуги в авиакосмической сфере академику Ариф Пашаеву был вручен почетный диплом и памятная медаль «Инженер года».

Члены Азербайджанской Инженерной академии, коллектив журнала, сообщество инженеров и научно-техническая общественность страны от всей души поздравляют академика Арифа Мир Джалал оглы Пашаева с днем рождения и желают ему крепкого здоровья, счастья и творческих успехов в его многогранной деятельности!



## MƏQALƏLƏRİN TƏRTİBATI QAYDALARI

“Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri” jurnalının redaksiyasına göndərilən məqalələr aşağıdakı tələblərə cavab verməlidir:

1. Məqalənin mövzusu və məzmunu jurnalın profilinə uyğun olmalı və fikirlər çox aydın yazılmalıdır.

2. Məqalə azərbaycan, rus və ingilis dillərində yazıla bilər. Ciddi redaktə olunmalı və A4 formatda ağ kağızda çap olunmalı, səhifələnməli və bir nüsxədə təqdim edilməlidir. Eyni zamanda, məqalə elektron variantda CD diskində, Word for Windows mətn redaktoru formatında təqdim edilə, elektron poçtla göndərilə bilər.

3. Məqalənin birinci səhifəsinin yuxarı sol küncündə YDK indeksi olmalı, məqalənin adı, müəllifin (müəlliflərin) adı, soyadı və iş yerinin, çalışdığı təşkilatın tam ünvanı olmalıdır. Sonrakı səhifədə 0,5 səhifəlik həcmdə makina yazısı ilə rus dilində referat və əsas sözlük, məqalənin mətni, qeydlərin, ədəbiyyatın siyahısı; ingilis dilində müəllifin adı və soyadı, məqalənin adı, referatı əks olunmalıdır. Referat tədqiqatın mövzusu əldə edilən nəticələr haqqında dolğun məlumat verməlidir. (“Nəticə” bölməsini təkrar etməməlidir.) Məqalə bölmələrdən ibarət olmalıdır, məsələn: “Giriş”, “Məsələnin qoyuluşu”, “Sınaq üsulları”, “Sınağın nəticələri və onların müzakirəsi”, “Nəticə”.

4. Şəkillər və qrafiklər ayrıca vərəqlərdə təqdim edilib, aşağıdakı kimi tərtib olunmalıdır; ya ağ kağızda qara tuşla (6x9 sm ölçüsündən kiçik və 10x15 sm – dən böyük olmamaqla) və ya “Excel” cədvəl prosessorunun köməyi ilə.

Yarımtən fotosəkillər (orijinalar mütləq) parlaq kağızda təqdim olunur və kontrast əksi olmalıdır. Fotosəklin ölçüsü 6x6 sm-dən kiçik, 10x15 sm-dən böyük olmamalıdır.

5. Cədvəllər bilavasitə məqalənin mətnində yerləşdirilməlidir. Hər cədvəlin öz başlığı olmalıdır. Cədvəllərdə mütləq ölçü vahidi göstərilməlidir.

Əlyazma mətnində şəkillər və cədvəllərin yeri göstərilir. Eyni bir məlumatı mətnə, cədvəldə və əlyazmada təkrarlamaq yolverilməzdir.

6. Məqalədə istifadə olunan işarələr bilavasitə mətnə açıqlanır.

7. Mətnə xarici soyadlar qeyd olunduqda, onların rus dilində yazılışından sonra mötərəzədə orijinalda olduğu dildə vermək lazımdır (ensiklopediyada olan məşhur soyadlar və ədəbiyyat siyahısında qeyd olunan soyadlar istisna olmaqla). Xarici müəssisələrin, firmaların, firma məhsullarının və s. adlarının rus dilində transliteriyası zamanı mötərəzədə onların adları orijinalda yazıldığı kimi verilməlidir.

8. Məqalədə istifadə olunan ölçü vahidləri beynəlxalq ölçü vahidləri sisteminə uyğun olmalıdır. Qəbul olunmuş sözlərdən başqa və s, və i.a., qısaldılmış sözlərdən istifadə etmək olmaz.

9. Ümumi ədəbiyyat siyahısı məqalənin sonunda ayrıca bir səhifədə göstərilməli və tam bibliografik məlumatları əhatə etməlidir.

10. Məqalə bütün müəlliflər tərəfindən imzalanmalıdır. Müəlliflər özləri haqqında ayrıca səhifədə aşağıdakı məlumatları göstərməlidirlər: soyadı, adı, atasının adı, yazışmaq üçün poçt indeksi və dəqiq ünvan, iş yeri və tutduğu vəzifə, elmi dərəcəsi, hansı sahə üzrə mütəxəssisdir, həmçinin telefon (ev, xidməti) nömrələri, faksimel rabitə və elektron poçt ünvanı.

