



# 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 6. № 4  
Vol. 6. № 4  
Том 6. № 4

**BAKİ – 2014**

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

**BAŞ REDAKTOR – AKADEMİK A.M. PAŞAYEV**

*Baş redaktorun müavini – akademik A.Ş. Mehdiyev*

*Baş redaktorun müavini – akademik Ə.X. Canəhmədov*

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

***REDAKSİYA HEYƏTİ:***

akademik **Ə.M. Abbasov**, akademik **R.İ. Abdullayev**, akademik **H.S. Bağırov**,

akademik **N.H. Cavadov**, akademik **B.H. Əliyev**, akademik **C.C. Əsgərov**,  
akademik **A.Z. Quliyev**, akademik **H.Ə. Məmmədov**, akademik **G.H. Məmmədova**,  
akademik **İ.R. Sadıqov**, müxbir üzv **N.A. Əliyev**

***REDAKSİYA ŞURASI:***

akademik **B.V. Qusev** (Rusiya), prof. **N. Antoneski** (Rumınıya), prof. **S. Sureş** (ABŞ), prof. **Bravu Konstantin** (İsrail), prof. **Baur Reinhard** (Almaniya), prof. **F. Franek** (Avstriya), akademik **B.T. Jumaqulov** (Qazaxıstan), prof. **P. Jost** (Böyük Britaniya), prof. **Junq – Younq Son** (Koreya), akademik **A.V. Kərimov** (Özbəkistan), prof. **D. Mavrakis** (Yunanistan), akademik **N.K. Mışkin** (Belarusiya), prof. **Nejdet 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. Mehtiyyev, 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), S. Suresh, professor (USA),  
Bravu Konstantin, professor (Israel), Baur Reinhard, professor (Germany), F. Franek, professor  
(Austria), B.T. Zhumagulov, academician (Kazakhstan), Piter Jost, professor (Great Britain),  
Jung – Young Son, professor (Korea), A.V. Karimov, academician (Uzbekistan), D. Mavrakis,  
professor (Greece), N.K. Mishkin, academician (Belarus), Nejdet Saglam, professor (Turkey),  
V.E. Panin, academician (Russia), S. Pytko, professor (Poland), A.I. Vasilyev, academician (Ukraine)

## TİCİSÇİ:

**“Azərbaycan Mühəndislik Akademiyası”** ictimai birlüyü.

2009-cu ilin noyabr ayından nəşr olunur.

Dövriliyi ildə 4 dəfədir.

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

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

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

Jurnalda abunə “Azərpocht” ASC-nin poçt bölmələrində yazılmış olar.

Abunə il boyu davam edir.

Abunə indeksi: Hüquqi və fiziki şəxslər üçün – 1156

*Redaksiyanın ünvani:* Azərbaycan Respublikası, AZ 1010,

Bakı şəhəri, K.Səfərəliyeva 22.

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

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

REKLAMALARIN YERLƏŞDİRİLMƏSİ  
İLƏ ƏLAQƏDAR REDAKSIYAYA  
MURACİƏT EDƏ BİLƏRSİNİZ

## FOUNDER:

**Public union “Azerbaijan Engineering Academy”**

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.

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».

Издается с ноября 2009 года.

Выходит 4 раза в год.

Официально зарегистрирован  
Министерством Юстиции Азербайджанской Республики. № регистрация: 2965 от 23.06.2009 г.

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

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

Подписка на журнал осуществляется в отделениях ОАО «Азерпочта».

Подписка продолжается в течение года.

Индекс подписки для юридических и физических лиц: 1156.

*Адрес редакции:* Азербайджан,  
AZ1010, г. Баку, ул. К.Сафаралиева, 22.

Тел./Факс: : (+99412) 598 24 52  
(внутр. 6-59)

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

ПО ВОПРОСАМ РАЗМЕЩЕНИЯ  
РЕКЛАМЫ ОБРАЩАТЬСЯ  
В РЕДАКЦИЮ

# M Ü N D Ə R İ C A T

<b>Təbriklər .....</b>	6
<b><u>M e x a n i k a və m a ş i n q a y i r m a</u></b>	
<b>Volçenko N.A.</b>	
Lentli-kündəli əyləclərin metal-polimer sürtünmə cütlərində daxili və xarici parametrlərinin özütənzimlənmə və tənzimlənməsi (3-cü hissə).....	10
<b>Qafarov A.M., Süleymanov P.H., Qafarov V.A.</b>	
Ekstremal şəraitdə işləyən maşın və avadanlıqların detallarının etibarlılığının döyənəkləmə metodu ilə artırılması .....	22
<b>Xəlilov İ.Ə.</b>	
Birləşdirici muftaların elastiki elementinin qızmasına təsir edən amillər .....	34
<b><u>N e f t və q a z</u></b>	
<b>Rzayev A.H., Rəsulov S.R., Abbasova İ.Ə., Rəhimova S.N.</b>	
Skin-faktoru nəzərə almaqla plast-kollektorda neftin filtrasiya prosesinin riyazi modelinin işlənməsi .....	43
<b>Mürvətov F.T., Kərimova A.Q.</b>	
Siyəzən monoklinal neft yataqlarının geoloji-fiziki və istismar şəraitinin unikallığı .....	47
<b>Salavatov T.Ş., Dadaşzadə M.Ə., Kirdoda İ.İ., Babayeva T.S., Salavatova R.Ş.</b>	
Su-neft tipli ikifazlı sistemin borularda hərəkətinin tədqiqi .....	54
<b>Nurullayev V.X.</b>	
Aviasiya yanacaqlarının nəqlinin və saxlanılmasının müasir üsullarla monitorinqi .....	59
<b><u>N e f t k i m y a t e x n o l o g i y a sı</u></b>	
<b>Abbasov V.M., Rzayeva N.M., Aliyeva L.I., Məmmədxanova S.A., Talıbov A.H.</b>	
Doymamış sintetik və təbii üzvi turşular, onların törəmələri və tətbqi .....	67
<b>Rzayeva L.T., Mirələmov H.F., Məmmədov Ç.İ.</b>	
Neftin reoloji xassələrinin yaxşılaşdırılması məqsədi ilə dördlü ammonium mərkəzli makrotsiklik birləşmələrin sintezi və tətbqi .....	81
<b><u>A v i a s i y a</u></b>	
<b>Cəfərzadə T.R., Şmelyova T.F., Sikirda Y.V.</b>	
Sosiotexniki aviasiya sistemində insan operatorun qərar qəbul etməsinin modelləşdirilməsi .....	88
<b>Bədəlov A.Z., Nəbiyev R.N., Məmmədov A.Z.</b>	
Hava gəmilərinin şaquli sürətini maqnit levitasiya prinsipi əsasında ölçən qurğu .....	103
<b>Pürhani S.H., Mehdiyev C.S., Quliyev R.E.</b>	
Mülki aviasiyada aviananacaqla təminat müəssisələrində aviananacaq itkilərinin azaldılması üsulları .....	110
<b><u>E k o l o g i y a</u></b>	
<b>Mehdiyev A.Ş., Əzizov B.M., Bədəlova A.N., Sultanov C.A., Mehdiyev C.S., Ramazanov K.Ş.</b>	
Xəzər dənizinin Azərbaycan sektorunda neft çirkənləmələrinin parametrlərinin qiymətləndirilməsində yüksək ayırdetməli kosmik radiolokasiyadan istifadə .....	119
<b>Arif Səfaət oğlu Mehdiyev – 80</b>	131
<b>6-cı cildin mündəricatı (yanvar – dekabr 2014-cü il)</b>	134

## C O N T E N T S

<b>Congratulations</b>	6
<b>Mechanics and mechanical engineering</b>	
<b>Volchenko N.A.</b>	
Self-control and control of internal and external parameters in metal-polymeric frictional couples of band-shoe brakes (part 3).....	10
<b>Gafarov A.M., Suleymanov P.H., Gafarov V.A.</b>	
Increase of machine parts and equipment reliabilities by rolling method .....	22
<b>Khalilov I.A.</b>	
Factors effecting on heating of elastic element of connecting couplings .....	34
<b>Oil and gas</b>	
<b>Rzayev A.G., Rasulov S.R., Abasova I.A., Ragimova S.N.</b>	
Mathematical model development for oil filtration process in reservoir with skin-factor effect .....	43
<b>Murvetov F.T., Kerimova A.Q.</b>	
Uniqueness of geological, physical and operational conditions of the Siazan oil field monocline.....	47
<b>Salavatov T.Sh., Dadash-zadeh M.A., Kyrdoda I.I., Babaeva T.S., Salavatova R.Sh.</b>	
Study of two-phase flow system such as "water-oil" in pipe.....	54
<b>Nurullayev V.X.</b>	
Aviation fuel monitoring during contemporrary transportation and storage .....	59
<b>Chemical technology</b>	
<b>Abbasov V.M., Rzayeva N.M., Aliyeva L.I., Mamedkhanova S.A., Talibov A.H.</b>	
Unsaturated synthetic and natural organic acids, their derivates and application .....	67
<b>Rzayeva L.T., Miralamov H.F., Mamedov Ch.I.</b>	
Synthesis and application of macrocyclic compounds with quaternary ammonia centers for improving rheological properties of oils .....	81
<b>Aviation</b>	
<b>Jafarzade T.R., Shmelova T.F., Sikirda Y.V.</b>	
Modeling of human-operator decision process in socio-technical air navigation system ....	88
<b>Badalov A.Z., Nabiiev R.N., Mammadov A.Z.</b>	
Instrumental measuring of aircraft vertical speed based on magnetic levitation .....	103
<b>Purhani S.H., Mekhtiev J.S., Guliyev R.E.</b>	
Methods to reduce fuel losses in civil aviation fuel supply .....	110
<b>Ecology</b>	
<b>Mekhtiev A.Sh., Azizov B.M., Badalova A.N., Sultanov J.A., Mekhtiev J.S., Ramazanov K.Sh.</b>	
High-resolution space radar to determine oil pollution parameters in the Azerbaijan sector of Caspian sea .....	119
<b>To the 80 anniversary of the academician A.Sh. Mekhtiev</b>	131
<b>Contents of volume 6 (january – december 2014)</b>	134

## СОДЕРЖАНИЕ

<b><u>Поздравления</u></b> .....	6
<b><u>Механика и машиностроение</u></b>	
<b>Вольченко Н.А.</b>	
Саморегулирование и регулирование внутренних и внешних параметров в металлополимерных парах трения ленточно-колодочных тормозов (часть 3) .....	10
<b>Гафаров А.М., Сулейманов П.Г., Гафаров В.А.</b>	
Повышение надежности деталей машин и оборудований, работающих в экстремальных условиях, методом раскатывания .....	22
<b>Халилов И. А.</b>	
Исследования факторов, влияющих на нагрев упругого элемента соединительных муфт .....	34
<b><u>Нефть и газ</u></b>	
<b>Рзаев А.Г., Расулов С.Р., Абасова И.А., Рагимова С.Н.</b>	
Разработка математической модели процесса фильтрации нефти в пласте-коллекторе с учетом скин-фактора .....	43
<b>Мурветов Ф.Т., Керимова А.Г.</b>	
Об уникальности геолого-физических и эксплуатационных условий нефтяного месторождения Сиазаньской моноклинали .....	47
<b>Салаватов Т.Ш., Дадаш-заде М.А., Кирдода И.И., Бабаева Т.С., Салаватова Р.Ш.</b>	
Исследование течения двухфазной системы типа «вода-нефть» в трубе .....	54
<b>Нуруллаев В.Х.</b>	
Мониторинг авиационного топлива при транспортировке и хранении современными методами .....	59
<b><u>Нефтехимические технологии</u></b>	
<b>Аббасов В.М., Рзаева Н.М., Алиева Л.И., Мамедханова С.А., Талыбов А.Г.</b>	
Непредельные синтетические и природные органические кислоты, их производные и применение .....	67
<b>Рзаева Л.Т., Мирамалов Г.Ф., Мамедов Ч.И.</b>	
Синтез и применение макроциклических соединений с четвертичными аммониевыми центрами для улучшения реологических свойств нефти .....	81
<b><u>Авиация</u></b>	
<b>Джафарзаде Т.Р., Шмелева Т.Ф., Сикирда Ю.В.</b>	
Моделирование принятия решений человеком-оператором социотехнической авиационной системы .....	88
<b>Бадалов А.З., Набиев Р.Н., Мамедов А.З.</b>	
Прибор для измерения вертикальной скорости полета самолета на базе магнитной левитации .....	103
<b>Пурхани С.Г., Мехтиев Д.С., Кулиев Р.Э.</b>	
Методы сокращения потерь авиационных топлив на предприятиях авиатопливообеспечения гражданской авиации .....	110
<b><u>Экология</u></b>	
<b>Мехтиев А.Ш., Азизов Б.М., Бадалова А.Н., Султанов Д.А., Мехтиев Д.С., Рамазанов К.Ш.</b>	
Использование космической радиолокации высокого разрешения для оценки параметров нефтяных загрязнений в акватории азербайджанского сектора Каспийского моря .....	119
<b><u>К 80-летию академика А.Ш. Мехтиева</u></b> .....	131
<b><u>Содержание 6 тома (январь – декабрь 2014 г.)</u></b> .....	134



### **Уважаемый Ариф МирДжалал оглы!**

Сердечно поздравляем Вас и всех сотрудников издаваемого Вами журнала “Вестник Азербайджанской инженерной академии” по случаю его 5-летнего юбилея. Убежден, что возглавляемый Вами журнал и впредь позволит наглядно демонстрировать наши новейшие достижения в области инфокоммуникационных технологий и, более того, укажет ориентиры их развития.

Созданный Вами “Вестник” в течение 5 лет отличался разнообразием поднятых в нем актуальнейших проблем, став тем источником научной инженерной мысли, в котором и исследователи, и специалисты черпали свежие идеи, обменивались мнениями о своих разработках технических новинок и делились опытом. Эта информированность вносит неоценимый вклад в выработку перспективных направлений в вопросах технической оснащенности, обеспечивая актуальными знаниями в области развития техники и передовых технологий, способствуя распространению уникальных достижений в области эксплуатации средств и систем связи.

Публикации «Вестника» о новостях в сфере информационных технологий, телекоммуникаций, программного обеспечения, развития компьютерных сетей, особенностей ИТ-проектов, корпоративных систем управления и других направлений послужили импульсом к интегрированию азербайджанских ученых в мировой процесс науки и техники.

Сфера инфотелекоммуникационных технологий с каждым годом становится все более важной стратегической составляющей социально-экономического потенциала Азербайджана. На этом фоне материалы о наиболее интересных фактах в области современных информационных и телекоммуникационных технологий представляют особый интерес и могут быть внедрены в соответствующие структуры страны.

Особо хочу подчеркнуть, что журнал оперативно и подробно проинформировал читателей о главном научно-техническом достижении отечественных специалистов - запуске первого телекоммуникационного спутника Азербайджана. Это важное событие, безусловно, позволило существенно повлиять на развитие всех отраслей экономики и сделало возможным решение принципиально новых задач в науке и образовании, в государственном управлении и безопасности.

Доброго пути и творческих успехов!

**Али АББАСОВ**  
*Министр связи и высоких технологий  
Азербайджанской Республики,  
академик*



## **Уважаемый Ариф МирДжалал оглы!**

Искренне поздравляю Вас с 5-летием выхода первого номера журнала “Вестник Азербайджанской Инженерной Академии”. Ваше печатное издание на протяжении пяти лет занимало достойное место среди научных мировых изданий, подтвердив статус журнала, пользующегося большим авторитетом среди научных работников и инженеров.

Ваш журнал освещал основные аспекты инженерной деятельности, опираясь на приоритетные направления: механику, машиностроение, энергетику, нефтехимию, экономику, экологию, на решение социальных проблем и новое революционное направление в развитии всех отраслей – наноматериалы и нанотехнологии.

Отрадно отметить, что экономика Азербайджана находится в центре решения этих проблем: мощно развивается нефтяной и газовый комплекс, нефтехимия, энергетика и автоматика.

Как президенту Международной и Российской инженерных академий мне хотелось бы отметить успешное развитие контактов азербайджанских и российских ученых и инженеров при решении всех перечисленных вопросов. Этому способствует наше совместное участие в ежегодной конференции «Перспективные задачи инженерной науки».

Приветствуя 5-летие «Вестника Азербайджанской Инженерной Академии», я хочу еще и еще раз подчеркнуть, что наши совместные усилия по развитию науки и техники приносят свои плоды обеим сторонам.

**Б.В. ГУСЕВ**  
*Президент Международной и Российской  
инженерных академий, академик,  
лауреат Государственных премий СССР и РФ*



## Уважаемый Ариф МирДжалал оглы!

5 лет тому назад семья научно-технических журналов страны пополнилась «Вестником Азербайджанской Инженерной Академии», который Вы возглавляете со дня основания. А теперь вы уже празднуете свой 5-летний юбилей! За это время вы стали изданием с широчайшим диапазоном тем и проблем научно-технического вектора.

На своих страницах вам удалось объединить усилия исследователей и специалистов разных направлений инженерно-технических сфер и точных физико-математических и естественных наук, занимающихся проблемами экологии, генной инженерии и прочих важнейших направлений. Ученые и инженеры получили хорошую возможность заявлять о своих концепциях, идеях, изобретениях и открытиях. Им предоставлена уникальная возможность иметь серьезную трибуну, с которой ученый и практик-специалист, полемизируя с оппонентами, не только заявляют, но и утверждают свои идеи.

Желаем вам и дальше продолжать это весьма важное и благородное дело, которое, конечно же, сосредоточит свое внимание на внедрении результатов фундаментальной науки, имеющих отношение к исследовательской и практической областям инженерно-технических решений. Эта грань Вашего печатного издания стала действенным энергетическим импульсом для интенсивного развития новейших технологий и, как следствие, прогресса в решении актуальных хозяйственных задач государственного значения и на отдаленную перспективу.

Творческих успехов Вам на благо Науки и Отечества!

Акиф АЛИЗАДЕ  
академик,  
Президент Азербайджанской  
Национальной Академии Наук

## САМОРЕГУЛИРОВАНИЕ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ И ВНЕШНИХ ПАРАМЕТРОВ В МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ПАРАХ ТРЕНИЯ ЛЕНТОЧНО-КОЛОДОЧНЫХ ТОРМОЗОВ (часть 3)

Н.А. ВОЛЬЧЕНКО\*

В материалах статьи проиллюстрировано статическое и динамическое регулирование удельных нагрузок в серийных и многопарных фрикционных узлах ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок.

**Ключевые слова:** ленточно-колодочный тормоз, фрикционный узел, тормозной шкив, фрикционная накладка, тормозная лента, удельная нагрузка, ветви тормозной ленты, выравнивание удельных нагрузок.

**Введение.** В первой и второй частях работы было рассмотрено саморегулирование и регулирование внутренних и внешних параметров в металлополимерных парах трения. Одним из основных эксплуатационных параметров являются удельные нагрузки, реализуемые в парах трения тормоза. Неравномерное их распределение по параметру тормозной ленты делает решение этой проблемы сложной. Г.М. Шахмалиев и Б.А. Злобин предложили компоновать фрикционные накладки на тормозной ленте с переменным шагом, увеличивающимся от набегающей ветви к сбегающей. В данном случае реализовывалось статическое регулирование удельных нагрузок. Более того, простой способ в свое время был предложен бакинской школой. Способ заключался в применении широких (двойных серийных) накладок на тормозной ленте, что позволяло увеличивать набегающие и сбегающие из поверхности и, как следствие, частично достигать выравнивание удельных нагрузок.

При определении рационального количества фрикционных накладок на набегающей и сбегающей ветвях тормозной ленты, которые будут устанавливаться на ней с постоянным шагом, вычисляют коэффициент взаимного перекрытия ( $k_{\alpha_3}$ ) контактирующих

---

\* Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар)

поверхностей отдельно для каждой из ветвей ленты. Поскольку коэффициент взаимного перекрытия пропорционален контактным площадям поверхностей трения, то отношение  $k_{\text{вз.н}} / k_{\text{вз.с}}$  равно отношению удельных нагрузок, которые возникают на набегающей и сбегающей ветвях тормозной ленты. Следовательно, по величине отношения  $P_{\text{н}}/P_{\text{с}}$  можно определить, на сколько фрикционных накладок должно быть больше на набегающей, чем на сбегающей ветви тормозной ленты [1]. Переядем к детальному рассмотрению статического квазивыравнивания удельных нагрузок во фрикционных узлах ленточно-колодочного тормоза.

**Цель работы** – дальнейшее развитие элементов теории регулирования удельных нагрузок в металлокомпозитных парах трения ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок.

**Статическое выравнивание удельных нагрузок во фрикционных узлах ленточно-колодочных тормозов.** Одним из средств улучшения эксплуатационных параметров фрикционных узлов серийных ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок является увеличение количества фрикционных накладок на набегающей ветви ленты и уменьшение их количества на сбегающей ветви. Для накладок одинаковых геометрических параметров, размещенных на дуге охвата тормозной ленты, это можно достичь не только за счет переменного [1], но и постоянного шага между накладками.

Общее количество фрикционных накладок на тормозной ленте зависит от их геометрических параметров, а также от угла охвата тормозной лентой рабочей поверхности тормозного шкива.

На рис. 1 *а* показана кинематическая схема буровой лебедки с ленточно-колодочным тормозом; на рис. 1 *б* – кинематическая схема ленточно-колодочного тормоза; на рис. 1 *в* – поперечный разрез рис. 1 *б* по А-А; на рис. 1 *г* показана тормозная лента с фрикционными накладками и подрессоренными оттяжными устройствами; на рис. 1 *д* – фрикционная накладка с плоскими конусоподобными соплами; на рис. 1 *е* – проиллюстрированы закономерности изменения удельных нагрузок на дуге обхвата тормозной ленты в серийном (штриховка линиями) и усовершенствованных (точечная штриховка) фрикционных узлах ленточно-колодочного тормоза. Использованы следующие условные обозначения:  $R_{\text{ш}}$ ,  $D_{\text{ш}}$  – радиус и диаметр рабочей поверхности тормозного шкива;  $r$  – радиус кривошипа коленчатого вала;  $\omega$  – угловая скорость вращения шкива;  $\varphi$ ,  $\alpha$  – углы обхвата одной и всеми накладками рабочей поверхности тормозного шкива;  $S_{\text{н}}$ ,  $S_{\text{с}}$  – напряжение набегающей и сбегающей ветви тормозной ленты;  $F_p$  – усилие, прикладываемое бурильщиком к рычагу управления тормозом;  $F_T$  – сила трения; числовыми величинами обозначены удельные нагрузки, действующие на дуге обхвата тормозной ленты.

Согласно кинематической схеме (рис.1 *а*) фрикционные накладки 3 установлены на тормозных лентах 2, которые одним концом (со стороны сбегающей ветви II ленты) прикреплены к балансиру 11, а другим (со стороны набегающей ее ветви I) – к левым шейкам 6 и 9 коленчатого вала 16.

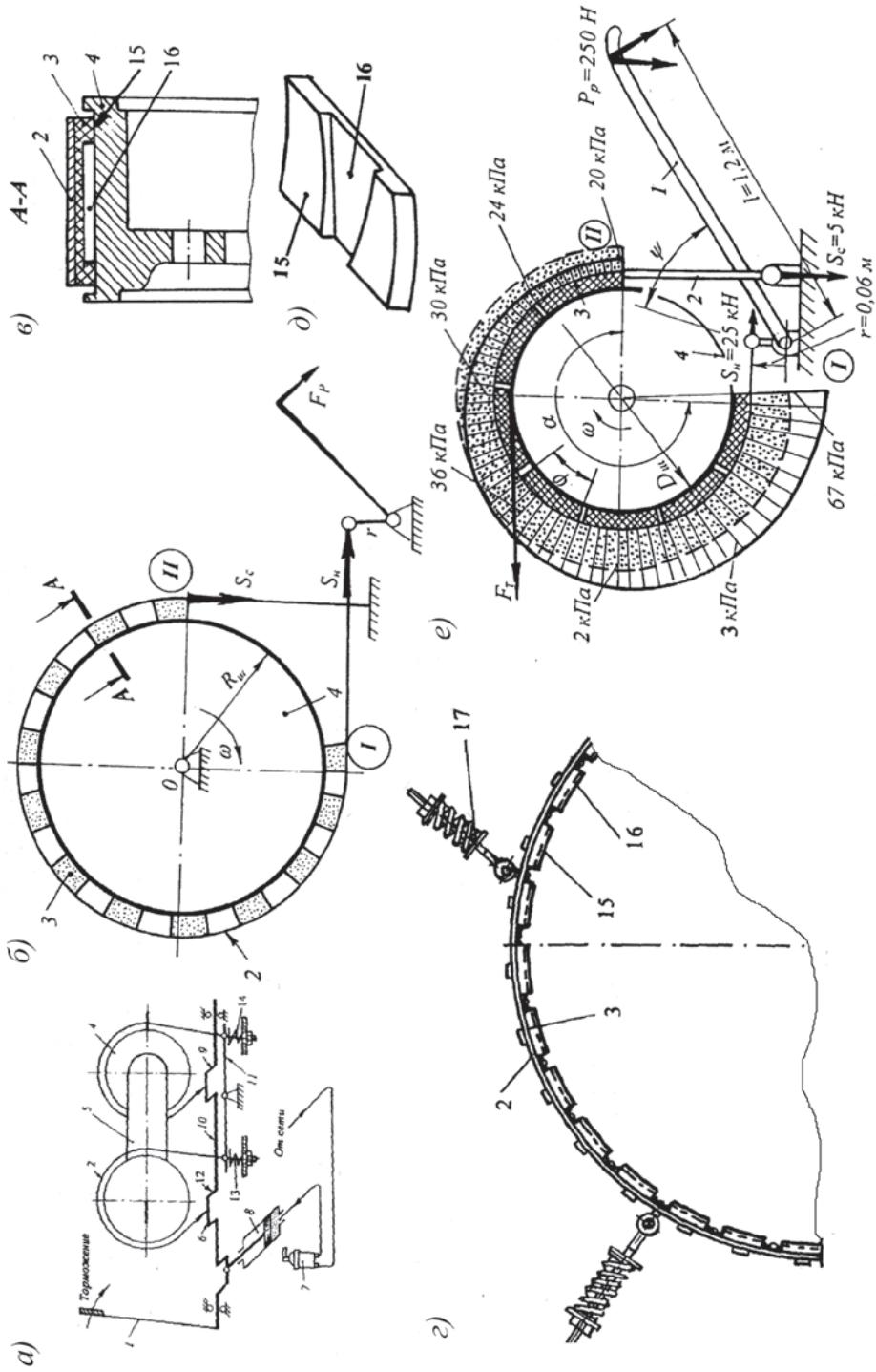


Рис. 1 а, б, в, г, д, е Кинематические схемы буровой лебедки (а) и ленточно-колодочного тормоза (б); усовершенствованный фрикционный узел (в); тормозная лента (г) и полимерная накладка (д); схема нагружения серийных и усовершенствованных фрикционных узлов (е)

Серийные ленточно-колодочные тормоза буровой лебедки работают следующим образом. Перемещением рукоятки 1 осуществляется поворот коленчатого вала 10, в результате которого бурильщик затягивает тормозные ленты 2 с фрикционными накладками 3 и они садятся на тормозные шкивы 4. Процесс торможения ленточно-колодочным тормозом (рис. 1 б) характеризуется следующими стадиями: начальной (первой), промежуточной (второй) и заключительной (третьей). Остановимся на каждой из стадий в отдельности.

На начальной стадии торможения фрикционные накладки 3, размещенные в средней части тормозной ленты 2, взаимодействуют с рабочей поверхностью тормозного шкива 4. Фронт взаимодействия расширяется в сторону фрикционных накладок 3 набегающей ветви (I) тормозной ленты 2.

Промежуточная стадия торможения характеризуется дальнейшим распространением фронта взаимодействия в сторону фрикционных накладок 3 сбегающей ветви (II) тормозной ленты 2.

Конечная стадия торможения характеризуется тем, что почти все неподвижные накладки 3 тормозной ленты 2 взаимодействуют с рабочей поверхностью вращающегося шкива 4. Во время притормаживаний последовательность вхождения поверхностей трения в контакт повторяется. Полный цикл торможения завершается остановкой тормозных шкивов 4 с барабаном 5. Управление тормозом буровой лебедки осуществляют также подачей сжатого воздуха через кран 7 бурильщика в пневматический цилиндр 8, шток которого соединен с одной из мотылевых шеек коленчатого вала 10 тормоза. Величину давления сжатого воздуха в пневмоцилиндре 8 регулируют поворотом крана 7 бурильщика.

При неравномерном изнашивании фрикционных накладок 3, установленных на лентах 2, балансир 11 в момент торможения несколько отклоняется от горизонтального положения и выравнивает нагрузки на сбегающей ветви (II) тормозных лент 2, обеспечивая при этом равномерный и одновременный обхват ими тормозных шкивов 4. Благодаря шаровым шарнирам реализация нагрузок от тормозных лент 2 к балансиру 11 при этом не изменяется.

Наиболее слабым звеном в тормозном узле являются фрикционные накладки. Они изготавливаются в виде отдельных деталей, которые могут крепиться различными способами (например, с помощью усиков) к относительно гибкой стальной ленте. При установке на ленте накладок с постоянным шагом их количество всегда четное (12; 16; 18; 20; 22; 26).

Общее количество фрикционных накладок на тормозной ленте зависит от их геометрических параметров, а также от того, какой угол обхвата тормозной лентой рабочей поверхности тормозного шкива реализуется в данном ленточно-колодочном тормозе буровой лебедки.

При назначении количества фрикционных накладок, приходящихся на набегающую и сбегающую ветви тормозной ленты, которые должны быть установлены между собой с постоянным зазором, необходимо определить коэффициент взаимного перекры-

тия контактирующих пар трения отдельно для каждой из ветвей ленты. Коэффициент взаимного перекрытия представляет собой отношение контактных площадей накладок и шкива ( $A_1$  и  $A_2$ ) к охватываемой ими кольцевой площади  $A_0$

$$\kappa_{\text{вз.н}} = \frac{A_1 A_2}{A_0^2}; \quad \kappa_{\text{вз.с}} = \frac{A'_1 A'_2}{A_{01}^2}, \quad (1)$$

где  $\kappa_{\text{вз.н}}$ ,  $\kappa_{\text{вз.с}}$  - коэффициенты взаимного перекрытия контактирующих пар трения, которые реализуются набегающей и сбегающей ветвями тормозной ленты.

Отношение  $\kappa_{\text{вз.н}}$  к  $\kappa_{\text{вз.с}}$  равно соотношению удельных нагрузок, реализуемых на набегающей ( $p_n$ ) и сбегающей ( $p_c$ ) ветвях тормозной ленты. Полученное соотношение ( $p_n/p_c$ ) и укажет, на сколько площади рабочих поверхностей накладок должны быть больше на набегающей ветви по сравнению с площадью рабочих поверхностей накладок сбегающей ветви тормозной ленты.

Способ установки фрикционных накладок с постоянным шагом на ветвях тормозной ленты реализуется в два этапа.

Первый этап заключается в определении рабочих площадей фрикционных накладок на набегающей ветви тормозной ленты.

Для распределения рабочих площадей фрикционных накладок на набегающей ветви тормозной ленты используем основные зависимости арифметической прогрессии, задавшись при этом первым ее членом ( $a_1$ ). В дальнейшем, используя особенность арифметической прогрессии, из зависимости (2) определяем значение  $d$ .

$$S_m = \frac{2a_1 + d(m-1)}{2} m, \quad (2)$$

где  $S_m$  - суммарная площадь рабочих поверхностей накладок ( $m$ ) набегающей ветви ленты;  $d$  – разность прогрессии. Величины рабочих площадей фрикционных накладок на набегающей ветви тормозной ленты определяем по зависимости  $a_{m1} = a_m + d$ . На этом первый этап заканчивается.

Второй этап заключается в определении рабочих площадей фрикционных накладок на сбегающей ветви тормозной ленты.

Все действия аналогичны расчету основных параметров геометрической прогрессии. При этом учитываем тот факт, что последний член арифметической прогрессии является первым членом ( $b_1$ ) геометрической прогрессии. Используя особенность геометрической прогрессии, по формуле (3) находим численное значение знаменателя геометрической прогрессии.

$$S_m = \frac{b_1(q^{m_1} - 1)}{q - 1}, \quad (3)$$

где  $S_m$  - сумма членов геометрической прогрессии, которая отвечает суммарной площади рабочих поверхностей накладок ( $m$ ) сбегающей ветви ленты;  $q$  – знаменатель геометрической прогрессии. Величины рабочих площадей фрикционных накладок на сбегающей ветви тормозной ленты определяем по зависимости  $b_{m1} = b_1 q^{m_1-1}$ , учитывая то, что

$b_1 = a_m \cdot q$ , где  $a_m$  - последний член арифметической прогрессии, который равен площади рабочей поверхности последней накладки сбегающей ветви тормозной ленты.

На этом второй этап заканчивается.

Таким образом, для целенаправленного перераспределения удельных нагрузок между набегающей и сбегающей ветвями тормозной ленты с учетом ее эксплуатационной возможности необходимо правильно задаться величиной только рабочей площади первой фрикционной накладки набегающей ветви ленты. Все остальные значения рабочих площадей накладок определяются расчетным путем.

Уменьшение рабочей площади фрикционных накладок 3 происходит в направлении от набегающей ветви (I) до конца сбегающей ветви (II) тормозной ленты 2. Поэтому во фрикционных накладках 3 со стороны их рабочих поверхностей 15 на величине допустимого износа выполнены пазы в виде конусоподобных плоских сопел 16. Применение во фрикционных накладках 3 углублений различной конфигурации, выполненных в теле накладок 3 со стороны рабочих поверхностей 15, позволяет влиять на продольную и поперечную (при разомкнутом тормозе) и поперечную (при торможении) циркуляции воздуха, т.е. изменять направление (при вращении шкива за и против часовой стрелки) и скорость движения потока воздуха, что интенсифицирует воздухообмен и, как следствие, снижает теплонагруженность пар трения.

В связи с тем, что вес фрикционных накладок 3 на ветвях тормозной ленты 2 изменился, на ней применены подпрессоренные оттяжные устройства 17 различной податливости (видно на рис.1 г по количеству витков цилиндрической пружины), которые обеспечивают постоянство зазора между парами трения ленточно-колодочного тормоза в их разомкнутом состоянии.

В качестве примера рассмотрим тормозную ленту с углом обхвата  $270^\circ$ , на которой необходимо установить с переменным шагом 12, 18, 20, 22 и 26 серийных фрикционных накладок ( $a \times b \times h = 120 \times 230 \times 30$  мм) ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки У2-5-5. В табл. 1 приведены исходные данные для определения величин рабочих площадей накладок, расположенных по периметру ленты.

**Табл. 1**

**Исходные данные для определения величин рабочих поверхностей  
накладок тормозной ленты**

Общее количество накладок, шт.	Ветви тормозной ленты					
	Набегающая			Сбегающая		
	Количество накладок ветви, шт.	Арифметическая прогрессия		Количество накладок ветви, шт.	Геометрическая прогрессия	
		Первый член $a_1$ , $\text{мм}^2$	Разность $d$ , $\text{мм}^2$		Первый член $b_1$ , $\text{мм}^2$	Знаменатель $q$
$n = 26$	13	27600	230	13	15	1,1037

С использованием предложенной методики были установлены закономерности изменения величин рабочих площадей фрикционных накладок (табл. 2).

Табл. 2

**Закономерности изменения рабочих площадей фрикционных накладок при установке на тормозной ленте**

Номера фрикционных накладок тормозной ленты																									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Общее количество накладок на ленте $n=26$ при шаге между ними 37,0 мм																									
Набегающая ветвь ( $n=13$ )														Сбегающая ветвь ( $n=13$ )											
Площади рабочих поверхностей накладок, $10^3 \text{ mm}^2$																									
27,6	27,37	27,14	26,91	26,68	26,45	26,22	25,99	25,76	25,53	25,3	25,07	24,84	24,61	24,38	24,02	23,63	23,19	22,71	22,18	21,6	20,95	20,24	19,47	18,58	17,61
Соотношение рабочих площадей накладок в случае, если на тормозной ленте находится																									
$\frac{A_1}{A_{12}} = 1,1$													$\frac{A_1}{A_{17}} = 1,104$												
Уменьшение рабочих площадей накладок в случае, если на тормозной ленте находится, $\text{mm}^2$																									
17930													28860												
Суммарный угол обхвата во фрикционных узлах																									
серийных													усовершенствованных												
$\frac{149,75^\circ}{143,58^\circ(0,6)}$													$\frac{226,08^\circ}{213,08^\circ(1,045)}$												
$251,58^\circ$													$276,9^\circ$												
$231,5^\circ(1,78)$													$249,7^\circ(2,24)$												
$327,57^\circ$													$292,47^\circ(3,2)$												

Проведенный анализ полученных результатов расчетов позволил установить следующее. При монтаже на тормозной ленте, соответственно, 12, 18, 20, 22 и 26 накладок отношение рабочих площадей первой накладки к последней составило соответственно 1,1; 1,104; 1,21; 1,24 и 1,56. Суммарный угол обхвата в усовершенствованных фрикционных узлах уменьшился для 12, 18, 20, 22 и 26 накладок, что позволило высвободить материал соответственно на 0,6; 1,045; 1,78; 2,24 и 3,2 накладки.

Из приведенных примеров вытекает, что с увеличением количества накладок на тормозной ленте наблюдается падение величины отношения удельных нагрузок на накладках набегающей и сбегающей ветвей, что свидетельствует о более равномерном их распределении по длине ленты.

Таким образом, реализация способа управления перераспределением удельных нагрузок на ветвях ленты за счет изменения рабочих площадей фрикционных накладок в ленточно-колодочном тормозе буровой лебедки позволит улучшить эксплуатационные параметры его фрикционных узлов и существенно увеличить ресурс накладок, размещенных на набегающей ветви ленты.

На основании вышеизложенного разработан ряд конструкций новых фрикционных узлов, обеспечивающих выравнивание удельных нагрузок в их парах трения.

Ленточно-колодочный тормоз с секционными накладками [4] имеет ту особенность, что по краям тормозной ленты и во фрикционных накладках выполнены совпадающие радиальные отверстия, которые в теле накладок переходят во взаимно перпендикулярные отверстия длиной на одну треть их ширины и расположены на высоте допустимого износа рабочих поверхностей накладок. При этом через систему отверстий пропущены канаты, огибающие блоки, установленные на наружной поверхности тор-

мозной ленты, а со стороны набегающего участка ленты концы каната заведены в ее стопорную планку, со стороны же сбегающего участка ленты канат огибает боковую поверхность последней фрикционной накладки секции.

В ленточно-колодочном тормозе с неподвижными и перемещающимися фрикционными накладками на тормозной ленте [5], между неподвижными накладками расположены перемещающиеся накладки, а между боковыми двойными стенками накидного кожуха, в пазы которых заведены крепежные пластины фрикционных накладок, установлены на винтах цилиндрические фрикционные элементы. Контактные линии цилиндрических фрикционных элементов взаимодействуют одновременно с внутренней поверхностью накидного кожуха и наружной поверхностью тормозной ленты. По наружной поверхности тормозной ленты фрикционные элементы катятся одновременно с перемещением оснований боковых двойных стенок накидного кожуха фрикционных накладок относительно продольных пазов ленты. Продольные пазы выполнены меньшими по длине на набегающей ветви ленты и большими – на сбегающей ветви ленты, обеспечивая тем самым за торможение фиксированный переменный шаг между подвижными фрикционными накладками, находящимися между рабочими поверхностями металлических фрикционных элементов. Достигается повышение эффективности работы тормоза и возможность перераспределения удельных нагрузок между перемещающимися фрикционными накладками набегающей и сбегающей ветвей тормозной ленты.

В двухступенчатом ленточно-колодочном тормозе [6] реализовано устройство и способ выравнивания удельных нагрузок в его многопарных фрикционных узлах.

Тормоз содержит тормозной шкив с ребордами, тормозные колодки с внешними и внутренними фрикционными накладками, расположенными на тормозном шкиве, тормозную ленту и механический привод. По всему периметру рабочей поверхности тормозного шкива выполнены поперечные пазы различного продольного сечения. В пазы запрессованы фрикционные элементы. С торцов к тормозному шкиву через магнитоизоляционные прокладки прикреплены реборды Г-образной формы с полочками со скосами, образующими полость по периметру шкива в виде ласточкина хвоста.

В полость установлены тормозные колодки с основаниями, переходящими в дугообразные пластины, на поверхностях которых расположены внутренние и внешние фрикционные накладки. Способ заключается в том, что перед эксплуатацией тормоза определяется отношение коэффициентов взаимного перекрытия, которое равно соотношению удельных нагрузок на набегающей и сбегающей ветвях тормозной ленты, а второе отношение коэффициентов равно соотношению удельных нагрузок, реализуемых на набегающей и сбегающих поверхностях тормозного шкива, в результате чего в процессе работы пар трения имеет место перемещение тормозных колодок под ветвями тормозной ленты. Перемещение тормозных колодок вызывает перераспределение удельных нагрузок в парах трения. Достигается возможность статического выравнивания удельных нагрузок в парах трения двухступенчатого ленточно-колодочного тормоза путем рационального расположения тормозных колодок на поверхности тормозного шкива, а

на втором этапе – динамическое выравнивание за счет ограниченного перемещения колодок по набегающей и сбегающей поверхностям тормозного шкива.

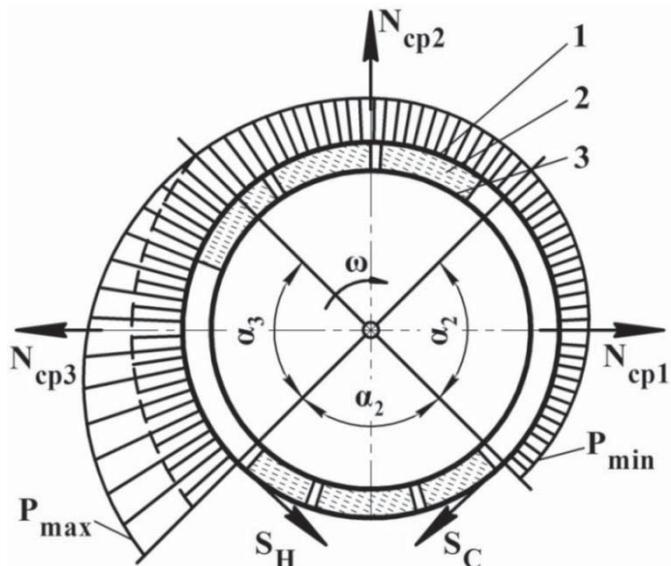
**Динамическое квазивыравнивание удельных нагрузок во фрикционных узлах ленточно-колодочных тормозов.** В основу выравнивания удельных нагрузок в различных типах фрикционных узлов ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок заложены следующие принципы и предположения:

- тормозная лента на дуге ее охвата тормозного шкива разбита на три зоны: дуги охвата сбегающей ( $\alpha_1$ ) и набегающей ( $\alpha_3$ ) ветвей и дуга охвата ( $\alpha_2$ ) между ними (рис. 2);

- усилия натяжения набегающей и сбегающей ветви изменяются ступенчато (рис. 3) на стыках  $\alpha_1$  с  $\alpha_2$  и  $\alpha_2$  с  $\alpha_3$ ;  $S_{Hi} = S_{Ci}$ ;

- на углах охвата  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$  имеют место переменные динамические коэффициенты трения ( $f_1$ ,  $f_2$  и  $f_3$ ) при взаимодействии рабочих поверхностей фрикционных накладок с поверхностью тормозного шкива;

- суммарная нормальная сила, действующая на тормозной шкив, будет различной для каждой дуги охвата  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ .

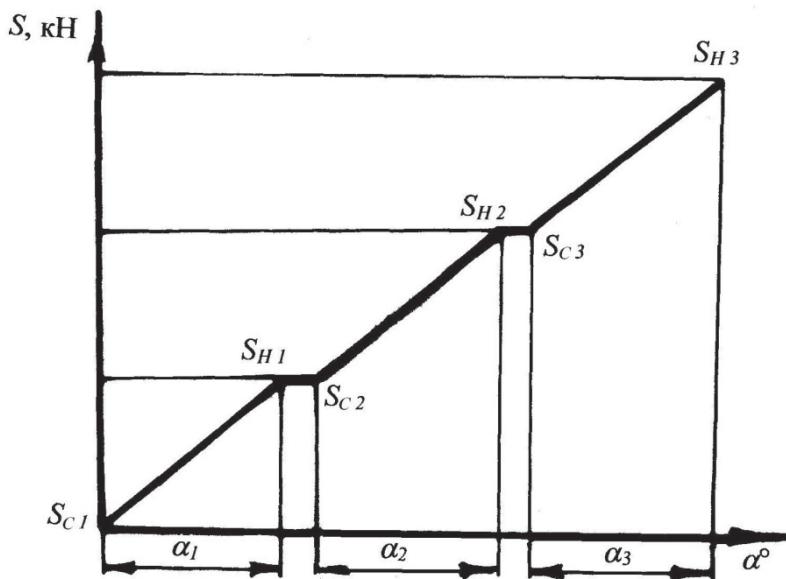


*Рис. 2 Расчетная схема определения нормальных усилий ( $N_i$ ) и выравнивания удельных нагрузок ( $p_i$ ) на постоянных углах охвата ( $\alpha_i=\alpha_2=\alpha_3$ ) тормозной лентой шкива для разных типов фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза: 1 - тормозная лента; 2 - фрикционная накладка или фрикционный элемент; 3 - тормозной шкив*

Усилие на сбегающем конце тормозной ленты определяется из выражения:

$$S_{C_1} = \frac{M_{T_1}}{(e^{f_1 \alpha_1} - 1) R_{III}}, \quad (4)$$

где  $M_{T_1}$  – тормозной момент, который развивает тормозная лента с накладками на угле охвата  $\alpha_1$  при взаимодействии с тормозным шкивом;  $f_1$  – среднее значение динамического коэффициента трения, который реализуется в рассматриваемом фрикционном узле.



**Рис. 3 Закономерности изменения натяжений тормозной ленты на дуге ее охвата тормозного шкива:  $S_{C_1}, S_{H_1}$ ;  $S_{C_2}, S_{H_2}$  и  $S_{C_3}, S_{H_3}$  - натяжения набегающей и сбегающей ветви тормозной ленты и ее средней части на углах охвата ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$ ) поверхности тормозного шкива**

Известно, что  $M_{T_1} = (S_{H_1} - S_{C_1})R_{III}$ , после подстановки данного выражения в зависимость (4) и превращений получаем

$$S_{C_1} = \frac{S_{H_1} + S_{C_1}}{2e^{f_1\alpha_1}}. \quad (5)$$

Суммарная нормальная сила, действующая на тормозной шкив на угле охвата ( $\alpha_1$ ), равна:

$$N_{cp_1} = \int_0^{\alpha_1} S_{C_1} e^{f_1\alpha_1} d\alpha_1 = \frac{S_{C_1}}{f_1} (e^{f_1\alpha_1} - 1). \quad (6)$$

По аналогии с выражением (6) суммарная нормальная сила, действующая на тормозной шкив на угле охвата ( $\alpha_2$ ), составляет:

$$N_{cp_2} = \int_0^{\alpha_1 + \alpha_2} S_{C_2} e^{f_2\alpha} d\alpha = \frac{S_{C_2}}{f_2} e^{f_2(\alpha_1 + \alpha_2)} - \frac{S_{C_1}}{f_1} e^{f_1\alpha_1}, \quad (7)$$

где  $S_{C_2} = \frac{S_{H_2} + S_{C_2}}{2e^{f_2\alpha_2}}$ .

В свою очередь,  $N_{cp_3}$  равно:

$$N_{cp_3} = \int_0^{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3} S_{C_3} e^{f_3 \alpha} d\alpha = \frac{S_{C_3}}{f_3} e^{f_3(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)} - \frac{S_{C_2}}{f_2} e^{f_2 \alpha_2} - \frac{S_{C_1}}{f_1} e^{f_1 \alpha_1}, \quad (8)$$

где  $S_{C_3} = \frac{S_{H_3} + S_{C_3}}{2e^{f_3 \alpha_3}}$ .

Таким образом, для определения средних нормальных усилий, которые действуют на углах охвата тормозной лентой шкива, необходимо знать натяжения сбегающих их концов, а также динамические коэффициенты трения, которые реализуются на упомянутых углах охвата.

Согласно [3] среднее нормальное усилие, действующее на внутреннюю поверхность фрикционного элемента со стороны тормозного шкива, определяется по зависимости вида:

$$N_{cp_i} = \frac{(S_{H_i} - S_{C_i}) \cos \alpha_i / 4}{f_i}. \quad (9)$$

Определив средние суммарные нормальные усилия по зависимостям (6)-(8) и (9), соответственно, для серийных и многопарных фрикционных узлов на углах охвата ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ) и подобрав суммарную площадь фрикционных накладок, обеспечивают квазивыравнивание удельных нагрузок в парах трения тормоза. По суммарной площади накладок, исходя из рационального угла охвата одной накладкой шкива, определяют общее количество накладок на дугах охвата ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$ ) тормозной лентой шкива. После этого осуществляют компоновку всех накладок на дуге охвата тормозной ленты.

Однако не всегда в различных типах фрикционных узлов ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок удается выровнять удельные нагрузки. Поэтому дальнейшим этапом работы является представление ленточно-колодочного тормоза как адаптивной системы управления его эксплуатационными параметрами.

**Заключение.** Результатом теоретических исследований являются следующие выводы:

- на углах охвата ( $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ ) изменение площадей рабочих поверхностей фрикционных накладок в сторону их увеличения не превышает 10...15 % по отношению к серийным накладкам;

- на угле охвата ( $\alpha_1$ ), который отвечает наиболее нагруженному участку набегающей ветви ленты, увеличение площадей поверхностей фрикционных накладок может достигать 40%, поэтому угол  $\alpha_1$  необходимо увеличить как минимум на  $30^\circ$  (см. рис. 3, на угле ( $\alpha_3$ ) изменение удельных нагрузок изображено штриховой линией с различной плотностью).

## REFERENCES

1. Lentochno-kolodochnye tormoznye ustrojstva: [monografija] / N.A. Vol'chenko, D.A. Vol'chenko, S.I. Krishtopa et all. Kubansk. gosudarstven. tehnolog. un-t im. V.Stefanika. 2013. 441 p. (in Russia)
2. Pat. 2357132 S2 Rossijskoj Federacii, MPK F16D 49/08. Sposob upravlenija udel'nymi nagruzkami na vetyah tormoznoj lenty lentochno-kolodochnogo tormoza burovoy lebedki / A.I. Vol'chenko, E.I. Kryzhanovskij, N.A. Vol'chenko, D.A. Vol'chenko, I.V. Bachuk: Zajavitel' i patentooobladelel' Ivano-Frankovsk. nacional'n. tehn. un-t nefti i gaza. №. 2007128254/11; zajavl. 23.07.2007; opubl. 27.05.2009. Bjul. №. 15. 11 p. (in Russia)
3. Janahmadov A.Kh. Tribologicheskie problemy v neftegazovom oborudovanii / A.Kh. Dzhanahmedov. Baku: Elm, 1998. 216 p. (in Russia)
4. Pat. 2432510 S2 Rossijskoj Federacii, MPK F16D 49/08. Lentochno-kolodochnyj tormoz s sekcionnymi friкционными nakladkami na tormoznoj lente /A.I. Vol'chenko, N.A. Vol'chenko, D.A. Vol'chenko, D.Yu. Zhuravlev, I.V. Bachuk: Zajavitel' i patentooobladelel' Ivano-Frankovsk. nacional'n. tehn. un-t nefti i gaza. № 2009138645/11; zajavl. 19.10.2009; opubl. 27.10.2011, Bjul. №12. 10 p. (in Russia)
5. Pat. 2432509 S2 Rossijskoj Federacii, MPK F16D 49/08. Lentochno-kolodochnyj tormoz s nepodvizhnymi i peremeshhajushhimisja friкционными nakladkami na tormoznoj lente / A.I. Vol'chenko, D.A. Vol'chenko, I.V. Bachuk, D.D. Lazar', Yu.V. Shalaj: Zajavitel' i patentooobladelel' Ivano-Frankovsk. nacional'n. tehn. un-t nefti i gaza. № 2009135535; zajavl. 23.09.2009; opubl. 27.10.2011, Bjul. № 30. 9 p. (in Russia)
6. Pat. 2432511 S2 Rossijskoj Federacii, MPK F16D 49/08. Ustrojstvo i sposob vyravnivaniya udel'nyh nagruzok v dvuhstupenchatom lentochno-kolodochnom tormoze / A.I. Vol'chenko, N.A. Vol'chenko, D.A. Vol'chenko, N.V. Kashuba, I.I. Palijchuk: Zajavitel' i patentooobladelel' Ivano-Frankovsk. nacional'n. tehn. un-t nefti i gaza. № 2009101327/11; zajavl. 16.01.2009; opubl. 27.10.2011, Bjul. № 30. 10 p. (in Russia)

## LENTLİ-KÜNDƏLİ ƏYLƏCLƏRİN METAL-POLİMER SÜRTÜNMƏ CÜTLƏRİNDE DAXİLİ VƏ XARİCİ PARAMETRLƏRİNİN ÖZÜTƏNZİMLƏNMƏ VƏ TƏNZİMLƏNMƏSİ (3-cü hissə)

N.A.VOLÇENKO

Məqalədə, qazıma bucurqadların lentli-kündəli əyləclərinin seriyalı və çoxçütlü friksion düyünlərində xüsusi yüklerin statik və dinamik tənzimlənməsi tədqiq olunmuşdur.