11. Müəssisədə yerinə yetirilən tədqiqatın nəticələrini açıqlayan məqalənin çap edilməsi üçün müvafiq yazılı razılıq olmalıdır.

12. Redaksiya məqalənin əsas məzmununa xələl gətirməyən redaktə dəyişiklikləri və ixtisarlara etmək hüququnu özündə saxlayır.

13. Məqalə çapa verilmədikdə redaksiya heyətinin qərarı barədə müəllifə məlumat verilir və əlyazma müəllifə qaytarılır. Redaksiyanın məqaləni yenidən işləmək haqqında müraciəti, onun çapa veriləcəyini ehtiva etmir, belə ki, ona əvvəl resenziyaçıları sonra isə redaksiya heyəti yenidən baxır. Çap üçün məqbul sayılmayan məqalə müəllifinin məqalənin çapına yenidən baxılması xahişi ilə redaksiya heyətinə müraciət etmək hüququ var.

14. Məqalənin korrekturası müəllifə göndərilir. Məqalə çap olunandan sonra redaksiya jurnalı göstərilən ünvana göndərir.

15. Məqalə sadalanan tələblərə cavab verməzsə baxılmaq üçün qəbul edilmir. Əlyazmanın daxil olduğu vaxt redaksiyanın mətnin son variantının redaksiyaya daxil olduğu gündən sayılır.

## GUIDE FOR AUTHORS

### **Papers should meet the following requirements.**

1. Contents of a paper should be written in line with the scope of the journal and clearly expressed.

2. The paper may be written in Azeri, Russian and English edited thoroughly and submitted in one copy to the Editorial Office. The manuscript should be printed on A4 white paper with all pages numbered. In addition, the authors must submit the electronic version of their manuscript either on a floppy (CD) or by e-mail in Word for Windows format.

3. The paper title printed in capitals on the first page is followed by the name(s) of the author(s), authors' affiliations and full postal addresses next to which are an abstract of no more than a half-page, keywords, the text itself, nomenclature, and references. At the end of the manuscript give, please, authors' names, the paper title, and the abstract in English. The abstract should outline the subject of the study and results obtained (please, do not duplicate the Conclusions). The text should be divided into sections, e.g. Introduction, Problem Formulation, Experimental Methods, Results and Discussion, Conclusions.

4. Each figure should be presented on a separate page as a drawing 6x9 to 10x15 cm in size or a printout made in the Excel, Quattro Pro or MS Graph processors.

Halftone photographs (only originals) should be glossy and contrast (6x6 to 10x15 cm in size).

Illustrations should be necessarily presented in electronic form as separate files of tif, pcx, bmp, psc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, and wmf formats.

5. Tables should be inserted into the text and have titles. Units are required to be indicated in tables.

The authors should mark in margins the location of illustrations and tables in the text. Please, do not duplicate data in the text, tables, and figures.

6. Notations should be explained when mentioned first in the text.

7. When citing foreign names in the text the authors should print them in the original in parenthesis after Russian transliteration except for generally known names included in encyclopedia and names cited in references. If names of foreign institutions, companies, products etc. are given in Russian their original spelling should be printed in parenthesis.

8. All measurements and data should be given in SI units, or if SI units do not exist, in an international accepted unit. The authors are advised to avoid abbreviations except for generally accepted ones.

9. Publications cited in the text should be presented in a list of references following the text of the manuscript. References should be given in their original spelling, numbered in the order they appear in the text and contain full bibliography. Please, do not cite unpublished papers.

10. The manuscript should be signed by all authors. They should provide the following information on a separate sheet; name, surname, zip code and correct postal address for correspondence, organization or company name and position, title, research field, home and office phone numbers, fax number, and e-mail address.

11. The Editorial Board has the right to edit the manuscript and abridge it without misrepresenting the paper contents.

12. The Editorial Office informs the authors of paper denial and the reviewer's conclusion without returning the manuscript. A request to revise the manuscript does not imply that the paper is accepted for publication since it will be re-reviewed and considered by the Editorial Board. The authors of the rejected paper have the right to apply for its reconsideration.

13. Proofs are not sent to the authors. Three offprints of each paper will be supplied free of charge to the corresponding author.

14. Papers not meeting the above requirements are denied. The date of receipt of the final version by the Editorial Office is considered as the submission date.

15. In case of questions relating to paper submission and acceptance and the status of accepted papers, please, contact the Editorial Office.