**Açar sözlər:** lentli-kündəli əyləc, friksion düyün, əyləc qasnaqlı, friksion kündə, əyləc lenti, xüsusi yüklerin tənzimləməsi.

## SELF-CONTROL AND CONTROL OF INTERNAL AND EXTERNAL PARAMETERS IN METAL-POLYMERIC FRICTIONAL COUPLES OF BAND-SHOE BRAKES (Part 3)

N. A. VOLCHENKO

The paper illustrates the static and dynamic control of the unit loads in the standard and multi-couple frictional joints of band-shoe brakes of a draw-works.

**Key words:** band-shoe brake, frictional joint, braking pulley, frictional lining, braking band, unit load, branches of braking band, alignment of unit loads.

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЙ, РАБОТАЮЩИХ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ, МЕТОДОМ РАСКАТЫВАНИЯ**

**А.М. ГАФАРОВ, П.Г. СУЛЕЙМАНОВ, В.А. ГАФАРОВ**

В статье рассматриваются вопросы разрушения деталей машин и оборудований, работающих в экстремальных условиях. Исследуются методы поверхности пластической деформации, такие как технологический способ, повышающий сопротивляемость деталей машин различным видам износа, усталостным выкрашиваниям, изломам и другим видам разрушения. Анализируется влияние различных параметров метода раскатывания на качество поверхности высокоточных ответственных деталей машин и оборудования, эксплуатируемых в экстремальных условиях.

**Ключевые слова:** *раскатывание, параметры, контактное давление, подача, скорость обработки, диаметр шарика, рабочий ход.*

Надежность и долговечность машин и оборудования, работающих в экстремальных условиях, непосредственно связаны с выполняемыми ими технологическими процессами, условиями работ отдельных узлов и соединений, схемами наладки, износостойкостными характеристиками высокоточных ответственных деталей, их ремонтом и обслуживанием. Результаты многочисленных наблюдений показывают, что для этих машин и механизмов в основном характерны перегрузка во время эксплуатации, разрушения от действий повторных статических и однократных сверхнормативных нагрузок, температурные деформации, вибрация и т.д.

Анализом конкретных условий работ деталей машин и механизмов, работающих в экстремальных ситуациях, установлено, что для них свойственны абразивный износ, износ вследствие пластического течения, коррозионно-механический, молекулярно-механический, абразивно-механический износ, усталостное выкрашивание, излом и т.п.

Результаты экспериментальных исследований показывают, что наиболее благоприятное сочетание физико-механических характеристик поверхностного слоя деталей машин, повышающее износостойкость и сопротивление излому и уменьшающее усталостное выкрашивание, можно получить с помощью метода раскатывания. Процесс раскатывания может быть успешно использован для упрочнения точных высоконагруженных деталей.

Сущность рассматриваемого процесса раскатывания заключается в упругопластической деформации поверхностного слоя при взаимодействии элементов раскатных головок и обрабатываемой детали.

Применение методов поверхностного пластического деформирования (ППД), одним из которых является раскатывание, позволяет эффективно влиять на повышение долговечности деталей, работающих в условиях циклических нагрузок и имеющих концентраторы напряжений, места посадок с гарантированным натягом, а также работающих в условиях трения и воздействия коррозионных сред. Благодаря особенностям воздействия ППД позволяет полнее реализовать потенциальные свойства высокопрочных сталей [1, 2].

Основными параметрами технологического процесса раскатывания являются следующие: контактное давление  $P_{КД}$ , подача  $S$ , скорость обработки  $V$ , диаметр раскатного шарика  $d$  и число рабочих ходов раскатной головки  $l$ . Установлено, что основным технологическим фактором, влияющим на шероховатость поверхности, является контактное давление  $P_{КД}$ .

Результаты экспериментов показывают, что начальное увеличение контактного давления вызывает уменьшение высоты микронеровностей поверхности за счет их сглаживания. Из-за постепенного заполнения микропрофиля увеличивается фактическая длина контакта, упрочняется металл поверхностного слоя, сопротивление деформации растет, уменьшение шероховатости замедляется. Когда происходит полное заполнение неровностей микропрофиля, шероховатость раскатанных поверхностей фактически не изменяется. Дальнейшее увеличение контактного давления приводит даже к некоторому увеличению высоты неровностей поверхности детали из-за перенаклена. Очевидно, что при недостаточной величине контактного давления  $P_{КД}$  раскатанные микровыступы будут сглажены не полностью и шероховатость обработанной поверхности будет изменяться незначительно. При раскатывании твердых материалов необходимо большее контактное давление, чем при раскатывании мягких пластичных материалов, поскольку последние материалы характеризуются меньшим сопротивлением пластической деформации.

Обычно напряженное состояние в зоне деформации характеризуется давлением на площади контакта и определяется механическими свойствами обрабатываемого материала. Согласно рис. 1 зависимость шероховатости поверхности от контактного давления можно разделить на участки интенсивного уменьшения шероховатости, на стабильное уменьшение шероховатости, стабилизации шероховатости и на некоторое увеличение шероховатости.

При изменении контактного давления в пределах первого и второго участка шероховатость поверхности постепенно уменьшается и наблюдается постепенное снижение ее интенсивности, в третьем участке уменьшение шероховатости прекращается, а четвертый участок характеризуется небольшими увеличениями величин микронеровностей из-за перенаклена поверхностного слоя. Это можно объяснить тем, что при малых давлениях деформация поверхности происходит по вершинам неровностей, опорная

площадь которых незначительна. В результате на площадях контакта развиваются значительные давления, превышающие предел текучести материала и вызывающие интенсивную пластическую деформацию микрогребешков. Из-за повышения величины контактного давления увеличивается глубина внедрения и растет площадь контакта деформирующего элемента с обрабатываемой поверхностью. В процессе пластической деформации поверхностный слой металла сильно упрочняется. Совокупность влияния указанных факторов повышает сопротивление поверхности пластической деформации, и шероховатость с увеличением контактного давления снижается.

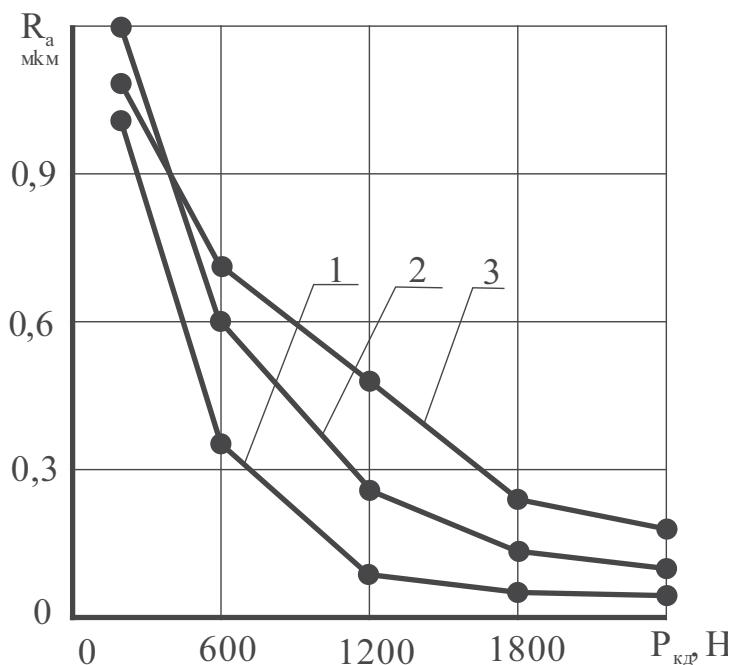


Рис. 1. Зависимость шероховатости  $R_a$  от контактного давления  $P_{кд}$  при раскатывании.

1, 2, 3 соответственно Ст 45, Ст 40Х, Ст 38ХМЮА

При оптимальных значениях контактного давления  $P_{кд}$  происходит полное раскатывание исходных неровностей и образуется шероховатость, обусловленная только самим процессом раскатывания. Поэтому увеличение контактного давления на третьем и четвертом участках графика не вызывает существенного изменения шероховатости поверхности. При дальнейшем увеличении контактного давления  $P_{кд}$  увеличивается величина пластических искажений и высота неровностей возрастает по сравнению с наименьшей, происходит разрушение поверхностных слоев, на раскатанных поверхностях появляются микротрещины.

Оптимальное давление при раскатывании возрастает по мере перехода к более твердым и менее пластичным металлам. Большим преимуществом раскатывания являет-

ся возможность получения простым и экономичным способом поверхностей с меньшей шероховатостью. При давлении ниже оптимального вследствие неполной деформации исходных неровностей их роль проявляется более резко. Например, при раскатывании стали 45 с давлением 800 Н исходная шероховатость начинает сказываться на общем состоянии обработанной поверхности.

Закаленные стали обладают пониженной пластичностью, в результате чего пластическое течение металла при раскатывании происходит менее интенсивно и исходные неровности деформируются не полностью. По мере увеличения исходных неровностей их деформация все более затрудняется. Поэтому исходная шероховатость до раскатывания должна иметь величину не больше  $R_a=2,5$  мкм.

Образование новой поверхности при раскатывании происходит также за счет снятия выступов и течения их во впадины микропрофиля. Однако шероховатость поверхности при раскатывании больше связана с силовыми, чем с геометрическими параметрами элементов раскатных головок.

Характер изменения шероховатости обработанной поверхности в зависимости от контактного давления при раскатывании в отдельных случаях согласуется с данными, полученными при обкатывании. Однако интенсивность их влияния существенно разная. По результатам экспериментов установлено, что поверхностный слой более пластичного металла при всех прочих равных условиях деформируется глубже. Аналогично ведет себя один и тот же обрабатываемый материал, имеющий различную твердость.

Как известно, величина контактного давления при раскатывании не является постоянной, так как при движении деформирующих элементов раскатных головок по впадинам и выступам исходных микронеровностей припуск периодически меняется. Поэтому существенным фактором в образовании микронеровностей при раскатывании является копирование исходных микронеровностей.

Результатами исследования [2] установлено, что при обработке деталей обкатыванием микропрофиль, образовавшийся при данном обороте детали (первичный микропрофиль), вследствие пластического течения металла искажается при следующем обороте, образуя вторичный микропрофиль.

Состояние поверхности зависит также от напряжения пластического деформирования в процессе обработки. Наименьшая шероховатость и более однородная поверхность без местных повреждений образуется при пластическом деформировании в направлении, противоположном направлению деформации при предшествующей операции [3].

При обкатывании и выглаживании с силами, обеспечивающими полное смятие исходных неровностей, получение минимальной шероховатости и повторные рабочие ходы практически не изменяют размера. Обкатывание и выглаживание оказывают влияние на геометрическую форму и волнистость обрабатываемых деталей. Снижение погрешностей формы, происходящих в пределах изменения высоты шероховатостей, отмечено также и в работах других исследователей [2, 3].

В работе [2] при отделочно-упрочняющем обкатывании незакаленных деталей

получение минимальной шероховатости, наибольшего упрочнения и оптимальной напряженности поверхности слоя достигается при следующих средних контактных давлениях:

160-180 кгс/мм<sup>2</sup> ( $\approx$ 1600-1800 МПа) для деталей из мягкой стали (Ст20),

190-210 кгс/мм<sup>2</sup> ( $\approx$ 1900-2100 МПа) для деталей из стали средней твердости (Ст45),

200-220 кгс/мм<sup>2</sup> ( $\approx$ 2000-2200 МПа) для деталей из твердой стали (СтУ8, СтУ10).

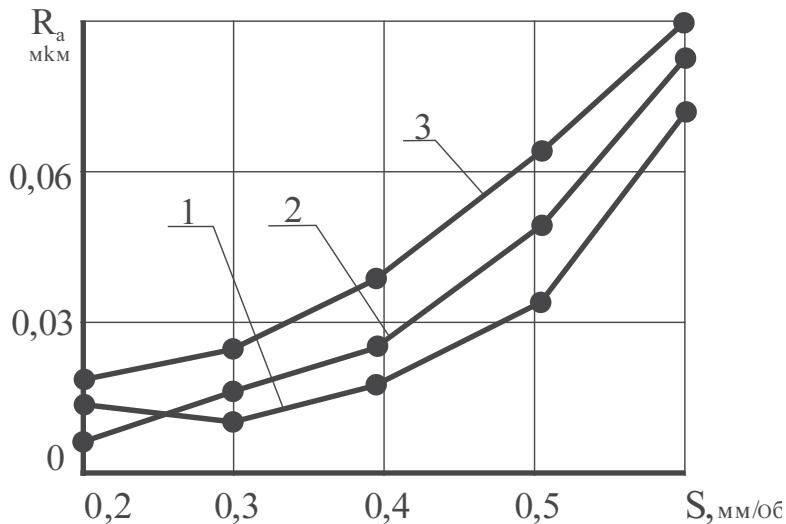
Для обкатывания шарами диаметром 10-20 мм рекомендуется подача 0,1-0,2 мм/об, а скорость обкатывания 50-100 м/мин. При обкатывании шаром диаметром 10 мм с указанными давлениями круг упрочненного слоя составляет 1,2-2,3 мм, а при обкатывании шаром диаметром 20 мм - 2,0-2,8 мм. Если производится только отделочная обработка, то давление в контакте может быть снижено на 20-50 кгс/мм<sup>2</sup> (200-500 МПа).

Изменение подачи может существенно изменить шероховатость обработанной поверхности (рис.2). Высота микронеровностей при раскатывании прямо пропорциональна величине подачи. Следовательно, за счет изменения подачи  $S$  можно регулировать шероховатость поверхности. Как видно из рис.2, увеличение подачи от 0,2 до 0,39 мм/об сравнительно мало влияет на высоту неровностей. Дальнейшее увеличение подачи приводит к значительному возрастанию неровностей. Установлено, что по мере снижения твердости стали допустимая подача может быть увеличена. Для получения минимальной шероховатости подачу необходимо выбрать от 0,2 до 0,4 мм/об. При подаче менее 0,2 мм/об увеличивается число повторных деформаций и могут происходить пластические искажения, приводящие к повышению шероховатости. Резкое повышение шероховатости  $R_a$  при подаче более 0,52 мм/об является результатом повышения интенсивности колебания технологической системы *СЛИД* (станок, приспособление, инструмент, деталь). Кроме того, увеличение подачи  $S$  уменьшает кратность приложения нагрузки из-за снижения числа циклов нагружений каждой точки обрабатываемой поверхности. В результате величина остаточной пластической деформации уменьшается, что приводит к росту шероховатости при увеличении подачи  $S$ .

Результаты экспериментов показывают, что различные подачи на предшествующей обработке при раскатывании способствуют периодическому контакту деформирующего элемента с различными по высоте исходными микронеровностями. Это способствует образованию микронеровностей с относительно большим шагом. Образование микронеровностей в направлении подачи определяется шагом исходных микронеровностей в этом направлении. Поэтому пластическое течение металла в сторону обрабатываемой поверхности будет больше величины упругого его восстановления, что практически не всегда возможно. В связи с этим следует рекомендовать такие подачи, при которых следы от предшествующих проходов инструмента перекрывались и обеспечивали бы требуемые минимальные шероховатости обрабатываемых поверхностей.

В работе [4] с целью изучения влияния параметров обкатывания роликами, создающими каплевидные отпечатки и шероховатость обрабатываемых поверхностей, осуществляли обкатывание с применением образцов диаметром 40 мм и длиной 250 мм, из

стали 12Х18Н10Т и 2Х13, а также из титанового сплава ПТ-7М, причем поверхность под обкатыванием создавалась точением. Установлено, что с увеличением усилия обкатывания существенно уменьшается исходная шероховатость поверхности.



*Рис. 2. Зависимость шероховатости  $R_a$  от величины подачи  $S$  при раскатывании.*

1, 2, 3 соответственно Ст 45, Ст 40Х, Ст 38ХМЮА

Зависимость высоты неровностей профиля от подачи при обкатывании свидетельствует о том, что с увеличением подачи шероховатость поверхности возрастает. Однако эта зависимость выражена слабо, и следовательно, обкатывание при малых подачах с целью уменьшения шероховатости неэффективно. В некоторых работах высказывалось предположение о надламывании и закатывании в сторону подачи микрогребешков исходной поверхности, при дорновании или накатывании роликами. Однако проведенные исследования показали несостоительность этих предложений [1]. Сейчас установлено единое мнение о характере деформации поверхностных неровностей при накатывании, заключающееся в том, что под действием усилия деформирующего элемента происходит смятие выступающих поверхностных неровностей за счет течения металла во все стороны от места контакта с инструментом и заполнения впадин микропрофиля.

При накатывании шариком или роликом на поверхности образовываются новые микронеровности, высота, шаг и форма которых зависят от величины подачи и профильного радиуса инструмента и которые могут быть определены геометрически [1, 2, 6, 7]. Образование новой поверхности при обработке цилиндрических отверстий полноkontakteчными роликами происходит также за счет смятия выступов гребешков и течения их во впадины микропрофиля.

Влияние скорости обработки  $V$  на шероховатость обработанной поверхности по сравнению с другими параметрами раскатывания имеет наименьшее значение, посколь-

ку скорость упругопластических деформаций поверхностного слоя незначительно влияет на величину остаточных деформаций. При этом, при повышении скорости раскатывания увеличивается тепловыделение в зоне контакта деформирующих элементов раскатных головок с обрабатываемой поверхности, а также повышается влияние вибрации технологической системы *СПИД* на качестве поверхности.

Результаты проведенных работ [1, 2] показывают, что параметры шероховатости исходной поверхности одинаковы и в направлении скорости, и в направлении подачи. Учитывая, что предшествующими раскатыванию операциями могут быть точение или шлифование, необходимо отметить, что формирование шероховатости в направлении  $V$  и  $S$  для этих видов обработки будет различно. При образовании шероховатости вдоль вектора скорости тонкий поверхностный слой должен иметь несплошную структуру, но такой слой не наблюдался. Кроме того, повышение характеристики усталости поверхностей деталей также свидетельствуют об отсутствии концентраторов напряжений в поверхностных слоях.

Влияние скорости обработки на шероховатость обработанной поверхности при раскатывании показано на рис.3. Как видно из рисунка, увеличение скорости  $V$  от 1,2 до 2,8 м/с приводит к небольшому увеличению шероховатости поверхности  $R_a$ . Для получения более низкой шероховатости целесообразно производить раскатывание со скоростью 2,2–2,8 м/с. При такой скорости достигается и сравнительно высокая производительность. Как видно, скорость раскатывания не оказывает существенного влияния на шероховатость обработанной поверхности, и ее выбор диктуется в первую очередь соображениями, связанными с влиянием скорости на образующееся тепло, а также на эффект упрочнения.

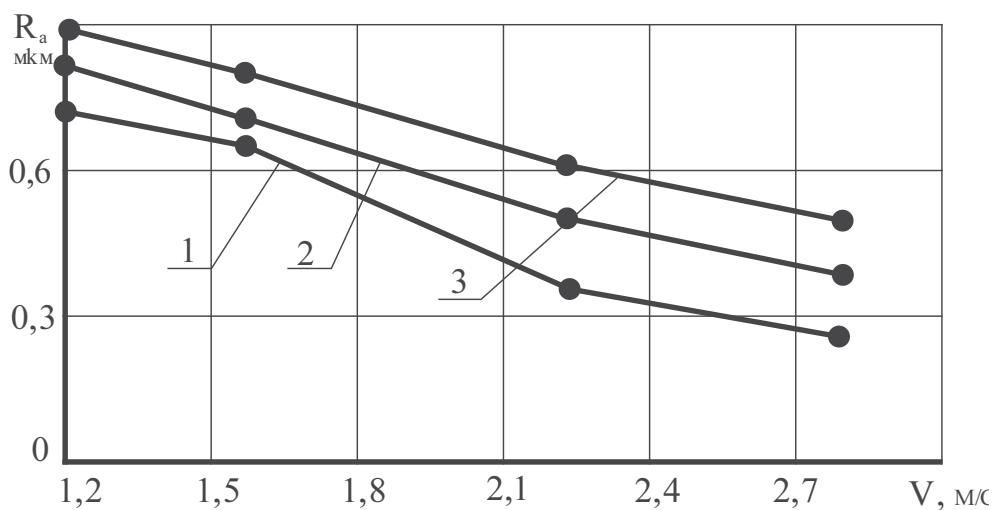
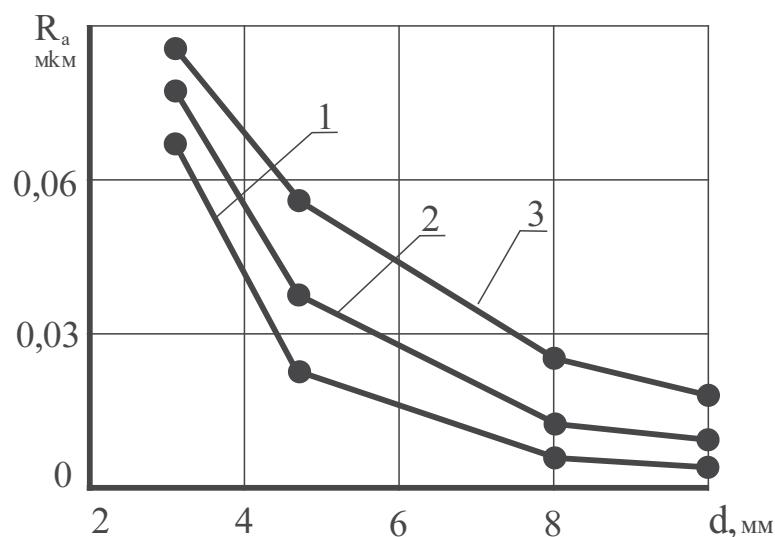


Рис. 3. Зависимость шероховатости  $R_a$  от скорости обработки  $V$  при раскатывании.

1, 2, 3 соответственно Ст 45, Ст 40Х, Ст 38ХМЮА

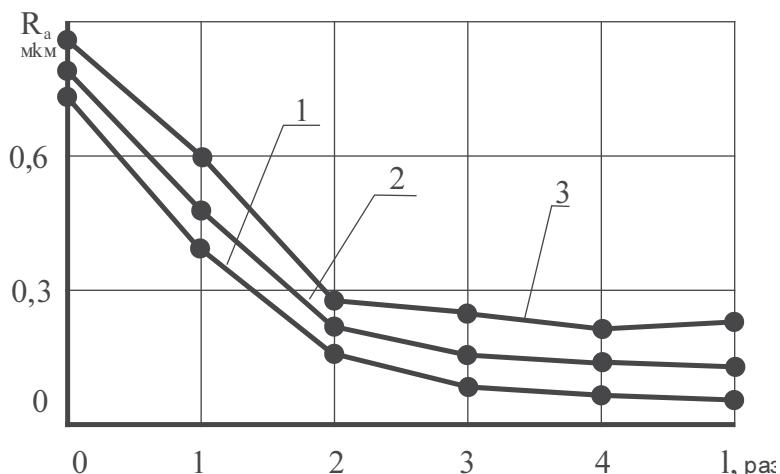
Влияние диаметра шариков раскатных головок на шероховатость обработанной поверхности не имеет однозначного характера. С одной стороны, увеличение диаметра шариков приводит к некоторому увеличению составляющих сил, что должно способствовать уменьшению высоты микрогребешков обработанной поверхности после раскатывания. С другой стороны, с увеличением диаметра шарика увеличивается площадь пятна контакта шарика с деталью, что приводит к уменьшению контактного давления на единицу площади, а следовательно, и к увеличению шероховатости обработанной поверхности. При этом превалирующую роль играет влияние контактного давления. В результате чего увеличение диаметра шарика приводит к уменьшению шероховатости поверхности (рис.4). Однако если нормальную силу оставить без изменений, то при раскатывании с большим диаметром шариков не будет происходить полное раскатывание исходных неровностей. В связи с тем, что уменьшение шероховатости поверхности с увеличением диаметра шариков раскатных головок происходит при постоянной глубине их внедрения, это может быть характеризовано с большей кратностью приложения нагрузки, а значит, изменение диаметра шариков раскатных головок должно сопровождаться изменением силы раскатывания, чтобы обеспечить постоянную глубину внедрения. Указанное также доказывает, насколько целесообразно исследование составляющих сил обработки при выполнении комплексных исследований по разработке силовых технологических процессов. Кроме того, для раскатывания мягких материалов необходимо использовать раскатные шарики с большими диаметрами, а для твердых материалов меньшими в зависимости от конкретных технологических условий обработки.



*Рис. 4. Зависимость шероховатости  $R_a$  от диаметра  $d$  раскатного шарика при раскатывании.  
1, 2, 3 соответственно Ст 45, Ст 40Х, Ст 38ХМЮА*

При обработке деталей *ППД* имеются значительно большие возможности регулировать геометрические параметры качества поверхностей деталей по сравнению с различными способами обработки резанием. За счет варьирования таких параметров режима обработки, как давление, подача, частота вращения заготовки, а также изменения радиусов шаров и сферы роликов для обкатывания, можно управлять микрорельефом, а следовательно, улучшать эксплуатационные свойства деталей методом *ППД* [1].

Результаты экспериментов показывают, что с увеличением числа рабочих ходов величина шероховатости поверхности  $R_a$  уменьшается (рис.5). Основное уменьшение шероховатости происходит во время первого и второго прохода. Дальнейшие увеличения числа проходов до 4-х шероховатость поверхности также уменьшается, но в меньшей степени, так как повторные ходы производятся по уже сглаженной и упрочненной поверхности. При числе рабочих ходов больше 4-х возможен перенаклеп поверхностного слоя, шероховатость при этом несколько может увеличиваться. Поэтому при раскатывании целесообразно назначить один-два, при необходимых случаях максимум три прохода. Однако при раскатывании нежестких деталей, когда давление ниже оптимального, для получения менее шероховатой поверхности можно рекомендовать больше рабочих ходов.



*Рис. 5. Зависимость шероховатости  $R_a$  от числа рабочих ходов  $l$  при раскатывании.*  
1, 2, 3 соответственно Ст 45, Ст 40Х, Ст 38ХМЮА

Одним из факторов, влияющих на шероховатость, является микронеровность исходной поверхности. Под действием формирующих элементов раскатных головок металл микронеровностей исходной поверхности снимается в месте контакта, остроконечная форма гребешков теряет свою первоначальную форму, впадины постепенно заполняются металлом, расстояние между впадинами остается неизмененным, что свидетель-

ствует о перераспределении объемов в поверхностном слое. Увеличение исходной микронеровности более 1,5-2,5 мкм приводит к увеличению шероховатости, и в целом к ухудшению качества поверхностного слоя при раскатывании (рис.6). Влияние исходной шероховатости начинает сказываться только с определенной величиной, зависимой от свойств обрабатываемого материала, а также от технологических факторов процесса.

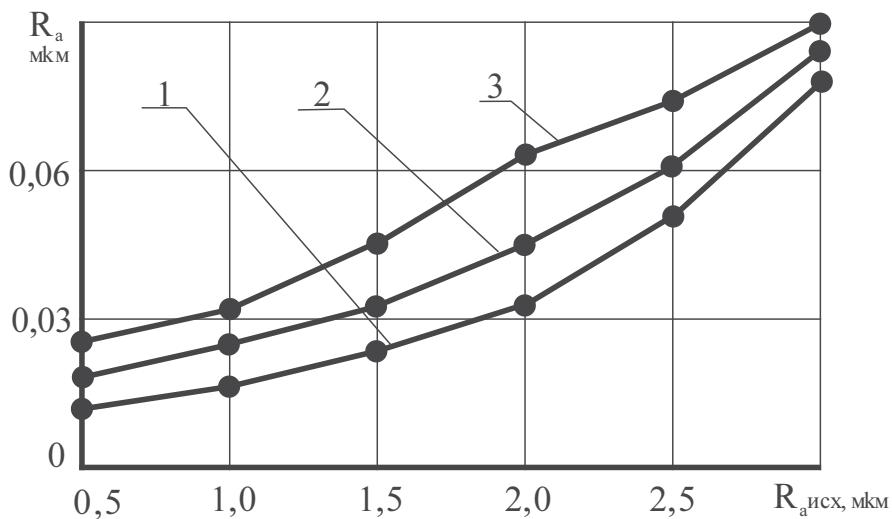


Рис. 6. Зависимость шероховатости  $R_a$  от исходной шероховатости поверхности  $R_{a \text{ исх}}$  при раскатывании.

1, 2, 3 соответственно Ст 45, Ст 40Х, Ст 38ХМЮА

Оптимальная исходная микронеровность незначительно влияет на получаемую шероховатость при раскатывании. В этих случаях происходит фактически их полная деформация. При раскатывании более грубой поверхности исходные шероховатости деформируются частично и происходит незначительное улучшение качественных показателей обработанных поверхностей. При контактном давлении  $P_{КД}$  ниже оптимального из-за неполной деформации исходных неровностей, также происходит частичное раскатывание исходных поверхностей. Указанное наиболее часто проявляется себя при обработке закаленных сталей, которые обладают пониженной пластичностью. Поэтому с повышением твердости и снижением пластичности обрабатываемых материалов требования к шероховатости исходной поверхности возрастают. У закаленных сталей она не должна превышать 0,8...1,25 мкм. Следует отметить, что для получения минимальной шероховатости и в целом достижения высокого качества обработанной поверхности при раскатывании требуемые исходные шероховатости  $R_{Z \text{ исх}}$  должны быть значительно ниже. Опыты показывают, что закаленные стали эффективно раскатываются при исходной шероховатости 1,0 мкм. При исходной шероховатости 1,0-0,15 мкм происходит стабильное уменьшение шероховатости на 2-3 класса и достигается соответственно шерохова-

тость 0,16....0,02 мкм. При раскатывании закаленных сталей с исходной шероховатостью более 1,5 мкм из-за неполного раскатывания неровностей достигается уменьшение шероховатости на один класс. Фактически применение раскатывания в таких случаях малоэффективно. Однако дальнейшее уменьшение исходной шероховатости также нецелесообразно, так как при повышении класса исходной шероховатости степень раскатывания ее уменьшается. Большая эффективность раскатывания получается при поверхности, имеющей остроконечный профиль неровности, например, при точении, шлифовании, хонинговании. Меньшая степень раскатывания наблюдается при поверхности, имеющей неровность притупленной формы, например, как при ротационном растачивании, притирке и полировании.

По данным [1], значительное влияние на усилия процесса обкатывания оказывает величина микронеровностей предшествующей обработки. Так, например, при уменьшении исходной шероховатости от 7,2 до 1,9 мкм величина радиального усилия возрастает для стали 20Х от 67,6 до 73 кН, а осевого – от 9,05 до 10,78 кН. Уменьшение шероховатости от 8,5 до 2,2 мкм для стали 35 вызывает увеличение радиальных усилий от 73,5 до 81,4 и осевых – от 7,84 до 8,72 кН. Наибольшие радиальные и осевые усилия при обкатывании образца возникают при первом проходе, когда наблюдается максимальное смятие гребешков микронеровностей. При повторении процесса обкатывания, т.е. при увеличении числа проходов, усилие обкатывания уменьшается. Однако величина изменения радиального усилия незначительна. Например, при увеличении числа проходов с одного до четырех радиальное усилие для стали Ст45 уменьшилось от 73,5 до 68,7 кН, а при выполнении шестого прохода оно составило 67,6 кН, такое же изменение числа проходов для стали 20Х привело к уменьшению радиальных усилий от 61,4 до 56 и 54,5 кН. Осевые усилия при обработке стали 20Х после второго прохода почти не изменились. Применение различных видов смазки при обкатывании существенно не влияет на величину усилия обкатывания.

По данным [1, 7], характер окончательной шероховатости в зависимости от конструкционно-технологических факторов процесса при ротационном обкатывании аналогичен характеру влияния этих факторов при других видах размерно-чистовой и упрочняющей обработки поверхности. Установлено, что обкатывание валов различными ротационными инструментами стабильно обеспечивает изготовление деталей второго-третьего класса точности (приблизительно 8-9 квалитет).

**Заключение.** Результаты многочисленных исследований показывают, что существующие методы упрочнения, калибрования и отделки *ППД* отличаются кинематическими схемами, видами деформирующих элементов и характером их контакта с обрабатываемой поверхностью. Выбор оптимального метода обработки и рациональной конструкции инструмента определяется большим числом факторов: размерами и формой обрабатываемых деталей, их прочностью и жесткостью, требованиями, предъявляемыми к точности и качеству поверхности, характером производства.

## REFERENCES

1. **Gafarov A.M.** Progressivnye metody mehanicheskoy obrabotki. Baku: Nauka. 2001. V. 2. 310 p. (in Russia)
2. **Papshev D.D.** Otdelochno-uprochnajushchaja obrabotka poverhnostnym plasticheskim deformirovaniem. M.: Mashinostroenie. 1978. 152 p. (in Russia)
3. **Matalin A.A., Il'jashhenko A.A.** Vlijanie napravlenija vyglazhivanija i raskatyvanija na sheroхватost' i iznosostojkost' obrabotannoj poverhnostej. M.: Mashinostroenie. 1974. 368 p. (in Russia)
4. **Sahov V.B. et all.** Issledovanie processa obrabotki rolikami, sozdajushhimi kapevidnyj otpechatok. Vestnik mashinostroenija. 1979, No.3. 4 p. (in Russia)
5. **Shnejder Ju.G.** Chistovaja obrabotka metallov davleniem. L.: Mashinostroenie. 1967. 210 p.
6. **Kravchenko B.A. et all.** Povyshenie vynoslivosti i nadezhnosti detalej mashin i mehanizmov. Kujbyshev. 1966. 210 p. (in Russia)
7. **Konovelov E.G.** Rotacionnaja obrabotka poverhnostej s avtomaticeskoy podachej. Minsk: Vyshejsjaja shkola. 1976. 268 p. (in Russia)

## EKSTREMAL ŞƏRAİTDƏ İŞLƏYƏN MAŞIN VƏ AVADANLIQLARIN DETALLARININ ETİBARLILIĞININ DÖYƏNƏKLƏMƏ METODU İLƏ ARTIRILMASI

A.M. QAFAROV, P.H. SÜLEYMANOV, V.A. QAFAROV

Məqalədə ekstremal vəziyyətlərdə işləyən maşın və avadanlıqların detallarının dağıılması məsələlərinə baxılır. Səthin plastiki deformasiyası metodlarının, maşın detallarının yeyilməsinə, yorğunluqdan ovulmasına, qırılmaya və digər növ dağılmala qarşı müqavimətlərinin artırılması tədqiq olunur. Daxili döyənəkləmə metodunun əsas parametrlərinin ekstremal şəraitdə istismar edilən maşın və avadanlıqların yüksək dəqiqliyə malik məsul detallarının səthlərinin keyfiyyətinə təsiri analiz edilir.

*Açar sözlər:* döyənəkləmə, parametrlər, kontakt təzyiqi, ötiirmə, emal sürəti, şərin diametri, işçi gedış.

## INCREASE OF MACHINE PARTS AND EQUIPMENT RELIABILITIES BY ROLLING METHOD

A.M. GAFAROV, P.H. SULEYMANOV, V.A. GAFAROV

The aspects of machine parts and equipment fatigues working under extremal conditions are reviewed in this paper. The methods of surface plastic deformation are investigated, such as technological method, which increases the reliability of machine parts towards various forms of destruction, fatigue coloring and other forms of fatigue. The impact of different parameters of the rolling process on the quality of the high-precision nationally manufactured machine parts and equipments, working under extremal conditions, is analyzed.

*Key words:* rolling method, parameters, contact pressure, transmission, processing speed, ball diameter, power stroke.

## ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НАГРЕВ УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА СОЕДИНТЕЛЬНЫХ МУФТ

И.А. ХАЛИЛОВ

В статье исследуется нагрев упругого элемента соединительной муфты в зависимости от таких влияющих факторов, как демпфирующая способность муфты, отношение моментов инерции в ведущей и ведомой ветвях привода, коэффициент теплообмена и площадь поверхности охлаждения упругого элемента муфты, а также окружной частоты колебаний приводной системы машины.

**Ключевые слова:** *муфта, упругий элемент, демпфирование, нагрев, эластомер, момент инерции, частота колебаний.*

**Введение.** Соединительные муфты, работающие в условиях сухого трения, широко применяются в различных отраслях машиностроения, в том числе в нефтяной промышленности. Проблема повышения надежности и долговечности соединительных и фрикционных устройств является весьма важным узлом агрегатного комплекса, так как эти узлы работают в тяжелых эксплуатационных условиях, и в этой связи отказы отдельных элементов могут привести к значительным потерям. Одним из основных требований, предъявляемых к соединительным муфтам, является стабильность рабочих характеристик в большом диапазоне нагрузок, скоростей и температур. Расчетное определение рабочих характеристик муфт, например на базе систем тепловой динамики трения, и другие методы расчета и испытания, оценки оптимального подбора материалов пар трения позволяют дать необходимый уровень надежности инженерам и конструкторам на стадии проектирования.

Известно, что машины и механизмы во время рабочего процесса нагреваются. Это связано в основном с наружными и внутренними трениями в составных элементах конструкции. Повышение температуры выше допустимого предела приводит к нежелательным последствиям. Избыточный нагрев особенно вреден для неметаллических упругих элементов конструкции, в частности для упругих элементов соединительных муфт приводов машин [1-3]. Упругие элементы соединительных муфт нагреваются в основном в результате демпфирования, что связано с внутренними трениями [2]. В результате несоосности соединяемых валов и колебаний в системе упругий элемент муфты при эксплуатации постоянно подвергается деформации [4]. За счет демпфирующей способ-

ности упругий элемент муфты поглощает механическую энергию колебаний в системе [2, 3]. Внутренние напряжения, вызванные деформациями упругого элемента, преобразуются в тепловую энергию. Нагревание упругого элемента муфты приводит к существенному изменению его жесткости, демпфирующей способности и других физико-механических свойств. В материале с небольшим коэффициентом теплообмена выделяемая теплота может стать причиной выхода из строя упругого элемента. При повышенной температуре окружающей среды контроль температуры в системе становится особенно актуальным.

**Постановка вопроса.** Основными факторами, влияющими на нагрев упругих муфт при эксплуатации, являются: коэффициент теплообмена и форма (площадь поверхности) упругого элемента; демпфирующая способность упругого элемента; характер нагружения; отношения инерционных моментов ведущей и ведомой ветвей привода; температура окружающей среды и т.д. Поэтому определение температуры нагрева упругого элемента муфты является задачей со множеством неизвестных случайных факторов, некоторые из которых взаимосвязаны (рис.1). Эти зависимости многогранны и требуют специальных исследований.



Рис. 1. Структурные зависимости факторов, влияющих на нагрев упругого элемента муфты

Целью данной работы является изучение влияния вышеназванных параметров на нагрев упругого элемента муфты без учета корреляционных зависимостей между ними.

По сравнению с металлическими материалами эластомеры более чувствительны к температурным изменениям [1, 3, 5]. Для большинства упругих элементов муфт из эластомера верхний температурный предел составляет  $70\text{--}80^{\circ}\text{C}$  [5, 6], что обусловлено максимальным демпфированием. Для некоторых упругих муфт допустимая рабочая температура составляет  $55\text{--}65^{\circ}\text{C}$ . Поэтому при температуре окружающей среды выше  $40^{\circ}\text{C}$  допустимый нагрев упругого элемента составляет  $10\text{--}20^{\circ}\text{C}$ . В зависимости от физико-механических свойств эластомеров их демпфирующая способность уменьшается при минусовой температуре. Особенно резко возрастает жесткость эластомера и уменьшается его демпфирующая способность при температурах от  $-25$  до  $-20^{\circ}\text{C}$ , что может привести к резонансным явлениям в приводе.

Таким образом, упругие муфты из эластомера следует применять при положительной температуре окружающей среды. При очень низкой или высокой температуре применение упругих муфт из эластомера нецелесообразно.

С увеличением частоты колебаний нагружающего момента упругий элемент муфты нагревается в результате деформаций. Если поглощаемая энергия за один цикл демпфирования больше энергии, выделяемой в окружающую среду, то температура муфты будет постепенно расти. При этом, как сказано выше, материал упругого элемента имеет температурный предел. Поэтому для исследований важен установившийся режим теплообмена и влияние различных факторов на нагрев эластомера при равных энергиях – поглощаемой муфтой и передаваемой в окружающую среду.

**Математическая модель.** Представим привод машины как двухмассовую колебательную систему с упругой муфтой, демпфирование которой пропорционально скорости вращения (рис.2) [2, 3].

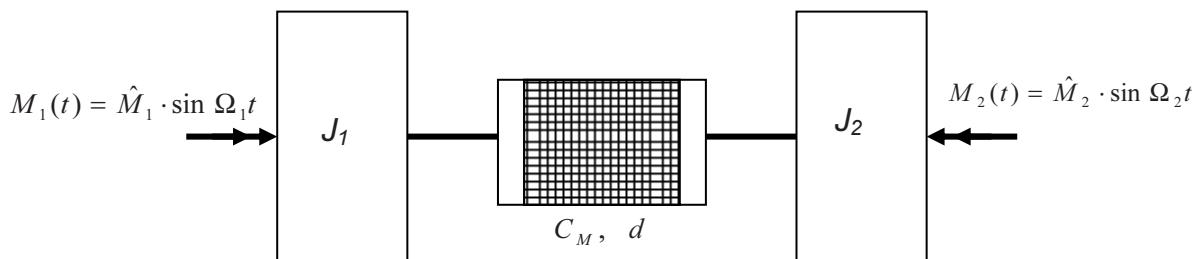


Рис. 2. Двухмассовая колебательная система с упругой муфтой

Согласно [2, 4], движущий момент привода и момент сопротивления рабочего органа машины можно принимать в виде:  $M_1 = \hat{M}_1 \sin \Omega_1 t$  и  $M_2 = \hat{M}_2 \sin \Omega_2 t$  соответственно. Тогда система дифференциальных уравнений движения имеет вид:

$$J_1 \ddot{\phi}_1 = C_M (\phi_1 - \phi_2) + d(\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2) + \hat{M}_1 \sin \Omega_1 t; \quad (1)$$

$$J_2 \ddot{\phi}_2 = -C_M (\phi_1 - \phi_2) - d(\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2) - \hat{M}_2 \sin \Omega_2 t; \quad (2)$$

где  $\phi_1$  и  $\phi_2$  – углы поворота соответственно ведущей и ведомой полумуфты;  $d$  – демпфирование, пропорциональное скорости вращения, Н·м·с/рад;  $\Omega_1$  и  $\Omega_2$  – окружные частоты гармонического движущего момента и момента сопротивления, рад/с;  $C_M$  – динамическая жесткость муфты при кручении, Н·м/рад;  $\hat{M}_1$  и  $\hat{M}_2$  – амплитуды значений моментов вращений в ведущей и ведомой ветвях привода, соответственно;  $J_1$  и  $J_2$  – моменты инерции соответственно ведущей и ведомой ветвей привода, кгм<sup>2</sup>.

Для решения данного уравнения относительно поглощаемой энергии вводится коэффициент относительного демпфирования упругих муфт, который является обобщенным параметром, характеризующим ее крутильную жесткость и демпфирующую способность [3]:

$$\psi = A_D / A_{yn} = \frac{2\pi d \omega_d}{C_M}, \quad (3)$$

где  $A_D$  – энергия, поглощаемая за один цикл демпфирования;  $A_{yn}$  – энергия, затрачиваемая на упругую деформацию эластомера,  $\omega_d$  – резонансная окружная частота колебаний демпфированной системы, рад/с.

Для расчетной схемы (2) энергия, затрачиваемая на упругую деформацию эластомера  $A_D$ , определяется следующим выражением [3]:

$$A_D = \frac{\psi \hat{M}_1^2 J_2}{2(J_1 + J_2) J_1 \omega_0^2 \left[ (1 - \bar{\Omega}^2)^2 + \frac{\psi^2}{4\pi^2} \right]} \quad (4)$$

где  $\omega_0 = \sqrt{\frac{C_M}{J_1} + \frac{C_M}{J_2}}$  – собственная частота колебаний системы, т. е. резонансная без демпфирования,  $\bar{\Omega} = \frac{\Omega_1}{\omega_0}$  – безразмерный коэффициент частоты колебаний системы.

Тогда потери мощности в результате демпфирования

$$P_D = \frac{\psi \hat{M}_1^2 J_2 \frac{\Omega_1}{2\pi}}{2(J_1 + J_2) J_1 \omega_0^2 \left[ (1 - \bar{\Omega}^2)^2 + \frac{\psi^2}{4\pi^2} \right]} \quad (5)$$

При этом, согласно основным уравнениям термодинамики, количество выделяемой источником теплоты

$$Q = \alpha \Delta \theta S t, \quad (6)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплообмена, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\Delta\theta = \theta - \theta_0$  – изменение температуры, К;  $\theta$  – рабочая температура упругого элемента муфты, К;  $\theta_0$  – температура окружающей среды, К;  $S$  – площадь охлаждаемой поверхности упругого элемента;  $t$  – время.

Следовательно, количество теплоты, выделяемое за единицу времени, т.е. мощность тепловыделения, имеет вид:

$$P_T = \frac{Q}{t} = \alpha \Delta \theta S \quad (7)$$

Температура упругого элемента при эксплуатации будет постоянной, если соблюдать условие баланса теплообмена, т. е. должно выполняться условие  $P_D = P_T$ . Тогда из уравнений (5) и (7) получим:

$$\frac{\psi \hat{M}_1^2 J_2 \frac{\Omega_1}{2\pi}}{2(J_1 + J_2) J_1 \omega_0^2 \left[ (1 - \bar{\Omega}^2)^2 + \frac{\psi^2}{4\pi^2} \right]} = \alpha \Delta \theta S \quad (8)$$

Введем обозначение отношения моментов инерции  $\bar{J} = \frac{J_2}{J_1}$  и, решив уравнение (8)

относительно  $\Delta\theta$ , получим:

$$\Delta\theta = \frac{\psi \hat{M}_1^2 J_2 \bar{\Omega}^2}{4\pi\alpha S \Omega_1 J_1 (1 + \bar{J}) \left[ (1 - \bar{\Omega}^2)^2 + \frac{\psi^2}{4\pi^2} \right]} \quad (9)$$

**Численный эксперимент.** Уравнение (9) показывает, что температура упругого элемента муфты при эксплуатации зависит от множества факторов. Для численных исследований значение некоторых факторов считаем постоянными:  $\hat{M}_1 = 270$  Н·м;  $\Omega_1 = 25$  с<sup>-1</sup>;  $J_1 = 5,4$  кгм<sup>2</sup> и  $C_m = 0,033$  Н·м/град. Остальные параметры варьируем в выбранных пределах:

$\psi$  от 0 до 1 (-) с шагом 0,2; от 1 до 5 с шагом 1;

$\bar{\Omega}$  от 0 до 2 (-) с шагом 0,2; от 2 до 10 с шагом 2;

$\bar{J}$  от 0 до 1 (-) с шагом 0,5; от 1 до 2 с шагом 1; от 2 до 10 с шагом 2; от 10 до 20 с шагом 5;

$\alpha$  от 15 до 35 Вт/м<sup>2</sup>·К с шагом 5;

$S$  от 0,02 до 0,1 м<sup>2</sup> с шагом 0,02.

По результатам численных экспериментов построены зависимости изменения температуры упругого элемента муфты при эксплуатации с учетом различных факторов. На рис. 3 представлены зависимости изменения температуры упругого элемента от коэффициента относительного демпфирования при разных значениях параметров: коэффициент теплопроводности (рис.3, а); отношения инерционных моментов ведущей и ведомой ветвей привода (рис.3, б) и площадь поверхности упругого элемента (рис.3, в).

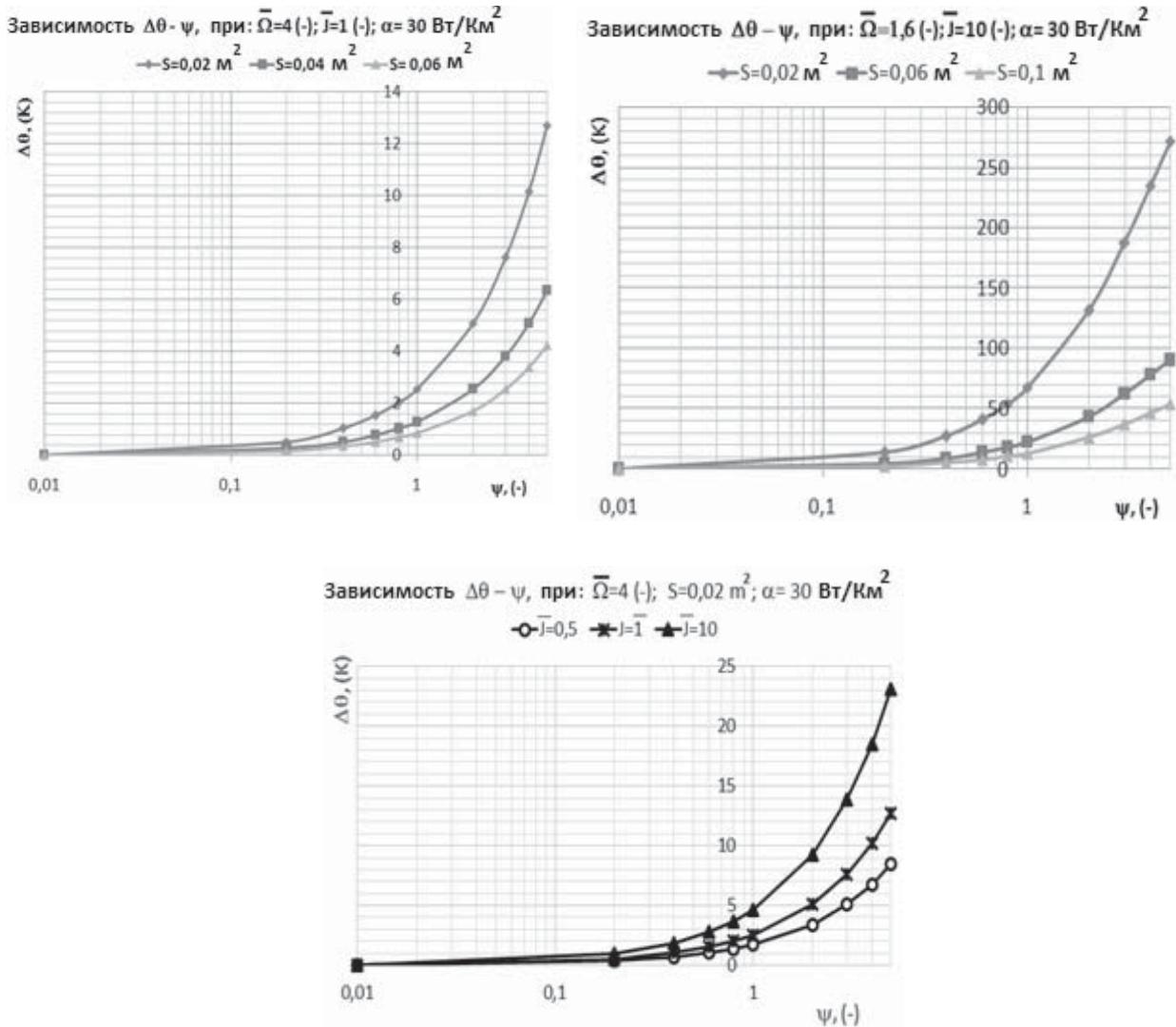


Рис. 3. Зависимости изменения температуры упругого элемента от коэффициента относительного демпфирования при различных значениях влияющих параметров:

а –  $S$  при  $\bar{J} = 1$ ,  $\bar{\Omega} = 4$ ,  $\alpha = 30$  Вт/(К·м<sup>2</sup>);

б –  $S$  при  $\bar{J} = 10$ ,  $\bar{\Omega} = 1,6$   $\alpha = 30$  Вт/(К·м<sup>2</sup>);

в –  $\bar{J}$  при  $\bar{\Omega} = 4$ ,  $S = 0,02$  м<sup>2</sup>,

Установлено, что с увеличением демпфирующей способности муфты температура эластомера увеличивается. Увеличение безразмерного коэффициента частоты колебаний системы  $\bar{\Omega}$  и размеров поверхности охлаждения эластомера при постоянной демпфирующей способности муфты приводит к снижению изменений температуры.

Согласно рис.4 повышение коэффициента теплообмена, при прочих равных условиях, приводит к уменьшению нагрева, что указывает на достоверность принятой расчетной модели.

Численным экспериментом также установлено, что с увеличением отношения  $\bar{J}$  моментов инерций в ведущей и ведомой ветвях привода нагрев упругого элемента муф-

ты увеличивается (рис. 5), при этом зависимость нелинейная. В начальной стадии увеличения отношения  $\bar{J}$  наблюдается существенное повышение температуры, а при дальнейшем увеличении этого отношения изменение температуры незначительно. Эта закономерность особенно резко выражается при повышенной демпфирующей способности муфты.

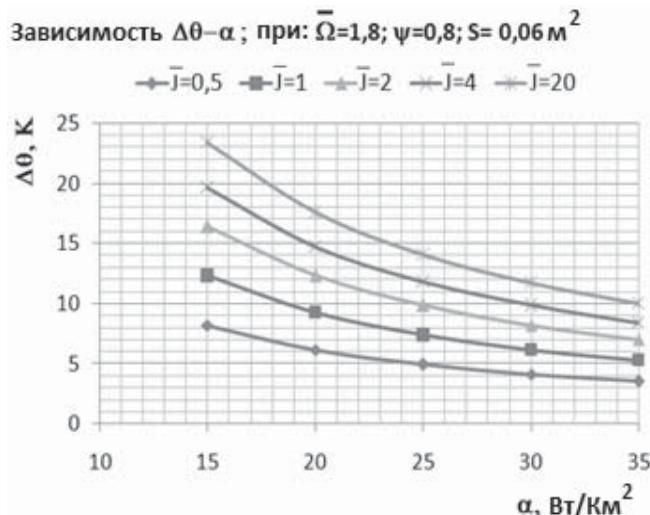


Рис. 4. Зависимость нагрева упругого элемента муфты от коэффициента теплообмена при различных значениях отношения моментов инерций в ведущей и ведомой ветвях привода.

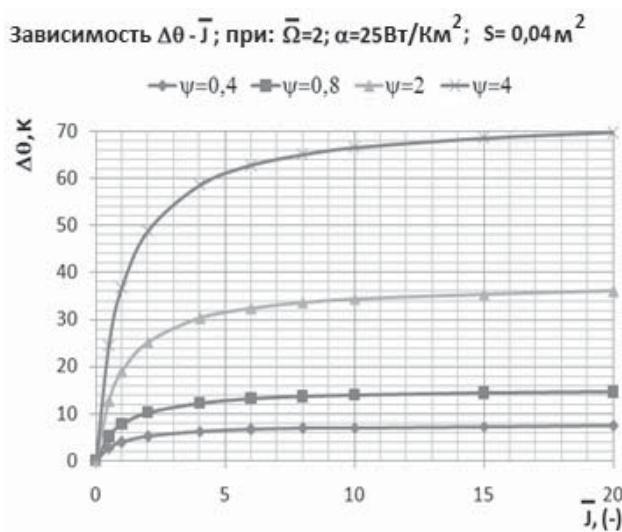


Рис. 5. Зависимость нагрева упругого элемента муфты от отношения моментов инерций в ведущей и ведомой ветвях привода при различных значениях коэффициента относительного демпфирования.

Увеличение площади охлаждаемой поверхности упругого элемента муфты приводит к уменьшению нагрева (рис. 6). Эта характеристика наиболее ярко выражается при низких значениях коэффициента теплообмена.

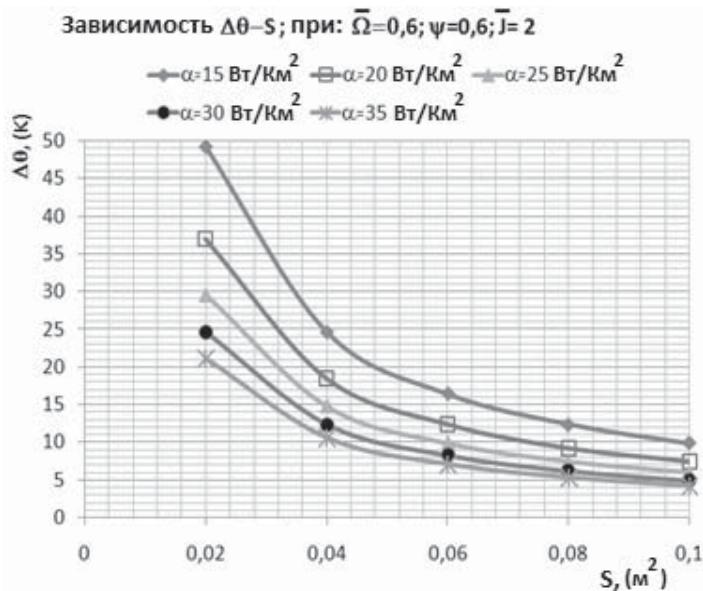


Рис. 6. Зависимость нагрева упругого элемента муфты от ее площади охлаждения при различных значениях коэффициента теплообмена.

Значительное повышение температуры до 50°C и выше (рис.3б, 5 и 6) соответствуют условиям работы муфты, когда частоты колебаний нагружающего момента и собственные частоты системы близки по значению. Теоретически это может возникнуть при установившемся режиме работы муфты на частотах, близких к резонансным. Однако, как правило, машины работают при частотах момента нагружения, далеких от собственных частот приводной системы, а резонансный диапазон преодолевается во время пуска и торможения почти мгновенно. Поэтому на практике такие высокие температуры не наблюдаются. Но при высокой демпфирующей способности муфты (рис.3 и 5) повышенные температуры имеют место в более широком диапазоне влияющих параметров. Поэтому тепловой расчет упругих муфт следует выполнять при повышенной демпфирующей способности упругого элемента.

**Заключение.** Разработана математическая модель температурных изменений упругого элемента соединительной муфты привода машины. Выполнен численный эксперимент по определению изменения температуры упругого элемента с учетом его демпфирующей способности, физико-механических характеристик и размеров, а также динамических свойств привода машины. Определены допустимые диапазоны влияющих факторов для заданных условий работы.

## REFERENCES

1. Rjahovskij O.A., Ivanov S.S. Spravochnik pomuftam. Leningrad: Politehnika. 1991. 384 p. (in Russia)
2. Khalilov I.A. Temperature Variation of Elastic Elements in Clutches on Damping. ISSN 1068\_798X, Russian Engineering Research. 2012. Vol. 32. No. 4. Pp. 322-325. ©Allerton Press, Inc., 2012. Original Russian Text © I.A. Khalilov. 2012. Published in Vestnik Mashinostroeniya. 2012. No. 4.
3. Peeken H., Troeder C. Elastische Kupplungen: Ausführung, Eigenschaften, Berechnungen. 1986. Springer-Verlag. 211 p.
4. Halilov I.A. Issledovanie vlijanijazazora v muftahnadimicheskiesvojstvaprovodovmashin // Vestnik mashinostroenija. 2010. No. 3. Pp. 10-13. (in Russia)
5. Eyerer P. Elastomere // Eigenschaften von Kunststoffen in Bauteilen. 2007. Pp. 177-209.
6. www.ktr.com: POLY-NORM – kurzbauendedrehelelastische Kupplungen. 2009. Pp. 47-55.

## BİRLƏŞDİRİCİ MUFTALARIN ELASTİKİ ELEMENTİNİN QİZMASINA TƏSİR EDƏN AMİLLƏR

I.Ə. XƏLİLOV

Məqalədə birləşdirici muftanın elastiki elementinin qızmasına aşağıdakı amillərin təsiri tədqiq edilmişdir: muftanın demperləmə qabiliyyəti, intiqalın aparan və aparılan qollarındaki ətalət momentləri nisbəti, muftanın elastiki elementinin istilik mübadiləsi əmsalı və soyutma səthinin sahəsi, eləcə də maşının intiqal sisteminin çevrəvi rəqsi tezliyi.

*Açar sözlər:* mufta, elastiki element, demperləmə, qızma, elastomer, ətalət momenti, rəqsi tezliy.

## FACTORS EFFECTING ON HEATING OF ELASTIC ELEMENT OF CONNECTING COUPLINGS

I.A. KHALILOV

The article investigates the heating of elastic element in the connecting coupling, depending on factors such as the damping capacity of the coupling, the ratio of the moments of inertia in drive and driven branches of actuator, the heat exchange coefficient and the cooling area of the elastic element of coupling, as well as the circumferential oscillation frequency of the machine driving system.

*Key words:* coupling, elastic element, damping, heating, elastomer, moment of inertia, oscillation frequency.

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРАЦИИ НЕФТИ В ПЛАСТЕ-КОЛЛЕКТОРЕ С УЧЕТОМ СКИН-ФАКТОРА

А.Г. РЗАЕВ, С.Р. РАСУЛОВ, И.А. АБАСОВА, С.Н. РАГИМОВА

В статье предложена модификация формулы Дюпюи, описывающей процесс фильтрации с учетом скин-фактора загрязненной прискважинной зоны. Показана корректность решения задачи.

**Ключевые слова:** *процесс однофазной фильтрации, скин-фактор, пластовые условия, загрязненная зона, пласт-коллектор.*

Как известно, для математического описания процесса однофазной фильтрации (нефти) в районе скважин широко используют формулы Дарси, Дюпюи и их модифицированные формы, учитывающие дополнительное (фильтрационное) сопротивление, возникающее вследствие несовершенства скважин по характеру и степени вскрытия [1-9]. Однако в указанных работах, кроме работы [4], в математических формулах не учтено влияние скин-фактора, характеризующего дополнительные потери давления, сосредоточенные в очень тонкой скин-зоне пласта. Тонкая скин-зона пласта, которая находится на поверхности фильтрации, стенке скважины в призабойной зоне пласта, как отмечено в работе [10], служит мерой связи скважины с пластом. А в работе [4] приведенная формула

$$q = \frac{kh\Delta P_s}{18,66B\mu \cdot S} = \frac{kh\Delta P_s}{18,66B\mu \left(\frac{k}{k_s} - 1\right) \ln\left(\frac{r_s}{r_c}\right)} \quad (1)$$

является неполной, так как не учитывается основной фактор закона Дюпюи – логарифмическое отношение радиусов контура питания и скважин. В формуле (1) были приняты следующие обозначения:  $q$  – дебит жидкости в пластовых условиях;  $k$  – усредненная фазовая проницаемость нефти,  $\Delta P_s$  – депрессия пласта; усредненная фазовая проницаемость пласта для данной жидкости (нефти);  $h$  – эффективная (работающая) толщина пласта;  $\mu$  – динамическая вязкость жидкости в пластовых условиях;  $B$  – коэффициент объемного расширения;  $S$  – скин-фактор,  $r_s$ ,  $r_c$  – соответственно радиусы загрязненной (скин) зоны и скважин;  $k_s$  – проницаемость скин-зоны. При этом, как отмечено в работе

[4], значение скин-фактора с ухудшенной проницаемостью призабойной зоны является положительным ( $S>0$ ), а для улучшенной проницаемости (трещиноватой) зоны является отрицательным ( $S<0$ ).

Учитывая важность скин-фактора при гидродинамических исследованиях скважин методом восстановления-давления, ниже приводится вывод формулы, адекватно учитывающей основные факторы, в том числе скин-фактор, влияющий на процесс фильтрации нефти.

Согласно закону Дарси

$$q = \frac{k}{\mu} 2\pi h r \frac{dp}{dr} \quad (2)$$

Данную формулу можно записать в следующем виде

$$\frac{dr}{r} = \left[ \frac{k}{\mu} 2\pi h / q \right] dp \quad (3)$$

Интегрируя левую часть дифференциального уравнения (3) от радиуса скважин ( $r_c$ ) до конца загрязненной зоны ( $r_s$ ), а правую часть от забойного давления ( $P_c$ ) до давления конца загрязненной (скин) зоны ( $P_s$ ) и от  $P_s$  до давления контура пласта ( $P_k$ ), получим

$$\frac{1}{k_s} \ln \frac{r_s}{r_c} + \frac{1}{k} \ln \left( \frac{r_k}{r_s} \right) = \frac{2\pi h}{\mu q} \cdot \left[ \int_{P_c}^{P_s} dp + \int_{P_s}^{P_k} dp \right] = \frac{2\pi h}{\mu q} (P_k - P_c) \quad (4)$$

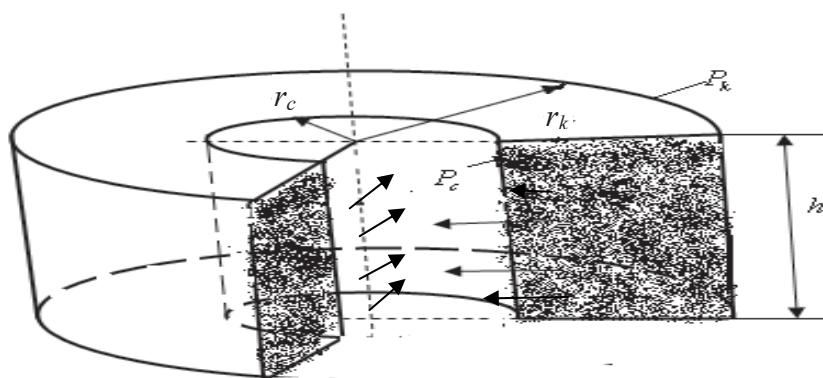
С учетом условий  $r_c = ar_c$  ( $a$  – безразмерный коэффициент), т.к.  $a>1$ , то можно записать:

$$\begin{aligned} \frac{1}{k_s} \ln \frac{ar_c}{r_c} + \frac{1}{k} \ln \frac{r_k}{ar_c} &= \frac{1}{k_s} \ln a + \frac{1}{k} \ln \frac{r_k}{r_c} - \frac{1}{k} \ln a = \frac{1}{k} \left[ \left( \frac{k}{k_s} - 1 \right) \ln a + \ln \frac{r_k}{r_c} \right] = \\ &= \frac{1}{k} \left[ \left( \frac{k}{k_s} - 1 \right) \ln \frac{r_s}{r_c} + \ln \frac{r_k}{r_c} \right] = \frac{2\pi h}{\mu q} (P_k - P_c) \end{aligned} \quad (5)$$

следовательно

$$q = \frac{k 2\pi h (P_k - P_c)}{\mu \left[ \left( \frac{k}{k_s} - 1 \right) \ln \frac{r_s}{r_c} + \ln \frac{r_k}{r_c} \right]} = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{2\pi h (P_k - P_c)}{S + \ln \frac{r_k}{r_c}} \quad (6)$$

Геометрическая интерпретация показателей формулы (4) представлена на рисунке.



**Рис. Принципиальная схема нефтяного пласта:**  
 $r_c$ ,  $r_k$  - радиусы скважины и контура пласта соответственно,  
 $P_c$ ,  $P_k$  - давление в забое скважины и на контуре пласта.

Корректность полученной математической модели подтверждается тем, что при отсутствии загрязненной прискважинной (скин) зоны, когда проницаемость удаленной зоны ( $k$ ) равна проницаемости призабойной зоны ( $k_s$ ), она превращается в знаменитую формулу Дюпюи, так как при этом  $S = 0$ . А формула (1), приведенная (без вывода) в работе [4], при данном условии превращается в формулу Дарси и не учитывает влияния контура питания ( $R_k$ ) на процесс фильтрации.

Как видно из формулы (4), возможны три случая: 1)  $S = 0$ , означающий, что пласт-коллектор по проницаемости является однородным, т.е.  $k_s=k$ ; 2)  $S>0$ , означающий, что прискважинная зона загрязнена (в связи с неуспешным закачиванием скважин и образованием слоя коры бурового раствора в капиллярах пористой среды) и  $k_s< k$ . При этом, в связи с дополнительным падением давления в загрязненной зоне дебит скважины ( $q$ ) существенно уменьшается, причем теоретически  $S$  может принимать значения  $+\infty$ , а  $q=0$ ; 3)  $S<0$ , означающий, что в прискважинной зоне образовалась трещина, в результате естественной очистки призабойной зоны от закупоривающих твердых частиц механическими (гидроразлив пласта) и химическими (солянокислотная обработка) способами. При этом  $k_s>k$  и  $S$  может принимать значения до  $-5$ , а дебит скважины может увеличиться в несколько раз.

**Заключение.** В результате комплексного подхода проанализировано современное состояние проблемы фильтрации однофазной жидкости (нефти) в пласте-коллекторе и выведена новая формула, учитывающая скин-фактор и являющаяся модифицированной формулой Дюпюи. Полученная математическая модель может быть успешно использована при анализе кривых восстановления давлений и определений основных параметров фильтрации системы пласт-скважины.

## REFERENCES

1. **Buzinov S.N., Umrihin I.D.** Gidrodinamicheskie metody issledovanija skvazhin i plastov. Moscow: Nedra. 1976. 248 p. (in Russia)
2. Spravochnoe rukovodstvo po proektirovaniyu razrabotki i jekspluatacii neftjanyh mestorozhdenij. Dobycha nefti. Pod obshh. red. Gimamudinova / R.S. Andriasov, I.T. Mishenko et all. Moscow: Nedra. 1983. 455 p. (in Russia)
3. **Shahverdiev A.H.** Sistemnaja optimizacija processa razrabotki neftjanyh mestorozhdenij. Moscow: Nedra-biznescentr. 2004. 452 p. (in Russia)
4. **Jerlager R.** Gidrodinamicheskie metody issledovanija skvazhin. Moscow-Izhevsk: Institut kompjuternyh issledovanij. 2006. 512 p. (in Russia)
5. **Krasnov V.A.** Sposob modelirovaniya vertikal'noj skvazhiny so sverhnizkim skin-faktorom v gidrodinamicheskoy modeli plasta // Neftjanoe hozjajstvo. 2007. 01. Pp. 48-50 (in Russia)
6. **Gurbanov R.S., Ahmedov Z.M., Nasibov N.B.** Novyj metod issledovanija skvazhin pri neustanovivshihja rezhimah // Nefepromyslovoe delo. 2012. No. 5. Pp. 31-33 (in Russia)
7. **Jelmert T.A.** Vysokaja skorost' potoka vo fraktal'nom plaste // Neftegazovye tehnologii. 2012. No. 3. Pp. 13-22 (in Russia)
8. **Lysenko V.D.** Problemy proektirovaniya razrabotki // Nefepromyslovoe delo. 2012. No. 5. Pp. 5-9 (in Russia)
9. **Zinov'ev A.M., Ol'hovskaja V.A., Maksimkina N.** Proektirovanie sistem razrabotki mestorozhdenij vysokovjazkoj nefti s ispol'zovaniem modeli nen'jutonovskogo techenija i rezul'tatov issledovanija skvazhin na potok // Nefepromyslovoe delo. 2013. No. 1. Pp. 5-14 (in Russia)
10. **Agzamov A.A., Normurodov A.** Otsenki velichiny pokazatelja skin-faktora na neftjanyh i neftegazovyh ob'ektaх zapadnogo Uzbekistana. Nefepromyslovoe delo. 2012. No. 3. Pp. 22-27 (in Russia)

## SKİN-FAKTORU NƏZƏRƏ ALMAQLA PLAST-KOLLEKTORDA NEFTİN FİLTРАSİYA PROSESİNİN RİYAZİ MODELİNİN İŞLƏNMƏSİ

A.H. RZAYEV, S.R. RƏSULOV, İ.Ə. ABASOVA, S.N. RƏHİMOVA

Skin-faktoru nəzərə almaqla quyu ağızı çirkənmiş zonada baş verən filtrasiya prosesini xarakterizə edən Düpi düsturunun modifikasiyası təklif olunmuşdur. Qeyd edilən məsələ həllinin korrektliliyi göstərilmişdir.

*Açar sözlər: birfazlı filtrasiya prosesi, skin-faktor, lay şəraiti, çirkənmiş zona, plast-kollektor.*

## MATHEMATICAL MODEL DEVELOPMENT FOR OIL FILTRATION PROCESS IN RESERVOIR WITH SKIN-FACTOR EFFECT

A.G. RZAYEV, S.R. RASULOV, I.A. ABASOVA, S.N. RAGIMOVA

The paper proposes a modification of the Dupuis formula that describes the filtering process with the skin-factor effect at the contaminated oil-well zone. The correctness of solution is shown.

*Key words:* single-phase filtration process, skin-factor, layer conditions, polluted area, reservoir.

## **SİYƏZƏN MONOKLİNAL NEFT YATAQLARININ GEOLOJİ-FİZİKİ VƏ İSTİSMAR ŞƏRAİTİNİN UNİKALLIĞI**

F.T. MÜRVƏTOV, A.Q. KƏRİMOVA

Siyəzən monoklinal neft yataqları mürəkkəb, anomal, unikal geoloji – geofiziki xüsusiyyətlərə malik yataqlardandır. Bu yataqda tətbiq olunan tamamlanma texnologiyası (hazır uzun süzgəclər) onun işlənmə vəziyyətinə ciddi mənfi təsir göstərməklə, geoloji, hasilat, ekoloji və s. risklər yaratmışdır. Yatağın istismar şəraiti müxtəlif aspektlərdən təhlil edilmiş və səmərəliliyin artırılması məqsədi ilə bir çox quyularda hazır uzun süzgəclərin tətbiqindən imtina etməklə, intervallı süzgəclərdən istifadə tövsiyyə olunmuşdur.

**Açar sözlər:** *uzun süzgəclər, qum tixaci, sulaşma, intervallı süzgəclər.*

Siyəzən monoklinal neft yataqları (SMNY) Respublikamızın unikal, spesifik cəhətləri ilə fərqlənən anomal geoloji-fiziki xüsusiyyətlərə malik yataqlardandır. Bu yataqların (Çandahar-Zarat, Siyəzən-Nardaran, Saadan, Əmirxanlı və Zağlı-Zeyvə) kəsilişində olan laylar, özünə məxsus mürəkkəb litofasiya və tektonik elementləri və s. ilə digər neft, qaz rayonlarından kəskin sürətdə fərqlənir.

Monoklinalın uzunluğu 55 km, eni 0,4-1,0 km olmaqla və layların ( $75\text{-}85^0$ ), bucaq altında bəzən də şaquli və çevrilmiş halda yatması, kəsilişdəki məhsuldar təbəqələrin qalınlığının millimetrlə ölçülməsi, qədim çöküntülərin (Təbaşirin) nisbətən az yaşılı çöküntüləri örtməsi və onların təmas xətlərində yer səthində neft çıxıntılarının mövcudluğu nadir geoloji bir şərait yaratmışdır ki, bu da neftli obyektlərin işlənmə prosesinə ciddi təsir göstərir.

Böyük stratigrafik diapazonda rayonun geoloji quruluşunu Yura, Üst-Təbaşirdən Pliosenə qədər çöküntü kompleksi təşkil edir. Əsas işlənmə obyekti olan Maykop, Koun, Sumqayıt, Üst-Təbaşir və qismən Çokrak horizontları monoklinalda geniş yayılmışdır. Kəsiliş nazik dənəli qumlardan, qumdaşlarından, gillərdən, alevrolitlərdən, konqlomeratlardan, çatlı mergellərdən, Üst-Təbaşir isə başlıca olaraq əhəng daşlarından təşkil olunmuşdur.

Kollektorlar əsasən məsaməlidir və kəsilişin üst hissəsində isə müəyyən qədər çatlı xarakterdədir. Qronometrik tərkibləri xeyli miqdarda pelit fraksiyalı alevrolitlərdən təşkil olunmuşdur. Məsaməliyi orta hesabla 17,7%, keçiriciliyi  $41,2 \times 10^{-3}$   $\text{mkm}^2$ , karbonatlıq-83% təşkil edir. Sahələr üzrə ilk lay təzyiqləri hidrostatik təzyiqə nisbətən 0,7-1,0 mPa (5-9%) artıq olmuş, cari təzyiq isə ilkin təzyiqdən 2-3 dəfə azalmışdır.

Siyəzən monoklinalı şəraitində laylar kompleks şəkildə ümumi süzgəclə istismar edildiyindən, quyulara maye axını nəinki neftli laylardan, həmçinin aralıq sulu laylardan və çox hallarda yuxarıda yatan basqı təzyiqi olan laylardan daxil olur. Bu səbəbdən Çandahar-Zarat və Siyəzən-Nardaran sahələrində lay təzyiqlərinin müəyyən qədər artması müşahidə olunur.

ABŞ, Kanada, Meksika, Yaxın Şərqi, Qərbi Avropa, Cənub-Şərqi Asiya, Afrika və eləcə də, Respublikamızın digər neft yataqlarından (bu yataqlarda laylar kompleksi uzun süzgəclərlə birgə deyil, ayrı-ayrı istismar olunur) [3] fərqli olaraq, SMNY-nin işlənilməsinin özünəməxsus xüsusiyətlərindən biri onun neftli sahələrində istismar edilən hasiledici quyuların süzgəclərinin çox uzun intervallarda olmasıdır. Adətən, burada quyulara qazmanın sonunda neftli layları əhatə edən hazır uzun süzgəclər buraxılır. Sonralar lazımlı gəldikcə bu süzgəclər perforasiya yolu ilə genişləndirilir. Ona görə də istismar prosesində hər bir quyu üçün daha uzun süzgəclər yaradılır ki, bu da 200-1500 m intervalı daxilində dəyişir.

Əlbətdə, SMNY-da laylar kompleksinin birlikdə işlənməsi səmərəli deyildir, çünki bu halda neftli layları birlikdə, digər halda isə quyuların yerləşməsindən və obyektlərin qazma dərinliyindən asılı olaraq 1-2 obyektin layları uzun bir süzgəclə istismar edilir. Deməli bütün süzgəc boyu quyu gövdəsinə axın (neft, su, həll olmuş qaz) müxtəlif səciyyəli olur. Belə ki, kəsilişdə süzgəcin aşağı hissəsindəki (əgər quyu Maykop çöküntülərinin neftli laylarının bu hissəsini açıbsa) maye axını ilə süzgəcin orta və yuxarı hissələrindəki axınların (Sumqayıt və Üst-Təbaşir çöküntülərinin laylarından) xüsusiyətləri müxtəlifdir. Maykop yaşılı layların keçiriciliyi və məhsuldarlıq əmsali Koun və Sumqayıt layları ilə müqayisədə nisbətən azdır. Üst-Təbaşir çöküntülərinin laylarında göstəricilər bir qədər artıqdır. Layların təzyiqləri də müxtəlifdir. Buna görə də laylardan bütün süzgəc zonasına müxtəlif çöküntülərdən (lay neftinin özlülüğünün bir-birinə yaxın olmasına baxmayaraq) gələn maye axını qeyri-müntəzəmdir. Bu da quyuların ümumi hasilatına və çıxarılan məhsulun sulaşma dərəcəsinə öz mənfi təsirini göstərir. Güman etmək olar ki, belə uzun süzgəclərin aşağı hissələri bəzi hallarda bəlkə də heç işləmir [2].

Düpi düsturuna görə quyu hasilatı

$$Q = \frac{2\pi kh(P_l - P_{qd})}{\mu \ln \frac{R_k}{r_q}} \quad (1)$$

kimi hesablanır.

Burada:  $Q$  - quyunun hasilatı,  $\text{sm}^3/\text{san}$  ilə;  $k$  - layın keçiriciliyi, darsi ilə;  $h$  - layın qalınlığı,  $\text{sm}$  ilə;  $P_l$  - lay təzyiqli, atm ilə;  $P_{qd}$  - quyudibi təzyiq, atm ilə;  $R_k$  - quyunun təsir radiusu;  $r_q$  - quyunun radiusu, metr və ya  $\text{sm}$  ilə. Düsturdan aydın olur ki, quyu süzgəcinin uzunluğunun artması ilə hasilati artmalıdır. Lakin, bu bir məhsuldar geoloji obyekti istismarı şəraitində mümkün kündür. SMNY-da bir neçə müxtəlif geoloji fiziki, hidrodinamik xüsusiyətlərə malik obyekti eyni vaxtda uzun süzgəclərin tətbiqi ilə istismarı şəraitində isə quyuların istismar göstəriciləri pisləşir, neft hasilatları qeyri-təbii olaraq azalır və minimuma enir. Demək olar ki, yuxarıda qeyd olunanlarla əlaqədar olaraq bir neçə geoloji obyekti məhsuldarlıq xarakteristikasının nəzərə alınmaması ilə aparılan birgə işlənilmə prosesində başlangıç neft hasilatlarının yüksək olması təmin olunursa da, sonrakı mərhələlərdə ciddi hasilat, texnoloji və ekoloji risklərlə müşayiət olunmuşdur. Təhlil göstərir ki, qeyd olunan şəraitdə neft hasiledici quyularda mənimsəmə dövründən başlayaraq sulaşma və yüksək hündürlüklü qum tıxaclarının yaranması baş verir [4,5].

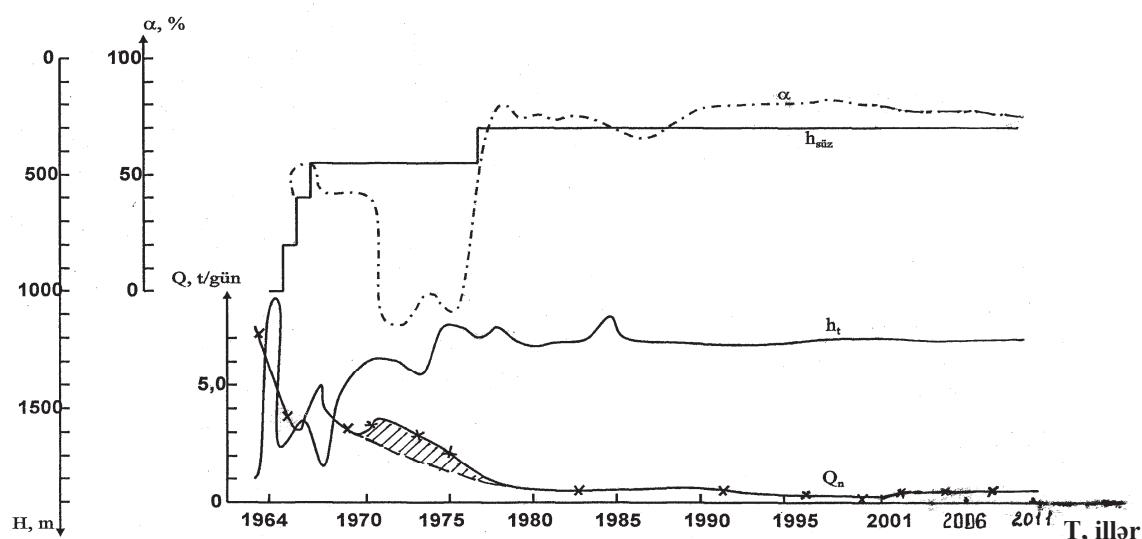
SMNY-da hasiledici quyuların istismarı dövründə quyudibi zonasına təsiretmə tədbirlərinin aparılmasının yuxarıda qeyd olunan amillərdən (sulaşma, qum tıxaci) asılı olaraq

öyrənilməsi göstərir ki, quyudibi zonasına təsiretmə tədbirlərinin tətbiq edilməsi quyunun neft hasilatının artmasını təmin etmir. Nəticə-də yalnız ekoloji problemlər yaranır [6]. Məsələyə SMNY-da istismarda olan 842 sayılı quyunun timsalında baxaq: Quyu 14.04.64-cü il tarixində istismara verilmişdir. İstismar obyekti Koun və Alt Maykop çöküntülərindən ibarətdir. İstismar kəməri (127 mm) 1892 m endirilmişdir. Sementin qalxma hündürlüyü 1002-256 m intervalında, süzgəcin ilk intervalı 1002-1892 m (süzgəcin uzunluğu 890 m). Quyu üçün bəzi istismar göstəricilərinin dinamikası şəkildə verilmişdir.

Dinamikadan da göründüyü kimi, 1964-70-ci illəri əhatə edən dövrdə neft hasilatı azalmış, su faizi isə sabit qalmışdır. Ölçülmüş quyudibi isə azalaraq 1300 m olmuşdur. Aparılmış əlavə süzgəcin açılması (ƏSA) tədbirləri nəticəsində (850-436 m intervalında) su hasilatı 850-630 m intervalında artmışdır. Bu dövrdə aparılmış layların hidravlik yarılmaması (LHY) və turşu ilə işlənmə (Tİ) əməliyyatları səmərəli olmuşdur. 1971-1975-ci illəri əhatə edən dövrdə su faizi azalmış, neft hasilatı isə artmışdır. Ölçülmüş quyudibi dərinlik 1100 m-ə qədər azalmışdır.

1976-ci ildən sonrakı dövrdə su faizi çoxalmış (90%), neft isə azalmışdır. Bu dövrdə 13.10.1976-cı il tarixində aparılmış LHY əməliyyatından sonra yarıcı mayenin udulma intervalını öyrənmək üçün süzgəc boyu temperaturun dəyişməsi ölçülmüş və qurulmuş termoqrammadan 550-540 m., 700-720 m., müəyyən edilmişdir. Əməliyyat səmərəsiz olmuşdur. Əməliyyatın ölçülmüş və 550-540m, 700-720m, 800-820m və 1000-1050m intervallarında mayenin udulduğ səmərəsizliyinin səbəbi yarıılma əməliyyatının sulu laylarda 1100 m yuxarıda getməsi ilə izah olunur. Neftli obyekt bağlıdır. Qrafikdən göründüyü kimi ölçülmüş quyudibinin 1800 m qədər azalması neft hasilatını azaldır, bu da 1800 m aşağıda nefli obyektin olduğunu təsdiq edir.

Ölçülmüş quyudibinin 1300 m qədər azalması ilə su faizi azalır. Bu da 1800-1500m intervalında su laylarının mövcudluğunu təsdiq edir, nəhayət yuxarı hissədə ƏSA suyun artması ilə nəticələnir.



Şəkil. 842 sayılı quyu üçün istismar göstəricilərinin dinamikası:  $H$  - quyudibi dərinlik;  $Q_n$  - neft hasilatı;  $h_{tx}$  - tixacın hündürlüyü;  $h_{suz}$  - süzgəcin uzunluğu;  $\alpha$  - su, faizlə

Sonra quyudibinin 1100 m qədər azalması neft hasilatını kəskin azaldır. 1300-1100 intervalında neftli obyekt işləməməsidir. Quyuda aparılan quyudibi zonasının işlənilməsi tədbirlərinin səmərəsi 1976-cı ilə kimi olmuş və sonrakı dövrdə isə səmərə alınmamışdır. Bunu da 1976-cı ilə kimi neftli obyektlərin açıq olması və 1976-cı ildən sonrakı dövrdə isə ƏSA ilə əlaqədar su faizinin kəskin artması, süzgəcindən nefli hissəsinin qum tıxacı ilə bağlanması ilə izah etmək olar.

SMNY-da hasiledici quyularda layların təbii izolyasiyasının pozulması, intramiqrasiya və emimiqrasiya nəticəsində müxtəlif rejimli və təzyiqli layların əlaqələnməsi, müxtəlif xarakterli və genetik tipli suların qarışması, təmas nəticəsində aqresivlik xassələrinin xeyli artması, layların kənar çirkəndiricilərlə, o cümlədən korroziya əmələ gələn bakteriyalarla, karbonatlarla, radioaktiv maddələrlə çirkələnməsi yatağın normal işlənilməsinə ciddi manelər yaradır.

SMNY-da “Gil-gil-çay” suvurma sahəsindən görülmüş lay suyunun kimyəvi analizinin nəticələri cədvəl 1-də (OBT-oksigenə bioloji təlabət, OKT- oksigenə kimyəvi tələbat, SAM-səthi aktiv maddələr), müxtəlif dərinliklərdə lay sularında təyin olunmuş radioaktiv elementlərin miqdarı isə cədvəl 2-də verilmişdir.

*Cədvəl 1*

Suyun tərkibindəki ionların adı	Buraxıla bilən hədd, mq/l	Faktiki, mq/l	Faktiki, mq·ekv/l	Faktiki, %-ekv
OBT	3,0	318,0	-	-
OKT	4,0-6,0	690,0	-	-
SAM	0,1	0,32	-	-
Neft məhsulları	0,05	0,42	-	-
Asılı maddələr	-	420,0	-	-
Minerallığı	1000,0	23131	-	-
$\text{HCO}_3^-$	30,0	1952,0	32,0	8,47
$\text{SO}_4^{2-}$	500,0	1710,0	35,63	9,43
$\text{Cl}^-$	350,0	11005	310,0	82,09
$\text{Ca}^{2+}$	180,0	300,0	15,0	3,97
$\text{Mq}^{2+}$	40,0	192,0	16,0	4,24
$\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$	170,0	7972,38	346,63	91,79
$\text{NO}_2^-$	0,08	0,36	-	-
$\text{NO}_3^-$	45,0	9,8	-	-
$\text{NH}_4^+$	0,5	4,6	-	-
$\text{Fe}^{+3}$	0,5	0,520	-	-
$\text{Cu}^{+2}$	0,001	0,090	-	-
$\text{Al}^{+3}$	0,5	0,120	-	-
$\text{Zn}^{+2}$	0,01	0,086	-	-

Qeyd: suyun codluğu üçün buraxıla bilən hədd 7,0 mq·ekv/l olduğu halda faktiki 31 mq·ekv/l olmuşdur.

*Cədvəl 2*

Radioaktiv elementlər, $10^7$	Miqdari, $q/l \cdot 10^{-7}$
U	4,0 - 8,0
Ra	1,75 - 7,0
Rn	5,13 - 7,1
Th	1,7 - 4,1

Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, layların işlənməsində uzun süzgəclərin gələcəkdə tətbiq edilməsi məqsədyönlü hesab edilə bilməz.

Təhlil göstərir ki, SMNY-da hasilat quyularında hazır uzun süzgəclərin tətbiqi yuxarıda qeyd olunan mənfi tendensiyalarla yanaşı, neft hasilatına da əhəmiyyətli dərəcədə mənfi təsir göstərir. Siyəzən - Nardaran neftli-qazlı sahəsində istismarın əvvəlində illər üzrə neft hasiledici quyulardan çıxarılan cəmi neftin süzgəcin 1 m uzunluğuna düşən miqdarına görə dəyişməsi cədvəl 3-də verilmişdir.

*Cədvəl 3*

Hasiledici quyuların istismarının başlangıç illeri									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
İllər üzrə hasil edilmiş cəmi neftin süzgəcin 1 m uzunluğuna düşən miqdarı, ton/metr									
Süzgəcin uzunluğu 200 m-ə qədər olan quyular									
3,7	3,5	3,4	3,4	3,7	2,6	3,7	3,4	1,4	1,7
Süzgəcin uzunluğu 200 m-dən 500 m-ə qədər olan quyular									
1,0	0,8	1,7	0,9	0,9	0,9	0,3	0,5	0,4	0,4
Süzgəcin uzunluğu 500 m-dən yuxarı olan quyular									
0,6	0,5	0,8	0,7	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3

Cədvəldən göründüyü kimi sahədə quyulardan başlangıç illər üzrə hasil olunmuş cəmi neftin süzgəcin 1m uzunluğuna düşən miqdarı süzgəcin uzunluğu artıqca azalır.

Qeyd edək ki, SMNY-nın digər sahələrində də bu istiqamətdə aparılmış təhlillər əsasən analoji nəticələr vermişdir.

Aparılan təhlillər göstərir ki, gələcəkdə yeni hasiledici quyularda uzun süzgəclərin əvəzinə intervallı süzgəclərdən istifadə edilməsi daha əlverişlidir. Belə ki, ilk növbədə bütün qazılacaq quyular ehtimal olunan su-neft hündudunu nəzərə alaraq, Alt Maykop layları müəyyən dərinliyə qədər qazılmalıdır. Sonra quyu istismara verilərkən ilk istismar dövrü üçün optimal uzunluqda (100-250 m çox olmayaraq) yalnız Maykop layları üçün (layların açılma dərinliyindən asılı olaraq) süzgəc yaradılmalıdır. Maykop laylarının istismarı başa çatdıqdan sonra Sumqayıt və Koun laylarının işlənməsini təmin etmək üçün yeni süzgəc açılmalıdır və nəhayət quyuların istismarının sonunda Üst-Təbaşir çöküntülərinin layları ayrıca süzgəclə işlənilməlidir. Fikrimizcə, yalnız bu yolla bütün layların neft ehtiyatlarının tam və səmərəli mənimşənilməsini başa çatdırmaq daha məqsədyönlü olardı [2].

Son zamanlarda aparılan elmi-tədqiqat işləri nəticəsində quru yataqlarındakı qalıq neft ehtiyatlarının təkrar hesablanması əvvəller təsdiq edilmiş ehtiyatların nisbətən dəyişilməsini

göstərmişdir. Belə ki, qalıq çıxarıla bilən neft ehtiyatlarının artımı 2,6-120% arasında dəyişir. Ehtiyatların artması neftli sahələrin genişlənməsi, yeni neftli blokların açılması, effektiv neftlə doymuş qalınlıqların orta qiymətlərinin və quyuların sayının çoxalması, yeni intervallardan neft alınması və s. hesabına olmuşdur.

Tədqiqat işləri göstərir ki, quruda işlənmədə olan yataqlarda kifayət qədər qalıq neft ehtiyatları var, onların tükənməsi haqqında fikir həqiqətə uyğun deyil. Əsas problem isə qalıq neft ehtiyatlarının çıxarılmasının intensivləşdirilməsidir [1].

Qeyd edək ki, SMNY sahələrinin uzunmüddətli işlənilməsi və onların mürəkkəb geoloji-fiziki və istismar xüsusiyyətlərinə baxmayaraq, tədqiqatlar göstərir ki, balansda hesab edilən ehtiyatlardan əlavə bu sahələrdə xeyli neft ehtiyatları mövcuddur. İşlənilmənin son mərhələrində hesab edilən Siyəzən-Nardaran, Saadan, Əmirxanlı sahələrində onların çıxarıla bilən neft ehtiyatlarının xeyli hissəsinin mənimsənilməsinə baxmayaraq az dənənmiş və hətta toxunulmamış neftli zonaların olduğu müşahidə olunur. Belə ki, son illərdə bu sahələrdə qazılıb istismara verilən yeni quyular (1776, 1788, 1789, 1773, 1775 №-li və s.) mövcud işlək quyuların cari gündəlik hasilatlarından xeyli çox hasilatla işə buraxılmış və belə quyuların istismar müddəti kifayət qədərdir.

Göstərilən sahələrdə belə zonalar çoxdur və bu da həmin sahələrin qalıq neft ehtiyatlarının xeyli artıq olduğunu güman etməyə əsas verir.

Əlavə qalıq neftli sahələrin, çıxarıla bilən ehtiyatların yarısı qədər mənimsənilən Zağlı-Zeyvə və Çandahar-Zarat sahələrinin işlənməyə məruz qalmış hissələrində də belə zonaların olduğu müşahidə edilir. Bu sahələrdə qazılan yeni quyulardan da (1367, 1546, 1490, 1430, 1692, 1637, 1706 N-li və s.) xeyli neft hasil olunmuşdur.

Hesablamalar göstərir ki, Siyəzən monoklinal neft yataqları üzrə hasil olunan cəmi neftin 60 %-dən çoxu məhz yeni qazılan quyular hesabınadır.

Yatağın bütün sahələrində belə zonaların yaranması neftli layların mürəkkəb geoloji-fiziki xüsusiyyətləri ilə izah edilir.

Dünya neft yataqlarında layların neftvermə əmsalının orta qiymətinin  $\eta = 0,3$  qəbul edildiyini və hazırkı dövrə qədər olan müddətdə SMNY-dan hasil olunan neftin miqdarını nəzərə alsaq, sözügedən yataq üçün çıxarıla bilən qalıq neft ehtiyatının əhəmiyyətli dərəcədə çox olduğunu güman etmək olar.

Yaranmış reallıq, həm də SMNY-nin cari gərgin texniki, texnoloji vəziyyəti, unikal, spesifik geoloji-fiziki və istismar şəraiti ilə əlaqədar olaraq, yataqda mövcud işlənmə sisteminə yeni elementlərin gətirilməsi, alternativ üsul və metodların əsaslandırılması, tətbiqi və işlənilmənin davam etdirilməsi zəruri məsələlərdən hesab olunmalıdır.

Eyni zamanda bu məsələlərə kompleks şəkildə, o cümlədən ekoloji problemlər, ətraf mühitin, Yer təkinin qorunması və başqa mühafizə tədbirləri nöqtəyi-nəzərindən baxılmalıdır.

**Nəticə.** Siyəzən monoklinal neft yataqlarında tətbiq olunan tamamlanma texnologiyası (hazır uzun süzgəclər) işlənilməyə ciddi mənfi təsir göstərmişdir. Yataqda yeni qazılan quylarda hazır uzun süzgəclərin tətbiqindən imtina etməklə, intervalli süzgəclərdən istifadə tövsiyyə olunur.

## REFERENCES

1. Dilbazi Z.H., Kərimov R.M., Səttərova S.Ə. Azərbaycanın quru yataqlarında qalıq neft ehtiyatlarının vəziyyəti haqqında //Azərbaycan neft təsərrüfatı. 2004. No. 4. Pp. 7-10. (in Azerbaijan)
2. Xeyirov M.B., Məmmədov Z.C., Osmanova M.Ə. Zağlı-Zeyvə sahəsinin geoloji-fiziki və istismar şəraitinin cari vəziyyəti və onun səmərəli işlənməsi yolları // Azərbaycan neft təsərrüfatı. 2004. No. 2. Pp.13-19. (in Azerbaijan)
3. Mirzadzhanzade A.H., Mamedov Yu.T., Shahverdiev A.H. Mirovaja praktika razrabotki neftjanyh mestorozhdenijah //Azerbajdzhanskoe neftjanoe hozjajstvo. 2004. No. 5. Pp. 1-3. (in Russia)
4. Mürvətov F.T., İsmayılov Q.Q. Neft quyularında qum tixaclarının yaranmasının ətraf mühitə təsirinin nəticələri haqqında // Qafqaz universiteti “Azərbaycan Müstəqillikdən sonra” Beynəlxalq konfransın materialları. 3-4 mart 2003. Pp. 140-141. (in Azerbaijan)
5. İsmayılov Q.Q., Mürvətov F.T. Siyəzən monoklinalı neft yataqlarında istismar quyularının sulaşmasının bəzi ekoloji nəticələri //Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərinin xəbərləri. 2002. No. 5 (21). Pp. 72-77. (in Azerbaijan)
6. İsmayılov Q.Q., Mürvətov F.T. Quyudibi zonaya təsiretmə tədbirlərinin səmərəliliyi və ətraf mühitin mühafizəsi (Siyəzən monoklinalı yataqları timsalında) //Azərbaycan Neft təsərrüfatı. 2003. No. 2, Pp. 56-58. (in Azerbaijan)

## ОБ УНИКАЛЬНОСТИ ГЕОЛОГО-ФИЗИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СИАЗАНЬСКОЙ МОНОКЛИНАЛИ

Ф.Т. МУРВЕТОВ, А.Г. КЕРИМОВА

В статье говорится об уникальных, специфических геолого-физических условиях нефтяного месторождения Сиазаньской моноклинали и о различного рода осложнениях, возникающих на месторождении при проведении технологических операций по закачиванию скважин, даются рекомендации использовать вместо готовых длинных фильтров поинтервальные фильтры с целью повышения эксплуатационной эффективности.

**Ключевые слова:** длинные фильтры, песочная пробка, обводнение, поинтервальные фильтры.

## UNIQUENESS OF GEOLOGICAL, PHYSICAL AND OPERATIONAL CONDITIONS OF THE SIAZAN OIL FIELD MONOCLINE

F.T. MURVETOV, A.Q. KERIMOVA

The article examines the uniqueness of geological and physical conditions of the Siazan oil field monocline, and different complications arising in the field due to technological operations on completion. It is recommended to use interspaced filters instead of long filters to boost an operation efficiency.

**Key words:** long filters, sand stopper, flood, interspaced filters.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ДВУХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ ТИПА «ВОДА-НЕФТЬ» В ТРУБЕ

Т.Ш. САЛАВАТОВ, М.А. ДАДАШ-ЗАДЕ, И.И. КИРДОДА,  
Т.С. БАБАЕВА, Р.Ш. САЛАВАТОВА

В работе на основе лабораторных и промысловых данных предложена новая модель движения эмульсионных систем и разработана методика определения их основных показателей. На основе данной методики получена формула для определения динамической вязкости таких систем.

**Ключевые слова:** *эмulsionia, двухфазная система, касательное напряжение, градиент скорости, обводнённость.*

**Введение.** На основе лабораторных исследований предложено математическое уравнение движения эмульсионных систем «вода-нефть», в широком диапазоне изменения обводнённости продукции пласта. С учётом расчётной схемы предложены выражения для определения основных показателей эмульсионных систем типа средняя скорость, объёмное содержание составляющих, а также динамическая вязкость системы «вода-нефть».

**Постановка задачи.** В технологических процессах нефтедобычи, трубопроводного транспорта и переработки, как правило, имеет место течение двухфазной системы (нефть и пластовая вода). Ввиду того, что пластовая вода в процессе фильтрации в пористой среде обогащается различными поверхностно-активными веществами [1], создаются благоприятные условия образования в пластовых условиях прямых и обратных водонефтяных эмульсий, между которыми наблюдается конверсия. При теоретических исследованиях указанных систем возникают методологические сложности, устранение которых связано с принятием ряда допущений как при рассмотрении самих жидкостей, так и при составлении моделей [2-4].

Результаты исследований отечественных и зарубежных авторов показывают, что, в отличие от вязкости, при оценке плотности эмульсионных систем возможно использование правила аддитивности [5, 6]. При этом используются известные значения плотности нефти и воды, образующие эмульсию, и их относительное содержание. Другие свойства стойких эмульсий в большей степени зависят от условий их образования и состава

адсорбционной оболочки на каплях дисперсной среды. Многие авторы отмечают, что более точной методики расчёта дисперсности стойких эмульсий пока нет, а разработаны лишь методы её экспериментального определения. Сложно обстоит дело с определением вязкости стойких эмульсий. Только для весьма разбавленных эмульсий (с содержанием дисперсной фазы менее 0,05) динамическую вязкость любых эмульсий достаточно описать уравнением Эйнштейна [2].

При увеличении содержания дисперсной фазы, бронирующие оболочки на каплях оказывают влияние на объём дисперсной фазы и коагуляцию капель с образованием в результате их слияния.

В гидродинамических расчётах невозможно учесть эти факторы и следует изучить вязкость водонефтяных эмульсий отдельных пластов и месторождений. Это требует получения многочисленных эмпирических формул для вязкости стойких эмульсий, имеющих те или иные коэффициенты, которые необходимо определять опытным путём.

Некоторые авторы предлагают эмпирические формулы в небольшом диапазоне содержания отдельной фазы или компонента [2, 3, 4].

В работе исследуются гидродинамические свойства устойчивых и неустойчивых эмульсий типа «вода-нефть» и «нефть-вода».

Неустойчивая эмульсия – это двухфазная дисперсная система, состоящая из двух взаимно нерастворимых жидкостей, так что одна из них распределена в другой в виде капелек, на поверхности которых отсутствуют прочные стабилизирующие оболочки. Надо отметить, что в устойчивых эмульсиях сама пластовая вода имеет стабилизирующую оболочку.

Проведённые лабораторные анализы показали, что неустойчивая эмульсия образуется при турбулентном режиме движения хотя бы одной из фаз в отдельности. Пластовая вода имеет на поверхности раздела фаз многомолекулярные слои поверхностно-активных веществ, которые частично не препятствуют дроблению или слиянию капель одного из компонента. Первое такое предложение было высказано академиком А.Х. Мирзаджанзаде в 1948 году.

Выполненные нами лабораторные исследования показали, что только лишь при установившемся движении неустойчивых эмульсий типа «нефть-вода» устанавливается динамическое равновесие между процессами коагуляции и дробления. При переходе к ламинарному режиму движения одной из фаз или обеих фаз происходит расслоение составляющих фаз.

Неустойчивая эмульсия характеризуется неравновесными реологическими свойствами и дисперсностью. Установлено, что одновременно с переходом ламинарного движения в турбулентное изменяется характер распределения скоростей по сечению трубы, а также характер гидравлического сопротивления. Анализ показал, что при ламинарном режиме движения эмульсионных систем распределение скоростей по сечению имеет параболический характер. Отметим, что непосредственно у стенок скорости равны нулю, а при удалении от них непрерывно и плавно возрастают, достигая максимума на оси трубы.