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

**Статьи, направляемые в редакцию журнала** "Вестник Азербайджанской Инженерной Академии", должны удовлетворять следующим требованиям.

1. Материал статьи должен соответствовать профилю журнала и излагаться предельно ясно.
2. Статья может быть написана на азербайджанском, русском и английском языках, тщательно отредактирована и представлена в одном экземпляре, распечатанном на белой бумаге формата А4 с пронумерованными страницами. Одновременно электронный вариант статьи представляется на CD, либо по электронной почте в формате текстового редактора Word for Windows.
3. В левом верхнем углу первой станицы статьи должен стоять индекс УДК, ниже располагаются название статьи, инициалы и фамилия автора (авторов) и полный адрес организации, в которой он работает. Далее следуют на русском языке реферат статьи объемом до 0,5 стр. машинописного текста и ключевые слова, текст статьи, список обозначений, литература; на английском языке фамилия и инициалы авторов, название, реферат статьи и ключевые слова. Реферат должен давать представление о предмете исследования и полученных результатах (не дублировать с разделом "Заключение"). Статья должна содержать разделы, например; "Введение", "Постановка задачи", "Методы испытаний", "Результаты эксперимента и их обсуждение", "Заключение".
4. Рисунки и графики представляются на отдельных листах и должны быть выполнены: либо черной тушью на белой бумаге (размер не менее 6x9 и не более 10x15 см), либо при помощи табличных процессоров "Excel" и др. Полутонные фотографии (обязательно оригиналы) представляются на глянцевой бумаге и должны иметь контрастное изображение. Минимальный размер фотографий – 6x6, максимальный -10x15 см.  
Обязательно представление иллюстративного материала в электронном виде (формат tif, psx, bmp, rcc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf) на диске.
5. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь заголовок. В таблицах обязательно указываются единицы измерения величин. Повторение одних и тех же данных в тексте, таблицах и рисунках недопустимо. К статье прилагается список подрисуночных подписей.
6. Обозначения, принятые в статье, расшифровываются непосредственно в тексте.
7. При упоминании иностранных фамилий в тексте необходимо давать их на языке оригинала в скобках после русского написания (за исключением общеизвестных фамилий, встречающихся в энциклопедии, и фамилий, на которые даются ссылки в списке литературы). При упоминании иностранных учреждений, фирм, фирменных продуктов и т. д. в русской транслитерации в скобках должно быть дано их оригинальное написание.
8. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (т. е., и т. д., и т. п.).
9. Литература должна быть приведена в конце статьи в виде списка на отдельной странице и содержать полные библиографические данные. Ссылки даются в оригинальной транслитерации. Список литературы должен быть составлен в порядке упоминания ссылок в тексте. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.
10. Статья должна быть подписана всеми авторами. Авторам необходимо на отдельной странице сообщить о себе следующие сведения: фамилия, имя, отчество, почтовый индекс и точный адрес для переписки, место работы и занимаемая должность, ученая степень, специалистом в какой области является автор, а также номера телефонов (домашний, служебный), факсимильной связи и адрес электронной почты.
11. Статьи, излагающие результаты исследований, выполненных в учреждениях, должны иметь соответствующее разрешение на опубликование.
12. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения и сокращения, не искажающие основное содержание статьи.
13. В случае отклонения статьи редакция сообщает автору решение редколлегии и заключение рецензента, рукопись автору не возвращается. Просьба редакции о доработке статьи не означает, что статья принята к печати, так как она вновь рассматривается рецензентами, а затем редакционной коллегией. Автор отклоненной статьи имеет право обратиться к редколлегии с просьбой повторно рассмотреть вопрос о возможности опубликования статьи.
14. Корректурa авторам не высылается. После опубликования статьи редакция рассылает журналы по адресатам.
15. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются. Датой поступления рукописи считается день получения редакцией окончательного текста.

**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. № 1

Vol. 8. № 1

Том 8. № 1

**BAKİ – 2016**

İnformasiya şöbəsinin müdiri  
*N.Z. Əskərova*

Nəşriyyat və yayım şöbəsinin müdiri  
*A.M. Dənziyev*

**“Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının  
XƏBƏRLƏRİ”**

jurnalı redaksiyanın kompyuterlərində yığılmış və  
“**APOSTROFF**” mətbəəsində  
ofset üsulu ilə çap olunmuşdur.  
(akif0706@mail.ru / 050-313-07-06)

*Çapa imzalanmış 15.02.2016,  
formatı 60x84 1/8,  
kağız təbaşirli, f.ç.v. 17.  
Tirajı 1250 əd.  
Qiyməti müqavilə ilə.*