**Методика исследований.** Обрабатывая экспериментальный материал, авторы пришли к выводу, что, аналогично явлению сдвига в твёрдых телах, получена следующая зависимость между напряжением и деформацией для эмульсионных систем:

$$\tau = \left( \mu \frac{du}{dr} \right)^n \quad (1)$$

где  $\tau$  – касательное напряжение сдвига;

$\mu$  – динамическая вязкость эмульсионной системы;

$\frac{du}{dr}$  – градиент скорости.

С учётом, что

$$\tau = \frac{r}{2} \frac{\Delta P}{L}, \quad (2)$$

решая совместно уравнение (1) и (2) относительно скорости, имеем:

$$dU = \frac{1}{\mu} \left( \frac{\Delta P}{2L} \right)^{\frac{1}{n}} r^{\frac{1}{n}} dr \quad (3)$$

где  $r$  – радиус;

$\Delta P$  – перепад давления;

$L$  – длина рассматриваемого участка.

Интегрируя дифференциальное уравнение, получим:

$$v = \frac{1}{\mu} \left( \frac{\Delta P}{2L} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{n}{1+n} \left( R^{\frac{1+n}{n}} - r^{\frac{1+n}{n}} \right) \quad (4)$$

Если  $n = 1$ , имеем уравнение Стокса.

Расход эмульсии в трубе можно найти путём суммирования элементарных расходов, проходящих через кольцевые площадки, и описать следующим выражением:

$$Q = \int_0^R v \cdot 2\pi r dr \quad (5)$$

Подставив вместо скорости (4) его значение и проинтегрировав, получим:

$$Q = \frac{\pi}{\mu} \left( \frac{\Delta P}{2L} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{n}{3n+1} R^{\frac{3n+1}{n}} \quad (6)$$

При  $n = 1$  из данного уравнения имеем уравнение Пуазейля.

Средняя скорость эмульсионных систем определяется как

$$v_c = \frac{Q}{\omega} = \frac{1}{\mu} \left( \frac{\Delta P}{2L} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{n}{3n+1} R^{\frac{n+1}{n}} \quad (7)$$

где  $\omega$  – площадь поперечного сечения круглой трубы.

Решая данное уравнение относительно динамической вязкости, имеем:

$$\mu = \frac{n}{3n+1} \cdot \frac{\pi}{Q} \left( \frac{\Delta P}{2L} \right)^{\frac{1}{n}} R^{\frac{3n+1}{n}} \quad (8)$$

где  $n$  – коэффициент, который зависит от обводнённости продукции.

Для сопоставления данной формулы и методики расчёта с лабораторными данными сравнили измеренную динамическую вязкость с расчётной, полученной по формуле (8).

**Результаты исследований.** Как видно из графика, при коэффициенте корреляции 0,88, при среднем отклонении  $\pm 3\%$  данные хорошо ложатся на прямую с наклоном  $45^\circ$ , что показывает практическую приемлемость данной методики расчёта основных показателей эмульсионных систем типа «вода-нефть» (рис.).

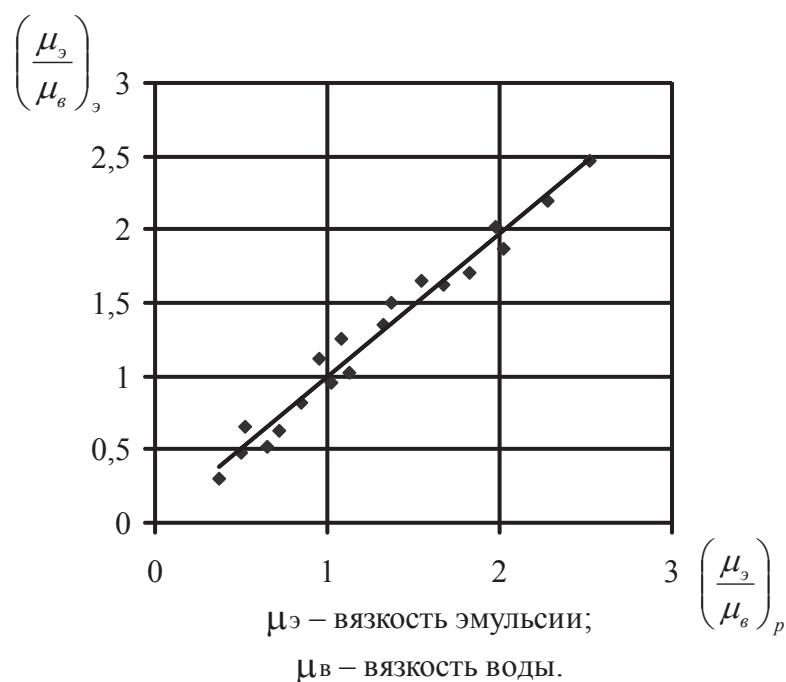


Рис. Сопоставление лабораторных данных с расчётными.

$\left( \frac{\mu_{\text{э}}}{\mu_{\text{в}}} \right)_e$  и  $\left( \frac{\mu_{\text{э}}}{\mu_{\text{в}}} \right)_p$  – экспериментальное и расчётное значение безразмерной вязкости.

**Выводы.** Предложена методика и модель эмульсионных систем при их движении в насосно-компрессорных трубах и трубопроводах. Применение данной методики даёт возможность регулирования условий образования и разделения прямых и обратных эмульсий в различных технологических процессах.

## REFERENCES

1. **Mirzəcanzadə A.X.** Gilli məhlulunun lay suyun əsasında hazırlanmasının məqsədə uyğunluğu. // ANT. 1948. No. 11. Pp. 10-13. (in Azerbaijan)
2. **Emulsii. Pod red. Shermana F.** // Leninqrad: Himiya. 1972. 372 p. (in Russia)
3. **Dzhuqayev R.R. Hidravlika.** // Leninqrad: Energetika. 1982. 682 p. (in Russia)
4. **Mansurov M.N.** Su-neft emulsiyalarının nəqletmə xassələrinin tədqiqi. Ufa. 1977. 132 p. (in Russia)
5. **Loytsanskiy L.Q.** Maye və qazların mexanikası. 3 izd-e. Moscow: Znaniye. 1970. 904 p. (in Russia)
6. **Yemtsev B.T.** Tehnicheskaya hidromehanika. Moscow: Mashinostroenie. 1978. 463 p. (in Russia)

### SU-NEFT TİPLİ İKİFAZLI SİSTEMİN BORULARDA HƏRƏKƏTİNİN TƏDQİQİ

T.Ş. SALAVATOV, M.Ə. DADAŞZADƏ, İ.İ. KİRDODA,  
T.S. BABAEVA, R.Ş. SALAVATOVA

Laboratoriya və sənaye məlumatları əsasında bu işdə emulsiyalı sistemlərinin hərəkətinin yeni modeli təklif edilmişdir. Belə sistemlərin əsas göstəricilərinin təyininin metodikası təklif edilmişdir. Metodika əsasında belə sistemlərin dinamik qatılığının təyini üçün düstur alınmışdır.

*Açar sözlər:* emulsiya, ikifazlı sistem, toxunan gərginlik, surət gradyenti, sulaşma.

### STUDY OF TWO-PHASE FLOW SYSTEM SUCH AS "WATER-OIL" IN PIPE

T.Sh. SALAVATOV, M.A. DADASH-ZADEH, I.I. KYRDODA,  
T.S. BABAEVA, R.Sh. SALAVATOVA

A new model of the emulsion flow system is suggested based the laboratory and field data, the techniques to determine their main parameters are developed. Based on this methodology, a formula to calculate the dynamic viscosity of such systems is found.

*Key words:* emulsion, two-phase system, shear stress, velocity gradient, watercut.

## **МОНИТОРИНГ АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВА ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ И ХРАНЕНИИ СОВРЕМЕННЫМИ МЕТОДАМИ**

**В.Х. НУРУЛЛАЕВ**

В статье рассматриваются возможности регулирования общих характеристик наших и зарубежных транспортных самолетов, а также характеристик перспективных пассажирских самолетов, проходящих испытания авиационным топливом. Были проведены исследования физико-химического анализа нефтепродуктов, полученных из азербайджанской нефти, – ТС-1 по ГОСТ 10227-86 и ASTM D 1655-02. На основе экспериментальных исследований показана транспортировка и хранения авиационных топлив, отвечающих требованиям мировых стандартов.

**Ключевые слова:** люминометрическое число, высота некоптящего пламени, вязкость, стабильность.

В течение последних лет периодически пересматривались стандарты и спецификации на реактивные топлива. Отменяли показатели, необходимость в которых отпала, вводили новые показатели качества. Однако каких-либо принципиальных изменений не произошло. За это время увеличилось количество сортов реактивных топлив. В целом же во всех странах в основе стандартов и спецификаций на товарные сорта реактивных топлив заложены определенные технико-экономические показатели, учитывающие характер добываемой нефти, производственные возможности ее переработки, ресурсы, выход готовой продукции, стоимость и др. [1].

В наших аэропортах ежедневно заправляются топливом самолеты, совершающие рейсы по международным воздушным трассам. Сотрудники служб горюче-смазочных материалов и экипажи самолетов имеют рекомендации для оперативного решения вопросов, связанных с заправкой отечественных или зарубежных самолетов взаимозаменяемыми сортами зарубежных и отечественных топлив. Приведены общие характеристики наших и зарубежных транспортных самолетов, а также характеристики перспективных пассажирских самолетов, проходящих испытания [2]. Решение правовых, коммерческих вопросов, проблем безопасности и регулярности полетов на международных авиалиниях осуществляется в рамках организаций ICAO и IATA (International Air Transport Association). Членом ICAO является «Аэрофлот». Рекомендации IATA по качеству реактивных топлив представлены в таблице 1. Топлива наших и ведущих зару-

безных стран по большинству показателей отвечают рекомендациям IATA. Для заправки самолетов на международных авиалиниях применяются топлива типа керосина АТК (Aviation turbine kerosine). Топлива типа АТК имеют разнообразную фирменную маркировку: A-1, ATF, ETF, ATF/650, JP-1, ETF A-1, PT, TC-1, PL-4 и PL-5. В последние годы разработан и вступил в действие ГОСТ Р 52050-2003 на реактивное топливо Jet A-1 российского производства, однако до настоящего времени его массовое производство в России не освоено. По многим показателям, по мнению специалистов, оно уступает по качеству отечественным топливам, включенными в ГОСТ 10227-86.

Эксплуатационные свойства реактивных топлив – это свойства, которые проявляются при их использовании непосредственно в топливной системе и двигателе в процессе эксплуатации. К ним относятся:

- испаряемость (оценивается фракционным составом и давлением насыщенных паров);
- воспламеняемость (оценивается концентрационными и температурными пределами воспламенения и температурами вспышки и самовоспламенения);
- горючесть (оценивается удельной теплотой сгорания, плотностью топлива, высотой некоптящего пламени, люминометрическим числом, содержанием ароматических углеводородов, массой нагара, полнотой сгорания топлива);
- склонность к образованию отложений (оценивается йодным числом, зольностью, содержанием фактических смол, термической стабильностью);
- коррозионная активность и совместимость с материалами (оцениваются кислотностью, содержанием общей серы, сероводорода, меркаптановой серы, водорасстворимых кислот и щелочей, коррозионными потерями при контакте с металлами, воздействием на резину и герметики);
- прокачиваемость (оценивается кинематической вязкостью, температурой начала кристаллизации и застывания, содержанием мыл нафтеновых кислот, содержанием воды и механических примесей);
- противоизносные свойства (оцениваются вязкостью, смазывающей способностью);
- стабильность (оценивается физической, химической и биологической стойкостью);
- безопасность в процессе использования (оценивается токсичностью, пожароопасностью);
- склонность к электризации.

Как видно из перечня, эксплуатационные свойства весьма разнообразны. Условия хранения на складах, в особенности длительного хранения, влияют на стабильность и коррозионные свойства топлива. Окислительные процессы, приводящие к смелообразованию и ухудшению термической стабильности, повышению кислотности, замедляются, если топлива хранятся при низкой температуре в заглубленных резервуарах, защищенных от прямого нагрева солнечными лучами. В целях уменьшения контакта свободной поверхности топлива с воздухом и сухого дыхания резервуара, обмена воздуха через

дыхательные клапаны при суточном изменении температуры его следует держать заполненным. Это относится и к хранению в топливной системе: в полных баках топливо окисляется медленнее. Относительная площадь контакта топлива со стенками, которые играют роль катализатора окисления, зависит от размера емкости. Чем емкость крупнее, тем меньше вредный контакт каждого кубического метра топлива с металлом и дольше сохраняется нормальное качество топлива. Поэтому при закладке топлива на длительное хранение лучше использовать одну крупную емкость, чем несколько мелких. По истечении установленного срока хранения топливо расходуют, а на хранение закладывают свежее. Сроки освежения для каждого вида установлены в соответствии с их стабильностью и условиями хранения. Реактивные топлива хранятся 5 лет в обычных резервуарах и тарах, как правило, в северной и средней климатических зонах, в стальных емкостях – до 10 лет, в южных климатических зонах – 4 года, а в баках самолетов – 2 года. Плановый срок хранения сокращают, если склонные к изменению показатели качества досрочно достигли предельно допустимых значений [3-5].

**Табл. 1**

**Характеристика реактивного топлива, рекомендуемого IATA**

Показатель	Норма	Метод испытания
Плотность при 15,7 °C	0,775-0,830	ASTMD 287
Кинематическая вязкость при температуре минус 34° C, не более	15	ASTMD445
Температура замерзания, °C не выше	-50	ASTMD 2386
Фракционный состав:		ASTMD 86
10 % отгоняется при температуре, °C, не выше	204	
50 % отгоняется при температуре, °C, не выше	232	
температура конца кипения, не выше	288	
Остаток от разгонки, % объема, не более,	1,5	
Потери от разгонки, % объема, не более	1,5	
Высота некоптящего пламени, мм, не менее	25	ASTMD 1322
Температура вспышки в закрытом тигле, °C не ниже	38	ASTMD 56
не выше	66	
Объемная доля ароматических углеводородов, %, не более	20	ASTMD 1319
Содержание фактических смол, мг/100cm <sup>3</sup> не более	7	ASTMD 381
Содержание потенциальных смол, мг/100cm <sup>3</sup> не более	14	
Массовая доля общей серы, %, не более	0,2	ASTMD 873
Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,001	ASTMD 1266
Кислотность, мг KOH/g, не более	0,1	ASTMD 1219
Термическая стабильность (перепад давления на фильтре), не более (мм рт. ст)	76	ASTMD 984
(дюймы рт. ст.)	3	ASTMD 1660
Отложения в подогревателе, баллы, не более	3	
Люминометрическое число, или индекс летучести, мм, не менее	45	ASTMD 1740
Теплота сгорания не ниже, ккал/кг	10200	ASTMD 240

Транспортирование реактивных топлив осуществляется следующими видами транспорта: железнодорожным, водным, трубопроводным и автомобильным. Выбор способа транспортирования реактивных топлив в каждом случае осуществляется на основе всесторонних технико-экономических расчетов. Наиболее экономичен водный транспорт. Однако трубопроводный и железнодорожный транспорт лучше обеспечивают своевременную доставку нефтепродуктов практически в любой район страны.

Значительное распространение за рубежом для транспортирования реактивных топлив получает трубопроводный транспорт. Трубы имеют антакоррозионную защиту, на отдельных участках – электрохимическую, установлены станции катодной и дренажной защиты. На главных станциях и на конечных пунктах реактивные топлива прокачиваются через фильтры грубой и тонкой очистки. Применяемые в авиации топлива содержат загрязнения, образующиеся в процессе их изготовления, транспортировки, хранения, а также поступающие в процессе эксплуатации самолетов. Загрязнениями следует считать всякие твердые, жидкые и газообразные примеси, которые ухудшают нормируемые физико-химические свойства топлива, а также эксплуатационно-технические характеристики элементов самолетных топливных систем.

Загрязненность рабочих жидкостей характеризуются следующими параметрами:

- общей массой загрязнений в единице объёма жидкости, мг/л, г/м<sup>3</sup>;
- относительным массовым содержанием, % от массы топлива;
- относительным объёмным содержанием, % от объёма топлива;
- гранулометрическим составом частиц загрязнений, частиц/100 мл жидкости по диапазонам дисперсности загрязнений;
- относительным распределением массы дисперсной фазы по размерам частиц;
- максимальным размером частиц, мкм;
- числом волокон, которыми считаются частицы, с соотношением длины к диаметру не менее 10:1 и диаметром не более 30 мкм, частиц/100мл.

Гранулометрический состав загрязнений в рабочих жидкостях, в том числе в авиационных топливах, регламентируется государственным стандартом ГОСТ 17216, которым предусматриваются чистоты. В соответствии с ГОСТ 17216 чистота авиационных топлив должна указываться в технических требованиях к топливным системам при изготовлении, транспортировке, хранении, заправке и эксплуатации. Следует отметить, что всеми зарубежными авиакомпаниями и поставщиками авиационных топлив чистота в условиях эксплуатации нормируется по массе загрязнений.

Загрязнения топлив подразделяются на твердые, механические примеси, аморфные, жидкые, газообразные. Наличие одних видов загрязнений способствует образованию других. Вследствие высокой поверхностной активности эмульсионная вода и смолы обладают способностью коагулировать тонкодисперсную фазу в топливе в крупные частицы [6, 7]. Кроме того, вода ухудшает качество топлива и способствует возникновению электрохимической коррозии и развитию микроорганизмов. В свою очередь, продукты коррозии являются активными катализаторами окислительных процессов в топливе и способствуют образованию в нем осадков. Отрицательное воздействие различных загрязнений на работоспособность элементов топливных систем далеко не одинаково. Более того, некоторые из загрязнений (смолы, некоторые окислы) при определенных усло-

виях могут положительно влиять на работу топливных агрегатов, так как улучшают противоизносные свойства топлив. Степень влияния загрязнений на работоспособность элементов топливных систем зависит в первую очередь от свойств и количественного состава загрязнений. Среди множества загрязняющих веществ, а их насчитывают более ста наименований, наиболее опасны часто встречающиеся металлы: сталь, алюминий, медь, хром, титан, кобальт, молибден; окислы металлов, окись алюминия, окись железа, окись хрома, окись магния; неметаллы, сера, двуокись кремния, вода, кислород.

Атмосферная пыль, относящаяся к твердым загрязнениям, состоит из частиц разного размера и имеет различный состав. Основными компонентами пыли являются окислы кремния, кварц. Содержание кварца в пыли составляет 65....98%. В пыли содержатся в небольших количествах окислы железа и алюминия. Остальные составляющие пыли представляют собой смесь органических веществ с неорганическими. Частицы пыли имеют высокую твердость, и их присутствие в топливе вызывает интенсивный износ трущихся пар агрегатов. Содержание частиц пыли в топливе зависит от запыленности воздуха и условий эксплуатации.

Топливо в процессе эксплуатации в значительной степени загрязняется продуктами коррозии средств хранения, транспортировки, перекачки и заправки. Определение элементного состава загрязнения топлива, взятого из резервуаров на складах аэропортов различных климатических зон, свидетельствует о том, что их зольную часть в основном составляют продукты коррозии железа, до 50 %, а также элементы, попадающие в топливо из окружающей среды (кремний и алюминий). Таким образом, твердые загрязнения обладают повышенной твердостью, плотностью и дисперсностью. По мере увеличения плотности частицы большого размера выпадают в осадок, а мелкодисперсные со временем коагулируют, объединяясь с загрязнениями различных видов [8]. Аморфные загрязнения представляют сложную смесь высокомолекулярных продуктов окислительного уплотнения сернистых, азотистых и кислородных соединений топлив. Содержание этих загрязнений увеличивается с развитием окислительных процессов, т.е. с повышением температуры и увеличением продолжительности пребывания топлива в контакте с кислородом воздуха. В результате этого создается система топливоаморфных загрязнений, которая находится в подвижном равновесии.

Вода является одним из наиболее активных веществ, способствующих коагуляции твердых частиц загрязнений и образованию агрегатов, включающих смолистые вещества и частицы неорганического происхождения. Укрупнение частиц и их накопление происходит на границе раздела фаз «топливо – вода». Промежуточный слой представляет собой зону взаимодействия частиц различных видов. При перемешивании топлива, обусловленном в эксплуатационных условиях конвекцией, движением масс топлива при эволюциях самолета, заправкой и прокачкой топлива, вибрациями крыла и др., хаотическое движение струй топлива способствует сближению частиц твердых загрязнений и микрокапель воды, а силы взаимного притяжения заставляют их соприкасаться. Проникновению частиц внутрь капли воды препятствует поверхностное натяжение, создающее как бы реакцию на площадке контакта частицы с каплей, уравновешивающую силу взаимного притяжения и гидродинамические силы. Кроме того, на поверхности

капель и частиц адсорбируются поверхностно-активные вещества, содержащиеся в топливе.

В связи с этим на площадке контакта частицы с каплей возникают силы сцепления, способствующие образованию многофазных комплексов загрязнений. Поверхностные силы сцепления и сила взаимного притяжения препятствуют разрушению таких агрегатов под действием гидродинамических сил. Таким образом, в условиях эксплуатации в топливах происходит укрупнение частиц загрязнений, их оседание и накопление в ёмкостях [9]. По мере увеличения относительной молекулярной массы загрязнения все труднее растворяются в топливе, укрупняются и выпадают из углеводородного раствора в виде полутвердой фазы. Эти загрязнения ухудшают качество и термоокислительную стабильность топлив, засоряют топливные фильтры, вызывают нагарообразование в камере сгорания, осмоление внутренних поверхностей.

Главной причиной обводненности углеводородных топлив является их обратимая гигроскопичность. Это свойство при изменении внешних условий температуры, давления, влажности, окружающей среды вызывает фазовые переходы воды в топливе. В связи с этим вода в топливе может раствориться в растворенном, эмульсионном состоянии или в виде отстоя.

Газообразными загрязнителями авиационных топлив является воздух, кислород и сероводород. Сероводород является агрессивным веществом, способствующим образованию продуктов коррозии, кислород – активный окислитель, вызывающий образование других загрязнений, смол, окислов.

Стандартами и техническими требованиями на авиационные топлива предусматривается нормирование показателей по содержанию загрязнений.

Исследования показывают, что современный уровень фильтрации в нашей стране обеспечивает чистоту топлива, соответствующую современным требованиям. Международная ассоциация авиационного транспорта рекомендует в качестве норм предельно допустимой концентрации механических примесей и воды в авиационных топливах 0,00012% и 0,003% от массы топлива 1,2 г/т и 30 г/т соответственно [10].

Анализ данных по фактической загрязненности заправляемых топлив показывает, что концентрация механических примесей ниже предельно нормируемой. Чаще всего концентрация механических примесей в топливе составляет 0,5-1,0 г/т. Существенного повышения эффективности можно достигнуть добавлением в реактивные топлива 0,001-0,005 % веса коагулирующей присадки, например октадециламида оксимасляной кислоты, сульфенамидных производных 2-бензотиазола. При добавлении 0,002 % коагулирующей присадки в реактивные топливо ТС-1 количество микрозагрязнений снижается в 2,5-2,7 раза.

Таким образом, загрязнение реактивных топлив может быть снижено путем совершенствования средств и методов транспортирования, хранения и заправки самолетов топливом, чему следует уделять такое же внимание, как и разработке эффективных средств фильтрации топлив и водоотделения.

Также нами были проведены исследования физико-химического анализа нефтепродуктов, полученных из азербайджанской нефти ТС-1 по ГОСТ 10227-86 и ASTM D 1655-02. Результаты экспериментальных исследований показаны в таблице 2.

**Табл. 2**

**Результаты физико-химического анализа реактивного топлива ТС-1  
Согласно стандартам ASTMD 1655-02 и ГОСТ 10227-86**

<b>Показатели</b>	<b>Результаты анализа</b>	<b>Методы проведения анализа</b>
Плотность при 20 <sup>0</sup> С	789,6-789,2	ГОСТ 3900-ASTMD 4052
Кинематическая вязкость при температуре 20 <sup>0</sup> С,	1,51-1,69	ГОСТ 33-ASTMD 445
Температура начала кристаллизации 0 <sup>0</sup> С,	(-60)-(-60)	ГОСТ 5066-ASTMD 5972
Фракционный состав:		ГОСТ 2177-ASTMD 86
10 % отгоняется при температуре, 0 <sup>0</sup> С,	160-158	
50 % отгоняется при температуре, 0 <sup>0</sup> ,	182-180	
90 % отгоняется при температуре, 0 <sup>0</sup> С,	221-220	
Высота некоптящего пламени, мм,	25-25	ГОСТ 4338 –ASTMD 1322
Температура вспышки в закрытом тигле, 0 <sup>0</sup> С	33-32	ГОСТ 6356-ASTMD 56
Масс. доля ароматических углев., %,	16-17	ГОСТ 6994-ASTMD 1319
Содержание фактических смол, мг/100см <sup>3</sup>	0,3843-0,3653	ГОСТ 1567-ASTMD 3227
Массовая доля общей серы, %,	0,068-0,065	ГОСТ 19121-ASTMD 5453
Массовая доля меркаптановой серы, %,	0,002-0,002	ГОСТ 5066-ASTMD 3227
Массовая доля сероводорода, %	Отсутствие	ГОСТ 17323-ASTMD 2622
Кислотность, мг КОН на 100 см <sup>3</sup> топлива	0,42-0,31	ГОСТ 5985-ASTMD 3242
Термоокислительная стабильность в статических условиях при 150 0 <sup>0</sup> C,	16-не нор.	ГОСТ 11802-ASTMD не нор
Концентрация осадка на 100 см <sup>3</sup> топлива		
Термическая стабильность (перепад давления на фильтре), мм рт. ст	14-16	ГОСТ 52954-ASTMD 3241
Отложения в подогревателе, баллы	Отсутствие	
Люминометрическое число, мм,	47-46	ГОСТ 17750-ASTMD 1740
Теплота сгорания, ккал/кг	43176-4326	ГОСТ 11065-ASTMD 240
Давление насыщенных паров, кПа (мм рт. ст.)	21,9(164,27)- 22,6 (169,52)	ГОСТ 1756-ASTMD 323
Испытание на медной пластинке при 100 0 <sup>0</sup> C	Выдерживает	ГОСТ 6321-92- ASTMD 130

Были исследованы основные показатели нефтепродуктов ТС-1 по современным методам ГОСТ и ASTMD. Из таблицы 2 видно, что основным недостатком реактивного топлива ТС-1 по ГОСТ 10227-86 и ASTMD 1655-02 является содержание фактических смол, термоокислительная стабильность в статических условиях при 150 0<sup>0</sup>C и кислотности. Проведенные анализы должны проводиться одним стандартом – ASTMD или ГОСТ. Если анализы проводятся разными стандартами, тогда результат должен отвечать ГОСТ Р ISO 5725-2-2002. Иначе выявляются большие технические проблемы.

**Заключение.** Выяснено, что топливо ТС-1 при приемлемых катализаторах гидроочищенным методом позволяет получить топливо, отвечающее международным стандартам. При хранении и транспортировке топлива ТС-1 присадка Х положительно влияет на термоокислительную стабильность в статических условиях при 150 0<sup>0</sup>C. Это способствует снижению загрязнений в топливе при транспортировке и хранении.

## REFERENCES

1. Chertkov J.B., Spirkin V.G. Primenenie reaktivnyh topliv v aviacii. Moscow: Transport. 1974. 160 p. (in Russia)
2. Sultanov S.A., Nurullaev V.H. Poluchenie termostabilnogo topliva. III Bakinskaja Mezhdunarodnaja Mamedalievskaja neftehimicheskaja konferencija. Baku. 5-8 oktyabr. 1998. 194 p. (in Russian)
3. Musaeva S.Q. Reaktiv yanacaqlarının saxlanma müddətinin termoinksidloşma stabilliyinə təsirinin tədqiqi. Azərbaycan Neft Təsərufatı. 2003. No. 9. Pp. 45-49. (in Azerbaijan)
4. Cleaning up gasoline will increase refiner hydrogen demand. Oil and Gas. 1992. No. 30 (90). Pp. 92-96.
5. Abuzova F.F., Bronshtejn I.S., Novoselov V.F. Borba s poterjami nefti i nefteproduktov pri ih transportirovke i hranenii. Moscow: Nedra. 1981. 248 p. (in Russia)
6. Bolshakov G.F. Vosstanovlenie i kontrol kachestva nefteproduktov. Leningrad: Nedra. 1974. 243 p. (in Russia)
7. Abdullaev A.A., Blank V.V., Jufin V.A. Kontrol v processah transporta i hranenija nefteproduktov. Moscow: Nedra, 1990. 264 p. (in Russia)
8. Nurullaev V.H., Sultanov S.A., Velieva F.M., Musaev D.D., Ibragimova R.A. Optimizacija processa poluchenija ekologicheski chistogo dizelnogo i reaktivnogo topliva iz azerbajdzhanskih maloparafinistyh neftej. Processy Neftehimii i Neftepererabotki. 2001. No. 3(6). Pp. 11-14. (in Russia)
9. Ismajlyov G.G., Nurullaev V.H., Kelova I.N., Nurmamedova R.G. O vlijanii smeshenija raznosortnyh nefteproduktov na ih reologicheskie i fiziko-himicheskie svojstva. Materiali 5-oj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii/ Problemy innovacionnogo razvitiija neftegazovoj industrii. Almaty, KBTU. 21-22 fevralja. 2013. Pp. 21-27. (in Russia)
10. Nurullaev V.H., Rustamov M.I., Sultanov S.A. Poluchenie topliv RT i A-1 iz azerbajdzhanskih neftej putem gidroochistki. Azerbajdzhanskoe neftjanoe khozjajstvo. 2001. No. 1. Pp. 48-50. (in Russia)

## AVİYASIYA YANACAQLARININ NƏQLİNİN VƏ SAXLANILMASININ MÜASİR ÜSÜLLARLA MONİTORİNQİ

V.X. NURULLAYEV

Müəllif məqalədə bizim və xarici dövlətlərinin aviyasiya nəqliyyatında istifadə olunan təyyarələrinin ümumi xarakteristika tənzimlənməsinin imkanlarını araşdırıb, həmçinin perspektiv sərnişin təyyarə yanacaqlarının xarakteristikası sınaqdan keçirilmişdir. Azərbaycan neftindən alınan TC-1 neft məhsulluğunun fiziki-kimyəvi analizi ASTMD 1655-02 və QOST 10227-86 standartlarının tələblərinə uyğun tədqiqatları aparılmışdır. Eksperimental tədqiqatlar əsasında aviasiya yanacaqlarının nəqlinin və saxlanmasının dünya standartlarının tələblərinə uyğun tənzimlənməsi göstərilmişdir.

*Açar sözlər: lüminometrik ədəd, his verməyən alovun hündürlüyü, özlülük, stabillik.*

## AVIATION FUEL MONITORING DURING CONTEMPORARY TRANSPORTATION AND STORAGE

V.X. NURULLAYEV

The paper's author reviews the possibility to regulate the general parameters of national and foreign transportation aircrafts, and also parameters of civil aviation aircrafts tested on the aviation fuel. The physical and chemical analysis of the Azerbaijan oil products, TC-1, is conducted in accordance with standards of GOST 10227-86 and ASTMD 1655-02. The transportation and storage of aviation fuel under the international regulations is shown on the basis of experimental studies.

*Key words: luminometric number, height of non-smoking flame, viscosity, stability.*

## НЕПРЕДЕЛЬНЫЕ СИНТЕТИЧЕСКИЕ И ПРИРОДНЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ КИСЛОТЫ, ИХ ПРОИЗВОДНЫЕ И ПРИМЕНЕНИЕ

В.М.АББАСОВ, Н.М.РЗАЕВА, Л.И.АЛИЕВА,  
С.А. МАМЕДХАНОВА, А.Г.ТАЛЫБОВ

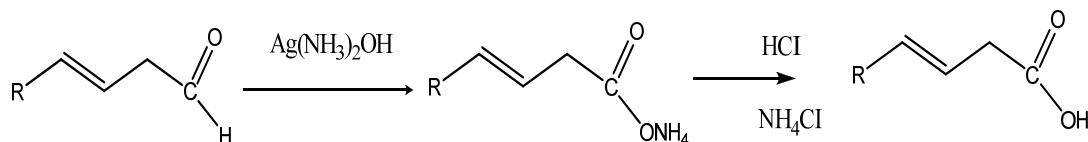
На основе жирных кислот, выделенных из растительных масел, синтезированы сульфокислоты, изучены их физико-химические свойства и растворимость в различных растворителях. С использованием сульфокислот получены соли и комплексы, выявлена их ингибирующая активность в 1%-ном водном растворе NaCl, насыщенном CO<sub>2</sub>. Полученные данные показали, что на основе непредельных органических кислот, в том числе полученных из растительного сырья, могут быть созданы полифункциональные и высокоэффективные ингибиторы коррозии и защитные средства.

**Ключевые слова:** *непредельные кислоты, природные кислоты, сульфокислоты, ингибиторы коррозии, растительные масла, CO<sub>2</sub>-коррозия.*

**Введение.** Несмотря на то, что многие теоретические и практические аспекты проблемы ингибиторной защиты металлического оборудования от коррозии достаточно изучены, существует ряд важных для науки и производства вопросов, которые все еще требуют своего решения. В частности, это касается создания и применения ингибиторов для защиты металлов в условиях CO<sub>2</sub>-коррозии. Поскольку не существует универсального ингибитора, способного защищать металл в различных средах, то создание новых ингибиторов, удовлетворяющих конкретным условиям, представляется весьма актуальным.

Эффективность ингибиторов, определяемая традиционными методами (гравиметрия, метод поляризационного сопротивления и др.), чаще всего сильно завышена, поскольку при действии на металл механических нагрузок защитные свойства формирующихся на поверхности адсорбционных пленок могут резко снижаться. Особый интерес представляет создание ингибиторов коррозии для защиты металла в пластовых водах нефтегазовых промыслов, содержащих сероводород и углекислый газ. При разработке ингибиторов остро стоит проблема поиска сырья, обладающего необходимыми физико-химическими свойствами, доступностью и относительно невысокой стоимостью. Одним из ценных сырьевых источников для нефтехимического синтеза являются природные и синтетические непредельные органические кислоты [1,2].

Одним из способов получения непредельных кислот является окисление  $\alpha$ ,  $\beta$ -ненасыщенных альдегидов в присутствии окислителей, которые не затрагивают  $C = C$  – двойную связь [3]:



На основе олеиновой кислоты и диэтилентриамина синтезирован имидазолиновый ингибитор коррозии [4]. Методом гравиметрии, экстраполяции Тафелевских кривых исследован механизм ингибирования в модельной водной среде газовой скважины. В составе имидазолина – неподеленная пара электронов, которые участвовали в адсорбции ингибитора на поверхности металла с образованием хемосорбированного слоя. Эффективность ингибирования составляла 85% при концентрации 100 мг/л и увеличивалась с концентрацией ингибитора.

С использованием кислот различной структуры могут быть получены ценные продукты нефтехимии. На основе акриловой кислоты синтезирован ингибитор коррозии и изучены его свойства в охлаждаемой воде [5]. Акриловый полимер с молекулярным весом ~ 1000 был получен методом полимеризации в водном растворе. Оптимальными параметрами процесса являлись: концентрация кислоты 30%, содержание ингибитора 5% мас, температура реакции 80<sup>0</sup>С, время реакции 4-5 ч. Полученный олигомер проявил высокую эффективность в качестве ингибитора коррозии стали А-3 в растворе NaCl.

В работе [6] исследована возможность использования отстоев производства подсолнечного масла для защиты стальных изделий от атмосферной коррозии. Разработаны и испытаны в условиях атмосферной коррозии составы на основе отходов производства рапсового и подсолнечного масел [7].

В Институте нефтехимических процессов (ИНХП) были синтезированы органические двухосновные кислоты [8-12] - гексенилянтарная, октенилянтарная кислоты и их производные алкилированием малеинового ангидрида с  $\alpha$ -олефинами в автоклаве при температуре 200-220<sup>0</sup>С в течение 10-12 часов, при соотношении исходных реагентов  $\alpha$ -олефинов: малеиновый ангидрид = 1:3÷4. Для предотвращения полимеризации  $\alpha$ -олефинов в реакционную смесь добавляли 0,5% масс гидрохинона. После атмосферной отгонки избытка  $\alpha$ -олефинов конденсат перегоняли под вакуумом. Выход ангидрида алкенилянтарной кислоты составил 69-75% от теории.

Одним из сырьевых источников кислот жирного ряда являются растительные масла. Жирнокислотный состав основных видов растительных масел представлен в табл.1. В качестве исходного сырья для синтеза реагентов различного назначения могут быть использованы кислоты, выделенные из растительных масел [13-18]. Методом омыления из триглицеридов растительных кислот были выделены жирные кислоты различного строения – предельные и непредельные.

Как видно из данных табл.1, в соевом, подсолнечном и рапсовом маслах содержание непредельных кислот намного больше, чем в других маслах.

В ИНХП также проведены исследования по созданию ингибиторов CO<sub>2</sub>-коррозии на основе кислот, выделенных из подсолнечного, хлопкового, кукурузного и пальмового масел. Щелочной обработкой были выделены жирные кислоты из указанных сортов и действием на них 20%-ой серной кислотой получены их сульфатированные производ-

ные. На основе сульфокислот синтезированы Na, K, NH<sub>4</sub> соли, моно-, ди-, триэтанол-, этил-, диэтил-аминные комплексы, изучена их растворимость в различных растворителях, определены физико-химические свойства этих растворов и оптимальные условия реакции.

**Табл. 1**

**Жирнокислотный состав некоторых растительных масел**

	Наимено- вание жир- ной кисло- ты	Масло олив- ковое	Масло соевое	Масло подсол- нечное	Масло подсол- нечное высоко- эруковое (не более 5%)	Масло рапсовое низко- эруковое (не более 5%)	Масло пальмо- вое	Масло какао	Масло пальмо- ядровое	Масло кокосо- вое
C6:0	капроновая								до 0,8	0,4-0,6
C8:0	каприловая								2,4-6,0	5,8-10,2
C10:0	каприновая								2,0-5,0	4,5-7,5
C10:1	деценовая									
C12:0	лауриновая			до 0,1			0,1-0,4		41,0-55,0	43,0- 51,0
C14:0	миристино- вая	0,0-0,05	до 0,2	до 0,2		до 0,3	0,5-2,0	до 0,7	14,0-18,6	16,0- 21,0
C14:1	миристолеи- новая									
C16:0	пальмитино- вая	7,5-20,0	8,0-13,3	5,0-7,6	4,2-4,6	2,5-6,3	39,0-46,8	24,0- 25,2	6,5-10,0	7,5-10,0
C16:1	пальмито- леиновая	0,3-3,5	до 0,2	до 0,3		до 0,6	до 0,6		до 1,0	0,2-1,5
C18:0	стеариновая	0,5-5,0	2,4-2,5	2,7-6,5	4,1-4,8	0,8-2,5	3,5-6,0	34,0- 35,5	1,0-3,5	2,5-4,0
C18:1	олеиновая	55,0-83,0	17,7- 26,1	14,0-39,4	61,0-69,8	5,0-65,0	36,7-43,0	37,0- 41,0	12,0-19,0	5,0-10,0
C18:2	линоплевая	3,5-21,0	49,8- 57,1	48,3-74,0	21,9-28,4	15,0-25,0	6,5-12,0	1,0-4,0	0,8-3,0	1,0-2,5
C18:3	линоленовая		5,5-9,5	до 0,3		7,0-15,0	до 0,5	до 0,2	до 1,0	до 0,5
C20:0	арахиновая	0,0-0,6	0,1-0,6	0,1-0,5	до 0,7	0,1-2,5	до 1,0		до 1,0	до 0,5
C20:1	гадолеиново- вая	0,0-0,4	до 0,3	до 0,3	до 0,5	0,1-4,0			до 1,0	до 0,5
C20:2	эйкозадиен- новая					до 1,0				
C22:0	бегеновая	0,0-0,2	0,3-0,7	0,3-1,5	0,7-1,2	до 1,0			до 1,0	до 0,5
C22:1	эруковая		до 0,3	до 0,3		до 5,0			до 1,0	до 0,5
C22:2	доказадиен- новая			до 0,3		до 0,5				
C24:0	лигноцери- новая	0,0-0,2	до 0,4	до 0,5		до 0,2			до 1,0	до 0,5
C24:1	нервоновая					до 0,5			до 0,1	
Темпе- ратура плавле- ния, °C	-6	-20-23	-18-20	+4,4..7,2	-9	+33 ..+39	+31..+35	+23..26	+22+29	+28..+3 6

**Экспериментальная часть.** Нами синтезированы несколько экологически чистых комплексов на основе различных масел (кукурузное, подсолнечное и хлопковое), изучено их влияние в качестве ингибиторов коррозии углеродистой стали С10-18 в CO<sub>2</sub> - насыщенной пластовой воде и сняты изотермы адсорбции комплексов. Поверхностная активность синтезированных комплексов определена с помощью измерения поверхностного и межфазного натяжений при 25°C. Химический состав низкоуглеродистой стали, используемой в этих исследованиях, приведен в [19]. В табл. 2 представлен химический состав пластовой воды.

**Табл. 2**

**Химический состав пластовой воды**

Концентрация	Катион				Анион			Всего, ppm
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
ppm	40.599	5.632	987	8.134	65.156	198	360	121.066

Комpleксы сульфатированных жирных кислот с моноэтаноламином (МЭА) (SFAMC) и с диэтаноламином (ДЭА) (SFADC) (табл.3) были испытаны в качестве ингибиторов коррозии в пластовой воде.

**Табл. 3**

**Комплексы синтезированных ПАВ**

Код ингибитора	Наименование	Структура	M
I	Комплекс сульфированных жирных к-т с МЭА	R-(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH-(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> -CO-NH-CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -OH O—SO <sub>2</sub> -NH-CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -OH	462
II	Комплекс сульфированных жирных к-т с ДЭА	R-(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH-(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> -CO-N(CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -OH) <sub>2</sub> O—SO <sub>2</sub> -N(CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -OH) <sub>2</sub>	551

Эти комплексы были синтезированы на основе кукурузного масла [20] и представляют собой смесь различных жирных кислот (табл.4). Полученные комплексы, как правило, - вязкие жидкости. Химическая структура синтезированных комплексов охарактеризована с помощью ИК-спектров с Фурье преобразованием, ВХ спектрометр – с использованием КВг дисков.

Состав пластовых вод месторождения Раманы (Абшеронский полуостров, Азербайджан), используемых в работе, приведен в табл.2. Концентрация комплексов кислот составляла 100-600 ppm. Защитную эффективность и потерю веса металлических образцов определяли описанным ранее методом [21,22].

Испытания были проведены на приборе ACM GILL AC. Аппарат состоит из монитора, процессора, потенциометра ACM GILL AC, 4 стаканов емкостью 4000 мл, электродов, баллона с CO<sub>2</sub> с тонким вентилем, регулирующим количество подаваемого CO<sub>2</sub>.

Работа была проведена следующим образом: был приготовлен 1%-й раствор хлорида натрия в стакане и посредством магнитной мешалки перемешан в течение 30 мин. Готовый раствор 1% NaCl перелил в стаканы по 1000 мл каждый, затем эти емкости бы-

ли помещены на электронагреватель и при 50<sup>0</sup>C в течение одного часа под давлением 9 бар были насыщены диоксидом углерода. После этого в среду помещаются электроды и соединяются посредством потенциометра ACM GILL AC. Электроды изготовлены из металла марки C1018 GradeSteel и имеют площадь 7,9 см<sup>2</sup>.

В течение часа после перемещения электродов в среду раствор насыщается CO<sub>2</sub>. По истечении 1 часа, за исключением 1 стакана, в остальные 3 стакана подается рассчитанное количество реагента и продолжается подача CO<sub>2</sub> под давлением 9 бар до конца эксперимента.

Продолжительность процесса зависит от времени, которое дается программой. Специальная программа предоставляет эти данные в виде графиков через каждые 15 минут различных зависимостей (потенциала от плотности электричества мА/см<sup>2</sup>, скорости коррозии от времени (мм/час), потери металла от времени (мг/час) и т.д.

**Табл. 4**

**Содержание кислот в кукурузном масле  
(% мас от общего числа жирных кислот)**

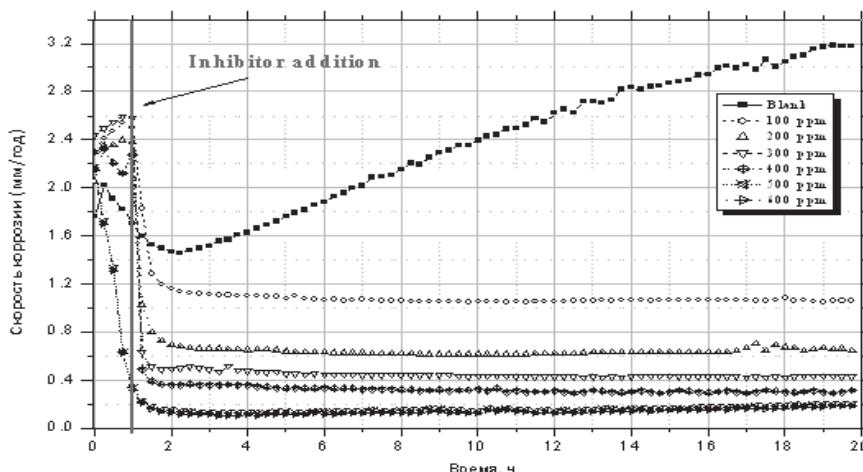
Жирная кислота		Содержание, %
насыщенные	пальмитиновая кислота	11
	стеариновая кислота	2
мононенасыщенные	олеиновая кислота	28
полиненасыщенные	линолевая кислота	58
	α -линоленовая кислота	1

Используемые образцы были следующих размеров: длина – 2 см, ширина – 1 см, толщина – 0,07 см. Испытания проводились при температуре 50<sup>0</sup>C в CO<sub>2</sub> насыщенной пластовой воде с различными концентрациями ингибиторов I и II в течение 24 ч. До испытаний система продувалась CO<sub>2</sub> (99,85%) в течение 5 ч. В конце испытания образцы были сняты, тщательно промыты этанолом, а затем высушены.

Поверхностное натяжение определяли с DuNouyTensiometer, Kruss типа 8451. Температура поддерживалась ~ 25<sup>0</sup>C. Значения критической концентрации мицеллообразования (ККМ) ПАВ были определены в соответствии с изломами на участках поверхностного натяжения.

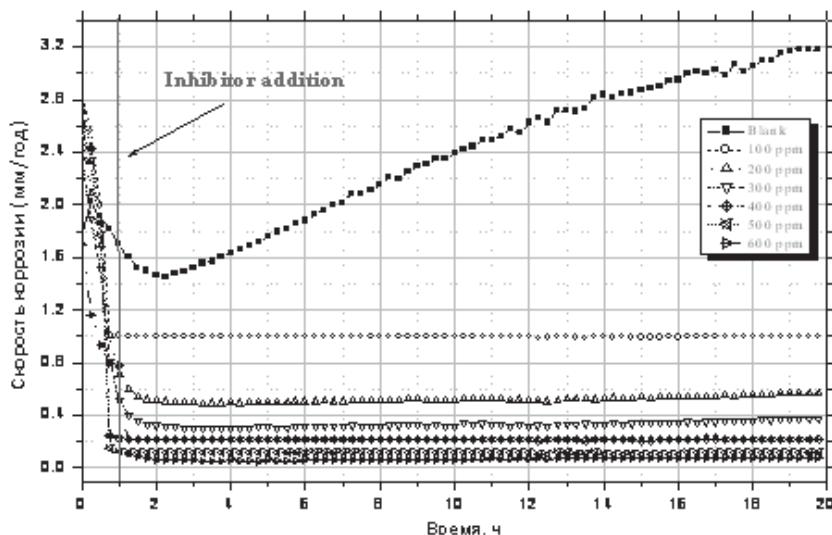
**Результаты и их обсуждение.** Структурные характеристики очищенных комплексов подтверждены методом ИК-Фурье спектроскопии в диапазоне волн 4000-500 см<sup>-1</sup> [23]. Максимум около 1709 см<sup>-1</sup> соответствует карбонильной группе карбоновой кислоты, в то время как пик при 1550 см<sup>-1</sup> характерен для связи C = C. Пик при 1377 см<sup>-1</sup> связан с группой SO. Это указывает на практически полное удаление связи C = C после процесса сульфирования.

Сильная полоса при 871 см<sup>-1</sup> указывает на наличие нескольких CH<sub>2</sub><sup>-</sup> групп. Сильные полосы при 2857 см<sup>-1</sup> обусловлены, главным образом, асимметричными валентными колебаниями метильных групп. Сильные полосы при 1733 см<sup>-1</sup> указывают на увеличение частоты поглощения CO-группы, из-за связи между протоном кислоты и аминным азотом, что приводит к увеличению притяжения электронов карбонильной группы.



**Рис. 1. Изменение скорости коррозии углеродистой стали в  $\text{CO}_2$  насыщенной пластовой воде, содержащей различные концентрации SFAMC с течением времени при температуре 50°C**

Влияние различных концентраций SFAMC и SFADC на коррозию углеродистой стали С1018 были рассмотрены нами в  $\text{CO}_2$ -насыщенной воде Раманинского месторождения. Добавление комплексов существенно не меняет pH пластовой воды (pH 6.55).



**Рис. 2. Изменение скорости коррозии углеродистой стали в  $\text{CO}_2$  насыщенной пластовой воде, содержащей различные концентрации SFADC с течением времени при температуре 50°C**

На рис. 1 и 2 показано изменение скорости коррозии (CR) со временем для углеродистой стали в  $\text{CO}_2$ -насыщенной пластовой воде, содержащей различные концентрации ингибиторов SFAMC и SFADC при температуре 50°C. Ингибиторы были добавлены после 1 ч воздействия, потому что в это время потенциал коррозии стабилизируется, что позволяет провести измерение скорости коррозии до введения ингибитора. Начальная скорость коррозии без ингибиторов составляет 1.7628 и 3.1754 мм/г. В отсутствие ингибитора скорость коррозии имеет тенденцию к увеличению с течением времени (рис.1,2).

Увеличение приписано гальваническому эффекту между ферритной фазой и цементитом ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), который входит в состав углеродистых сталей [24].

Параметры коррозии были рассчитаны, исходя из LPR-тестов. Эффективность торможения (IE%) и поверхностное покрытие ( $\theta$ ) были рассчитаны в соответствии со следующими уравнениями:

$$(\theta) = \theta = 1 - \frac{CR_i}{CR_0} \quad (1)$$

$$(\theta) = \theta = 1 - \frac{CR_i}{CR_0} \quad (2)$$

Поверхностное покрытие, где  $CR_0$  - скорость коррозии без ингибитора;  $CR_i$  - скорость коррозии в присутствии ингибитора. Как видно, в результате наличия ингибиторов скорость коррозии резко уменьшается. Эффективность комплексов возрастает с увеличением их концентрации, достигая максимального значения вблизи (ККМ) SFAMC и SFADC, которые были определены при  $25^\circ\text{C}$  - 468 и 457 ppm для SFAMC и SFADC, соответственно (рис. 3).

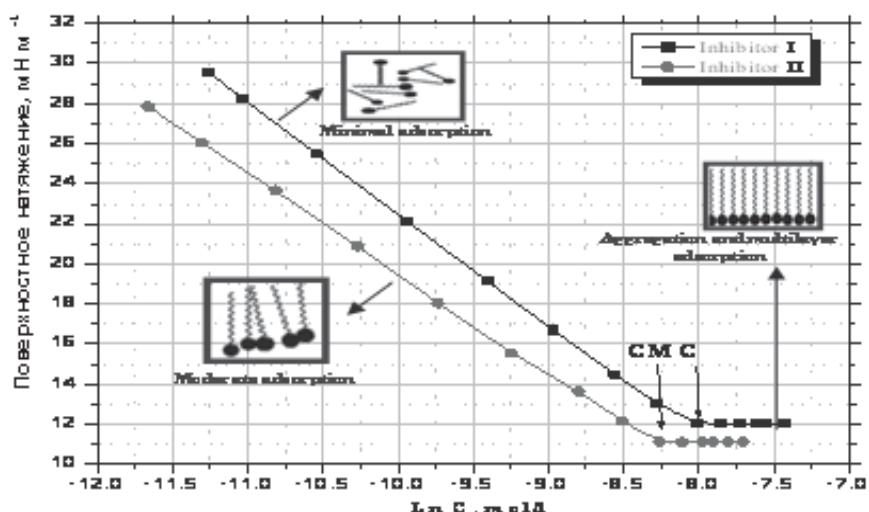


Рис. 3. Зависимость изменения поверхностного натяжения ( $\gamma$ ) от концентрации комплексов при температуре  $25^\circ\text{C}$

При увеличении концентрации комплексов дальнейшее снижение скорости коррозии углеродистой стали не наблюдается. Максимальная эффективность торможения (IE%) наблюдается при концентрации 600 ppm. Этот факт свидетельствует о том, что при адсорбции данных комплексов образуются тонкие пленки ингибитора на металлической поверхности, которые изолируют поверхность металла от агрессивной среды и намного уменьшают скорость коррозии. Эффективность торможения этих пленок зависит от различных факторов, включая коррозионную среду, концентрацию комплекса, синергетический эффект с другими молекулами, присутствующими в окружающей среде, потоков сдвиговых эффектов и т.д. [25].

Табл. 5.

**Параметры коррозии углеродистой стали в CO<sub>2</sub> - насыщенной пластовой воде в отсутствие и в присутствии различных концентраций комплексов ПАВ при температуре 50°C**

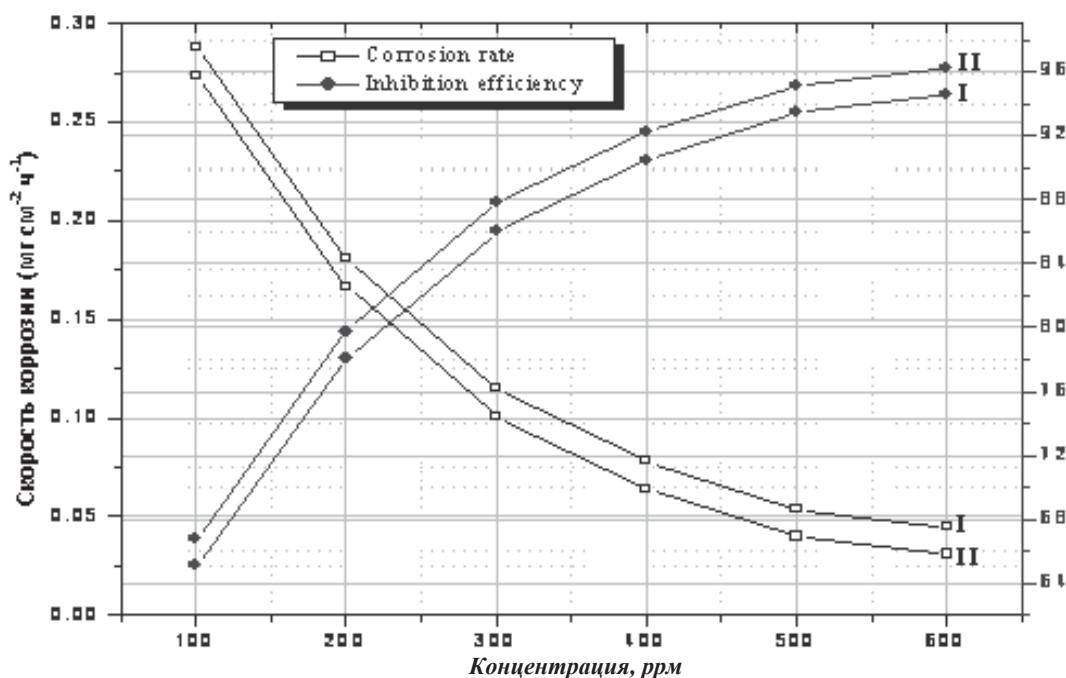
Ингибитор	Концентрация, ppm	Скорость коррозии, (мм/год)	$\theta$	Эффективность торможения, IE%
Без ингибитора	0.0	3.1754	----	----
SFAMC	100	1.059	0.6664	66.64
	200	0.643	0.7975	79.75
	300	0.429	0.8648	86.48
	400	0.314	0.9011	90.11
	500	0.196	0.9382	93.82
	600	0.180	0.9433	94.33
SFADC	100	1.001	0.6847	68.47
	200	0.563	0.8226	82.26
	300	0.373	0.8825	88.25
	400	0.221	0.9304	93.04
	500	0.120	0.9622	96.22
	600	0.076	0.9760	97.60

Данные табл. 5 показывают, что эффективность торможения в случае SFAMC и SFADC возрастает с увеличением концентрации комплексов и достигает максимальных значений 93.82 и 96.22%, соответственно, при их ККМ (468 и 457 ppm для SFAMC и SFADC, соответственно). Эффективность торможения коррозии металла слегка меняется при концентрациях комплексов, превышающих ККМ. Такое поведение может быть связано с насыщением поверхностно-адсорбированного слоя при ККМ [26].

Ингибирующая эффективность комплексов зависит также от их структуры. Как видно из молекулярной структуры, они способны к адсорбции на поверхности металла через неподеленную пару электронов N- и O-атомов, помимо  $\pi$ -электронов C = O группы [26].

Следует отметить, что комплексы, проявляющие свойства ингибитора коррозии, должны обладать низким значением ККМ [27]. Исходя из этого, SFADC обладает самой низкой ККМ, и следовательно, он считается наиболее эффективным ингибитором коррозии углеродистой стали в CO<sub>2</sub>-насыщенной пластовой воде. Это, по сути, согласуется с LPR-результатами, ион II создает хороший гидрофобный физический барьер для агрессивных ионов, и этим объясняется его высокая эффективность торможения процесса коррозии.

Полученные данные свидетельствуют о том, что эффективность торможения коррозии углеродистой стали в CO<sub>2</sub>-насыщенной пластовой воде в присутствии SFADC выше, чем в присутствии SFAMC. Это связано с тем, что SFADC содержит наибольшее количество атомов углерода, что приводит к усилению ингибирования коррозии углеродистой стали в исследуемой агрессивной среде.



*Рис. 4. Изменение скорости коррозии и эффективности торможения от концентрации ингибиторов I и II во времени для углеродистых сталей в CO<sub>2</sub>-насыщенной пластовой воде при 50°C*

*Табл. 6*

**Изменение параметров процесса коррозии углеродистой стали в пластовой воде, насыщенной CO<sub>2</sub> при 50°C, от концентрации ингибиторов SFAMC и SFADC**

Ингибиторы	Концентрация, ppm	Скорость коррозии (мг.см <sup>-2</sup> .ч <sup>-1</sup> )	(θ)	IE, %
Без ингибитора	0	0.825	----	----
SFAMC	100	0.288	0.6510	65.1
	200	0.181	0.7806	78.06
	300	0.115	0.8600	86.00
	400	0.078	0.9050	90.50
	500	0.054	0.9345	93.45
	600	0.045	0.9460	94.60
SFADC	100	0.274	0.6678	66.78
	200	0.167	0.7975	79.75
	300	0.101	0.8780	87.80
	400	0.064	0.9224	92.24
	500	0.04	0.9515	95.15
	600	0.031	0.9625	96.25

Последнее может быть связано с наличием длинной углеводородной цепи, которая обеспечивает большой охват поверхности с сильно адсорбированными молекулами ПАВ, формирующих хороший барьер между поверхностью металла и агрессивной средой.

Эффективности торможения коррозии, полученные из измерений веса для различных концентраций ингибитора I и II в CO<sub>2</sub>-насыщенной пластовой воде месторождения Раманы, приведены на рис. 4 и в табл.6.

Значение поверхностного покрытия ( $\theta$ ), скорость коррозии углеродистой стали (к), а также эффективность торможения (IE%) были рассчитаны по следующим формулам [28]:

$$\theta = W_0 - \frac{W}{W_0} \quad (3)$$

$$IE, \% = \left( W_0 - \frac{W}{W_0} \right) \times 100 \quad (4)$$

$$k = \frac{\text{потеря веса}}{\text{время}} \quad (5)$$

где  $W_0$  и  $W$  - значения потери веса в отсутствии и в присутствии ингибитора, соответственно. Полученные данные обобщены и в табл.5. Результаты показали, что за счет увеличения концентрации ингибитора как ( $\theta$ ), так и (IE%) возрастают, в то время как (к) снижается. Таким образом, ингибитор эффективно действует на границе "раствор – металл" [29]. Результаты также показывают, что эффективность торможения (IE%) ингибитора (II) больше, чем у ингибитора (I), что согласуется с результатами LPR-тестов коррозии.

Основные сведения о взаимодействии молекул ингибиторов и металлической поверхности могут быть получены из изотерм адсорбции. Значения поверхностного покрытия ( $\theta$ ) определены по уравнению (3) и получены из измерений веса при 323 К.

Корреляция между  $\theta$  и концентрацией ингибитора в агрессивной среде может быть представлена изотермой адсорбции Ленгмюра [30]:

$$\frac{C_{inh}}{\theta} = C_{inh} + \frac{1}{K_{ads}} \quad (6)$$

где  $K_{ads}$  – константа равновесия ингибитора в процессе адсорбции,  $C_{inh}$  – концентрация ингибитора. График зависимости  $C_{inh}/\theta$  от  $C_{inh}$  – прямая (рис.5), которая показывает, что при 323 К адсорбция исследуемых ингибиторов на поверхности металла подчиняется изотерме адсорбции Ленгмюра.

Это предполагает, что адсорбированные молекулы занимают только один слой и не происходит взаимодействия с другими адсорбированными молекулами. Линейные коэффициенты регрессии ( $g$ ) и другие параметры даны в табл. 7.

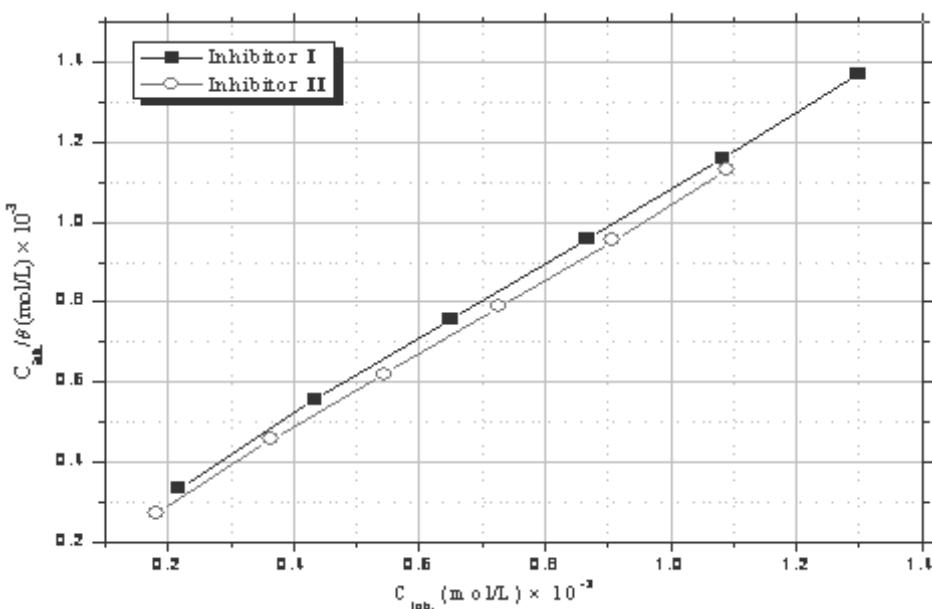


Рис. 5. Изотермы адсорбции Ленгмюра ингибиторов I и II в  $\text{CO}_2$ -насыщенной воде, полученные из измерений потери веса при температуре  $50^\circ\text{C}$

Табл. 7

Термодинамические параметры адсорбции SFAMC и SFADC в  $\text{CO}_2$ -насыщенной пластовой воде на поверхности образцов из углеродистой стали при 323 К

Ингибитор	Наклон	Регрессия	$K_{ads}(\text{M}^{-1})$	$\Delta G_{ads}^o$ ( $\text{kJ mol}^{-1}$ )
SFAMC	1.03	0.998	748.27	-39.36
SFADC	1.02	0.999	934.79	-42.67

Коэффициенты регрессии ( $r > 0.998$ ) указывают на то, что ингибирование коррозии углеродистой стали комплексами ПАВ объясняется адсорбцией их на поверхности металла. Тем не менее, участки зависимости  $C_{inh}/\theta$  от  $C_{inh}$  с наклоном, близким к 1 и с небольшим отклонением от 1, означают отклонение от изотермы адсорбции Ленгмюра [31]. Это может быть результатом взаимодействия между адсорбированными молекулами на поверхности металла [32,33]. Константа адсорбционного равновесия  $K_{ads}$  может быть рассчитана по следующей формуле:

$$K_{ads} = \frac{1}{55.5} \exp\left(-\frac{\Delta G_{ads}^o}{RT}\right) \quad (7)$$

Значение 55.5 в этом уравнении – молярная концентрация воды в растворе (моль/л) [34]. Относительно высокие значения константы равновесия адсорбции ( $K_{ads}$ , табл. 6) отражают высокую адсорбционную способность этих комплексов на поверхности металла [35]. Высокое значение  $K_{ads}$  для ингибитора II указывает на более высокую адсорбционную способность в сравнении с ингибитором I. Высокие значения  $K_{ads}$  означают более эффективную адсорбцию и, следовательно, высокую эффективность торможения процесса коррозии [36].

Высокие отрицательные значения ( $\Delta G_{ads}^o$ ) указывают на спонтанность адсорбции и сильное взаимодействие молекул ингибитора с поверхностью образцов из углеродистой стали [37]. Значения  $\Delta G_{ads}^o$  до -20 кДж моль<sup>-1</sup> соответствуют физической адсорбции, в то время как значения  $\Delta G_{ads}^o$  вблизи -40 кДж моль<sup>-1</sup> или выше связаны с хемосорбцией в результате обмена или передачи электронов от органических молекул на металлическую поверхность [38].

#### Выводы:

1. Синтезированы комплексы на основе кислот, выделенных из растительных масел, действующие как ингибиторы коррозии углеродистой стали в пластовой воде, насыщенной CO<sub>2</sub>.
2. Эффективность торможения (IE%) возрастает с увеличением концентрации ингибитора и достигает максимального значения вблизи критической концентрации мицеллообразования (ККМ).
3. Модель адсорбции подчиняется изотерме адсорбции Ленгмюра. Процесс адсорбции протекает спонтанно. Относительно высокое значение K<sub>ads</sub> отражает высокую адсорбционную способность молекул ингибитора на поверхности углеродистой стали. Термодинамические параметры процесса характерны для хемосорбции полученных реагентов.

#### REFERENCES

1. Reshetnikov S.M. Ingibitory kislotnoj korrozii metallov. M.: Himija. 1986. 187 p. (in Russia)
2. Traven' V.F. Organicheskaja himija. M.: BINOM. Laboratoriya znanij. V.3. 2013. 388 p. (in Russia)
3. Traven' V.F. Organicheskaja himija, M.: BINOM. Laboratoriya znanij. V.2. 2013. 517 p. (in Russia)
4. Lin X.-Z., Ni Q., Huang D.-Y., Zeng X.-M., Gong M. Dejstvie imidazolinovogo ingibitora korrozii, sintezirovannogo iz oleinovoj kisloty. // Fushi yu faunghu = Corros and Prot. 2013. 34. No. 2. Pp.126-128. (in Russia)
5. Zhang Yanwei, Lyu Huichao, Zhao Ling, Wang Yanfei, Zhao Liang. Sintez ingibitora korrozii na osnove akrilovoj kisloty i ego ingibirujushchie harakteristiki v ohlazhdajushhej vode. // H.Xinyang Norm. Univ. Sci. Ed. 2013. 26. No. 1. Pp. 108-110. (in Russia)
6. Urjadnikov A.A., Kamyskova M.A., Tsygankova L.E. Ispol'zovanie otstoev podsolnechnogo masla dlja zashhity stali ot atmosfernoj korrozii. // Vestn. Tamb. un-ta. Ser. estestv. i tehn. 2013. 18. No.1. Pp. 413-418. (in Russia)
7. Urjadnikov A.A. Antikorrozionnoe konservacionnye materialy na osnove othodov proizvodstva rastitel'nyh masel. // Avtoref. dis. na soisk. uch. step. kand. him. nauk. Tamb. gos. tehn. un-t. Tambov. 2013. 17 p. (in Russia)
8. Alieva F.H., Mamed'jarov M.A. Izuchenie vzaimosvjazi mezhdu himicheskoj strukturoj i stabil'nost'ju sinteticheskikh masel na baze efirov alkeniljantarnoj kisloty. // Neftehimija. 2008. V. 48. No.3. Pp. 238-240. (in Russia)
9. Alieva F.H. Izuchenie reakcii degidrokondensacii digeptilovogo efira okteniljantarnoj kisloty. // Azerbajdzhanskij himich. zhurnal. 2001. No. 3. Pp. 21-25. (in Russia)
10. Mamed'jarov M.A., Alieva F.H., Sejidov F.T. Sintez alkeniljantarnoj kisloty i issledovanie stoitnosti angidridov. // ANH. 1997. No. 9-10. Pp. 46-49. (in Russia)

11. **Mamed'jarov M.A., Alieva F.H.** Himicheskaja modifikacija efirov alkeniljantarnyh kislot. Neftepererabotka i neftehimija. No. 3-4. 2008. Pp.154-164. (in Russia)
12. **Alieva F.H.** Vlijanie na dinamicheskiju v'azkost' efirov gekseniljantarnoj kisloty – osnov sinteticheskikh masel. // Himija i tehnologija topliv i masel. No. 3. 2011. (in Russia)
13. **Bakulina L.A., Baranova E.N., Barmash A.I.**, Spravochnik tovaroveda prodovol'stvennyh tovarov. Rostov N/D «MarP». 2004. 264 p. (in Russia)
14. **T'ut'unikov B.N., Buhshtab Z.I., Gladkij F.F. et al.** Himija zhirov. M.: Kolos. 1992. 448 p.
15. **O'Braen R.** Zhiry i masla. Proizvodstvo, sostav i svojstva, primenie. SPb.: Professija, 2007. 752 p. (in Russia)
16. **Tjutjunikov B.N.** Himija zhirov. M. 1974. 365 p. (in Russia)
17. **Bezzubov L.P.** Himija zhirov. 3 izd. M. 1975. 460 p. (in Russia)
18. **Shherbakov V.G.** Biohimija i tovarovedenie maslichnogo syrja. 3 izd. M. 1979. (in Russia)
19. **Abbasov V. M., Abd El-Lateef Hany M., Aliyeva L. I., Ismayilov I. T., Mai M. Khalaf.** Inhibitive Performance Of Sulfated Fatty Acid Sodium Salt As Corrosion Inhibitor For Carbon Steel In CO<sub>2</sub>-Saturated Solutions. // Science Ia-Fund.Science. 2012. No. 2. X (42). Pp. 176-183.
20. **Abd El-Lateef H.M., Abbasov V.M., Aliyeva L.I., Qasimov E. E., Ismayilov I.T., Tantawy Ahmed H.** Application of complex surfactant based on cottonseed oil as CO<sub>2</sub>-corrosion inhibitor and for removing thin oil slicks from water surface. // Caspian Journal of Applied Sciences Research. 2012. 1(9). Pp. 57-67.
21. **Abd El-Lateef H. M., Abbasov V. M., Aliyeva L. I., Ismayilov T. I., Qasimov E. E., Ahmadov T. U.** Novel anionic surfactants based on cottonseed oil and their corrosion inhibition efficiency for carbon steel in CO<sub>2</sub> saturated solution. // Global J. Phys. Chem. 2012. Pp. 3-14.
22. **Bao-Yu Liu, Zheng Liu, Guo-Cheng Han, Yang-Hong Li.** Corrosion inhibition and adsorption behavior of 2-((dehydroabietylamine) methyl)-6-methoxyphenol on mild steel surface in seawater. // Thin Solid Films 519. 2011. Pp. 7836-7844.
23. **Abbasov V. M., Abd El-Lateef Hany M., Aliyeva L.I., Ismayilov T.A., Ismayilova X.R.** Development of New Eco-Friendly. Corrosion Inhibitors Based on Vegetable Oils for Protection from CO<sub>2</sub> Corrosion, // Chemistry Journal (2012).V. 2. Issue 2. Pp. 37-51.
24. **Farelas F., Ramirez A.** Carbon Dioxide Corrosion Inhibition of Carbon Steels Through Bis-imidazoline and Imidazoline Compounds Studied by EIS, Int. //J. Electrochem. Sci. 5 (2010). Pp. 797-814.
25. **Taleb H. Ibrahim, Mohamed Abou Zour.** Corrosion inhibition of mild steel using fig leaves extract in hydrochloric acid solution. // J.Electrochem. Sci. 6 (2011). Pp.6442-6455.
26. **Keera S.T., Deyab M.A.** Effect of some organic surfactants on the electrochemical behaviour of carbon steel in formation water, Colloids and Surfaces A. //Physicochem. Eng. Aspects 266 (2005). Pp.129-140.
27. **Quraishi M.A., Wajidkhan M.A., Ajmal M., Muralidharan S., Venkatakrishmaiyer S., Corros Br. J.A.M. Alsabagh, M.A. Migahed, Hayam S. Awad.** Reactivity of polyester aliphatic amine surfactants as corrosion inhibitors for carbon steel in formation water (deep well water). // Corrosion Science. 32 (1997) 72. 48 (2006). Pp. 813-828
28. **Migahed M.A., Abd-El-Raouf M., Al-Sabagh A.M., Abd-El-Bary H.M.** Effectiveness of some non ionic surfactants as corrosion inhibitors for carbon steel pipelines in oil fields. // Electrochimica Acta. 50 (2005). Pp. 4683-4689.
29. **Migahed M.A.** Corrosion inhibition of steel pipelines in oil fields by N. N-di(poly oxy ethylene) amino propyl lauryl amide. // Progress in Organic Coatings. 54 (2005). Pp. 91-98.

30. **Zhihua Tao, Shengtao Zhang, Weihua Li, Baorong Hou.** Corrosion inhibition of mild steel in acidic solution by some oxo-triazole derivatives. // Corrosion Science. 51 (2009). Pp. 2588-2595.
31. **Badawy W.A., Ismail K.M., Fathi A.M.** Corrosion control of Cu–Ni alloys in neutral chloride solutions by amino acids. // Electrochim. Acta. 51 (2006). Pp.4182-4189.
23. **Migahed M.A., Monhamed H.M., Al-Sabagh A.M.** Corrosion inhibition of H-l 1 type carbon steel in 1 M hydrochloric acid solution by N-propyl amino lauryl amide and its ethoxylated derivatives. // Mater. Chem. Phys. 80 (2003). Pp. 169-173
33. **A. Azim, L.A. Shalaby, H. Abbas,** Mechanism of the corrosion inhibition of Zn Anode in NaOH by gelatine and some inorganic anions. //Corros. Sci. 14 (1974). Pp. 21-24.
34. **J. Flis, T. Zakroczymski,** Impedance study of reinforcing steel in simulated pore solution with tannin. // J. Electrochem. Soc. 143 (1996). 2458 p.
35. **Abbasov V.M., Hani M.Abu Jel-Latif., L.I.Alieva, Je.Je.Gasymov, I.T.Ismajlov, Maja M.Halof.** PAV na osnove zhirnyh kislot v kachestve ingibitorov korrozii stali v plastovyh vodah soderzhashhih SO<sub>2</sub>. // Proc. Neftehimii i nefteper. 2012. V.13. No. 3. Pp. 219-232. (in Russia).
36. **Refay S.A., Taha F., Abd El-Malak A.M.** Appl. Surf. Sci. 236 (2004). Pp. 175-183.
37. **Abbasov V. M., Abd-Jel-Ljatif Hani M., Alieva L.I., Ismailov T.I., Ismailova H. R.** Sintez i issledovanie ingibitorov korrozii na osnove podsolnechnogo masla dlja zashhity uglerodistoj stali ot CO<sub>2</sub>-korrozii. // Processy neftehimii i neftepererabotki. 2012. V. 1. No. 1. Pp. 3-21. (in Russia)
38. **Abbasov V.M., Abd-Jel-Ljatif Hani M., Alieva L.I., Ismailov, Gasymov Je.Je., Ahmedov T.U.** Anionnye PAV na osnove hlopkovogo masla – ingibitory I.T. CO<sub>2</sub>-korrozii stali. // Processy neftehimii i neftepererabotki. 2012. V. 13. No. 2 (50). Pp. 120-138 (in Russia)

### DOYMAMIŞ SİNTETİK VƏ TƏBİİ ÜZVİ TURŞULAR, ONLARIN TÖRƏMƏLƏRİ VƏ TƏTBİQİ

V.M. ABBASOV, N.M. RZAYEVA, L.I. ALİYEVA, S.A. MƏMMƏDXANOVA, A.H. TALIBOV

Bitki mənşəli yağılarından təbii yağ turşularının sulfotörəmələri sintez edilərək onların fiziki-kimyəvi xassələri həmçinin müxtəlif həllədicilərdə həll olma qabiliyyətləri öyrənilmişdir. Sintez olunmuş sulfoturşularından onların duzları və kompleksləri alınaraq CO<sub>2</sub> ilə doydurulmuş 1%-li NaCl məhlulunda inhibitorluq aktivliyi öyrənilmişdir. Alınmış nəticələrə əsasən göstərmişdir ki, doymamış bitki yağıları birləşmələri əsasında polifunksional, yüksək effektə malik olan korroziya inhibitorları hazırlamaq olar.

*Açar sözlər:* hədsiz turşular, təbii turşular, sulfoturşular, korroziya inhibitorları, bitki mənşəli yağılar, CO<sub>2</sub>-korroziya.

### UNSATURATED SYNTHETIC AND NATURAL ORGANIC ACIDS, THEIR DERIVATES AND APPLICATION

V.M. ABBASOV, N.M. RZAYEVA, L.I. ALİYEVA, S.A. MAMEDKHANOVA, A.H. TALIBOV

Sulfonic acids has been studied on the basis of fatty acids extracted from vegetable oils, their physical-chemical properties and ability to dissolve in various solvents have been examined. Sulfonic acid was used to obtain salts and complexes, its inhibitory activity in 1% NaCl aqueous solution saturated with CO<sub>2</sub> were revealed. The gathered data showed that, based on unsaturated organic acids also including those obtained from plants, semi-functional and highly effective corrosion inhibitors and other protectants can be created.

*Key words:* unsaturated acids, natural acids, sulfonic acids, corrosion inhibitors, vegetable oils, CO<sub>2</sub>-corrosion.

## СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ МАКРОЦИКЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ С ЧЕТВЕРТИЧНЫМИ АММОНИЕВЫМИ ЦЕНТРАМИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТЕЙ

Л.Т. РЗАЕВА, Г.Ф. МИРАЛАМОВ, Ч.И. МАМЕДОВ

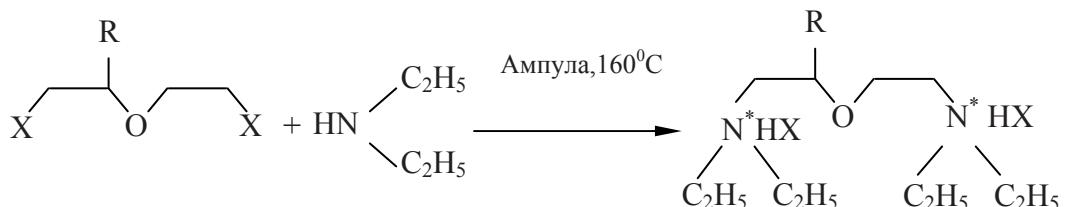
В статье приводится оригинальный способ синтеза макроциклических соединений с четвертичными аммониевыми центрами в кольце. Синтезы осуществлены исходя из легко-доступных  $2,2^1$ -дигалогендиалкиловых эфиров и бис-третичных аминов.

Полученные регуляторы снижают вязкости тяжелых нефтей и уменьшают количество нефтяных смол.

**Ключевые слова:** смолы, плотность, вязкость, регулятор, синтез.

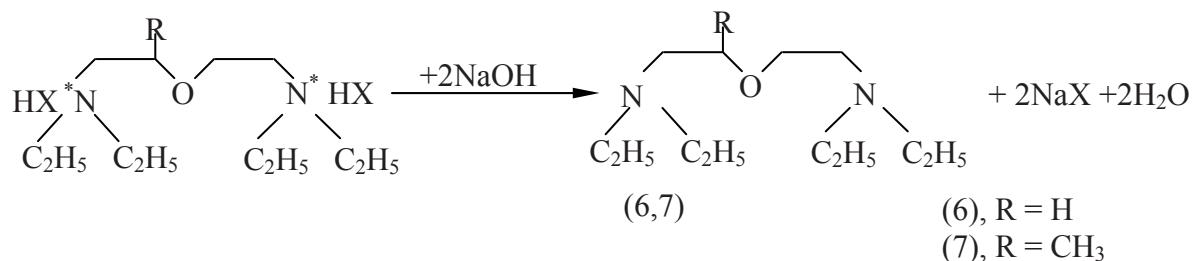
В тяжелых нефтях Азербайджана происходят нежелательные процессы, связанные с самосборкой и самообразованием, приводящие к образованию наноструктур: нефтяные смолы, асфальтены и др. Эти явления приводят к ухудшению реологических свойств нефтей. В поиске эффективных реагентов, улучшающих реологические свойства нефтей, нами разработана новая группа макроциклических соединений, содержащих четвертичные аммониевые центры в кольце.

Известно, что линейные органические соединения, содержащие четвертичные аммониевые фрагменты, обладают способностью регулировать реологические свойства нефтей [1]. В связи с этим представляло несомненный интерес синтезирование макроциклических соединений с четвертичными аммониевыми фрагментами в кольце и применение этих веществ в нефтяной промышленности. Имея в своем распоряжении  $\beta,\beta^1$ –дигалогендиалкиловые эфиры [2, 3], мы разработали новый способ получения макроциклических соединений, содержащих четвертичные аммониевые фрагменты в кольце. Сущность данного способа заключается в том, что  $\beta,\beta^1$ –дигалогендиалкиловые эфиры (1), (2), (3) на первой стадии превращаются в соответствующие галогенводородные соли бис-третичных аминов (4) и (5), при нагревании их реакционной смеси в стеклянной ампуле при температуре  $160^0\text{C}$  в течение 9 часов.






По окончании процесса реакционная масса нейтрализуется концентрированным водным раствором едкого натра, образующийся бис-третичный амин экстрагирует эфиром.



При этом эфир удаляется и остаток перегоняется. Выход полученных аминов (6), (7) составляет ~55%. Молекулярные массы полученных аминов устанавливали потенциометрическим титрованием стандартным раствором соляной кислоты. Наличие двух аминных групп в этих соединениях (6) и (7) также определено потенциометрическим титрованием стандартным раствором 0,005M раствором соляной кислоты.

Строения бис-третичных аминов (6), (7) подтверждены также изучением их ЯМР-спектров. В спектре ЯМР соединения (6) имеется четырехпротонный триплетный сигнал при 3,35 м.д., характеризующий наличие метиленовых протонов  $\text{CH}_2\text{--O--CH}_2$ -группы. Триплетный четырехпротонный сигнал при 3,12 м.д. характеризует наличие двух  $\begin{array}{c} \text{---CH}_2 \\ | \\ \text{---N---} \\ | \\ \text{---CH}_2 \end{array}$  фрагментов. Восьмипротонный мультиплетный

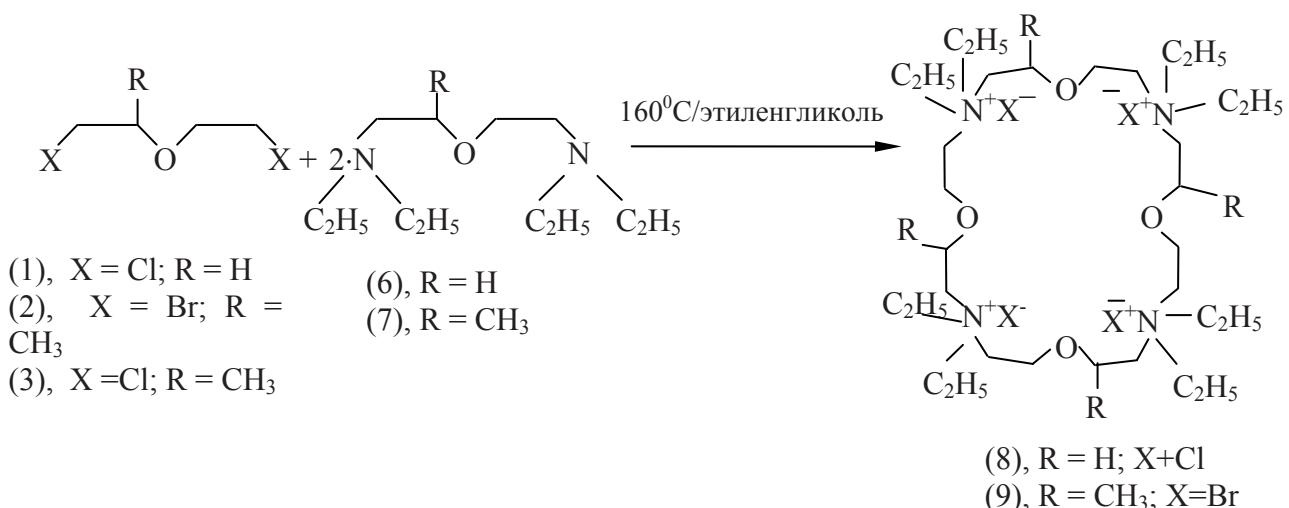
в соединении (6). Триплетный сигнал при 1,52 м.д. (12Н) соответствует протонам четырех метильных групп.

В спектре ЯМР соединения (7) обнаружен мультиплетный сигнал метильной группы интенсивностью 3Н при 1,25 м.д., указывающий водороды фрагмента  $-\text{CH}-\text{O}-\text{CH}_2-$

Мультиплетный сигнал при 1,26 м.д. интенсивностью 3Н соответствует протонам  $-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-$  фрагмента. Квартетный сигнал при 2,67 м.д. интенсивностью 8Н характеризуют метиленовые протоны четырех  $-\text{CH}_2-\text{N}-$  фрагментов. Триплетный сигнал при 1,22 м.д. интенсивностью 12Н соответствует протонам четырех метильных групп.

Замечательной особенностью бис-третичных аминов (6), (7) является то, что эти соединения содержат два третичных аминных центра, которые довольно легко взаимодействуют с алкилгалогенидами и превращаются в четвертичные аммониевые фрагменты.

Имея в своем распоряжении бис-третичные амины (6,7) и 2,2-дигалогендиалкиловые эфиры (1-3), нам представлялось интересным осуществить синтез макроциклических соединений, содержащих четвертичные аммониевые центры, которые являются эффективными регуляторами для улучшения реологических свойств тяжелых нефтьей [1]. Макроциклизация протекает по схеме [2+2] в сверхразбавленном растворе этиленгликоля при нагревании смеси при температуре 160<sup>0</sup>C в присутствии шаблонного вещества KCl и при перемешивании.

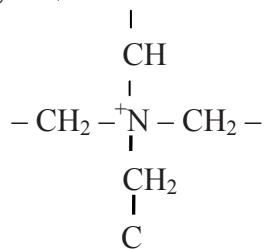


Конец реакции установили методом тонкослойной хроматографии по полному расходу бис-третичных аминов. 2/3 объема этиленгликоля удаляется в вакууме с помощью водоструйного насоса. При комнатной температуре из концентрированного раствора этиленгликоля в осадок выпадают белые кристаллы макроциклического соединения. Выходы с Т. плавления 211<sup>0</sup>C и 215<sup>0</sup>C соответственно макроциклических соединений (8), (9) после перекристаллизации из этанола составляют 55-58%.

Содержание атомов галогена в соединениях (8) и (9) установлено методом потенциометрического титрования стандартным 0,01M раствором AgNO<sub>3</sub>. Содержание иона-хлора в соединении (8) составляет Cl 26.63 %: C<sub>16</sub>H<sub>72</sub>O<sub>4</sub>N<sub>4</sub>Cl<sub>4</sub>.

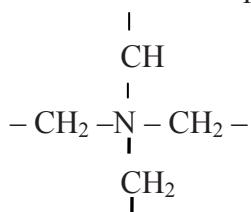
Вычислено: Cl 26.99%. Содержание иона брома в соединении (9) найдено, Br 41.39 %.  $C_{20}H_{84}O_4N_4Br_4$ . Вычислено, Br 41.88%.

В спектре ЯМР соединения (8) обнаружены мультиплетный сигнал при 2,68 м.д. интенсивностью 32Н, характеризующий наличие четырех фрагментов:

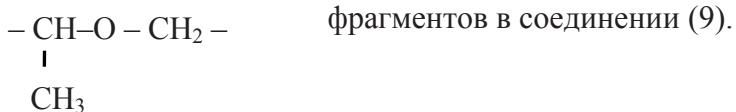


Триплетный сигнал интенсивностью 16Н соответствует четырем  $\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2$ -фрагментам. Мультиплетный сигнал интенсивностью 24Н относится к протонам восьми метильных групп.

В спектре соединения (9) обнаружен мультиплетный сигнал при 2,63 м.д. интенсивностью 32Н, соответствующей метиленовым протонам четырех фрагментов

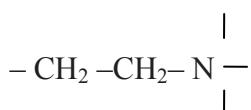


в молекуле. Двенадцатипротонный мультиплетный сигнал при 3,21 м.д. характеризует наличие четырех

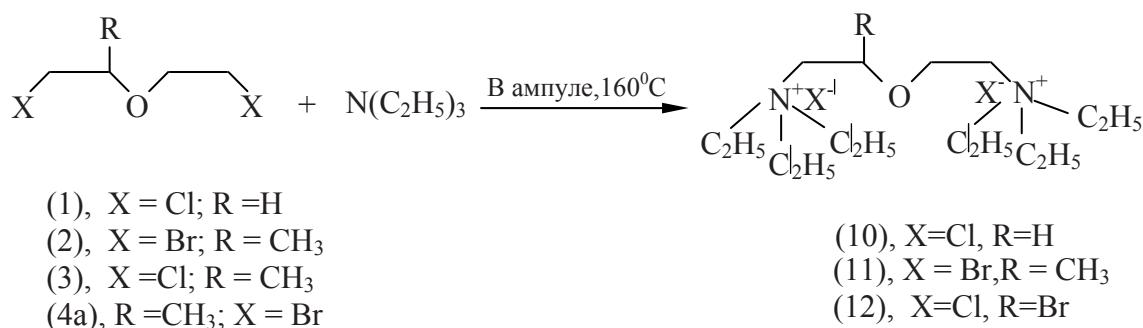


Мультиплетный сигнал протонов четырех метильных групп проявляется при 1,26 м.д. интенсивностью 12Н.

Триплетный сигнал при 1,12 м.д. интенсивностью 24Н характеризует протоны метиленовых групп в восьми фрагментах:



Для сравнения свойств макроциклических четвертичных аммониевых солей (8) и (9) с линейными аналогами нами получены бис-четвертичные аммониевые соли (10), (11) и (12) путем взаимодействия соответствующих 2,2<sup>1</sup>-дигалогендиалкиловых эфиров (1-3) с триэтиламином по схеме:



Реакция проводится нагреванием смеси триэтиламина и соответствующего дигалогенэфира в стеклянной ампуле при температуре 160°C.

При этом образуются белые кристаллы бис-четвертичных аммониевых солей (10-12), которые позволяют снизить вязкость исходной нефти в 4,53 – 7,74 раз. Полученные результаты позволяют рекомендовать эти соединения для применения в нефтяной промышленности в качестве активной основы для создания высокоеффективных композиционных присадок регуляторов вязкостных характеристик при добыче и транспортировке высокосмолистой нефти. Кроме того, данные образцы могут способствовать отделению воды из нефти.

**Табл.**

**Бис-третичные амины и макроциклические бис-четвертичные аммониевые соли в качестве регулятора динамической вязкости при различных скоростях их сдвига**

№ вещества	Эффективность вещества при дозировке, % масс.				
	Исходная нефть смолистая	0,03 %		0,041 %	
		Вязкость динамическая, Па <sup>0</sup> С	Вязкость динамическая, Па <sup>0</sup> С	Индекс эффективности	Вязкость динамическая, Па <sup>0</sup> С
Скорость сдвига 4 сек <sup>-1</sup>					
10	28,6	17,6	1,625	14,8	1,93
11	28,6	21,4	1,336	17,5	1,63
8	28,6	4,2	6,81	3,61	7,92
9	28,6	7,21	3,97	5,05	5,66
Скорость сдвига 8 сек <sup>-1</sup>					
10	28,6	15,628	1,83	12,94	2,21
11	28,6	18,94	1,51	16,34	1,75
8	28,6	4,06	7,04	3,54	8,06
9	28,6	7,096	4,03	5,56	5,14
Скорость сдвига 10 сек <sup>-1</sup>					
10	28,6	15,459	1,85	12,70	2,25
11	28,6	18,57	1,54	15,376	1,86
8	28,6	7,00	7,15	3,77	7,58
9	28,6	6,777	4,22	4,028	7,10
Скорость сдвига 20 сек <sup>-1</sup>					
10	28,6	16,067	1,78	8,993	3,18
11	28,6	17,987	1,59	13,364	2,14
8	28,6	4,097	6,28	3,695	7,74
9	28,6	6,529	4,38		4,53

Строения полученных макроциклических соединений (8) и (9) приняты на основании данных тетриметрического анализа и изучением их ЯМР-спектров.

Полученные четвертичные соли (8), (9), (10) и (11) способны регулировать реологические свойства нефтяных дисперсных систем. Эти соединения (5) и (6) испытаны в качестве присадок – регуляторов вязкостных характеристик высокосмолистой нефти «Сиязаньнефть» (Азербайджан), содержащий смолу более 50% и асфальтенов (12,5%). Для исследуемых присадок готовили их 5, 10, 15, 25%-ные растворы в толуоле и вводили в исходную нефть в дозировках от 0,035% масс. до 0,15% масс. Реологические исследования исходной нефти проводили на вискозиметре типа ВУ, позволяющем определить условные вязкости нефтепродуктов (ВУ по ГОСТ 1532-81). В ходе исследования определялась динамическая вязкость исходной нефти и нефти с присадками при различных скоростях течения или так называемой скорости сдвига при температуре +12°C. Температура +12°C выбрана как наиболее характерная для условий, в которых приходится транспортировать высоковязкие и аномальные нефти. Полученные результаты при скорости сдвига 4 сек<sup>-1</sup>, 8 сек<sup>-1</sup>, 10 сек<sup>-1</sup> и 20 сек<sup>-1</sup> приведены в таблице. Для более наглядного сравнения синтезированных веществ в качестве присадок, регулирующих вязкость нефти, рассчитаны индексы эффективности присадок по формуле:

$$\tau_{\text{эфф}} = \eta_{\text{н}} / \eta_{\text{пр}}$$

где  $\tau_{\text{эфф}}$  – индекс эффективности присадок нефти,

$\eta_{\text{н}}$  – динамическая вязкость исходной нефти, Па<sup>\*</sup>с;

$\eta_{\text{пр}}$  – динамическая вязкость нефти с добавкой присадки Па<sup>\*</sup>с.

Индекс эффективности присадок  $\tau_{\text{эфф}}$  показывает, во сколько раз динамическая вязкость нефти с добавками исследуемых присадок отличается от динамической вязкости исходной нефти. Чем больше величина индекса эффективности  $\tau_{\text{эфф}}$ , тем выше способность изучаемой присадки улучшать реологические свойства нефти. Величины индексов эффективности присадок  $\tau_{\text{эфф}}$  при их различных дозировках приведены в таблице.

На основании приведённых экспериментальных данных мы полагаем, что в ряду бис-четвертичных аммониевых соединений для конструирования и синтеза веществ с повышенной способностью снижать вязкостные характеристики высокосмолистой нефти необходимо принимать во внимание несколько положений. Повышение способности соединений к регулированию реологических свойств нефти достигается при уменьшении длины гидрофобных углеводородных радикалов в отдельных фрагментах, при увеличении длины полярного фрагмента, разрывающего гидрофобность углеводородных фрагментов в бис-четвертичных аммониевых соединениях, замене в аммонийном центре при атоме азота двух бутильных радикалов на два этильных. Эти данные позволяют рекомендовать бис-четвертичные соли для применения в нефтяной промышленности в качестве активной основы для создания высокоэффективных композиционных присадок-регуляторов вязкостных характеристик при добыче и транспортировке высокосмолистой нефти. Результаты определений бис-четвертичных солей (10) и (11) и макроциклических четвертичных солей в качестве регуляторов динамической вязкости нефти при различных скоростях сдвига приведены в таблице.

**Заключение.** Как видно из приведённых данных, уменьшение гидрофобных радикалов в макроциклических фрагментах приводит к увеличению эффективности реологических свойств. Замена бутильных радикалов этильными радикалами в макроциклическом кольце приводит к увеличению реологических свойств. Установлено, что макроциклические соединения, содержащие четыре центра опсиэтиленовые фрагменты и четыре центра кватеринизированных азотов, обладают способностью резко снижать вязкостные характеристики высокосмолистой нефти. Особенно следует отметить, что макроциклические соединения (8), (9), снижающие вязкость, резко отличаются от линейных аналогов.

## REFERENCES

1. **Fahretdinov P.S.** Funkcional'no-zameshennye N-[poli (alkilenoksi) karbonilmetil] ammonievye soedinenija. Sintez, svojstva i primenenie v neftjanoy promyshlennosti. Diss. na soiskanie uchenoj stepeni kand.him.nauk. Kazan'. 1997. (in Russia)
2. **Shabanov A.A., Movsumzade M.M. et all.** Soprjazhennoe galogenirovanie nepredel'nyh soedinenij s oksiranami. ZhOH. V.VIII. 1972. Pp. 85-88. (in Russia)
3. **Movsumzade M.M., Shabanov A.D. et all.** Soprjazhennoe bromirovanie smesej epoksidov s olefinami. ZhOH. V.VII. 1971. Pp. 1373-1376. (in Russia)

## NEFTİN REOLOJİ XASSƏLƏRİNİN YAXŞILAŞDIRILMASI MƏQSƏDİ İLƏ DÖRDLÜ AMMONİUM MƏRKƏZLİ MAKROTSİKLİK BİRLƏŞMƏLƏRİN SİNTEZİ VƏ TƏTBİQİ

L.T. RZAYEVA, H.F. MİRƏLƏMOV, Ç.İ. MƏMMƏDOV

Neftin reoloji xassələrini yaxşılaşdırın effektiv reagentlərin axtarışında həlqədə dördlü ammonium mərkəzi saxlayan yeni qrup makrotsiklik birləşmələrin alınması üsulu bizim tərəfimizdən işlənib hazırlanmışdır. Neft sənayesində dördlü ammonium birləşmələrinin böyük reoloji təsirini nəzərə alaraq tərəfimizdən həlqəsində dördlü ammonium mərkəzi olan makrotsiklik birləşmələrin orijinal sintez üsulu işlənib hazırlanmışdır. Sintezlər, asan tapılan bis-üçlü aminlər və 2,2'-dihalogenidlək ilə aparılmışdır.

Aldığımız tənzimləyicilər ağır neftlərin özlülüyünü və neft qətranlarını azaldır.

*Açar sözlər:* qətranlar, sıxlıq, özlülük, tənzimləyici, sintez.

## SYNTHESIS AND APPLICATION OF MACROCYCLIC COMPOUNDS WITH QUATERNARY AMMONIA CENTERS FOR IMPROVING RHEOLOGICAL PROPERTIES OF OILS

L.T. RZAYEVA, H.F. MIRALAMOV, CH.I. MAMEDOV

Taken into account the large theological significance of quaternary ammonium compounds in the oil industry, the paper's authors have developed the unique method of synthesis of the macro-cyclic compounds with quaternary ammonium in the center of ring. Syntheses are carried out on the basis of easily accessible 2,2'-digalogen alkyl ethers and bis-tertiary amine.

The resulting regulators reduce viscosity of heavy oil and reduce the amount of petroleum resins.

*Key words:* resins, density, viscosity, regulator, synthesis.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ЧЕЛОВЕКОМ-ОПЕРАТОРОМ СОЦИОТЕХНИЧЕСКОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Т.Р. ДЖАФАРЗАДЕ<sup>1</sup>, Т.Ф. ШМЕЛЕВА<sup>2</sup>, Ю.В. СИКИРДА<sup>3</sup>

Проведен социотехнический анализ авиационной системы, в результате которого классифицированы, формализованы и системно обобщены разнородные факторы, влияющие на принятие решения человеком-оператором в ожидаемых и неожидаемых условиях эксплуатации воздушного судна. Получены базовые модели пилотов и диспетчеров гражданской авиации, а также пилотов и штурманов для исследования влияния на их профессиональную деятельность социально-психологических и индивидуально-психологических факторов. Определено влияние системы предпочтений пилотов и диспетчеров гражданской авиации на концепцию их поведения.

**Ключевые слова:** социотехническая аeronавигационная система, человек-оператор, социально-психологические факторы, индивидуально-психологические факторы, полетная ситуация, система предпочтений, концепция поведения, выбор оператора, положительный (отрицательный) полюс.

**Введение.** В мировой транспортной системе важное место принадлежит авиации. Необходимой составляющей авиационного транспорта является авиационно-транспортная система (АТС), которая обеспечивает организацию воздушного движения безопасным, регулярным и эффективным аeronавигационным обслуживанием. Выполнение этих требований при различной интенсивности и плотности полетов, неблагоприятных погодных условиях, при возможных отказах средств аeronавигации и влиянии человеческого фактора является сложной задачей, решением которой занимаются научные и авиационные специалисты в течение всей истории авиации. Статистические данные об авиационных происшествиях (АП) за последние десятилетия указывают на доминирующее влияние человеческого фактора на общее количество АП, которое составляет около 80% [1–5].

<sup>1</sup> Национальная академия авиации Азербайджана, г. Баку

<sup>2</sup> Национальный авиационный университет, г. Киев

<sup>3</sup> Кировоградская летная академия Национального авиационного университета, г. Кировоград

Значительная часть АП (49%) приходится на сознательные нарушения членами экипажей воздушных судов (ВС) летных законов, правил и инструкций [1] и нарушения в процессе предполетной подготовки (42%) [3]. Это свидетельствует о том, что, во-первых, АТС по принципам функционирования следует считать социотехнической системой (СТС), и, во-вторых, что именно оптимизация социально-психологических факторов как в процессе выполнения полета, так и на стадии предполетной подготовки обусловливает большие возможности сокращения количества АП.

Авиационно-транспортная социотехническая система представляет собой сложную крупномасштабную, высокотехнологическую человека-машинную систему, функционирование которой связано с деятельностью человека-оператора (Ч-О) в условиях высокого риска / высокой опасности; результаты действий Ч-О могут быть опасными, часто катастрофическими с точки зрения потери жизни и имущества [5, 6]. Чем больше Ч-О с помощью высоких технологий контролирует производственный процесс, тем более непрозрачным становится результат деятельности системы, что сопровождается высокой степенью риска возникновения катастрофических последствий [7].

Важным является проведение исследований закономерностей деятельности операторов АТС в ожидаемых и неожидаемых условиях эксплуатации ВС, своевременная оценка и предупреждение развития полетной ситуации в сторону усложнения благодаря учету индивидуальных качеств лица, принимающего решения (ЛПР). Систематизация и формализация факторов профессионального (уровень знаний, навыков, умений) и непрофессионального характера (физических, физиологических, индивидуальных, психологических, социальных и т.п.), которые влияют на Ч-О в момент принятия решения (ПР), и представление АТС как СТС позволяет учесть влияние социальной культурной среды на ЛПР. Актуальным является также применение результатов исследований в техногенном производстве, а именно в атомной энергетике и химической промышленности, для предупреждения угроз на оперативном уровне при опасном управлении эксплуатационного персонала как мониторинг эмоционального состояния оператора сложного производства.

Эволюцию авиационных систем в сторону социотехнических систем можно исследовать по изменениям и дополнениям известной модели человеческого фактора SHELL (1972 г.) интерфейсами, связанными с культурой Ч-О – «SCHELL model and CRM» – «Software (процедуры), Culture (культура), Hardware (техника), Environment (окружающая среда), Liveware (субъект), Liveware (люди)» [8].

Исследование процессов, связанных с ПР Ч-О, относится к задачам: классической и инженерной психологии (моделирование операторской деятельности в авиации и космонавтике – В.Ф. Венда, В.Г. Денисов, В.Ф. Онищенко; моделирование динамических характеристик Ч-О – И.Е. Цибулевский, В.Н. Казак; характеристики Ч-О – М.А. Котик, Б.Ф. Ломов и др.); социальной психологии (групповое ПР – Г.М. Андреева, Д. Майерс, Дж. Морено, Н.В. Бахарева; восприятие информации, ПР как способа организации взаимодействия с внешней средой – К. Бриггс, И. Майерс; информационный обмен личности со средой – А. Аугустинович, соционика с применением в системе профессиональ-

ного отбора авиационных специалистов – Н.Ф. Михайлик). При этом авторы придерживаются разных представлений о фундаментальных характеристиках человеческой личности, их функциях и значимости в процессе осуществления операторской деятельности, в том числе взаимодействий в коллективе и с окружающей средой. Исследования направлены на решение отдельных вопросов; интеграция их результатов в рамках системного подхода еще не осуществлена.

Разнородность факторов, влияющих на принятие решений оператором, и их естественная нестабильность не позволяют для оптимизации АТС как СТС в целом применить классические методы агрегирования, принятые для многокритериальных задач, например, методы паретооптимальной оптимизации. Поэтому актуальной задачей является проведение социотехнического анализа АТС, систематизация и формализация факторов, влияющих на ПР Ч-О АТС. Для исследования закономерностей деятельности Ч-О в АТС как СТС особую значимость имеет выявление личностных свойств Ч-О и определение соответствующих моделей предпочтений, которые описывают приоритеты Ч-О АТС согласно его поведению на множестве выбора [9, 10].

1. Проведение социотехнического анализа АТС, систематизация, формализация и обобщение факторов, влияющих на ПР Ч-О АТС .

2. Получение базовых моделей пилотов и диспетчеров гражданской авиации (ГА), пилотов и штурманов для определения влияния социально-психологических факторов при возникновении внештатной ситуации.

3. Определение системы предпочтений пилотов и штурманов относительно значимости влияния индивидуально-психологических факторов при развитии полетной ситуации от нормальной до катастрофической.

4. Исследование влияния системы предпочтений на концепцию поведения пилотов и диспетчеров ГА.

**Социотехнический анализ АТС.** Как показал социотехнический анализ АТС [10-13], на Ч-О в процессе выполнения профессиональных обязанностей влияет множество факторов, систематизация которых позволяет оценить качество ПР и эффективность работы системы в целом, а также оптимизировать деятельность операторов.

Определено, что Ч-О АТС находится под влиянием следующих факторов:

– профессиональных факторов (professional factors):

$$\bar{F}_p = \{F_{ed}, F_{exp}\}, \quad (1)$$

где  $F_{ed}$  – профессиональное обучение [12];

$F_{exp}$  – профессиональная деятельность [13];

– факторов непрофессионального характера (non-professional factors):

$$\bar{F}_{np} = \{F_{sp}, F_{ip}, F_{pf}\}, \quad (2)$$

где  $F_{sp}$  – социально-психологические качества Ч-О;

$F_{ip}$  – индивидуально-психологические качества Ч-О;

$F_{pf}$  – психофизиологические качества Ч-О.

Предложен метод обобщения неоднородных факторов с помощью теоретико-множественного подхода, позволяющего учесть структурную иерархичность, разнородность, динамическую нестабильность факторов профессиональной и непрофессиональной деятельности, влияющих на ПР Ч-О АТС, и определить условия для их оценки:

$$\bar{F} = \bar{F}_p \cup \bar{F}_{np} \cup \bar{F}_{st}, \quad (3)$$

где  $\bar{F}_p = \{\bar{F}_{ed}, \bar{F}_{exp}\}$  – факторы профессиональной деятельности Ч-О;

$\bar{F}_{ed}$ ,  $\bar{F}_{exp}$  – знания, навыки, умения, полученные Ч-О в процессе обучения и профессиональной деятельности соответственно;

$\bar{F}_{np} = \{\bar{F}_{ip}, \bar{F}_{pf}, \bar{F}_{sp}\}$  – факторы непрофессионального характера;

$\bar{F}_{ip} = \{f_{ipt}, f_{ipa}, f_{ipp}, f_{ipth}, f_{ipi}, f_{ipn}, f_{ipw}, f_{iph}, f_{exp}, f_{me}\}$  – множество индивидуально-психологических качеств Ч-О (темперамент  $f_{ipt}$ ; внимание  $f_{ipa}$ ; восприятие  $f_{ipp}$ ; мышление  $f_{ipth}$ ; воображение  $f_{ipi}$ ; воля  $f_{ipw}$ ; здоровье  $f_{iph}$ ; опыт  $f_{exp}$ ; память  $f_{me}$ );

$\bar{F}_{pf} = \{f_{pft}, f_{pfn}, f_{pft}, f_{pfld1}, f_{pfld2}, f_{pfld3}\}$  – множество психофизиологических качеств Ч-О (временная задержка сенсорной реакции Ч-О  $f_{pft}(T_t)$ ; нервно-мышечное запаздывание  $f_{pfn}(T_n)$ ; коэффициент усиления Ч-О  $f_{pft}(T_t)$ , зависит от времени на ПР; спонтанный тип деятельности Ч-О  $f_{pfld1}(D_1)$ ; эмоциональный тип деятельности Ч-О  $f_{pfld2}(D_2)$ ; рассудительный тип деятельности Ч-О  $f_{pfld3}(D_3)$ );

$\bar{F}_{sp} = \{f_{spm}, f_{spe}, f_{sps}, f_{spp}, f_{spl}\}$  – множество социально-психологических качеств Ч-О (духовные и культурные ориентиры личности  $f_{spm}$ ; экономические интересы личности  $f_{spe}$ ; социальные приоритеты личности  $f_{sps}$ ; политические взгляды личности  $f_{spp}$ ; отношение к правовым нормам личности  $f_{spl}$ );

$\bar{F}_{st} = \{F_{st}\}$  – множество социотипов Ч-О.

На рис. 1 представлено комплексное воздействие факторов профессиональной деятельности и непрофессионального характера на ПР Ч-О АТС, на рис. 2 – графическая интерпретация метода обобщения неоднородных факторов с помощью теоретико-множественного подхода.

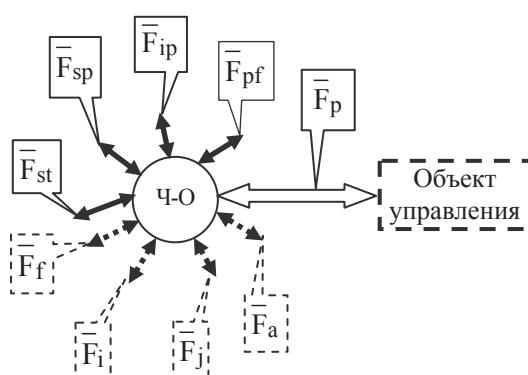


Рис. 1. Комплексное влияние факторов профессиональной и непрофессиональной деятельности на ПР Ч-О АТС

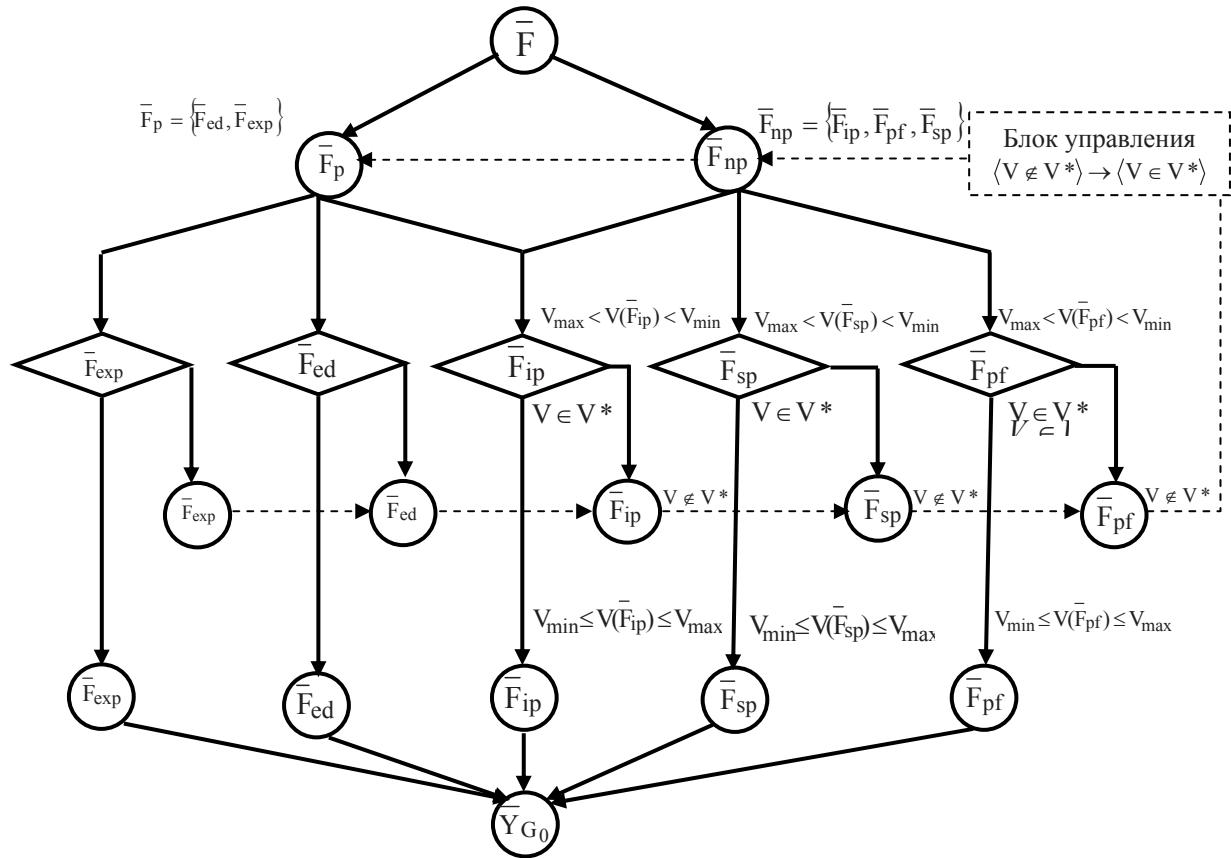


Рис.2. Графическая интерпретация метода обобщения неоднородных факторов

**Базовые модели предпочтений операторов АТС относительно важности влияния социально-психологических факторов.** Степень важности влияния социально-психологических факторов на Ч-О АТС в случае возникновения внештатной ситуации в полете определена методом экспертных оценок путем обработки анкет, которые заполнили респонденты из числа пилотов и диспетчеров ГА [10, 13]. Полученные на примере пяти социально-психологических факторов результаты (табл. 1, рис. 1) показали, что респонденты-пилоты уделяют наибольшее внимание социальным показателям и наименьшее – духовным ценностям. В свою очередь, респонденты-диспетчеры максимум внимания уделяют экономическим и социальным показателям и значительно больше внимания, по сравнению с пилотами, – нормативно-правовым принципам. Системы предпочтений пилота и диспетчера ГА (пять факторов):

– система предпочтений пилота ГА:

$$S_p = f_{sps} \succ f_{spe}, f_{spp} \succ f_{spl} \succ f_{spm}; \quad (4)$$

– система предпочтений диспетчера ГА:

$$S_p = f_{sps} \succ f_{spe} \succ f_{spl} \succ f_{spp} \succ f_{spm}, \quad (5)$$

где  $f$  – ранг фактора в соответствии с моделью предпочтений Ч-О (табл. 1).

Респонденты – пилоты и штурманы разных возрастных категорий с разным профессиональным опытом – определили влияние социально-психологических факторов на ПР в процессе их профессиональной деятельности. В результате сравнения значений весовых коэффициентов были определены системы предпочтений влияния социально-психологических факторов специалистов. Полученные результаты по системе предпочтений значимости социально-психологических факторов специалистов показали, что респонденты – пилоты и штурманы – уделяют наибольшее внимание социальным и экономическим показателям (табл. 1).

Системы предпочтений пилота и штурмана:

– система предпочтений пилота:

$$S_p = f_{sps} \succ f_{spe} \succ f_{spl} \succ f_{spp} \succ f_{spm}; \quad (6)$$

– система предпочтений штурмана:

$$S_p = f_{sps} \succ f_{spe} \succ f_{spl} \succ f_{spp} \succ f_{spm}, \quad (7)$$

где  $f$  – весовой коэффициент фактора согласно системы предпочтений (табл. 1).

Системы предпочтений Ч-О (пилотов и диспетчеров ГА и пилотов и штурманов) при определении значимости социально-психологических факторов, влияющих на Ч-О при ПР во внештатных ситуациях, определяются на множестве  $\bar{F}_{sp} = \{f_{spm}, f_{spe}, f_{sps}, f_{spp}, f_{spl}\}$  в соответствии с табл. 1.

Сравнительный анализ систем предпочтений социально-психологических факторов, влияющих на Ч-О при ПР (пять факторов) на множестве  $\bar{F}_{sp} = \{f_{spm}, f_{spe}, f_{sps}, f_{spp}, f_{spl}\}$  показал, что пилоты и диспетчеры ГА и пилоты и штурманы имеют сходные модели предпочтений в соответствии с нормами общества, то есть отдают преимущество социальным и экономическим интересам личности.

**Таблица 1**

**Системы предпочтений относительно важности влияния  
социально-психологических факторов**

№ п/п	Социально-психологические факторы	Код	Вес фактора, w			
			Пилот	Диспетчер	Пилот	Штурман
1	Духовные и культурные ориентиры личности	$f_{spm}$	0,07	0,07	0,07	0,07
2	Экономические интересы личности	$f_{spe}$	0,23	0,30	0,27	0,27
3	Социальные приоритеты личности	$f_{sps}$	0,33	0,30	0,33	0,33
4	Политические взгляды личности	$f_{spp}$	0,23	0,13	0,13	0,13
5	Отношение к правовым нормам личности	$f_{spl}$	0,14	0,20	0,20	0,20

В результате проведения декомпозиции социально-психологических факторов на 13 подфакторов (религиозные взгляды, философские взгляды, карьера, авторитет, корпоративные интересы, экономический интерес предприятия, личный экономический интерес, интересы семьи, интересы коллег, интересы руководства компании, имидж, политический интерес, правовые нормы) [15, 17] и более детального анализа их влияния определено, что на деятельность как пилотов, так и диспетчеров, которые принимали участие в исследовании, существенно влияют интересы семьи, собственное экономическое положение, перспективы карьерного роста, интересы коллег, собственный авторитет и имидж корпорации. В то же время респонденты-диспетчеры по сравнению с респондентами-пилотами большее внимание уделяют правовым нормам (табл. 2, рис. 2). Системы предпочтений пилота и диспетчера ГА (13 факторов):

**Таблица 2**

**Система предпочтений Ч-О (пилота, диспетчера ГА) относительно важности влияния социально-психологических факторов на ПР в случае возникновения внештатной ситуации в полете (13 факторов)**

№ п/п	Социально-психологические факторы	Код	Пилот		Диспетчер	
			Ранг фак- тора, г	Вес факто- ра, w	Ранг фак- тора, г	Вес факто- ра, w
1	Религиозные взгляды	$f_{spr}$	12,5	0,02	13	0,01
2	Философские взгляды	$f_{spp}$	12,5	0,02	12	0,02
3	Материальное состояние пред- приятия	$f_{spm}$	7	0,08	7	0,08
4	Материальное состояние лично- сти	$f_{spn}$	2	0,13	2	0,13
5	Интересы семьи	$f_{spf}$	1	0,14	1	0,14
6	Карьера	$f_{sps}$	3	0,12	3	0,12
7	Авторитет	$f_{spa}$	5	0,10	5	0,10
8	Имидж предприятия	$f_{spe}$	6	0,09	6	0,09
9	Интересы коллег	$f_{spk}$	4	0,11	4	0,11
10	Интересы руководства компании	$f_{spc}$	10	0,04	10	0,04
11	Имидж личности	$f_{spz}$	8	0,07	8	0,07
12	Политические взгляды	$f_{spd}$	11	0,03	11	0,03
13	Правовые нормы	$f_{spl}$	9	0,05	9	0,06

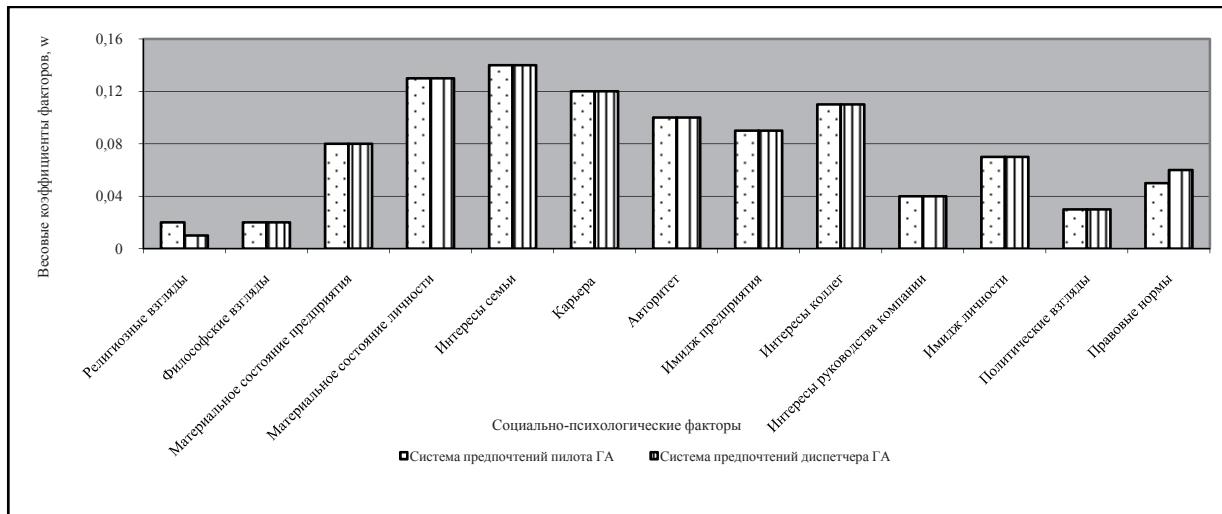
– система предпочтений пилота ГА:

$$S_p = f_{spf} \succ f_{spn} \succ f_{sps} \succ f_{spk} \succ f_{spa} \succ f_{spe} \succ \dots \succ f_{spm} \succ f_{spz} \succ f_{spl} \succ f_{spc} \succ f_{spd} \succ f_{spr}, f_{spp}, \quad (8)$$

– система предпочтений диспетчера ГА:

$$S_d = f_{spf} \succ f_{spn} \succ f_{sps} \succ f_{spk} \succ f_{spa} \succ f_{spe} \succ \dots \succ f_{spm} \succ f_{spz} \succ f_{spl} \succ f_{spc} \succ f_{spd} \succ f_{spp} \succ f_{spr}, \quad (9)$$

где  $f$  – ранг фактора в соответствии с системой предпочтений (табл. 2).



**Рис. 3. График визуализации системы предпочтений ЛПР (пилота, диспетчера ГА) относительно влияния на операторское решение социально-психологических факторов (13 факторов)**

**Базовые модели предпочтений пилотов и штурманов относительно важности влияния индивидуально-психологических факторов.** Проведено исследование с пилотами и штурманами относительно значимости влияния индивидуально-психологических факторов при развитии полетной ситуации от нормальной до катастрофической [10] (табл. 3). Графическая интерпретация весовых коэффициентов значимости индивидуально-психологических факторов пилотов и штурманов в условиях развития полетных ситуаций представлена на рис. 4а (индивидуальные качества пилотов) и рис. 4б (индивидуальные качества штурманов).

**Таблица 3**

**Значимость индивидуально-психологических факторов пилотов и штурманов в условиях развития полетной ситуации**

№ п/п	Индиви- дуально- психологичес- кие факторы	Код	Весовые коэффициенты факторов, w									
			Простая си- туация, G <sub>s1</sub>		Усложненная ситуация, G <sub>s2</sub>		Сложная си- туация, G <sub>s3</sub>		Аварийная ситуация, G <sub>s4</sub>		Катастрофическая ситуация, G <sub>s5</sub>	
			Пилот	Штур- ман	Пилот	Штур- ман	Пилот	Штур- ман	Пилот	Штур- ман	Пилот	Штур- ман
1	Темперамент	f <sub>ipt</sub>	0,11	0,02	0,11	0,03	0,13	0,04	0,17	0,07	0,17	0,04
2	Внимание	f <sub>ipa</sub>	0,16	0,13	0,16	0,16	0,16	0,16	0,11	0,16	0,11	0,13
3	Восприятие	f <sub>ipp</sub>	0,07	0,09	0,09	0,10	0,09	0,13	0,17	0,13	0,17	0,16
4	Мышление	f <sub>ipth</sub>	0,04	0,11	0,07	0,10	0,07	0,11	0,07	0,09	0,07	0,09
5	Воображение	f <sub>ipi</sub>	0,09	0,07	0,04	0,03	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02
6	Натура	f <sub>ipn</sub>	0,02	0,04	0,02	0,07	0,02	0,07	0,02	0,04	0,02	0,07
7	Воля	f <sub>ipw</sub>	0,13	0,18	0,13	0,18	0,11	0,18	0,09	0,18	0,09	0,18
8	Здоровье	f <sub>iph</sub>	0,19	0,16	0,19	0,13	0,19	0,09	0,16	0,11	0,16	0,11
9	Опыт	f <sub>exp</sub>	0,19	0,20	0,19	0,20	0,19	0,20	0,17	0,20	0,17	0,20

Результаты анализа систем предпочтений пилотов и штурманов показали, что опыт, воля, здоровье, восприятие информации являются наиболее значимыми в случае возникновения внештатной полетной ситуации для штурманов, для пилотов – это прежде всего здоровье, опыт, темперамент, воля; темперамент более важен для пилота, чем для штурмана, а для штурманов важнее мышление.

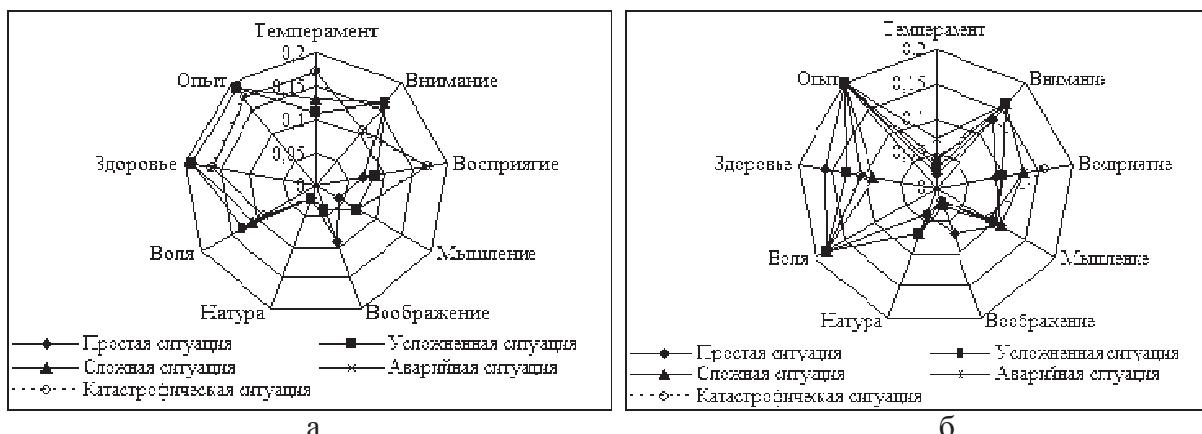


Рис. 4. Графическая интерпретация изменения весовых коэффициентов факторов значимости индивидуально-психологических факторов пилотов (а) и штурманов (б)

При анализе индивидуально-психологических факторов использовались модифицированные коэффициенты, представляющие собой произведение весовых коэффициентов факторов и количественных показателей, определяющих качественные характеристики уровней риска полетных ситуаций в зависимости от их сложности (табл. 4), полученные с помощью нечеткой логики [18]. Модифицированные коэффициенты факторов, полученные с учетом уровня риска полетной ситуации, количественные показатели которых соответствуют значениям лингвистической переменной «Уровень риска», приведены в табл. 5. Модели предпочтений относительно значимости индивидуально-психологических качеств Ч-О (пилота и штурмана)  $\bar{F}_{ip} = \{f_{ipt}, f_{ipa}, f_{ipp}, f_{ipth}, f_{ipi}, f_{ipn}, f_{ipw}, f_{iph}, f_{exp}\}$ , которые изменяются в зависимости от развития полетной ситуации  $\bar{G}_s = \{G_{s1}, G_{s2}, G_{s3}, G_{s4}, G_{s5}\}$ , приведены на рис. 5а и 5б.

Таблица 4

#### Уровни риска полетной ситуации

Коэффициенты	Полетная ситуация				
	Простая ситуация	Усложненная ситуация	Сложная ситуация	Аварийная ситуация	Катастрофическая ситуация
Уровень риска, R	0,1	0,35	0,6	0,8	1
Коэффициент риска, K <sub>1</sub>	10	35	60	80	100
Коэффициент риска, K <sub>2</sub>	10	30	50	80	100

Таблица 5

**Система предпочтений Ч-О (пилотов и штурманов)**  
**относительно значимости индивидуально-психологических факторов**

№ п/ п	Индивиду- ально- психологич. факторы	Модифицированные коэффициенты факторов, $\bar{w}$									
		Простая си- туация, $G_{s1}$		Усложненная ситуация, $G_{s2}$		Сложная ситуация, $G_{s3}$		Аварийная ситуация, $G_{s4}$		Катастрофичес- кая ситуация, $G_{s5}$	
		Пилот	Штурм	Пилот	Штурм	Пилот	Штурм	Пилот	Штурм	Пилот	Штурм
1	Темперамент	1,1	0,2	3,3	0,9	6,5	2,0	13,6	5,6	17,0	4,0
2	Внимание	1,6	1,3	4,8	4,8	8,0	8,0	8,8	12,8	11,0	13,0
3	Восприятие	0,7	0,9	2,7	3,0	4,5	6,5	13,6	10,4	17,0	16,0
4	Мышление	0,4	1,1	2,1	3,0	3,5	5,5	5,6	7,2	7,0	9,0
5	Воображение	0,9	0,7	1,2	0,9	2,0	1,0	2,4	1,6	3,0	2,0
6	Натура	0,2	0,4	0,6	2,1	1,0	3,5	1,6	3,2	2,0	7,0
7	Воля	1,3	1,8	3,9	5,4	5,5	9,0	7,2	14,4	9,0	18,0
8	Здоровье	1,9	1,6	5,7	3,9	9,5	4,5	13,6	8,8	17,0	11,0
9	Опыт	1,9	2,0	5,7	6,0	9,5	10,0	13,6	16,0	17,0	20,0
	Уровень риска, ед.	10	10	30	30	50	50	80	80	100	100

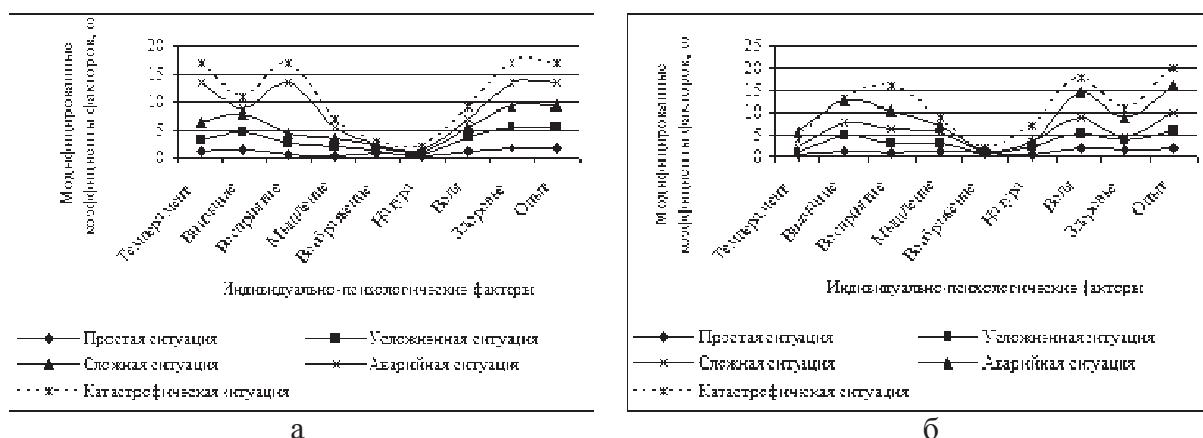


Рис. 5. Значимость индивидуально-психологических факторов пилотов (а) и штурманов (б) в условиях развития полетных ситуаций с учетом уровня риска полетной ситуации

Анализ изменений в системах предпочтений пилотов и штурманов (табл. 3, 5; рис. 4, 5) показывает, что с развитием полетной ситуации до катастрофической у пилотов растет значимость темперамента и восприятия информации за счет уменьшения внимания, воображения, воли. Но в момент аварийной ситуации явными являются приоритеты темперамента, восприятия информации, опыта, здоровья. У штурманов независимо от развития полетной ситуации на первом месте – опыт, воля, а в случае усложнения полетной ситуации возрастает значимость внимания, восприятия информации. Для штурманов темперамент и воображение имеют меньшую значимость, чем для пилотов.

**Влияние системы предпочтений на концепцию поведения пилотов и диспетчеров ГА.** Выбор в сторону положительного полюса А или отрицательного полюса В определяется концепцией рационального (нерационального) поведения Ч-О АТС в момент

выбора. На Ч-О в момент выбора влияет социальная среда, в которой он находится. То есть концепция поведения индивидуума зависит от системы предпочтений Ч-О.

Концепция рационального поведения Ч-О АТС в момент выбора определяется системой предпочтений «норма»  $\gamma = \rho_n$ , полученной в результате проведенного экспериментального опроса респондентов разных возрастных групп – пилотов и диспетчеров ГА, пилотов и штурманов (табл. 1, 5). Концепция нерационального поведения  $\bar{\gamma} = \rho$  воспроизводит значительные отклонения в системе предпочтений Ч-О, что приводит к выбору в сторону отрицательного полюса.

Если система предпочтений индивида в конкретной ситуации выбора определяется табл. 1, 5, то Ч-О осуществляет выбор в сторону положительного полюса А (10):

$$\rho = S_p(F_{sp}) \cup S_p(F_{ip}); \quad (10)$$

$$\sum_{sp=1}^n S_p(F_{sp}) = 1;$$

$$\sum_{ip=1}^n S_p(F_{ip}) = 1,$$

где  $S_p(F_{sp})$  – система предпочтений Ч-О относительно значимости социально-психологических факторов в случае ПР во внештатной ситуации, определенная экспериментальным путем на множестве социально-психологических качеств оператора (моральные, экономические, социальные, политические, правовые факторы),  $\bar{F}_{sp} = \{f_{spm}, f_{spe}, f_{sps}, f_{spp}, f_{spl}\}$ ;

$S_p(F_{ip})$  – система предпочтений Ч-О относительно значимости индивидуально-психологических факторов в случае ПР во внештатной ситуации, определенная экспериментальным путем на множестве индивидуально-психологических качеств оператора (темперамент, внимание, восприятие, мышление, воображение, натура, воля, здоровье, опыт),  $\bar{F}_{ip} = \{f_{ipt}, f_{ipa}, f_{ipp}, f_{ipth}, f_{ipi}, f_{ipn}, f_{ipw}, f_{iph}, f_{exp}\}$ .

Выбор Ч-О в сторону положительного полюса А соответствует весовым коэффициентам социально-психологических и индивидуально-психологических факторов в пределах  $A \subset [1/2; 2/3]$ .

Если один из факторов множеств  $\bar{F}_{sp}$  и  $\bar{F}_{ip}$  или отсутствует, или выходит за пределы системы, то возникает вероятность выбора Ч-О в сторону отрицательного полюса В.

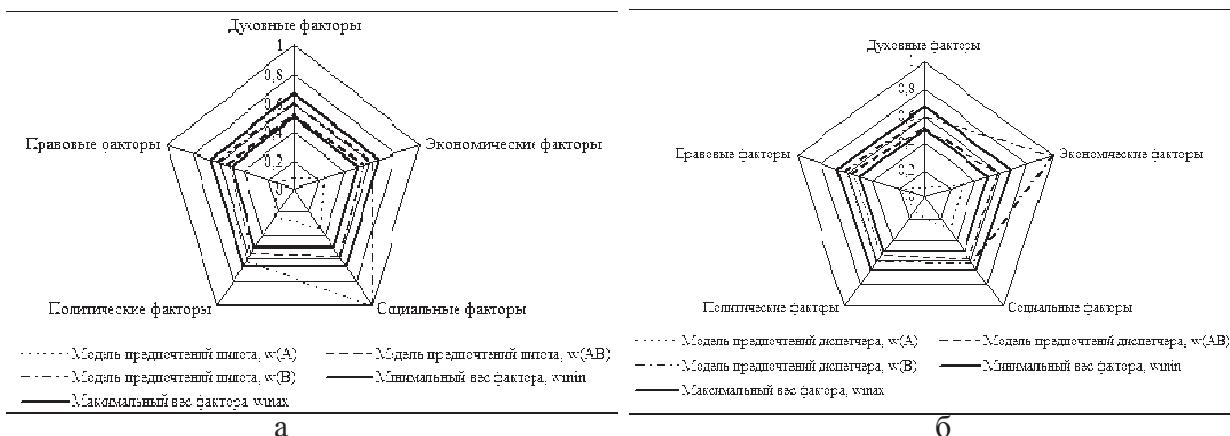
Модели предпочтений пилотов и диспетчеров ГА (рис. 6) в случае выбора в сторону положительного полюса w (A), отрицательного полюса w (B) и одинакового давления при выборе в сторону положительного и отрицательного полюсов w (A) = w (B) = w (AB) построены по расчетам, приведенным в табл. 6.

Для оценки поведенческой деятельности оператора АТС как СТС с учетом его моделей предпочтений относительно влияния факторов профессиональной и непрофессиональной деятельности использован графический метод оценки ситуации. Данный метод предоставляет информацию о предпочтениях оператора, его профессиональных качествах, эмоциональном состоянии в виде схемы (диаграммы) и позволяет по изображению оценивать модели поведения оператора.

Таблица 6

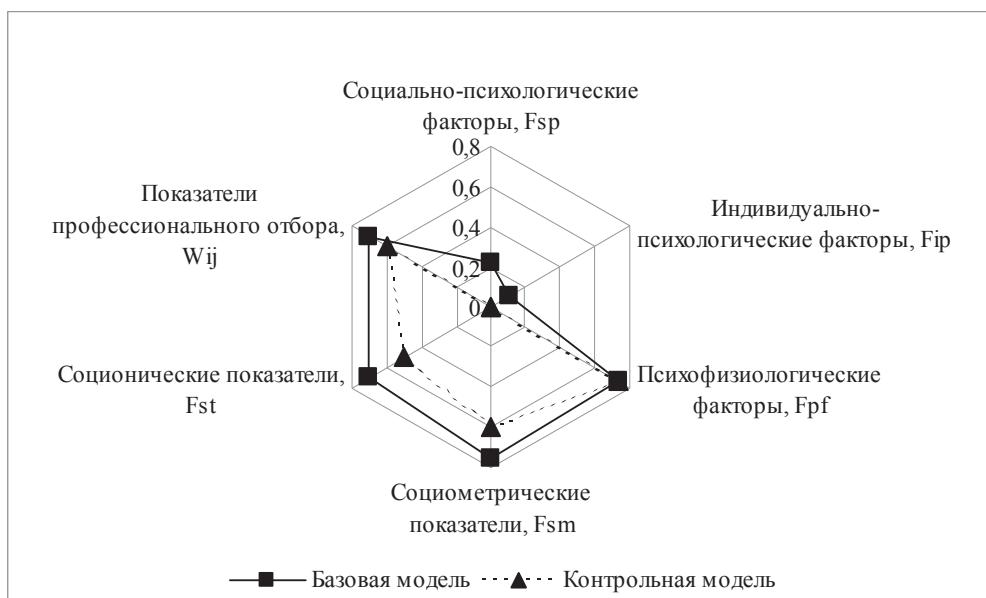
**Система предпочтений пилотов и диспетчеров ГА при выборе в сторону положительного полюса  $w(A)$ , отрицательного полюса  $w(B)$  и одинакового давления при выборе в сторону положительного и отрицательного полюсов  $w(AB)$**

Социально-психологические факторы	Духовные факторы	Экономические факторы	Социальные факторы	Политические факторы	Правовые факторы
Система предпочтений пилота					
Ранг фактора, $r$	5	2,5	1	2,5	4
Вес фактора, $w(A)$	0,07	0,23	0,33	0,23	0,14
Вес фактора, $w(AB)$	0,52	0,55	0,57	0,55	0,53
Вес фактора, $w(B)$	0,60	0,61	1,00	0,61	0,60
Система предпочтений диспетчера					
Ранг фактора, $r$	5	1,5	1,5	4	3
Вес фактора, $w(A)$	0,07	0,30	0,30	0,13	0,20
Вес фактора, $w(AB)$	0,52	0,57	0,57	0,53	0,55
Вес фактора, $w(B)$	0,60	1,00	0,61	0,60	0,61
Система предпочтений пилота и диспетчера, вместе					
Ранг фактора, $r$	5	2	1	4	3
Вес фактора, $w(A)$	0,07	0,27	0,33	0,13	0,20
Вес фактора, $w(AB)$	0,52	0,56	0,57	0,53	0,52
Вес фактора, $w(B)$	0,60	0,61	0,61	0,60	0,60
Минимальное значение веса фактора, $w_{min}$	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Максимальное значение веса фактора, $w_{max}$	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67



**Рис. 6. Модели преимуществ пилотов (а) и диспетчеров (б) ГА при выборе в сторону положительного полюса  $w(A)$ , отрицательного полюса  $w(B)$  и одинакового давления при выборе в сторону положительного и отрицательного полюсов  $w(A) = w(B) = w(AB)$**

На рис. 7 приведен пример оценки индивидуальной модели пилота ГА, которая сравнивается с базовой моделью – системой агрегированных показателей значений социально-психологических, индивидуально-психологических и психофизиологических факторов, а также соционических, социометрических показателей и показателей профессионального отбора, которые влияют на ПР Ч-О АТС при возникновении внештатной полетной ситуации.



*Рис. 7. Графическое представление диагностирования оператора в системе полярных координат*

Если оценивать состояние факторов, влияющих на ПР Ч-О (соответствие или несоответствие базовым показателям), логическими переменными 0 или 1, в случае соответствия всех факторов заданным пределам получаем замкнутый полигон. При наличии разрыва полигона уточняется причина несоответствия индивидуальной и базовой моделей.

**Заключение.** Направление перехода полетной ситуации – в сторону повышения или понижения сложности – зависит от действий Ч-О АТС под влиянием окружающей среды, предыдущего опыта и волевого выбора (интенции). Для исследования закономерностей деятельности операторов и моделирования развития полетных ситуаций проведен социотехнический анализ АТС, классифицированы и formalизованы факторы, влияющие на ПР Ч-О АТС.

Разработан метод обобщения неоднородных факторов, который позволяет учесть структурную иерархичность, разнородность, динамическую нестабильность профессиональных факторов (уровень знаний, навыков, умений) и факторов непрофессионального характера (социально-психологические, индивидуально-психологические, психофизиологические), влияющих на ПР Ч-О АТС, и определить условия для их оценки.

Для получения базовых моделей Ч-О АТС под воздействием окружающей среды определены количественные значения факторов социально-психологического и индивидуально-психологического характера в виде весовых коэффициентов, представляющих систему предпочтений Ч-О (пилотов и диспетчеров ГА, пилотов и штурманов).

Определено влияние системы предпочтений на принятие решений пилотами и диспетчерами ГА при выборе в сторону положительного полюса, отрицательного полюса и одинакового давления при выборе в сторону положительного и отрицательного полюсов.

Учет влияния социально-психологических и индивидуально-психологических факторов на ПР Ч-О АТС позволяет прогнозировать его действия при возникновении особого случая в полете, моделировать возможное развитие полетной ситуации в сторону усложнения и наоборот.

## REFERENCES

1. **Lejchenko S.D.** Chelovecheskij faktor v aviacii. Monografija v 2-h knigah. / S.D. Lejchenko, A.V. Malyshevskij, N.F. Mihajlik. Kn. 1. Kirovograd: IMEKS. 2006. 512 p. (in Russia)
2. **Jafarzade P.M.** Ocena rabotosposobnosti i povyshenie jeffektivnosti dejstvij chlenov ekipazha vozduzhnogo sudna v osobyh situacijah. // Psihofiziologicheskie aspeki bezopasnosti poletov. SPb.: Akademija GA, 1997. Pp. 70-74. (in Russia)
3. **Cəfərzadə R.M., Cəfərzadə T.R.** Uçuşların təhlükəsizliyinə təsir edən amillər – işgörmə qabiliyyəti. MAA-nın Elmi Məcmuələri. Cild 14. No. 2. 2012. Pp. 15-20. (in Azerbaijan)
4. Sostojanie bezopasnosti poletov v grazhdanskoj aviacii gosudarstv-uchastnikov «Soglashenija o GA i ob ispol'zovanii vozduzhnogo prostranstva» v 2004 g. i za period 2000-2004 gg. Doklad Mezhgosudarstvennogo aviacionnogo komiteta. M.: MAK. 2005. 15 p. (in Russia)
5. **Shvec V.A.** Analiz sostojanija avarijnosti grazhdanskikh vozduzhnyh sudov Ukrayny za period 1998-2007. / V.A. Shvec, O.N. Alekseev. K.: Gosaviaadministracija. 2008. 83 p. (in Russia)
6. Human Factors Guidelines for Safety Audits Manual / Doc. 9806-AN/763. 1-st Edition. Canada, Montreal: International Civil Aviation Organization. 2002. 138 p.
7. Cross-Cultural Factors in Aviation: circular Human Factors Digest. No. 16 // Sirc. ISAO 302-AN/175. Canada, Montreal. ICAO. 2004. 52 p.
8. **Borysiuk M.S.** Evolution of Human Factor's Models / M.S. Borysiuk, O.A. Shmelov, Y.V. Sikirda // Problemi navigaciï i upravlinnja ruhom: Vseukr. nauk.-prakt. konf. molodih uchenih i studentiv, Kiiv, 18-20 listopada 2013 r. : Tezi dopovidej. K.: Nacional'nij aviacijnij universitet. 2013. 25 p. (in Ukraine)
9. **Reva O.M.** Prijnjattja rishen' shljahom vijavlennja sistemi prioritetiv (perevag) aviaspecialista : metod. vkazivki / O. M. Reva. Kirovograd. 1996. 18 p. (in Ukraine)
10. **Shmel'ova T.F.** Analiz rozvitku pol'otnih situacij v aviacijnij sociotehnicnij sistemi / T.F. Shmel'ova, Yu.V. Sikirda // Zbirnik naukovih prac' Harkivs'kogo universitetu Povitrjanij Sil. 2011. V. 2 (28). Pp. 59–64. (in Ukraine)
11. **Harchenko V.P.** Grafoanalitichni modeli prijnijattja rishen' ljudinoju-operatorom aeronavigacijnoi sistemi / V.P. Harchenko, T.F. Shmel'ova, Yu.V. Sikirda // Visnik Nacional'nogo aviacijnogo universitetu. 2011. No. 1. Pp. 5–17. (in Ukraine)

12. **Shmeleva T.F.** Formalizacija dejatel'nosti cheloveka-operatora aviacionnoj jergaticheskoj sistemy vo vneshtatnyh situacijah / T.F. Shmeleva, Yu.V. Sikirda // Radioelektronni i kompjuterni sistemi. 2010. No. 5 (46). Pp. 296-300. (in Russia)
13. **Shmel'ova T.F.** Modeljuvannja procesu prijnattja rishen' ljudinoju-operatorom aviacijnoj ergatichnoi sistemi z urahuvannjam vplivu psihofiziologichnih ta suspil'no-psihologichnih faktoriv / T.F. Shmel'ova, Yu.V. Sikirda // Naukovi praci akademii: zb. nauk. pr. V. XII. Kirovograd: Derzhavna l'otna akademija Ukrainskoi, 2007. – Pp. 342-355. (in Ukraine)
14. **Kuznecov V.O.** Kriterii formuvannja zmistu pidgotovki operatoriv aviacijnih sistem / V.O. Kuznecov, A.M. Nevinicin, T.F. Shmel'ova // Naukovi praci akademii: zb. nauk. prac'. V. VII. Part. I. Kirovograd: Derzhavna l'otna akademija Ukrainskoi. 2003. Pp. 180-186. (in Ukraine)
15. **Grigorec'kij V.O.** Rozrobka avtomatizovanogo adaptivnogo modulju viznachennja navchal'nogo navantazhennja v zalezhnosti vid pomilok aviadispetchera pri stazhuvanni v sluzhbi ruhu / V.O. Grigorec'kij, T.F. Shmel'ova, V.V. Pavlova // Radioelektronni i kompjuterni sistemi. 2004. No. 3. Pp. 102–110. (in Ukraine)
16. **Leont'ev A.N.** Izbrannye psihologicheskie proizvedenija: v 2-h tomah. M.: Pedagogika, 1983. V. 1. 392 p. (in Russia)
17. **Makarov R.N.** Osnovy formirovaniya professional'noj nadezhnosti letnogo sostava grazhdanskoj aviacii: ucheb. pos. M.: Vozdushnyj transport. 1990. 384 p. (in Russia)
18. **Kharchenko V.P.** Modeling of Behavioral Activity of Air Navigation System's Human-Operator in Flight Emergencies / V.P. Kharchenko, T.F. Shmelova, Y.V. Sikirda // Proceedings of the National Aviation University. 2012. No. 2. Pp. 5-17.

## SOSİOTEXNİKİ AVİASIYA SİSTEMİNDƏ İNSAN OPERATORUN QƏRAR QƏBUL ETMƏSİNİN MODELLƏŞDİRİLMƏSİ

T.R. CƏFƏRZADƏ, T.F. ŞMELYOVA, Y.V. SIKİRDA

Aviasiya sisteminin sosiotexniki analizi edilərək, insan operatorun hava gəmisiini gözlənilən və gözlənilməyən istismar şəraitində qərarın qəbul edilməsinin müxtəlif faktorları öyrənilmiş nəticələrin təsnifikasi aparılmışdır. Pilotların, dispetçerlərin və pilotların, sturmanların professional işinə sosial psixoloji, individual psixoloji faktorlar öyrənilmişdir. Sistemin pilotların və dispetçerlərin davranış konsepsiyası təyin edilmişdir.

*Açar sözlər:* sosiotexniki aviasiya sistemi, insan operator, sosial psixoloji faktorlar, individual psixoloji faktorlar, uçuş vəziyyətləri, davranış konsepsiyası, operatorun seçimi, müsbət (mənfi) qütb.

## MODELING OF HUMAN-OPERATOR DECISION PROCESS IN SOCIO-TECHNICAL AIR NAVIGATION SYSTEM

T.R. JAFARZADE, T.F. SHMELOVA, Y.V. SIKIRDА

The socio-technical analysis of the air navigation system has been conducted, as result the various factors affecting on the human-operator decision process under expected and unexpected aircraft operating conditions are classified, formalized and systematically summarized. The base models are obtained for the civil aviation pilots and controllers to investigate the influence of socio-psychological and individual-psychological factors on their professional performance. The influence of preference system of the civil aviation pilots and controllers on their conceptual behaviour is determined.

*Key words:* socio-technical air navigation system, human-operator, socio-psychological factors, individual-psychological factors, flight situation, preference system, conceptual behaviour, operator choice, positive (negative) pole.

## HAVA GƏMİLƏRİNİN ŞAQULİ SÜRƏTİNİ MAQNİT LEVİTASIYA PRİNSİPİ ƏSASINDA ÖLÇƏN QURĞU

A.Z. BƏDƏLOV, R.N. NƏBIYEV, A.Z. MƏMMƏDOV

Məqalədə təyyarənin uçuşunun şaquli sürətini maqnit levitasiya prinsipi əsasında ölçən qurğunun təkiflənən sxeminin təsviri verilmişdir. Uçuş sürətinin qiyməti informasiya lövhəsində rəqəm formasında eks olunur. Cihazın elektrik sxemi sxemotexniki həllin sadəliyi ilə seçilir. Məqalədə funksional blok sxemin təsviri və hesabatı verilmişdir. Eyni zamanda sürətin indikasiyası və hesablanması üçün qurğunun program təminatı işlənmişdir.

**Açar sözlər:** *uçan aparat, maqnit levitasiya sistemi, solenoid, şaquli sürət, maqnit içlik, elektrik sxem.*

İndiyə qədər maqnit levitasiya ideyasını reallaşdırmağa imkan verən çox sayılı sistemlər işlənib hazırlanmış və eksperimental olaraq tədqiq olunmuşdur. Onların əsas fərqi solenoid cərəyanının avtomatik tənzimlənməsi sistemində eks əlaqə prinsipini təmin edən maqnit içliyin müxtəlif vəziyyət vericilərindən istifadə olunmasıdır. Buna baxmayaraq bütün maqnit levitasiya sistemləri (MLS) eyni tipik sxem üzrə qurulmuşdur [1,2, 3].

Müasir dövrdə ölçmə texnikasına eyni konstruktiv sxem üzrə qurulmuş çoxlu sayda maqnit levitasiya sistemləri (MLS) daxil edilmişdir. Onların konstruksiyasının dəyişməz hissəsi oxşəkilli maqnit içlik və solenoidi birləşdirən dartçı mərkəzi, həmçinin dəyişən hissə olan maqnit içliyin yerdəyişmə vericisi, elektron gücləndirici, solenoid cərəyanı tənzimləyicisinin daxil olduğu elektron sxemdən təşkil olunmuşdur. MLS-in elektron sxeminə vericinin tipi əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. Belə ki, vericidən asılı olaraq elektron gücləndiricinin sxemi qurulur. Bundan başqa qəbuledici vericisinin tipinə görə MLS-in tipi və məqsədi müəyyənləşdirilir [1, 4, 5].

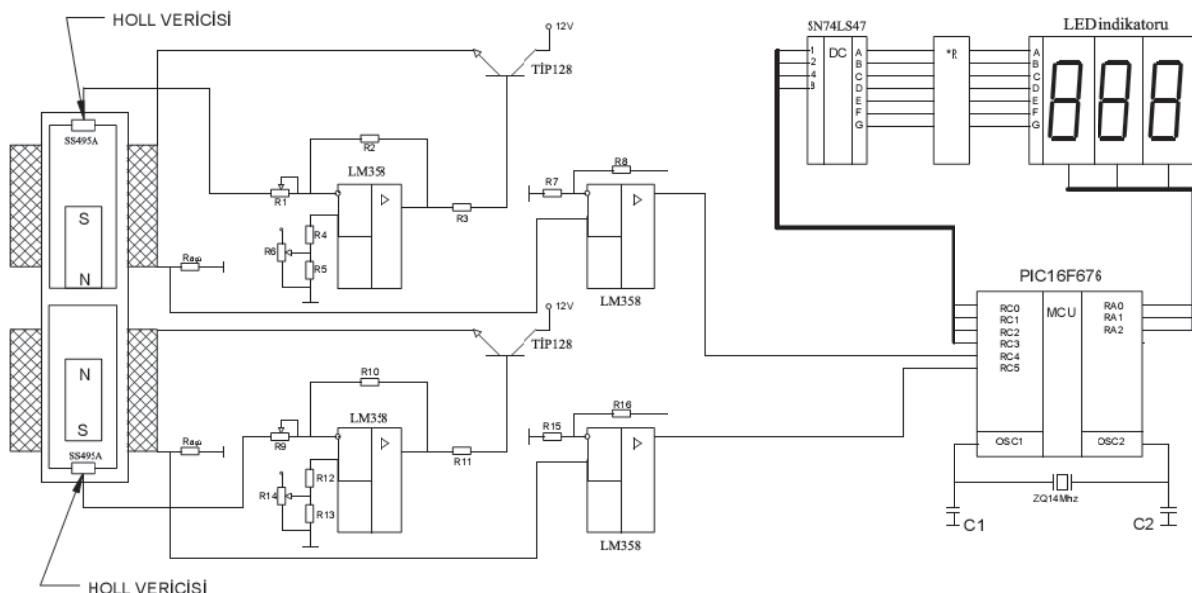
Maqnit levitasiya prinsipi əsasında şaquli sürəti ölçən qurğu uçan aparatların şaquli sürətini ölçmək üçün nəzərdə tutulmuşdur [6,7]. Qurğunun analoq elektron blokunun prinsipial elektrik sxemi şək. 1-də göstərilmişdir.

Qurğu maqnit içlikləri levitasiya vəziyyətində saxlayan solenoidlərdən, maqnit içliklərdən, maqnit içliyin vəziyyətini göstərən Holl vericilərindən, solenoidlərin cərəyanını idarə edən analoq bloklardan, çıxış siqnalını integrallamaq üçün mikrokontrollerdən və ölçülən parametri indikasiya etmək üçün göstəricidən ibarətdir.

Elektron analoq blok LM358 tipli əməliyyat gücləndiricisindən və TİP128 tipli bipolyar tranzistorundan ibarətdir. Solenoid tranzistorun emitter dövrəsindən qidalanır və sxemdə çıxış cərəyanını ölçmək üçün ardıcıl qoşulmuş  $R_o$  rezistoru istifadə olunur. Bu rezistorda yaranan gərginlik düşküsü çıxış siqnalı rolunu oynayır və integrallanmaq üçün mikrokontrollerin girişinə verilir. Bu siqnal integrallandıqdan və sürət hesablandıqdan sonra alınmış nəticə elektron displaydə əks olunur.

Analoq elektron blokun və mikrokontrollerin işləməsi üçün +12V, +9V və +5V gərginlikləri tələb olunur. +12V gərginlik kənar qida mənbəyindən sxemə verilir. +9V və +5V gərginlikləri isə 7809 və 7805 tipli integrallı gərginlik stabilizatorları vasitəsilə +12V gərginlikdən alınır.

Mikrokontrollerin daxilindəki ARÇ 10 bit icazəvermə qabiliyyətinə malikdir və maksimal dayaq gərginliyinin qiyməti 5 V-a bərabərdir. Buna görə də analoq blokunun çıxış siqnalının da 0-5 V diapazonda olması əlverişli olardı. Bu tapşırığı yerinə yetirmək üçün analoq bloku ilə mikrokontroller arasında uzlaşdırıcı bənd daxil edilir. Verilmiş halda bu əməliyyat gücləndiricisi üzərində qurulmuş və gücləndirmə əmsalı 5-ə bərabər qeyri-inversləyiçi gücləndiricidir. Stabil vəziyyətdə  $R_o$ -ölçü rezistorundakı gərginlik düşküsü 0.5 V-a bərabərdir və bu gərginlik uzlaşdırıcı bənd üçün giriş siqnalı rolunu oynayır. Gücləndiricinin çıxışında isə bu zaman gərginlik 2.5 V-a bərabər olur.



*Şək. 1. Maqnit levitasiya prinsipi əsasında şaquli sürəti ölçən qurğunun prinsipial elektrik sxemi*

ARÇ-nin yuxarıda qeyd olunan parametrləri daxilində (dayaq gərginliyi 5 V və 10 bit) onun maksimal icazəvermə qabiliyyəti 5 mV təşkil edir. Bu isə analoq blokunda  $\Delta I_S = 0.5 \text{ mA}$

halına uyğun gəlir.  $\Delta I_S = 0.5 \text{ mA}$  cərəyanı isə  $0.002\text{g}$  və ya  $0.02 \text{ m/san}^2$  təciliin qiymətinə uyğundur.

### **Elektron analoq blokun işlənməsi və hesabatı**

Elektron analoq blokun prinsipial elektrik sxemi aşağıdakı əsas hissələrdən ibarətdir (şək.1):

- Maqnit içliyin vəziyyət vericisi;
- Elektron gərginlik gücləndiricisi;
- Tənzimlənən gərginlik bölgüsü;
- Solenoid cərəyanı gücləndiricisi.

Qurğunun konstruksiya edilməsi üçün yuxarıda adları çəkilən bəndlərin hesablanması lazımdır.

#### *1. Maqnit içliyin vəziyyət vericisi*

Levitasiya edən sabit maqnitin vəziyyətini bildirən verici kimi Honeywell firmasının istehsalı olan SS495A tipli Holl vericisi istifadə olunmuşdur. Praktiki istifadə üçün bu verici çox yaxşı kütlə qabarit ölçülərinə, elektrik xassələrinə və yüksək həssaslığa malikdir. SS495A tipli Holl vericisi 5V-dan 10V-a kimi qida gərginliyi ilə işləyir və 9000 mV/Tl həssaslığa malikdir. Maqnit induksiyası təsir etmədikdə vericinin çıxış gərginliyi  $U_q/2$  - qida gərginliyinin yarısını təşkil edir və maqnitin istiqamətdən asılı olaraq  $U_q/2$ -dən sıfıra və ya  $U_q$  - qida gərginliyinin qiymətinə kimi dəyişə bilir. Bu da sxemotexniki nöqtəyi nəzərdən istənilən kimi seçim etməyə imkan verir. Verilmiş halda Holl vericisi +9V gərginlikdən qidalanır və sabit maqnit solenoidin daxilində olmadığı halda çıxış siqnalı 4.5V təşkil edir.

#### *2. Elektron gərginlik gücləndiricisi*

Gərginlik gücləndiricisi LM358 tipli əməliyyat gücləndiricisi üzərində yiğilmişdir. Bu əməliyyat gücləndiricisi təkpolyarlı qida mənbəyindən istifadə etməyə imkan verir.

Gücləndiricinin qeyri – invers girişinə R1 rezistoru, R2 – R3 potensiometrindən ibarət gərginlik bölgüsündən dayaq gərginliyi verilir. Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi Holl vericisinin çıxış siqnalı sabit maqnit içlik olmadığı zaman 4.5V təşkil edir. R2 – R3 potensiometrləri vasitəsilə gərginlik bölgüsünün çıxış siqnalı da 4.5V-a nizamlanır.

Burada gərginlik bölgüsü və Holl vericisi eyni +9V gərginliyindən qidalanır. Sabit maqnit içlik solenoidin daxilində olmadığı halda əməliyyat gücləndiricisinin hər iki girişinə verilən gərginliklər eyni və 4.5V-a bərabərdir.

Bildiyimiz kimi əməliyyat gücləndiricisi giriş siqnallarının fərqini gücləndirir və bu halda gərginliklərin fərqi sıfır olduğu üçün buna uyğun olaraq çıxış gərginliyi də sıfırdır və solenoid cərəyanı da sıfıra bərabərdir. Nəzərə alsaq ki,

$$U_{\varphi II} = K_{guc} \cdot U_{gir}, \quad (1)$$

burada,  $K_{guc} = R5/R4$  - gücləndiricinin gücləndirmə əmsalıdır.

Gücləndirmə əmsalının qiymətini tənzimləmək üçün R1 müqaviməti potensiometrlə əvəz olunub.

Levitasiya edən sabit maqnit solenoidin daxilində yerləşdikdə onun maqnit sahəsi Holl vericisinə təsir edir və vericinin çıxış gərginliyi 4.5V-dan azalmağa başlayır. Bu zaman əməliyyat gücləndircisinin girişində gərginliklərin fərqi yaranır. Əməliyyat gücləndircisi gücləndirmə əmsalına uyğun olaraq bu gərginliyi gücləndirir və bu gərginlik T1 tranzistorunun bazasına verilir.

### 3. Tənzimlənən gərginlik bölgüsü

Gərginlik bölgüsü əməliyyat gücləndircisinin girişinə dayaq gərginliyi vermək üçün istifadə olunub. O, R1 rezistoru və R2, R3 potensiometrlərindən ibarətdir. Bölücünün çıxış gərginliyinin dəqiq tənzimlənməsi üçün R2, R3 müqavimətləri potensiometrlə əvəz olunub.

Gərginlik bölgüsünün çıxış gərginliyi aşağıdakı kimi hesablanır:

$$U_{\text{çix}} = U_{\text{gir}} / (R1 + R2 + R3) * (R2 + R3), \quad (2)$$

### 4. Solenoid cərəyanı gücləndircisi

Burada T1 tranzistoru emitter təkrarlayıcı (ET) kimi qoşulmuşdur və cərəyan gücləndircisi rolunu oynayır. O, elektron gücləndircisinin son kaskadını təskil edir və  $I_e$  emitter dövrəsi cərəyanı ilə  $U_b$  baza gərginliyi arasında əlaqə yaradır. Gücləndircisinin çıkış siqnalı artan zaman solenoid cərəyanı artmağa başlayır və yaranan elektromaqnit sahəsi sabit maqnitin sonrakı hərəkətini tormozlayır. Nəticədə sabit maqnit levitasiya vəziyyətinə keçir və statik rejim yaranırvə beləliklə qurğu tam işlək vəziyyətə gətirilir.

Əgər qurğu şaquli sürətlə üzü yuxarı hərəkət etdikdə A verici hissədə sabit maqnitə aşağı yönəlmüş  $\vec{a}_y$  təcili təsir edir. Bu qurğunun və ümumilikdə sistemin giriş siqnalıdır. Bu halda:

$$I_s = \frac{m(g + a_y)}{k_0} \quad (3)$$

Göründüyü kimi giriş  $\vec{a}_y$  təciliňə uyğun olaraq çıkış siqnalı  $I_s$  – solenoid cərəyanı dəyişir. Qurğuya şaquli istiqamətdə ağırlıq qüvvəsi istiqamətində təsir edən  $\vec{a}_y$  təcil  $0.01 \text{ m/san}^2$  olduqda (3)-ə əsasən solenoid cərəyanının dəyişməsi  $\Delta I_s = 250.25 \text{ mA}$  alınır.  $\vec{a}_y = g$  olduqda

$$I_s = \frac{2mg}{k_0} = \frac{2 \cdot 0.005 \cdot 9.81}{0.1962} = 500 \text{ mA} \text{ alınır.}$$

Qurğu şaquli istiqamətdə aşağı hərəkət etdikdə  $\vec{a}_y$  təcili istiqamətini dəyişir, yəni mənfi olur. Bu zaman A verici hissədə (3) düsturu aşağıdakı kimi hesablanır:

$$I_s = \frac{m(g - a_y)}{k_0} \quad (4)$$

Əgər qurğu şaquli istiqamətdə aşağı  $0.1 \text{ m/san}^2$  təcillə hərəkət edərsə A verici hissədə solenoiddən axan cərəyan aşağıdakı qiymətə malik olacaqdır:

$$I_s = \frac{m(g - a_y)}{k_0} = 247.45 \text{ mA}$$

Aşağı hərəkət zamanı yaranan təcil  $-1g$ -ni keçdikdə A verici hissədə sabit maqnit çəkisizlik vəziyyətinə düşür. Bu zaman B verici hissə “işləməyə başlayır”. Təcil  $-1g$ -dən aşağı düşdükdə B verici hissədə sabit maqnit solenoidin daxilində üzü yuxarı yerdəyişmə edir. B verici hissədə elementlərin yerləşməsi və elektrik parametrləri A verici hissəyə analojidir. Burada da Holl çıxış gərginliyi  $4.5V$ -dan azalmağa başlayır və uyğun olaraq solenoid cərəyanı artır. Burada solenoiddən axan cərəyan aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$I_s = -\frac{m(g - a_y)}{k_0} \quad (5)$$

Mikrokontrollerdə  $\vec{a}_y$  təciliinin qiymətindən istifadə olunaraq  $V = V_0 \pm \vec{a} \cdot t$  düsturuna əsasən şaquli sürət hesablanır.  $t=0.001$  san götürülür. Yəni mikrokontrollerin daxilindəki ARÇ-dən istifadə etməklə aşağıdakı düsturların köməyi ilə şaquli sürəti hesablayır və alınmış nəticələr elektron displayə verilir.

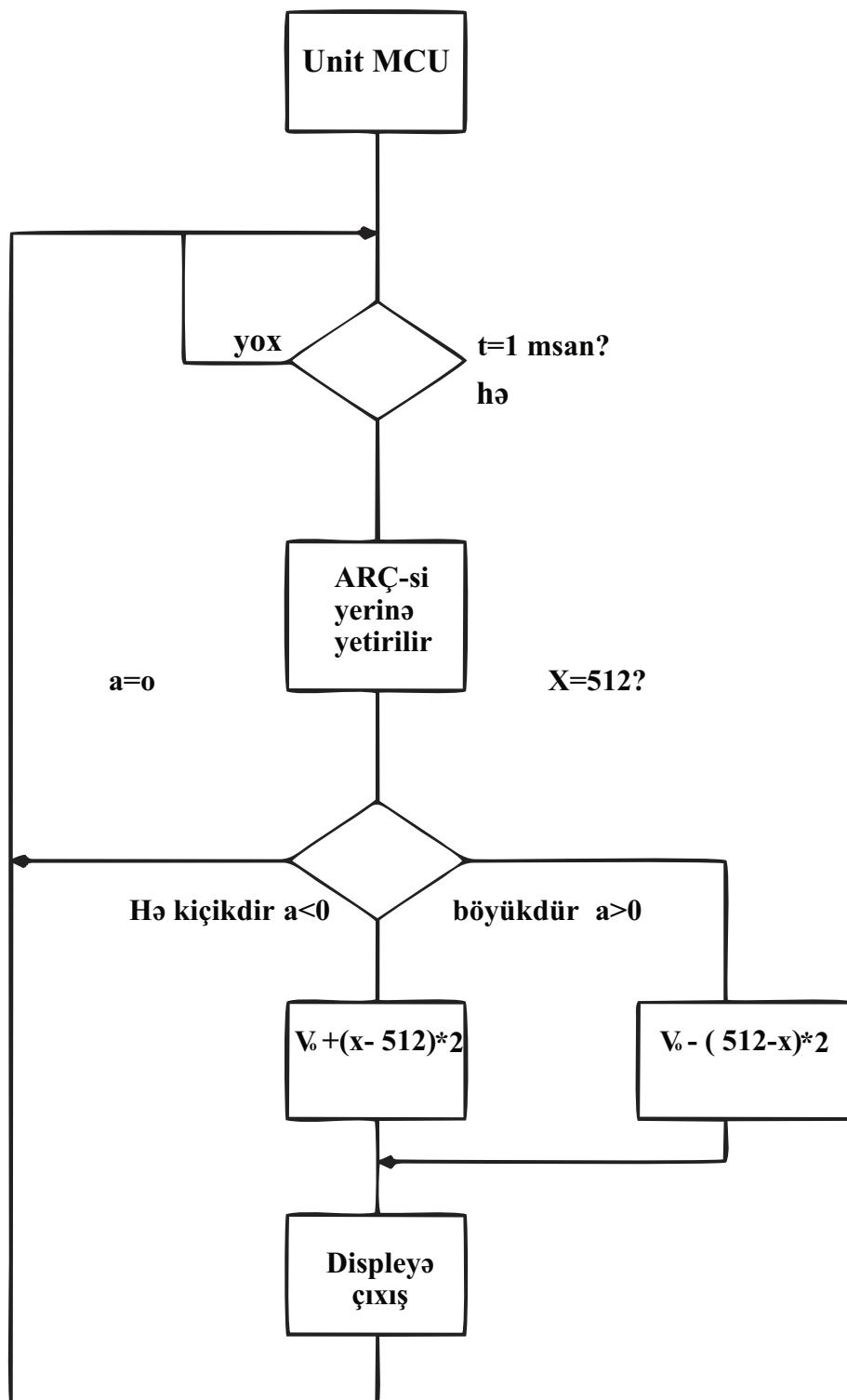
Yuxarıda deyilənlərə əsasən qurğunun real laboratoriya maketi hazırlanmışdır. Burada mikrokontroller kimi Microchip firmasının istehsalı olan 8 bitli PİC16F676 mikrokontrolleri istifadə olunmuşdur. Hazırlanmış qurğunun iş alqoritmi aşağıdakı şəkildə göstərilmişdir (şək. 2).

ARÇ-nin girişində  $2.5 V$  gərginliyə uyğun kod 512 ədədinə uyğundur. Bu isə verilmiş halda təciliin 0 qiymətinə uyğun gəlir. Yuxarıdakı alqoritmə uyğun olaraq mikrokontroller əgər ARÇ-də alınmış kod 512-dən böyükdürsə (yəni, təcil müsbətdir)  $(x-512)*2$  düsturu ilə, alınmış kod 512-dən kiçik olduqda isə  $(x-512)*2$  düsturuna əsasən təcili hesablayır. Bu hesablama prosesi alqoritmdən də göründüyü kimi hər  $1ms$ -dən bir aparılır və təciliin hesablanmış qiyməti təciliin müsbət və ya mənfi qiymətindən asılı olaraq  $V_0$  başlangıç sürəti ilə toplanıb və ya çıxlaraq yadda saxlanılır və displaydə sürətin indikasiyası hər  $0.25$  saniyədə bir dəfə yenilənir.

Real halda burada əlavə olaraq ikilik kod şəklində alınmış nəticənin displaydə indikasiyası üçün ikilik-onluq koda çevrilməsi və dinamik indikasiya alqoritmi də daxildir. Həmçinin götürülmüş mikrokontroller 8 bitli ədədlər üzərində əməliyyatlar apara bildiyi halda yuxarıdakı alqoritmin reallaşdırılması zamanı 8-16 bitli ədədlər üzərində işləmək məcburiyyəti yaranır. Bu isə alqoritmin mürəkkəbləşməsinə səbəb olur. Verilmiş hal üçün sxemdə istifadə olunan 8 bitli PİC16F676 mikrokontrolleri qurğunun qeyd olunan imkanlarını nümayiş etdirmək üçün kifayət edir. Daha yüksək nəticələrin alınması üçün 16-32 bitli mikrokontrolerlərdən və yüksək səviyyəli programlaşdırma dillərindən (məsələn Sİ dili) istifadə etmək zəruridir.

Şaquli sürəti ölçən qurğunun blok sxeminə əsasən Assembler dilində onun programı təminatı yazılmışdır.

Maqnit levitasiya prinsipinə əsaslanan şaquli sürəti ölçən qurğunun prinsipial elektrik sxemi işlənilmiş, onun işləmə alqoritmi tərtib edilmiş və Assembler dilində program təminatı işlənib hazırlanmışdır.



Şək. 2. Şaquli sürəti ölçən quröunun iş alqoritmi

## REFERENCES

1. **Pashayev A.M., Efendiev O.Z.** Teoriya i praktika magnitnoj levitacii v priborostroenii. M.: Mashinostroenie. 2009. 335 p. (in Russia)
2. **Lilienkamp K.A., Lundberg K.H.** Low-cost magnetic levitation project kits for teaching feedback system design. In Proc. 2004. Amer. Control. Conf. Boston. MA. June 2004. Pp. 1308-1313.
3. **Craig K., Kurfess T., Nagurka M.** Magnetic levitation testbed for controls education. In Proc. ASME Dynamic System and Control Division. V. 64. 1998. Pp. 83-88.
4. **Urazaev V.** Tehnicheskaja levitacija. Tehnologii v jelektronnoj promyshlennosti. No. 6. 2007. Pp. 10 -17. (in Russia)
5. Magnetic levitation schematic. Barry's Coilgun Design Site.  
<http://www.oz.net/~coilgun/home.htm>, coilgun@oz.net. Rev. 25 Nov. 2001.
6. **Paşayev A.M., Əfəndiyev O.Z., Məmmədov A.Z.**, Patent İ2012 0042. 18.04.2012. Uçan aparatın şaquli sürətini ölçən cihaz. (in Azerbaijan)
7. **Badalov A.Z., Nabiev R.N., Mamedov A.Z.**, Uslovija ustojchivoj i stabil'noj levitacii magnitnogo serdechnika. Izvestija JuFU 2013. No. 2. Pp. 130-135. (in Russia)

### **ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ПОЛЕТА САМОЛЕТА НА БАЗЕ МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ**

A.3. БАДАЛОВ, Р.Н. НАБИЕВ, А.З. МАМЕДОВ

В статье приводится описание предлагаемой версии схемы прибора для измерения вертикальной скорости полета самолета на базе принципа магнитной левитации. Величина скорости полета отображается на информационном табло в цифровом виде. Электрическая схема, прибора отличается простотой схемотехнического решения. В статье приводится описание функциональной блок-схемы и её расчет. Также разработано устройство программного обеспечения для расчета и индикации скорости.

**Ключевые слова:** летательный аппарат, система магнитной левитации, соленоид, вертикальная скорость, магнитный сердечник, электрическая схема.

### **INSTRUMENTAL MEASURING OF AIRCRAFT VERTICAL SPEED BASED ON MAGNETIC LEVITATION**

A.Z. BADALOV, R.N. NABIYEV, A.Z. MAMMADOV

The aim of this work to propose an appliance schema for measuring an aircraft vertical speed based on the concept of magnetic levitation. The aircfract velocity is displayed on the digital monitor. The schematic diagram of device can be singled out due to a simplicity of its circuit design. The functional block-diagram and its calculation are provided in the paper. The actual software to calculate and display speed is also developed.

**Key words:** aircraft, system of a magnetic levitation, solenoid, vertical speed, magnetic core, electric scheme.

## МЕТОДЫ СОКРАЩЕНИЯ ПОТЕРЬ АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АВИАТОПЛИВОБЕСПЕЧЕНИЯ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

С.Г. ПУРХАНИ, Д.С. МЕХТИЕВ, Р.Э. КУЛИЕВ

В статье рассмотрены виды и причины потерь авиационных топлив, раскрыты возможные методы их сокращения. Представлены подходы к расчёту технико-экономического обоснования выбора технических средств для сокращения потерь авиационного топлива.

**Ключевые слова:** *авиатопливо, сокращение потерь, методы, оборудование, установки.*

Потери авиатоплива от утечек из резервуаров, а также от неполного слива автомобильных и железнодорожных цистерн, обводнения, зачистки, вследствие аварий, разливов, разбрзгивания и испарения наносят огромный ущерб экономике предприятий авиатопливообеспечения, приводят к дополнительным затратам общественного труда и снижению эффективности производства. Кроме того, потери авиатоплива при авариях, разливах и утечках загрязняют почву, грунтовые воды и водоемы. Многократные перевалки и хранение топлива в резервуарах ведут к потерям от испарения. Транспортирование, хранение, прием и выдача топлив обычно также сопровождаются потерями, которые с точки зрения их предотвращения условно можно разделить на потери естественные, эксплуатационные и аварийные.

Естественные потери зависят от свойств используемых топлив и условий их содержания, в частности температуры, атмосферного давления, размеров и технического состояния емкостей, скорости их заполнения или опорожнения, способов хранения, транспортирования, приема и выдачи.

Следует отметить, что потери от испарения даже при использовании наиболее широко распространенного современного оборудования полностью предотвратить невозможно. Их можно в значительной степени снизить путем рациональной организации работ и достижения высокого уровня технического состояния оборудования.

Эксплуатационные потери топлив в меньшей степени зависят от их свойств. Это потери от утечек, проливов, неполного слива, загрязнения, обводнения, осмоления, смешения, подтекания, переливов и нарушения герметичности емкостей. Они происходят из-за неудовлетворительного технического состояния емкостей хранения, средств

транспортирования, оборудования складов ГСМ, трубопроводов, средств перекачки и заправки, обусловленных несвоевременностью их профилактического осмотра и ремонта, а также неправильным выполнением операции по приему и выдаче авиационных топлив.

Эксплуатационные потери, конечно же, могут быть полностью устранены.

Аварийные потери авиатоплива – это потери, возникающие вследствие несоблюдения строительных норм и правил при проектировании и сооружении транспортных средств и условий их хранения, нарушения правил технической эксплуатации и несвоевременного ремонта оборудования, несоблюдения правил обращения с нефтепродуктами, заводских дефектов труб, их износа и непредсказуемых стихийных бедствий [1].

Для проектирования средств транспортировки и хранения учитывают как свойства нефтепродуктов (взрывоопасность, огнеопасность, горючесть и пр.), так и надежность средств транспортировки и хранения в зависимости от условий, в которых они будут эксплуатироваться. Основные строительные нормы и требования к перекачивающим станциям и объектам хранения нефтепродуктов для обеспечения их безаварийной работы изложены в СНиП II-106-79 и в последующих дополнениях и изменениях. Основные же требования к конструкции аэродромных топливозаправщиков изложены в стандарте EN 12312-5 «Aircraft fuelling equipment» (англ. «Топливозаправочное оборудование воздушных судов»).

Сокращения таких видов потерь можно достичь, соблюдая правила производства работ на территории склада ГСМ, правила технической эксплуатации трубопроводов, резервуаров, оборудования и средств транспортировки, а также осуществления их своевременной диагностики и ремонта [2].

Потери авиатоплив можно также подразделять на количественные, качественные и количественно-качественные.

К количественным потерям топлив относятся такие, при которых качество оставшегося продукта не изменяется, это потери от утечек и разливов. Утечки возникают в результате негерметичности резервуаров, трубопроводных коммуникаций, насосов и другого оборудования. Разливы топлива происходит главным образом при нарушениях, то есть неверном осуществлении технологических операций (в результате переполнения емкостей, при неисправных сливно-наливных устройствах, а также при переливе резервуаров склада ГСМ и т.д.).

Качественные потери топлив обусловлены их обводнением, смешением, окислением и загрязнением. Основные причины этих потерь – неправильная подготовка и зачистка резервуаров из-под одного сорта нефтепродукта для приема другого сорта, перекачка нефтепродуктов разных сортов по одному трубопроводу без соответствующей его подготовки или в результате нарушения эксплуатационного режима последовательности перекачки. К этим же причинам относится изменение качества топлива за счет окисления в условиях хранения и транспортировки. Контакт с кислородом воздуха, металлами, проникновение света в хранилище, а также повышение температуры приводят к тому,

что наиболее активная часть соединений вступает в реакцию окисления, обусловливающую образование смол и нерастворимых осадков.

Количественно-качественные – это потери, при которых происходит количественная потеря с одновременным ухудшением качества остающегося продукта. Такой вид потери получается главным образом при испарении топлива. Чем выше испаряемость топлива, тем больше потери от испарения и тем заметнее ухудшается их эксплуатационная характеристика.

Потери зависят не только от качества топлива, но и от способа его хранения. Так, потери из наземных резервуаров во много раз больше, чем из заглубленных резервуаров или из подземных хранилищ, отличающихся более благоприятными температурными условиями. Процесс испарения в резервуарах, железнодорожных цистернах и автоцистернах имеет одинаковый характер, однако в транспортных емкостях потери всегда больше за счет частого их сообщения с атмосферой при открывании люков в процессе слива и налива.

При приеме и хранении авиатоплива в резервуарах различают потери от «больших дыханий», «малых дыханий», «обратного выдоха», от насыщения газового пространства и от его вентиляции [3].

Потери от «больших дыханий» имеют место при операциях заполнения резервуара. При откачке авиатоплива из резервуара объем газового пространства увеличивается. Поэтому давление в нем падает, и через дыхательную арматуру в резервуар подсасывается атмосферный воздух. Это, с одной стороны, приводит к снижению средней концентрации углеводородов в газовом пространстве, а с другой стороны, струя воздуха омыает поверхность нефтепродукта. В результате процесс его испарения интенсифицируется. При последующем заполнении резервуара насыщенная углеводородами паровоздушная смесь вытесняется в атмосферу через дыхательную арматуру.

Потери от «малых дыханий» главным образом обусловлены суточными колебаниями температуры и атмосферного давления. В ночное время температура наружного воздуха уменьшается, вызывая остывание паровоздушной смеси в газовом пространстве резервуара, что, в свою очередь, приводит к снижению давления в нем. Как только вакум достигает величины, равной установке дыхательного клапана, внутрь резервуара начинает поступать атмосферный воздух, интенсифицируя процесс испарения. В дневное время под воздействием солнечной радиации и более высокой температуры наружного воздуха давление в газовом пространстве резервуара увеличивается. Как только оно сравняется с расчетным давлением срабатывания его дыхательного клапана, паровоздушная смесь начнет вытесняться в атмосферу. Потери от «малых дыханий» еще называют потерями от термического расширения газовоздушной смеси. Аналогичным образом это происходит и при изменении барометрического давления воздуха.

Потери от «обратного выдоха» обусловлены следующим. После частичного опорожнения резервуара до некоторого уровня его газовое пространство недонасыщено углеводородами. При дальнейшем простое резервуара происходит донасыщение газового пространства, что вызывает рост давления в нем. Как только оно достигает расчетного

давления срабатывания дыхательного клапана, последний открывается и происходит вытеснение в атмосферу некоторого объема паровоздушной смеси. Практически потери от «обратного выдоха» небольшие и составляют 7-12% от «больших дыханий». При расчетах в среднем их принимают равными 10% от объема потерь при «больших дыханиях».

Потери от насыщения газового пространства возникают после завершения заполнения в том случае, когда концентрация углеводородов в нем ниже концентрации насыщенных паров. При этом, хотя заполнение закончилось, дыхательная арматура резервуара не закрывается, так как топливо продолжает испаряться. Потери от насыщения газового пространства имеют место, как правило, при окончании заполнения топлива в резервуары в первой половине дня, когда температура газового пространства увеличивается. При окончании заполнения во второй половине дня падение температуры газового пространства, как правило, оказывает влияние на давление в нем. И поэтому потеря от насыщения газового пространства в этом случае обычно не бывает.

Потерями от вентиляции газового пространства называются потери, возникающие в результате недостаточной герметичности резервуаров. Эти потери делятся на потери от выдувания и от газового сифона.

Потери от выдувания происходят в резервуарах с негерметичными крышами, через неплотности которых происходит выдувание паров ветром. Наружный воздух, входя в резервуар через отверстие с наветренной стороны, выходит через другое отверстие с подветренной стороны и уносит с собой пары, т. е. происходит как бы продувка паровоздушного пространства чистым воздухом.

Потери от газового сифона происходят в тех случаях, когда один конец трубы соединен с газовым пространством, а другой конец опущен до нижней части резервуара и сообщен с атмосферой, в результате чего паровоздушная смесь выходит из резервуара наружу. Такой газовый сифон может создаться, например, в пеноподводящей трубе, не имеющей герметизирующей мембранны или при нарушении ее плотности. Газовый сифон также образуется в случаях, когда отверстия в крыше резервуара расположены на разных уровнях. В этом случае вследствие разности плотностей воздуха и паровоздушной смеси образуется газовый сифон: паровоздушная смесь истекает через нижнее отверстие, а освободившееся пространство занимает воздух, подсасываемый через верхнее отверстие. Таким образом, создается естественная циркуляция воздуха и паров. Однако такой механизм вентиляции имеет место только в частном случае, когда давление в верхней точке газового пространства равно атмосферному. На самом деле вследствие изменения температуры и испарения топлива давление, как правило, либо больше, либо меньше атмосферного. Соответственно, при этом через все имеющиеся отверстия либо происходит истечение паровоздушной смеси в атмосферу, либо в резервуар подсасывается воздух. Следовательно, потери от вентиляции газового пространства имеют место тогда, когда давление в газовом пространстве превышает атмосферное, но дыхательная арматура закрыта.

При эксплуатации объектов авиатопливообеспечения с целью последовательного развития экономической стабильности отрасли, а также охраны окружающей среды необходимо принимать соответствующие меры по борьбе со всеми возможными потерями авиатоплива.

Сокращение потерь авиатоплива осуществляется в основном двумя методами: применением специальных технических средств и проведением организационно-технических мероприятий по снижению потерь.

К специальным техническим средствам относятся вид и особенности используемого технологического оборудования и установок, способствующих снижению потерь авиатоплива. К организационно-техническим мероприятиям относятся в основном методы рационализации организации эксплуатации всего оборудования для приема, хранения, выдачи авиатоплива и заправки ВС, установок и трубопроводных коммуникаций, направленных на соблюдение всех правил по эксплуатационному уходу за ними [4].

Сокращение потерь авиатоплива может быть достигнуто при применении ниже перечисленных специальных технических средств.

1. Диска-отражателя, который устанавливается на некотором расстоянии под монтажным патрубком дыхательного клапана резервуара. Назначением диска-отражателя является предотвращение перемешивания содержимого газового пространства резервуаров при их опорожнении. С его помощью изменяется направление струи входящего воздуха с вертикального на горизонтальное. Благодаря этому вошедший воздух оттесняет пары топлива вниз, а сам занимает положение под кровлей. При последующем заполнении резервуара в атмосферу вытесняется этот воздух с примесью паров нефтепродукта, проникших в него, благодаря диффузии конвекции. Эффективность применения дисков-отражателей увеличивается с уменьшением номинальной вместимости резервуаров, при пасмурной погоде, а также при увеличении объема откачиваемого топлива.

2. Ограничителя налива, который применяется для борьбы с потерями от переливов резервуаров. Он автоматически прекращает подачу топлива при достижении допустимого уровня налива, которое задается заранее в системе программного обеспечения. Традиционный ограничитель состоит из чувствительного элемента (датчика уровня, преобразователя) усилителя и исполнительного устройства в виде запорного клапана. Пневматические, поплавковые, емкостные или ультрафиолетовые датчики уровня устанавливают на горловину резервуаров или на наливные трубы. Запорный клапан монтируют на технологических трубопроводах непосредственно на пункте приема топлива.

3. Водяных оросительных установок, которые монтируют на кровле резервуара и обычно выполняют в виде сегнерова колеса. При орошении резервуара вода, покрывая тонкой пленкой его поверхность, аккумулирует часть солнечной энергии, вследствие чего уменьшается нагрев кровли и стенок и, следовательно, газового пространства резервуара. Орошение резервуаров водой сокращает потери в основном только от «малых дыханий» в результате значительного уменьшения амплитуды колебания температуры

газового пространства. Сокращение потерь от «больших дыханий» при водяном орошении незначительно.

Чтобы получить максимальный эффект от оросительных систем, их включение в работу производят в солнечные дни или в дни с переменной облачностью не позднее чем через 1-1,5 ч после восхода солнца, а выключение – не ранее чем за 2-2,5 ч до захода солнца. Это связано с тем, что расширение паровоздушной смеси в газовом пространстве резервуара происходит в утренние часы до полудня. По достижении газовым пространством резервуара максимальной температуры расширение смеси и, следовательно, «выдох» прекращаются. С началом уменьшения температуры газового пространства начинается «вдох». Однако оросительные установки должны продолжать работу и во время «вдоха», так как при несвоевременном их отключении (менее чем за 2-2,5 ч до захода солнца) происходит дополнительное «малое дыхание».

Для получения максимального эффекта в сокращении потерь от испарения при использовании водяного орошения целесообразно процесс включения–отключения оросительных установок автоматизировать. При этом необходимо принимать меры по защите резервуаров от коррозии и фундаментов от размывания стекающей водой.

4. Газовой обвязки резервуаров, который дает наибольший эффект в резервуарных парках, где работа по приему и откачке совпадают как по производительности, так и по времени. В этом случае сохраняется значительное количество паров топлива, которые перетекают из резервуара в резервуар. В то же время затраты на устройство газовых обвязок сравнительно невелики. Газовые обвязки рекомендуется выполнять по схеме, в которой все резервуары с авиатопливом объединены в одну общую газоуравнительную систему. Это обеспечивает взаимозаменяемость всех резервуаров парка или группы резервуаров, связанных общими технологическими операциями.

5. Газоуравнительных систем, которые отличаются от газовой обвязки наличием специального газосборника. Он служит для того, чтобы аккумулировать часть паровоздушной смеси при несовпадении операций приема-выдачи. Благодаря этому сокращение потерь топлива при применении газоуравнительной системы больше, чем при применении газовой обвязки.

Газосборники имеют различную конструкцию:

- Газгольдеры низкого (до 4000 Па) или высокого (до 1,8 МПа) давления. Представляют собой цилиндрические или сферические стальные емкости. Изготовление этих установок требует больших металлизатрат, что усложняет их экономическую окупаемость.
- Эластичные газосборники – это емкости, изготовленные из синтетических (резинотканевых) материалов. Вследствие короткого срока службы эластичные газосборники не получили широкого распространения.
- Наиболее выгодными с экономической и технической точки зрения являются «дышащие баллоны» из стали. Они представляют собой плоские резервуары большого (12...45 м) диаметра и малой (1...1,5 м) высоты. Крыша и днище газосборников изгото-

лены из листовой стали толщиной 2 мм. При наполнении парами крыша газосборников поднимается на высоту 2...4,5 м. Газосборники типа «дышащий баллон» (за рубежом их называют «баллоны Виггинса») не требуют больших капитальных затрат и эксплуатационных расходов.

6. Резервуаров с плавающим pontоном, которые предназначены для снижения потерь хранящихся в них нефтепродуктов. Ponton, плавающий на поверхности топлива, уменьшает площадь испарения по сравнению с обычным резервуаром, благодаря чему резко снижаются потери от испарения. Ponton представляет собой жесткую газонепроницаемую конструкцию, закрывающую не менее 95% поверхности нефтепродукта, снабженную кольцевым герметизирующим затвором. Конструкция pontона представляет собой диск с поплавками, обеспечивающими его плавучесть. Между pontоном и стенкой резервуара остается зазор шириной 100-300 мм во избежание заклинивания pontона вследствие неровностей стенки. Зазор перекрывается уплотняющими герметизирующими затворами. Известны несколько конструкций затворов, однако наибольшее применение имеет затвор из прорезиненной ткани, профили которой имеют форму петли с внутренним заполнением затвора (петли) упругим материалом. Герметизирующий затвор является неотъемлемой частью pontона. Без затвора работа pontона мало эффективна.

7. Резервуаров с плавающей крышей, которые не имеют стационарной кровли, а роль крыши у них выполняет диск из стальных листов, плавающий на поверхности топлива (рис. 1). Для создания плавучести по контуру диска располагается кольцевой ponton, разделенный радиальными переборками на герметические отсеки (коробки). Зазор между крышей и стенкой для большей герметичности выполняют из прорезиненных лент (мембран), прижимаемых к стенке рычажными устройствами.

Резервуары с плавающей крышей рекомендуются преимущественно для строительства в районах с малой снеговой нагрузкой, так как скопление больших количеств снега на крышах усложняет их эксплуатацию, связанную с необходимостью удаления снега (при слое выше 100 мм). Плавающая крыша уменьшает площадь испарения по сравнению с обычным резервуаром, благодаря чему резко снижаются потери от испарения.

8. Нефтоловушек, которые являются основными сооружениями, предназначенными для отстаивания нефтесодержащих сточных вод. Нефтоловушки работают по принципу разности удельных весов воды и отделяемых частиц. В процессе отстаивания происходит всплытие нефти или нефтепродуктов и выпадение осадка. Нефтоловушки обеспечивают очистку сточных вод до остаточного содержания нефти или нефтепродуктов не более 50–100 мг/л. В зависимости от объема сточных вод применяют нефтоловушки различной производительности и конструкции. Для нормальной эксплуатации нефтоловушек необходимо производить:

- равномерное распределение сточных вод между секциями нефтоловушек в количестве, не превышающем расчетный расход;
- регулярный сбор накопившихся ГСМ;
- своевременное удаление осадка [5].

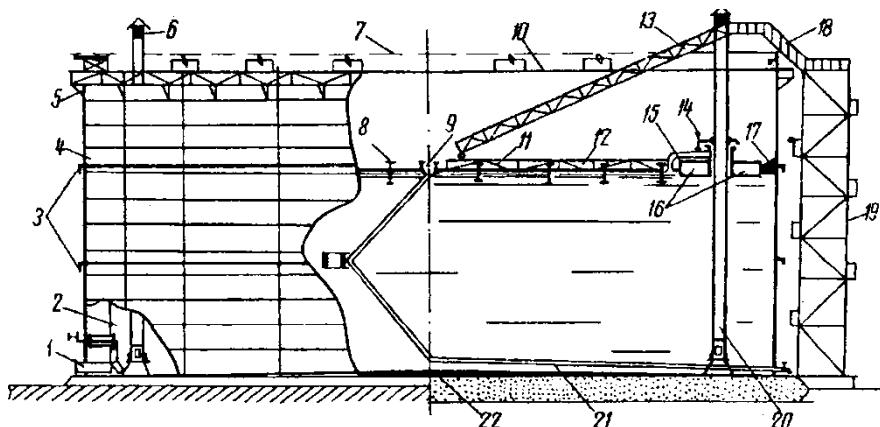


Рисунок 1. Резервуар с плавающей крышей:

1 – приемо-раздаточный патрубок с хлопушкой; 2 – запасной трос хлопушки; 3 – кольца жесткости; 4 – стенка резервуара; 5 – кольцевая площадка жесткости; 6 – огневой предохранитель; 7 – трубопровод раствора пены; 8 – опорные стойки плавающей крыши; 9 – водоприемник атмосферных осадков; 10 – сухопровод орошения стенки резервуара; 11 – плавающая крыша; 12 – опорная ферма; 13 – катучая лестница; 14 – бортик удерживания пены; 15 – опорная ферма; 16 – периферийный кольцевой понтон плавающей крыши; 17 – уплотнитель (затвор) плавающей крыши; 18 – переходная площадка; 19 – шахтная лестница; 20 – трубчатая направляющая плавающей крыши; 21 – дренажная система; 22 – днище резервуара

9. Системы улавливания легких фракций, которая применяется для сокращения потерь топлива от испарения. Представляет собой совокупность технологического оборудования, обеспечивающего отбор и утилизацию легких фракций авиатоплива при повышении давления в газовом пространстве резервуаров до того, как произойдет их «выход» в атмосферу. В системах улавливания легких фракций применяются следующие методы отделения углеводородов от паровоздушной смеси: конденсация компримированием, конденсация охлаждением, адсорбция.

Перечисленные специальные технические средства различаются как по степени сокращения потерь авиатоплива, так и по своей стоимости. При выборе того или иного технического средства снижения потерь необходимо руководствоваться технико-экономическим обоснованием. В рыночных условиях выбор технических средств сокращения потерь авиатоплива следует производить по максимальной величине чистого дисконтированного дохода, который рассчитывается по формуле [6]:

$$\text{ЧДД} = \sum_{i=0}^N \frac{\sigma_h \cdot S_i \cdot G_n - \mathcal{E}_i - K_i}{(1+E)^i},$$

где  $\sigma_h$  – обобщенная цена 1 т нефтепродукта;

$S_i$  – сокращение потерь в  $i$ -м году;

$\mathcal{E}_i$  – эксплуатационные затраты в  $i$ -м году;

$K_i$  – капитальные вложения в  $i$ -м году;

$G_n$  – годовые потери нефтепродукта в данном предприятии;

$E$  – норматив приведения (дисконта);

$N$  – продолжительность внедрения технических средств сокращения потерь, лет.

Также могут способствовать сокращению потерь авиатоплив нижеприведенные широко применяемые организационно-технические мероприятия, для чего рекомендуется:

1. использовать трубопроводный транспорт для доставки авиатоплива;
2. применять закрытый слив авиатоплива из железнодорожных и автоцистерн;
3. сокращать сроки слива;
4. не допускать перелива авиатоплива;
5. обеспечивать герметичность трубопроводов, резервуаров, технологического оборудования;
6. контролировать герметичность и своевременно выявлять места утечки авиатоплива;
7. принимать меры по сбору авиатоплива и ликвидации их утечки;
8. осуществлять мероприятия, способствующие уменьшению потерь от «больших дыханий», «малых дыханий», «обратного выдоха», от насыщения газового пространства и от его вентиляции;
9. сокращать количество внутристорожевых перекачек;
10. расширять применение системы централизованной заправки самолетов и нижний налив топливозаправщиков;
11. сокращать пробеги топливозаправщиков и автоцистерн с топливом;
12. обеспечивать высокую точность измерения количества авиатоплива при приеме, хранении, внутристорожевых перекачках, выдаче и при проведении инвентаризации;
13. оборудовать склад ГСМ системой устройства для слива и утилизации отстоя ГСМ;
14. сокращать количество «перевалок» топлива;
15. окрашивать наружные и внутренние поверхности резервуаров луцеотражающими красками. Этот метод не требует капитальных затрат и может применяться в любых условиях. Способствует значительному уменьшению амплитуды колебания температуры газового пространства, в результате чего снижаются потери от испарения. Рекомендуется окрашивать резервуар алюминиевой краской (коэффициент отражения 67) или белой эмалью (коэффициент отражения 90). Целесообразно окрашивание не только наружных, но и внутренних поверхностей резервуара. Это уменьшает поток тепла от стенок к поверхности авиатоплива за счет низкого коэффициента излучения, что снижает потери в среднем на 30%;
16. скорость заполнения резервуаров должна быть максимально возможной;
17. скорость полной откачки из резервуаров с последующей их зачисткой и пропариваемость также должны быть максимально возможными;
18. скорость частичной откачки из резервуаров должна устанавливаться в зависимости от следующего: если резервуар после частичной откачки может быть быстро заполнен, откачка должна производиться с максимально возможной скоростью; если резервуар должен длительное время простоять с остатком, откачуку необходимо вести по возможности медленно;
19. время между смежными циклами частичной откачки и заполнения резервуаров должно быть максимально сокращено. Учитывая взаимосвязь операций (уменьшение потерь при одной из них может привести к увеличению потерь при других) для организации рациональной эксплуатации резервуаров всегда следует отыскивать решения,

приводящие к минимально возможным суммарным потерям при всех выполняемых операциях.

Ущерб, наносимый потерями авиатоплива, определяется не только их стоимостью, но и загрязнением окружающей среды. Поэтому сокращение потерь авиатоплива на каждом этапе от приема на склад ГСМ до заправки ВС является сложной и актуальной задачей. Борьба с потерями авиатоплива имеет не только технико-экономическое, но и социальное значение. Авиатоплива, "потерянные" при эксплуатации техники и отпуске, загрязняют окружающую среду. Сокращение потерь авиатоплива является одним из важнейших направлений ресурсосбережения. Поэтому все мероприятия, предусматривающие сокращение потерь этих продуктов, направлены на улучшение условий труда, обеспечение чистоты и культуры производства, охрану окружающей среды, что в конечном итоге делает экономически более эффективным, как производство авиатоплива, так и авиаперевозки.

## REFERENCES

1. Bondar V. A., Zorja E. I., Tsagareli D.V. Operacii s nefteproduktami. Moscow. 2000. (in Russia)
2. SNiP II-106-79. Sklady nefti i nefteproduktov. (in Russia)
3. Bunchuk V. A. Transport i hranenie nefti, nefteproduktov i gaza. Moscow 1977. (in Russia)
4. Abuzova F.F., Bronshtejn I.S., Novoselov V.F. Bor'ba s poterjami nefti i nefteproduktov pri ih transportirovke i hranenii. Moscow. 1981. (in Russia)
5. Vorobev Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. Preduprezhdenie i likvidacija avarijnyh razlivov nefti i nefteproduktov. Moscow. 2005. (in Russia)
6. Korshak A.A., Korobkov G.E., Muftahov E.M. Neftebazy i AZS. Ufa. 2006. (in Russia)

## MÜLKİ AVİASIYADA AVİAYANACAQLA TƏMİNAT MÜƏSSİSƏLƏRİNDE AVİAYANACAQ İTKİLƏRİNİN AZALDILMASI ÜSULLARI

S.H. PÜRHANI, C.S. MEHDİYEV, R.E. QULİYEV

Məqalədə aviasiya yanacağının itki növləri və səbəbləri göstərilmişdir. Aviayanacaq itkisinin azaldılması üsulları açıqlanmışdır. Texniki vasitələr seçiminin texniki-iqtisadi əsaslandırılmasının hesablanması təqdim edilmişdir.

*Açar sözlər:* aviayanacaq, itkilərin azadılması, avadanlıqlar, qurğular.

## METHODS TO REDUCE FUEL LOSSES IN CIVIL AVIATION FUEL SUPPLY

S.H. PURHANI, J.S. MEKHTIEV, R.E. GULIYEV

The article examines types and reasons of aviation fuel losses as well as methods of their reduction. Different approaches are suggested for feasibility studies to assign technical means of fuel loss reduction.

*Key words:* aviation fuel, loss reduction, methods, equipment.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В АКВАТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНСКОГО СЕКТОРА КАСПИЙСКОГО МОРЯ

А.Ш. МЕХТИЕВ, Б.М. АЗИЗОВ, А.Н. БАДАЛОВА, Д.А. СУЛТАНОВ,  
Д.С. МЕХТИЕВ, К.Ш. РАМАЗАНОВ

В статье обсуждаются результаты применения радиолокационных данных, осуществленных со спутника "Radarsat-2" для определения параметров локального загрязнения нефтью азербайджанского сектора Каспийского моря. На основе анализа полученных радиолокационных снимков установлены основные источники загрязнения, а также получена информация о динамике проявления нефтезагрязнений и их основных параметрах, а также по оценке объектов технологических сбросов. На основе РЛ-изображений составлены карты распределения нефтяных пленок в исследуемом районе.

**Ключевые слова:** радиолокационные изображения, "Radarsat-2", нефтяные загрязнения, Апшеронский полуостров, поляризация сигналов.

Последние годы характеризуются значительно возросшим загрязнением нефтью и нефтепродуктами отдельных морских акваторий, включая акваторию Каспийского моря, что однозначно связано с вводом в эксплуатацию новых морских месторождений нефти, разведкой и установкой буровых платформ, а также перевозкой различных нефтепродуктов.

В настоящее время для решения проблем, связанных с загрязнением поверхности морей и шельфовых зон океанов, необходима организация эффективного мониторинга подверженных загрязнению нефтью указанных объектов гидросферы. Мониторинг должен включать использование космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для обзора акваторий, обнаружения загрязнений и определения параметров загрязняющих нефтяных пленок, а также контроль динамики их изменений. В современных средствах ДЗЗ, которые применяются для обнаружения и оценки нефтезагрязнений, используют электромагнитные излучения в широком диапазоне длин волн: ультрафиолетовой и видимой (0,26-0,8 mkm), ближней (0,9-3 mkm) и дальней (7-14 mkm) инфракрасной, а также в СВЧ (1-100 см) диапазоне [1].

Среди указанных диапазонных систем самым эффективным является космическая радиолокация с синтезированной апертурой (PCA), формирующей радиолокационные изображения поверхности моря [2, 3].

Радиолокационные методы основаны на анализе рассеянного поверхностью моря сигнала при его облучении СВЧ импульсами, и их использование является очень эффективным в любое время суток и при любой погоде. Космические радиолокаторы обеспечивают получение достаточно регулярной и подробной информации одновременно по всей контролируемой акватории.

В настоящие времена радиолокационные методы изучения нефтяных загрязнений морских акваторий позволяют осуществлять:

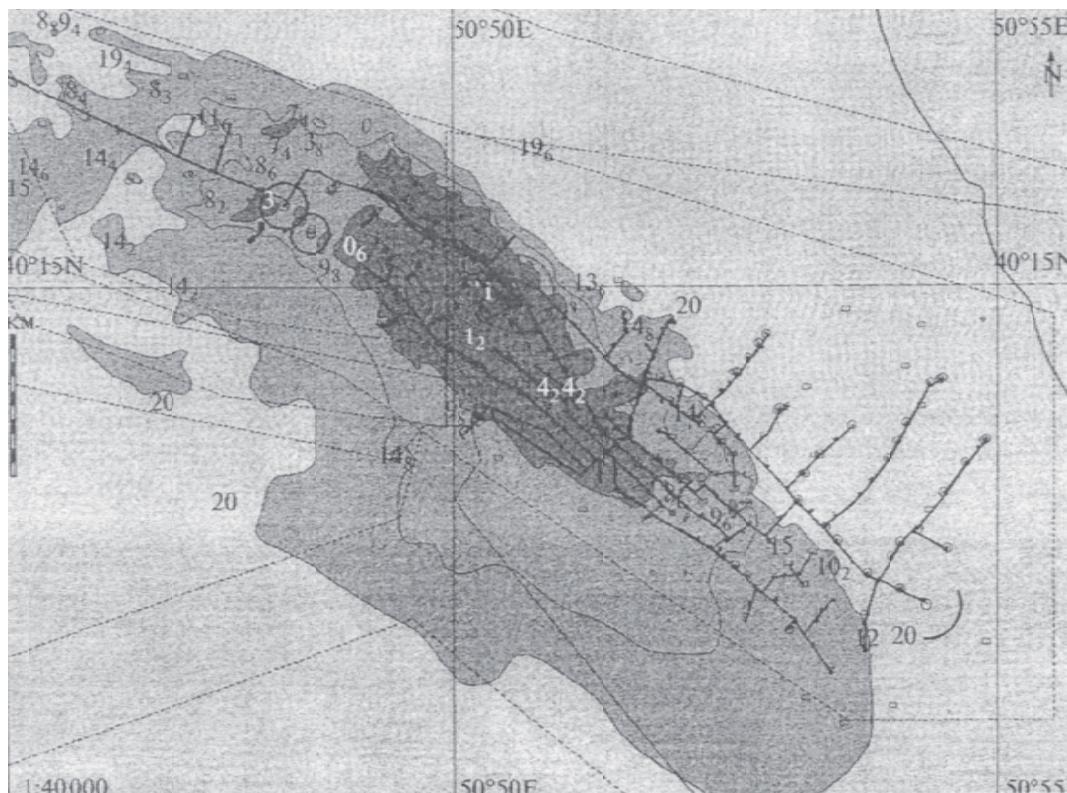
- обнаружение плёночных загрязнений на морской поверхности;
- определение границ пятен нефти и нефтепродуктов на морской поверхности и наблюдение за их перемещением и трансформацией;
- оценку толщины нефтяной пленки, в сочетании с выявлением общего объема и масштаба нефтезагрязнений;
- установление возможных источников загрязнения.

Особенности Каспийского моря делают его более подверженным нефтяным загрязнениям, нежели другие известные водные акватории. Это самый крупный в мире замкнутый водоем, не связанный с мировым океаном, обладающий площадью свыше 398 000 км<sup>2</sup> и находящийся в общем пользовании 5 государств: Казахстана, России, Туркменистана, Ирана и Азербайджана. За последнее десятилетие под воздействием антропогенных (в основном добычи, подготовки и транспортировки нефти и нефтепродуктов) и биохимических факторов состояние его экосистем в целом резко ухудшилось и достигло предкризисного, которое может еще более ухудшиться в результате неадекватно крупномасштабного антропогенного вторжения в природную среду. В разработке каспийского углеводородного сырья сегодня принимают участие уже более 60 иностранных компаний.

В настоящей статье на основе обработки и анализа радиолокационных изображений, полученных со спутника "Radarsat-2", выявлены параметры разливов нефти в районе "Нефтяные камни". Это месторождение расположено в 42 км к востоку от полуострова Апшерон. Оно построено на металлических эстакадах, сооруженных в 1949 году с началом добычи нефти в этом районе Каспийского моря. На карте кругами и прямоугольниками показаны нефтяные скважины (рис.1).

В работе осуществлена оценка возможностей РЛИ «Radarsat-2», а также выполнено сравнение полученных данных с оценками других исследователей, которые авторы считают несколько завышенными.

Радиолокационные изображения со спутника «Radarsat-2» были получены в рамках выполненных работ в соответствии с проект-программой ГНКАР (Азербайджанской Государственной Нефтяной компании) в Национальной Академии Авиации. Они представляют собой синтезированные изображения с некогерентным пополнением по азимуту и дальности, с динамическим диапазоном 16 бит, разрешением 8 м и полосой обзора 25 км (табл.1).



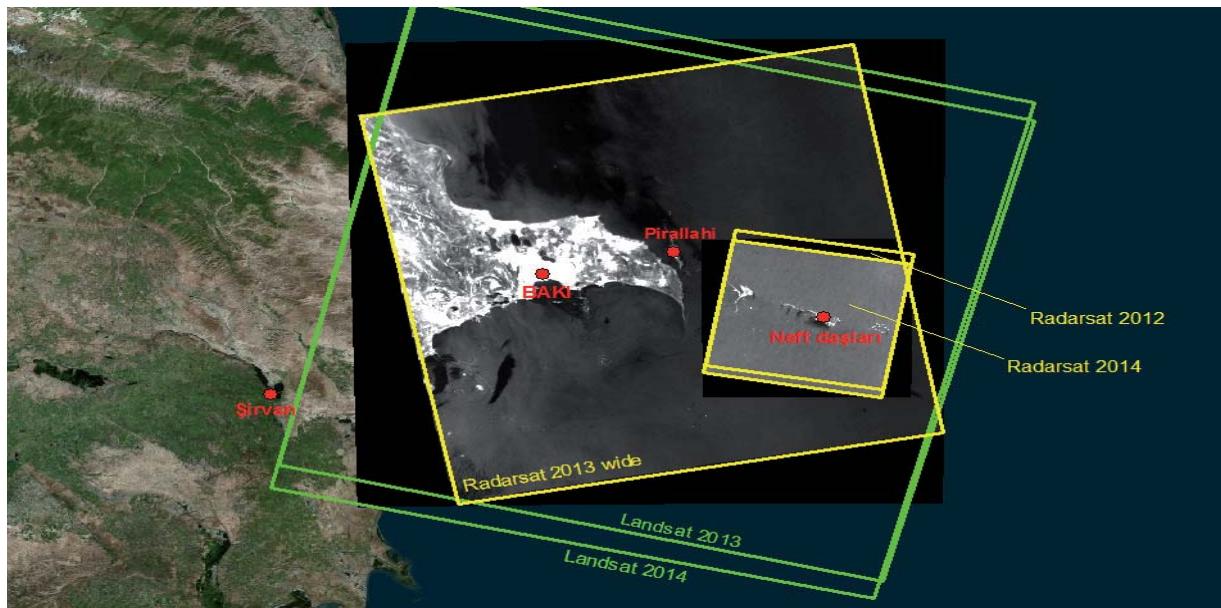


Рис.2. Уменьшенные космические снимки, полученные со спутника «Radarsat-2»

На рис.2 показано покрытие исследуемого района съемками «Radarsat-2» в августе и сентябре 2013 и 2014 гг. по данным программы Radarsat Swath Planner Application, а на рис 3-6 представлены и сами РЛИ. Обработка РЛИ выполнялась с использованием как стандартных, так и специальных алгоритмов.

Обработка полученных продуктов радиолокационных исследований с помощью программы ERDAS, помимо стандартных процедур, включала калибровку снимков в децибелах и фильтрацию для подавления шума, присущую РЛИ высокого разрешения.

Программный пакет ERDAS Imagine поставляется с модулем Radar Mapping Suite, который был специально разработан для обработки радарных изображений. На данный момент указанный модуль поддерживает широко распространенные форматы данных со спутника «Radarsat». Входящие модули учитывает сложную специфику конкретной модели сенсора SAR. Этот подход позволяет максимально использовать информацию о характеристиках сенсора, режиме съемки, положении спутника на орбите и его ориентации, которые хранятся в заголовке файла большинства форматов изображений SAR. Все геометрические расчеты базируются на математической модели геометрии сенсора конкретного датчика, что позволяет получать значительно более высокую точность и трансформируемость, чем при использовании более обобщенных методов. Для исследования вклада поляризации в формирование РЛ-образов нефтяных пленок использовался метод декомпозиции Паули, т.е. декомпозиции на основе энтропии и угла поворота плоскости поляризации  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  параметров [3, 4].

В методе поляризационной декомпозиции Паули используется разложение матрицы рассеяния на компоненты  $|\alpha^2|$ ,  $|\beta^2|$ ,  $|\gamma^2|$ , которые соответствуют определенным механизмам рассеяния [4]. Компонент  $|\alpha^2|$  соответствует матрице рассеяния сферы, плоскости или трехгранного отражателя. В частности, величина коэффициента  $|\alpha^2|$  определяет мощность, рассеянную от объектов, характеризуемых однократным или случайнм рассеянием. Компонент  $|\beta^2|$  описывает механизм рассеяния на отражателях, ориентирован-

ных под углом  $0^0$ , а компонент  $|\gamma^2|$  отвечает механизму рассеяния на отражателях, ориентированных под углом  $45^0$ . Комбинирование перечисленных компонентов может быть использовано для извлечения соответствующей физической информации.

Для дальнейшего анализа использовался ГИС подход [5]. Его преимуществами являются: возможность интегрирования и накопления информации о нефтяном загрязнении, отображение её в удобной форме, определение геометрических и пространственно-временных характеристик обнаруженных пятен.

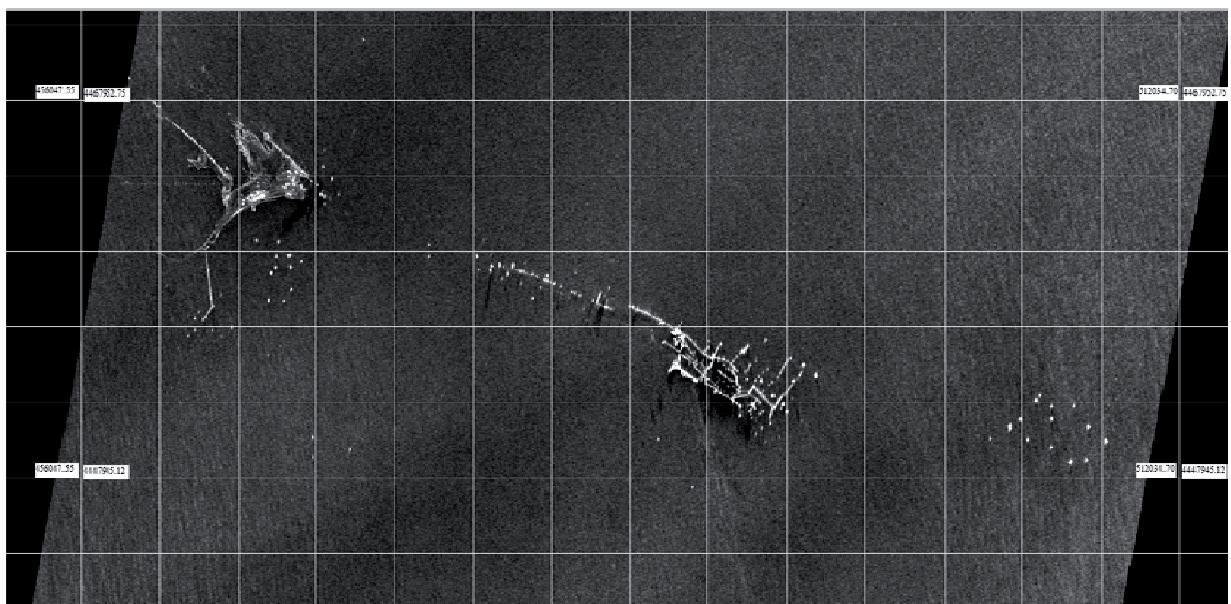


Рис.3. Координатная сетка в проекции (UTM Zone 39 (WGS – 84)

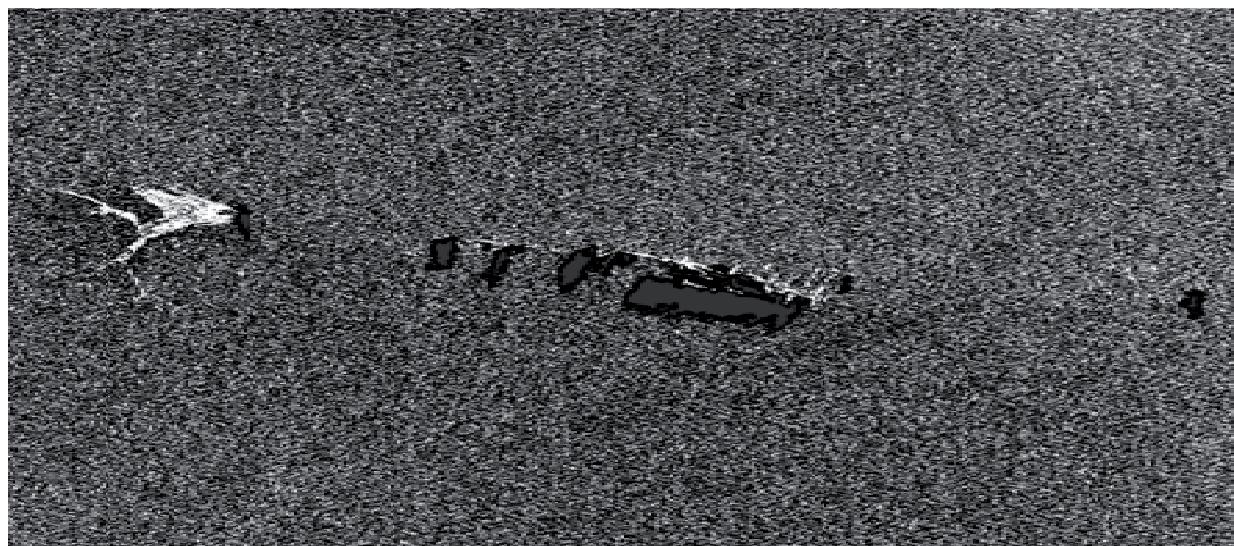


Рис. 4. Отображение нефтяных пятен на радарном снимке, полученном со спутника «Radarsat-2» (03.07.2012 г.)



*Рис.5. Отображение нефтяных пятен на радарном снимке, полученном со спутника «Radarsat-2» (19.03.2014 г.)*

Для дальнейшего анализа в ГИС пятна на изображениях были векторизованы и трансформированы в формат данных, отвечающих соответствующей географической привязке и системе координат. На рисунках 2, 3, 4 даны примеры подобного анализа в ГИС. В них показана динамика разливов нефти в разные годы на одном и том же участке. В результате была получена карта разливов и определены площади и параметры пятен (табл. 3, 4, 5). На рис.5 хорошо прослеживается пространственно-временная динамика разливов. Очевидно, что на размер и пространственное положение пятен относительно Апшеронского полуострова влияют ветер и поверхностные течения. Так, при слабом ветре (в момент съемки скорость ветра составила 3 м/сек.) пятно растекается и имеет достаточно большие площади (рис.6), покрывая весь район, расположенный у нефтедобывающих эстакад и платформ.

Для определения объемов разливов по данным космической радиолокации применяется косвенный подход, при котором по площади пятен на РЛИ оценивают объемы разлива нефти [6, 8].



*Рис.6 Радиолокационный снимок, полученный со спутника «Radarsat-2» (19.03.2014 г.)*

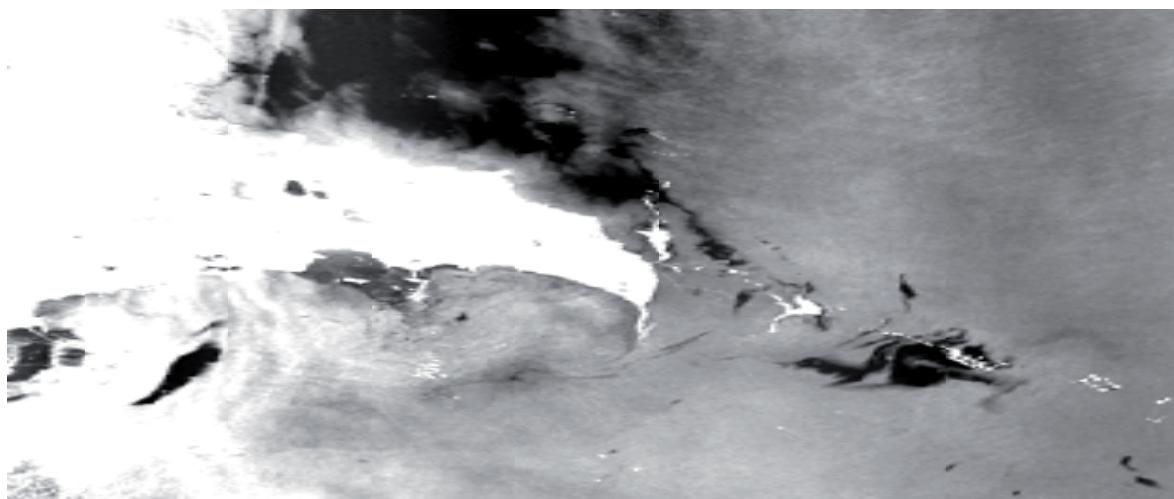


Рис.7. Радиолокационный снимок, полученный со спутника «Radarsat-2» (20. 05. 2013 г.)

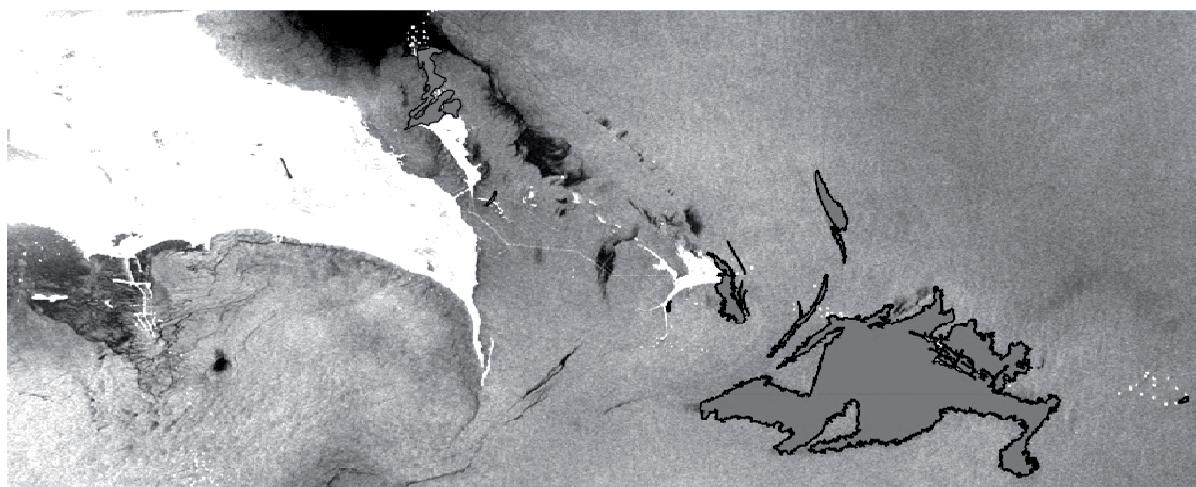


Рис.8. Отображение нефтяных пятен на радарном снимке, полученном со спутника «Radarsat-2» (20.05.2013 г.)

Для решения этой задачи необходимо знать толщину пленки, которую можно получить из физических соотношений, связывающих визуальный цвет пленок при дневном освещении с их толщинами [7, 9]. Согласно наблюдениям, толщина средних и тонких нефтяных пленок в общем случае варьирует в широком диапазоне от 0,4 до 200x10<sup>3</sup>мм (0,00004 - 0,2 см), а цвет – визуально от серебристо-серого до темно-коричневого [7, 10].

Содержание нефти согласно [9] в пятнах серебристо-серого цвета толщиной от 0,04 до 0,3x10<sup>-3</sup>мм на 1 км<sup>2</sup> может составлять от 40 до 300 литров, а в радужной плёнке толщиной от 0,3 до 5,0x10<sup>-3</sup> мм – соответственно 300-5000 литров.

Важное влияние на распространение нефтяных пятен в Каспийском море оказывают скорость и направление ветра, которые учтены в наших экспериментах (табл. 3, 4, 5). Даже из визуального анализа изображений на рис. 4-8 следует, что слабый ветер (скорость 3м/сек) благоприятствует активному растеканию нефти по морской поверхности, что приводит к образованию пятен больших размеров.

**Табл. 3.**

**Атрибутивная таблица обработанных радиолокационных изображений  
("Radarsat-2" 03.07.2012 г.)**

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ДАТА НАЛИЧИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ	ВРЕМЯ НАЛИЧИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ	ПЛОЩАДЬ (ГА)	ПЕРИМЕТР (КМ)	ИСТОЧНИК ЗАГРЯЗНЕНИЯ	ТИП ЗАГРЯЗНЕНИЯ	ПОЛАГАЕМЫЙ ВИНОВНИК	НАПРАВЛЕНИЕ ВЕТРА	СКОРОСТЬ ВЕТРА	ВЫСОТА ВОЛНЫ (М)
1	03.07.2012	07.39.27	100.10000	27.7650	береговой сток	антропогенное	о. Жилой	северный	3	1.20
2	03.07.2012	07.39.27	59.27300	27.5640	утечка с платформы	антропогенное	пл. Нефтяные...	северный	3	1.50
3	03.07.2012	07.39.27	321.60000	52.3630	утечка с платформы	антропогенное	пл. Нефтяные...	северный	3	1.50
4	03.07.2012	07.39.27	7.23400	3.9030	утечка с платформы	антропогенное	пл. Нефтяные...	северный	3	1.50
5	03.07.2012	07.39.27	130.80000	35.4050	утечка с платформы	антропогенное	пл. Нефтяные...	северный	3	1.50
6	03.07.2012	07.39.27	2.02200	2.4780	утечка с платформы	антропогенное	пл. Нефтяные..	северный	3	1.50
7	03.07.2012	07.39.27	206.40000	37.2520	утечка с платформы	антропогенное	пл. Нефтяные	северный	3	1.50
8	03.07.2012	07.39.27	95.37200	32.0180	утечка с платформы	антропогенное	пл. Нефтяные	северный	3	1.50
9	03.07.2012	07.39.27	30.55500	10.5180	утечка с платформы	антропогенное	пл. Нефтяные	северный	3	1.50
10	03.07.2012	07.39.27	2062.3000	237.7810	утечка с платформы	антропогенное	пл. Нефтяные	северный	3	1.50

**Табл. 4.**

**Атрибутивная таблица обработанных радиолокационных изображений  
("Radarsat-2" 20.05.2013 г.)**

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ДАТА НАЛИЧИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ	ВРЕМЯ НАЛИЧИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ	ПЛОЩАДЬ (ГА)	ПЕРИМЕТР (КМ)	ИСТОЧНИК ЗАГРЯЗНЕНИЯ	ТИП ЗАГРЯЗНЕНИЯ	ПОЛАГАЕМЫЙ ВИНОВНИК	НАПРАВЛЕНИЕ ВЕТРА	СКОРОСТЬ ВЕТРА	ВЫСОТА ВОЛНЫ (М)
1	20.05.2013	18.34.17	28.88700	8.2170	утечка с платформы	антропогенное	пл. Нефтяные...	северный	3	1.20
2	20.05.2013	18.34.17	2642.80000	1086.41	утечка с платформы	антропогенное	пл. Нефтяные...	сев.-вост.	5	1.80
3	20.05.2013	18.34.17	384.90000	88.2810	утечка с платформы	антропогенное	пл. Нефтяные...	сев.-вост.	5	1.80
4	20.05.2013	18.34.17	760.30000	71.8860	утечка с платформы	антропогенное	пл. Нефтяные...	сев.-вост.	5	1.80
5	20.05.2013	18.34.17	805.50000	114.5070	береговой сток	антропогенное	о. Жилой	сев.-вост.	5	1.80
6	20.05.2013	18.34.17	20.94600	12.3150	береговой сток	антропогенное	о. Жилой	сев.-вост.	5	1.80
7	20.05.2013	18.34.17	33.73000	14.2910	утечка с платформы	антропогенное	о. Жилой	сев.-вост.	5	1.80
8	20.05.2013	18.34.17	30.12800	9.0880	утечка с платформы	антропогенное	о. Жилой	сев.-вост.	5	1.80
9	20.05.2013	18.34.17	21737.3050	1737.350	береговой сток	антропогенное	о. Жилой	сев.-вост.	5	1.80
10	20.05.2013	18.34.17	37.73700	4.4580	береговой сток	антропогенное	о. Пираллахи	сев.-вост.	5	1.80
11	20.05.2013	18.34.17	1587.50000	50.3640	береговой сток	антропогенное	о. Пираллахи	сев.-вост.	5	1.80
12	20.05.2013	18.34.17	697.20000	19.5870	утечка с платформы	антропогенное	пл. Нефтяные...	сев.-вост.	5	1.80
13	20.05.2013	18.34.17	57.61000	3.8950	утечка с платформы	антропогенное	пл. Нефтяные...	сев.-вост.	5	1.80
14	20.05.2013	18.34.17	191.60000	14.7920	утечка с платформы	антропогенное	пл. Нефтяные...	сев.-вост.	5	1.80
15	20.05.2013	18.34.17	23.93300	3.0930	утечка с платформы	антропогенное	пл. Нефтяные...	сев.-вост.	5	1.80
16	20.05.2013	18.34.17	14.56600	2.1840	береговой сток	антропогенное	пл. Нефтяные...	сев.-вост.	5	1.80

**Табл. 5.**

**Атрибутивная таблица обработанных радиолокационных изображений  
(Radarsat-2 19.03.2014 г.)**

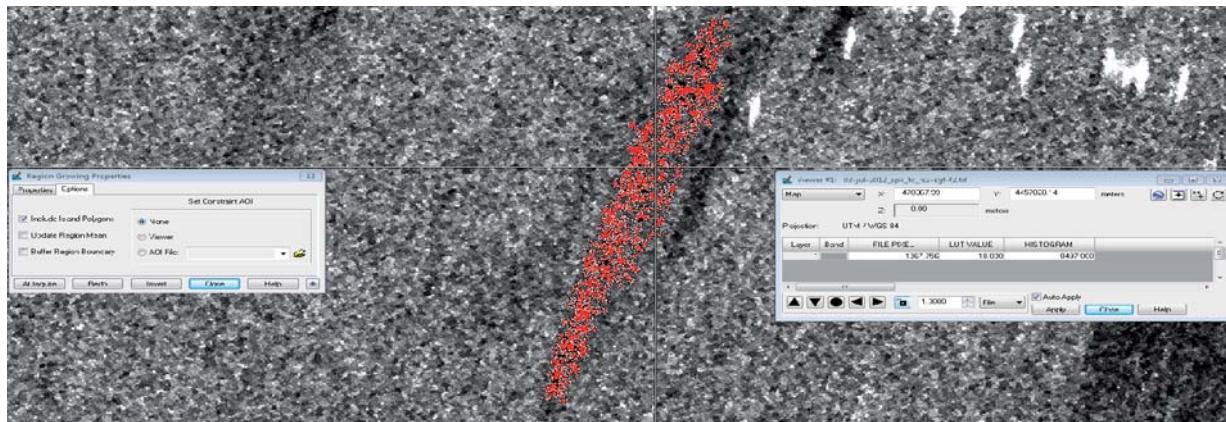
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ДАТА НАЛИЧИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ	ВРЕМЯ НАЛИЧИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ	ПЛОЩАДЬ (ГА)	ПЕРИМЕТР (КМ)	ИСТОЧНИК ЗАГРЯЗНЕНИЯ	ТИП ЗАГРЯЗНЕНИЯ	ПОЛАГАЕМЫЙ ВИНОВНОВНИК	НАПРАВЛЕНИЕ ВЕТРА	СКОРОСТЬ ВЕТРА	ВЫСОТА ВОЛНЫ (М)
1	19.03.2014	06.39.22	14.91000	6.7060	утечка с платформы	антропогенное	Пл.Нефтяные	сев.-зап.	8	2.20
2	19.03.2014	06.39.22	126.90000	41.7920	береговой сток	антропогенное	пл.Нефтяные...	сев.-зап.	8	2.20
3	19.03.2014	06.39.22	39.95500	16.9850	утечка с платформы	антропогенное	пл.Нефтяные...	сев.-зап.	8	2.20
4	19.03.2014	06.39.22	2.81700	3.5470	утечка с платформы	антропогенное	Пл.Нефтяные...	сев.-зап.	8	2.20
5	19.03.2014	06.39.22	596.50000	93.1430	утечка с платформы	антропогенное	Пл.Нефтяные...	сев.-зап.	8	2.20
6	19.03.2014	06.39.22	25.68200	8.0090	утечка с платформы	антропогенное	Пл.Нефтяные..	сев.-зап.	8	2.20
7	19.03.2014	06.39.22	82.38200	29.7800	утечка с платформы	антропогенное	Пл.Нефтяные	сев.-зап.	8	2.20
8	19.03.2014	06.39.22	9.74100	5.3830	утечка с платформы	антропогенное	Пл.Нефтяные	сев.-зап.	8	2.20
9	19.03.2014	06.39.22	0.59700	0.7760	утечка с платформы	антропогенное	Пл.Нефтяные	сев.-зап.	8	2.20
10	19.03.2014	06.39.22	17.93400	10.5240	утечка с платформы	антропогенное	Пл.Нефтяные	сев.-зап.	8	2.20
11	19.03.2014	06.39.22	8.08900	4.6060	утечка с платформы	антропогенное	Пл.Нефтяные	сев.-зап.	8	2.20
12	19.03.2014	06.39.22	37.06000	14.5820	утечка с платформы	антропогенное	Пл.Нефтяные	сев.-зап.	8	2.20
13	19.03.2014	06.39.22	3.72400	2.4570	утечка с платформы	антропогенное	Пл.Нефтяные	сев.-зап.	8	2.20

**Заключение.** Как показала практика дистанционного зондирования Земли, наилучшим инструментом для съемки определенных акваторий морей с целью обнаружения разливов нефти является радиолокатор с синтезированной апертурой, который формирует РЛИ поверхности моря. Радиолокационные средства наблюдения из космоса представляют собой альтернативу как общепринятым методам мониторинга, так и другим датчикам ДЗЗ благодаря высокой чувствительности к поверхностной шероховатости, всепогодности и независимости от солнечного освещения.

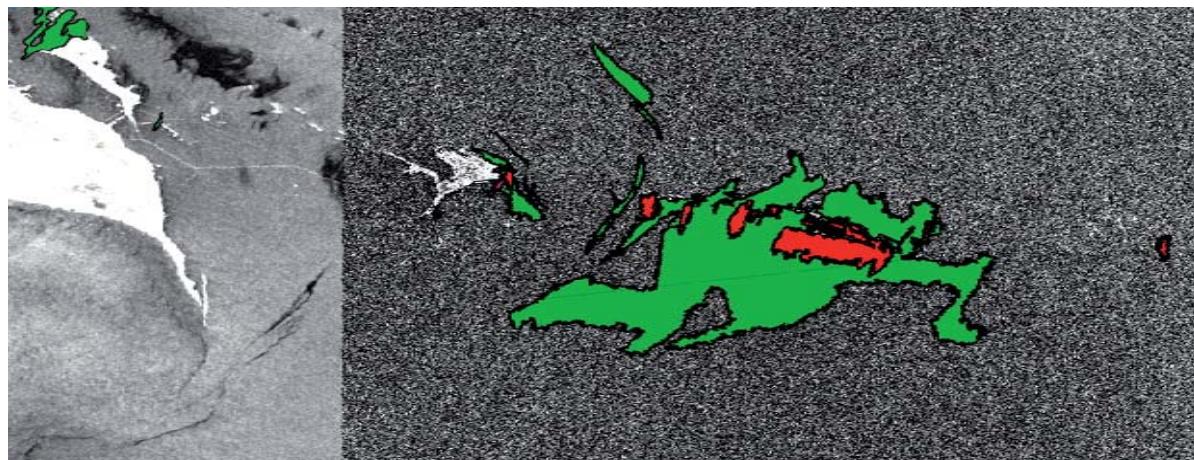
С помощью обработки РЛИ спутника «Radarsat-2» и использования геоинформационного подхода был проведен анализ динамики и объемов выбросов в районе "Нефтяные камни". Были использованы материалы съемок 2012, 2013, 2014 годов. Полученные РЛИ были обработаны и проанализированы с целью выявления пятен нефтяных загрязнений. В результате обработки РЛИ была создана карта распределения нефтяных пятен в исследуемой акватории (рис. 9, 10).

Так как характерной чертой данной акватории является наличие пятен нефтяных разливов больших размеров около буровых эстакад, проведённый анализ ещё раз подтвердил неблагоприятную экологическую обстановку в районе Апшеронского полуост-

рова. Очевидно, ситуация кардинально так и не изменилась со временем проведения анализа первых РЛИ 1991-1992 гг.



*Рис.9. Определение нефтяных пятен на радарных снимках, полученных со спутника «Radarsat-2»*



*Рис.10. Отображение нефтяных пятен на радарных снимках, полученных со спутника «Radarsat-2»  
(красный – 03.07.2012, зеленый – 20.05.2013, оранжевый - 19.03.2014 г.)*

Вполне очевидно, что карты распределения пленок нефти и нефтепродуктов являются полноценным информационным продуктом, позволяющим оперативно измерять параметры и характеристики обнаруженных нефтяных пятен, проводить анализ распределения нефти по различным участкам исследуемой акватории, выявлять связь между загрязнениями и их морскими источниками. Такие карты могут рассматриваться как совершенно самостоятельный продукт ДЗЗ и иметь как научную, так и коммерческую ценность.

Радиолокационные данные, использованные в работе, были получены в рамках реализации проекта SOCAR. Авторы признательны Канадскому космическому агентству за своевременную съемку и оперативную поставку радиолокационных изображений.

## REFERENCES

1. **Belobrova M.V., Boev A.G.** Operativnoe kartografirovaniye i diagnostika neftjanyh zagrjaznenij morskoj poverhnosti po dannyh mnogochastotnogo radiolokacionnogo zondirovaniya. // Kosmicheskaja nauka i tehnologija 2009. V.15 No.5. Pp. 24-33. (in Russia)
2. **Boev A.G., Matveev A.Ya.** Radiolokacionnyj metod ocenki parametrov neftjanyh zagrjaznenij morskoj poverhnosti. // Issled. Zemli iz kosmosa. 2008. No. 5. Pp. 29-36. (in Russia)
3. **Ivanov A.Yu.** Neftjanye zagrjaznenija morja na radiolokacionnyh izobrazhenijah // Issled. Zemli iz kosmosa 1997. No.6. Pp. 70-80. (in Russia)
4. **Brekke S., Solberg A.H. S.** Oil spill detection by satellite remote sensing. // Remote Sensing of Environ. 2005. Pp. 715-721.
5. **Ivanov A., Ostrovskij A.** Primenenie sredstv kosmicheskoy radiolokacii dlja monitoringa morskoj dobychi i transportirovaniy nefti // Tehnologii TjeK. 2003. No. 6. Pp. 58-64. (in Russia)
6. **Solberg A.H.S., Volden E.** Automatike detection of oil spills in ERS SAR images // IEEE Transac. Geosc. and remote sensing. 1999. Pp. 1916-1924.
7. **Boev A.G., Matveev A.Ya.** Sputnikovaja radiolokacionnaja mnogouglovaja diagnostika neftjanyh zagrjaznenij morskoj poverhnosti. Materialy konferencii «Sovremennye problemy DZ Zemli». 2011. 244 p. (in Russia)
8. **Buchnev A.A., Sizh V.G.** Ustroystvo dlja cifrovoj obrabotki signalov radiolokacionnoj stancii. // Trudy SO AN Rossii. V. 42. Pp. 165-168. (in Russia)
9. **Ivanov A.Yu., Ermoshkin I.S.** Ispol'zovanie kosmicheskoy radiolokacii shirokogo obzora dlja kartografirovaniya neftjanyh zagrjaznenij morja. Issled. Zemli iz kosmosa. 2011. No. 4. (in Russia)
10. <http://earth.esa.int/services/catalogues/htl.Geose/> and. Remote Sensing. 2001. V. I. 2015-2021.

## XƏZƏR DƏNİZİNİN AZƏRBAYCAN SEKTORUNDAN NEFT ÇIRKLƏNMƏLƏRİNİN PARAMETRLƏRİNİN QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİNDƏ YÜKSƏK AYIRETMƏLİ KOSMİK RADIOLOKASIYADAN İSTİFADƏ

A.Ş. MEHDİYEV, B.M. ƏZİZOV, A.N. BƏDƏLOVA, C.A. SULTANOV,  
C.S. MEHDİYEV, K.Ş. RAMAZANOV

Məqalədə Xəzər dənizinin Abşeron akvatoriyasında neft və neft məhsulları ilə çirklənmənin parametrlərinin təyinində "Radarsat - 2" peykinin radiolokasiya məlumatlarından istifadəsinə baxılmışdır. Alınan məlumatların əsasında dənizə tökülen neftin yaratdığı ləkələrin parametrlərinin qiymətləndirilməsi müəyyən zaman ərzində bu və ya digər təsvirlərdə neft ləkələrində yaranmış dəyişikliklərin qeydə alınması və dənizə tökülen neftin miqdarının təyini həyata keçirilmişdir.

*Açar sözlər:* radiolokasiya təsvirləri, Radarsat-2, neft çirklənmələri, Abşeron akvatoriyası, ayırdetmə qabiliyyəti, signalların poliarlaşması.

## HIGH-RESOLUTION SPACE RADAR TO DETERMINE OIL POLLUTION PARAMETERS IN THE AZERBAIJAN SECTOR OF CASPIAN SEA

A.Sh. MEKHTIEV, B.M. AZIZOV, A.N. BADALOVA, J.A. SULTANOV,  
J.S. MEKHTIEV, K.Sh. RAMAZANOV

The paper examines the radar satellite data from "Radarsat-2" to determine the oil pollution parameters in the Azerbaijan sector of the Caspian Sea. On the basis of analyzing the radar images, the information on main sources of pollution, their dynamics and parameters, and valuation of objects of technological effluents. Although, by using radar data obtained maps provided the boundary of the distribution of the oil slick in the Caspian sea.

*Key words:* radar images, "Radarsat-2", oil pollution, the Absheron Peninsula, signals polarization.

## ARİF ŞƏFAƏT OĞLU MEHDİYEV - 80

2014-cü il dekabrin 19-da elmi, pedaqoji və dövlətçilik fəaliyyəti ilə seçilən, fizika və kosmik tədqiqatlar sahəsində tanınmış alim, görkəmlı dövlət xadimi, Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının sədri, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının həqiqi üzvü, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor Arif Şəfaət oğlu Mehdiyevin anadan olmasının 80 ili tamam olur.

Arif Şəfaət oğlu Mehdiyev 1934-cü il dekabrin 19-da Bakı şəhərində XX əsrin görkəmlı Azərbaycan ziyalılarından olan, respublikamızın elminin və təhsilinin inkişafında böyük rolü və parlaq dəst-xətti olan, bu gün də yüksək ehtiram və hörmətlə xatırlanan akademik Səfayət Mehdiyevin ailəsində dünyaya göz açmışdır. 1942-1952-ci illərdə Bakı şəhərindəki 164 nömrəli orta məktəbdə əla qiymətlərlə təhsil almış A.Ş. Mehdiyev 1952-ci ildə Moskva Elektrotehniki Rabitə İnstitutuna daxil olmuş və 1957-ci ildə həmin institutu müvəffəqiyyətlə bitirərək, radiorabitə və radioyayım mühəndisi ixtisasına yiyələnmişdir. O, 1957-1961-ci illərdə Azərbaycan SSR Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunda baş laborant, kiçik elmi işçi, baş elmi işçi vəzifələrində çalışmış, daha sonra, 1961-1965-ci illərdə SSRİ Elektron Sənayesi Nazirliyinin Moskva və Leninqrad (indiki Sankt-Peterburq) şəhərlərində yerləşən müəssisələrində mühəndis və böyük mühəndis vəzifələrində işləmişdir.

A.Ş. Mehdiyev 1969-cu ildə "Civə telluridin optik xassələri" mövzusunda namizədlik dissertasiyasını müvəffəqiyyətlə müdafiə edərək fizika-riyaziyyat elmləri namizədi alimlik dərəcəsi almışdır.

A.Ş. Mehdiyev 1969-1974-cü illərdə Azərbaycan SSR Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunda böyük elmi işçi vəzifəsində çalışmışdır.

A.Ş. Mehdiyev 1972-1973-cü illərdə Böyük Britaniya və Şimali İrlandiya Birləşmiş Krallığının Oksford şəhərindəki Klarendon Laboratoriyasında elmi ezamiyyətdə olmuş və yarımkəçiricilər fizika sahəsində elmi tədqiqatlar aparmışdır.

A.Ş. Mehdiyev 1984-cü ildə "Yarımkəçiricilərdə sərbəst yükdaşıyıcıları ilə bağlı optik və fotoelektrik hadisələrin xüsusiyyətləri" mövzusunda doktorluq dissertasiyasını müdafiə edərək fizika-riyaziyyat elmləri doktoru alimlik dərəcəsi, 1987-ci ildə isə professor elmi adı almışdır.

A.Ş. Mehdiyev 1973-cü ildə "Xəzər" Elm Mərkəzinə elmi işlər üzrə direktor müavini vəzifəsinə təyin edilmiş, 1978-ci ildə "Xəzər" Elm Mərkəzinin bazasında Təbii Ehtiyatların Kosmik Tədqiqi İnstитutu yaradılmış A.Ş. Mehdiyev 1979-1982-ci illərdə həmin institutun elmi işlər üzrə direktor müavini, 1982-1991-ci illərdə isə yeni təşkil olunmuş Kosmik



Tədqiqatlar Elm-İstehsalat Birliyinin baş direktorunun birinci müavini, 1991-2003-cü illərdə Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin baş direktoru vəzifəsində işləmiş və həmin illərdə dissertasiyaların müdafiəsini həyata keçirən İxtisaslaşdırılmış Şuranın sədri olmuşdur.

A.Ş. Mehdiyev fizika və texnika elmləri sahəsində elmi məktəb yaratmış və bunun nəticəsidir ki, o, 2001-ci ildə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının həqiqi üzvi və vitse-prezidenti seçilmişdir.

Akademik A.Ş. Mehdiyev aerokosmik məlumat-ölçü sistemləri və komplekslərinin işləniləbiləcək hazırlanması sahəsində görkəmli alim olmaqla yanaşı, radiotexnika, aerokosmos, informatika sahələrinə və mikrosxematiikanın aktual problemlərinə həsr olunmuş 300-dən artıq çap olunmuş işin, o cümlədən 45-dən çox ixtiranın müəllifidir. Onun rəhbərliyi altında 7 elmlər doktoru və 20-dək elmlər namizədi dissertasiya işlərini müdafiə etmişlər.

Görkəmli alim və təşkilatçı kimi tanınan A.Ş. Mehdiyevin bioqrafiyasını onun pedaqoji fəaliyyəti daha da zənginləşdirmişdir. Arif Mehdiyev pedaqoji fəaliyyətə hələ 1965-ci ildə Bakı Rabitə Texnikumunda başlamış, 1969-1970-ci illərdə Azərbaycan Dövlət Neft və Kimya İnstitutunda çalışmış, 2002-ci ildən isə Milli Aviasiya Akademiyasının “Ekologiya və aerokosmik monitorinq” kafedrasına rəhbərlik edir.

1996-ci ildə A.Ş. Mehdiyev BMT-nin Asiya və Sakit Okean Hövzəsi Ölkələri üzrə İqtisadi və Sosial Komissiyasının Azərbaycan üzrə koordinatoru təyin edilmişdir.

A.Ş. Mehdiyev uzun müddət Azərbaycan Respublikası “Radionaviqasiya” Şurasının sədri və MDB ölkələri üzrə “Radionaviqasiya” Şurasında Azərbaycan Respublikasının nümayəndəsi olmuşdur.

1992-ci ildə A.Ş. Mehdiyev Beynəlxalq Mühəndislik Akademiyasına həqiqi üzv, 1996-ci ildə isə Amerika Aeronavtika və Astronavtika İnstitutuna üzv seçilmişdir.

A.Ş. Mehdiyev kosmik fəzanın tədqiqi üçün peyk cihazlarının yaradılmasında fəal iştirak etmişdir. Bu cihazlarından RS-17 rentgen spektrometri “Salyut-Soyuz” orbital kompleksinin bortunda və “Pulsar-X-1” rentgen teleskopu isə “Mir” orbital stansiyasında 15 il uğurla işləmişdir.

Elmi və tətbiqi əhəmiyyətə malik olan bu işlərə görə A.Ş. Mehdiyev 1991-ci ildə Azərbaycan Respublikasının Dövlət Mükafatına layiq görülmüşdür.

Akademik A.Ş. Mehdiyev 2012-ci ildən Milli Aviasiya Akademiyasının Ekologiya və monitorinq kafedrasının nəzdində fəaliyyət göstərən Aerokosmik monitorinq problem laboratoriyasına rəhbərlik edir. A.Ş. Mehdiyevin son illəri əhatə edən elmi fəaliyyəti Yerin Kosmosdan alınan məlumatlarının əməliyyat üsullarının təkmilləşdirilməsi məsələlərinin tədqiqinə həsr olunmuşdur.

2002-ci ildə A.Ş. Mehdiyev Azərbaycan Respublikası Prezidentinin müvafiq Sərəncamı ilə Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının sədri vəzifəsinə təyin etmişdir.

Akademik A.Ş. Mehdiyevin dövlət xadimi kimi fəaliyyəti respublikamızda yüksək ixtisaslı elmi və elmi-pedaqoji kadrların attestasiyası sahəsində vahid dövlət siyasetini həyata keçirən dövlət orqanı olan Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyası (AAK) ilə bağlıdır. 2002-ci ildən Ali Attestasiya Komissiyasının sədri vəzifəsində uğurla fəaliyyət göstərən akademik A.Ş. Mehdiyevin yüksək ixtisaslı elmi və elmi-

pedaqoji kadrların respublikamızın tələbatına uyğun olaraq hazırlanması və səmərəli istifadə olunması, habelə elmin, texnikanın, təhsilin, mədəniyyətin və incəsənətin inkişaf perspektivlərinin müəyyən edilməsi sahəsində səmərəli fəaliyyətini və fədakar xidmətlərini xüsusi olaraq qeyd etmək istərdik.

Akademik A.Ş. Mehdiyevin elmi, pedaqoji və dövlətçilik fəaliyyəti ilə yanaşı, ictimai fəaliyyəti və bu sahədəki uğurları da diqqəti cəlb edir. 2006-2011-ci illərdə Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Prezidenti, 2009-cu ildən “Azərbaycan-Belarus” dostluq və əməkdaşlıq cəmiyyətinin sədri kimi fəaliyyətini qeyd etmək lazımdır.

Akademik A.Ş. Mehdiyevin həm dövlət xadimi kimi göstərdiyi xidmətlər, həm də elm, texnika və təhsil sahəsindəki səmərəli fəaliyyəti və fədakar əməyi dövlət tərəfindən layiqincə qiymətləndirilmişdir. O, 1979-cu ildə “Şərəf Nişanı” ordeni ilə, 2009-cu ildə isə Azərbayca Respublikasının Prezidenti cənab İlham Əliyevin müvafiq sərəncamı ilə “Şöhrət” ordeni ilə təltif olunmuşdur. Akademik A.Ş. Mehdiyev 1990-cı ildə Azərbaycan SSR “Əməkdar elm və texnika xadimi” fəxri adı almış, 1991-ci ildə isə Azərbaycan SSR Dövlət Mükafatına layiq görülmüşdür. A.Ş. Mehdiyev 1983-cü, 1986-ci və 1987-ci illərdə SSRİ Xalq Təsərrüfatı Nailiyyətləri Sərgisinin, uyğun olaraq, Bürünc, Gümüş və Qızıl medalları ilə təltif olunmuşdur. Bundan savayı, o, 1986-ci ildə kosmik tədqiqatların yerinə yetirilməsində və sovet kosmonavtikasının fəal təbliğinə görə Yerin dünyada birinci süni peyki medalı ilə, 2004-cü ildə akademik Yusif Məmmədəliyev adına medalla, 2005-ci idə Rusiya Kosmonavtika Federasiyasının akademik S. P. Korolyov adına medalı ilə və Beynəlxalq Mühəndislik Akademiyasının Böyük qızıl medalı ilə, 2011-ci ildə Beynəlxalq Mühəndislik Akademiyasının “Mühəndislik şöhrəti” medalı ilə, 2013-cü ildə Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının “Mühəndislik Rəşadəti” qızıl medalı ilə, 2013-cü ildə Belarus Respublikasının Prezidenti Aleksandr Lukaşenkonun müvafiq fərmanı ilə “Fransisk Skorina” medalı ilə təltif olunmuşdur.

Akademik Arif Mehdiyev dövlət, cəmiyyət, elmi və pedaqoji ictimaiyyət tərəfindən birmənalı şəkildə qəbul olunan bütöv bir şəxsiyyətdir.

Əziz Arif Şəfaət oğlu, Sizi Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının üzvləri və “Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri” jurnalının kollektivi adından Azərbaycan elminin inkişafında böyük xidmətləri olan elm və ictimai xadimini, anadan olmağınızın 80 illiyi münasibətlə səmimi qəlbdən təbrik edir, Sizə möhkəm cansağlığı, elmi-pedaqoji işlərinizdə uğurlar arzulayırıq!



## Содержание 6-го тома (январь – декабрь 2014)

Том 6. № 1

### Механика и машиностроение

Пашаев А.М., Джанахмедов А.Х., Вольченко А.И., Вольченко Д.А., Джавадов М.Я., Вольченко Н.А., Джанахмедов Э.А.	
Закономерности изменения характеристик процессов, явлений и эффектов в рабочих слоях металлополимерных пар при электротермомеханическом трении .....	7
Гезалов С.К., Дышин О.А.	
Генетический подход к решению многокритериальных транспортных задач с малым объемом априорной информации относительно целевых функций .....	25
Гафаров А.М., Сулейманов П.Г., Гафаров В.А.	
Анализ и оценка износостойкостных характеристик ответственных деталей машин, работающих в экстремальных условиях .....	41

### Энергетика

Пирвердиев Э.С.	
Состояние и перспективы использования альтернативных и возобновляемых источников энергии в Азербайджане .....	47

### Экология

Мехтиев А.Ш., Азизов Б.М., Мехтиев Д.С.	
О влиянии изменения диффузной поляризации на спектральные характеристики растительного покрова .....	53

### Авиация

Пашаев А.М., Искендеров И.А., Гусейнов В.С.	
Особенности электрических систем летательных аппаратов и проблемы контроля их рабочих параметров .....	59
Джафарзаде Р.М., Джадарзаде Т.Р.	
Вероятностная оценка безопасности полетов и проблема гарантированной безопасности .....	67

### Приборостроение

Пашаев А.М., Набиев Р.Н., Агаев Н.Б., Султанов В.З., Бабаев Г.Б.	
Системный анализ проблем построения математической модели радиосигнала в 4D среде .....	79
Джавадов Н.Г., Мехтиев А.М.	
Методика исследования коэффициента калибровки и кривой погрешности турбинного расходомера .....	89

### Нефть и газ

Искендеров Д.А., Багиров А.Н.	
Исследование режимных параметров нефтепромысловых компрессорных установок на основе метода фликкер-шумовой спектроскопии .....	96

### Нефтехимические технологии

Гусейнова Э.А., Аджамов К.Ю.	
Электронные свойства поверхностных соединений никеля в реакциях превращения изопропилового спирта .....	113
Юбилейная дата К 80-летию академика А.М. Пашаева .....	120
Джанахмедов А.Х. Философия истины .....	123
Хроника .....	127

Том 6. № 2

Пашаев А.М., Джанахмедов А.Х.	
Физическая мезомеханика как соединение механики сплошной среды с физикой пластичности и прочности (часть I) .....	7

### Механика и машиностроение

Джанахмедов А.Х., Вольченко А.И., Пирвердиев Э.С., Вольченко Д.А., Вольченко Н.А., Журавлев Д.Ю.	
Фрикционное взаимодействие в электрических и тепловых полях металлополимерных пар трения .....	30

### Нефть и газ

Исмаилов Г.Г., Сафаров Н.М., Нурмамедова Р.Г., Алиев С.Т.	
О фрактальном анализе водонефтяных систем .....	54
Мамедов Г.В.	
Синтез уплотнения скважинного уплотнителя пакеров .....	63
Вольченко Д.А.	
Применение методов увеличения нефтеотдачи пластов в мире: опыт и перспективы (часть I) .....	74

### Нефтехимические технологии

Нуруллаев В.Х., Гахраманов Ф.С., Алиев С.Т.	
О возможности регулирования технологического режима перекачки смеси мазут-нефть .....	83
Гурбанов А.Н.	
Разработка математических моделей осушки природного газа при подготовке к транспорту .....	89

### Строительство

Гасанов Э.Э.	
Расчет термонапряженного состояния элементов доковых конструкций гидротехнических сооружений .....	97

### Экология

Мурватов Ф.Т., Мамедов Ф.М., Мамедов Н.Т.	
Экологические риски, связанные с закачкой воды в пласты на старых нефтяных месторождениях Азербайджана .....	107

### Системы управления

Багиров Б.Э., Манафов Э.К.	
Автономные многоконтурные системы автоуправления в электроподвижных составах .....	113
Алиев Б.Г., Атабабаев Э.Р., Рзаев Р.Р.	
Особенности алгоритмов в моделях управления аграрным сектором в Азербайджане .....	117

### Хроника

**Механика и машиностроение**

Пашаев А.М., Джанахмедов А.Х., Дышин О.А.

Физическая мезомеханика как соединение механики сплошной среды с физикой пластичности и прочности (часть II) ..... 7

Вольченко Н.А.

Саморегулирование и регулирование внутренних и внешних параметров в металлополимерных парах трения ленточно-колодочных тормозов (часть 2) ..... 24

Джавадов Н.Г., Садыхов А.Г., Астанова Э.Р., Мехтиев А.М.

Факторы, вызывающие коррозию и разрушение покрытия в эксплуатации нефтепромыслового насоса ..... 37

Надиров У.М., Мамедов К.С., Расулов Н.М.

Основы качества канавок, расположенных на боковых поверхностях вращения, обработанных вихревым методом ..... 41

**Прикладная физика**

Пашаев А.М., Даварашвили О.И., Енукашвили М.И., Бычкова Л.П., Дзагания М.А., Зломанов В.П.

О формировании новых свойств в эпигексиальных слоях и структурах полупроводников Al<sup>IV</sup>Br<sup>VI</sup> ..... 49

Бадалов А.З., Сардарлы Р.М., Вазирова Т.Н., Самедов О.А., Абдуллаев А.П., Салманов Ф.Т., Оруджова А.А., Сардарлы А.Д.

Перспективы применения TiGaTe<sub>2</sub> полупроводников в развивающихся наноразмерных электронных устройствах ..... 59**Нефть и газ**

Вольченко Д.А.

Применение методов увеличения нефтеотдачи пластов в мире: опыт и перспективы (часть 2) ..... 69

**Нефтехимические технологии**

Усубалиев Б.Т., Томуева А.Ш., Мунцишвили М.К., Джалилладдинов Ф.Ф., Алиева Ф.Б., Мамедова З.А.

Изучение кратерообразования бистереофталата дигидроксидомеда (II) ..... 77

Гасанов А.А., Сулейманов Г.З., Алиев А.М.

Определение удельной межфазной поверхности в системах «жидкость – жидкость» при механическом перемешивании ..... 91

**Авиация**

Шмелева Т.Ф., Джалафзаде Т.Р., Якунина И.Л.

Апостериорный анализ авиационного происшествия методами сетевого планирования ..... 97

**Приборостроение**

Абдуллаев Х.И., Байрамов Р.М., Ибрагимов Р.А., Мухтаров Р.М., Садыгов З.Я., Султанов Ф.Н.

Исследование возможностей создания ядерно-каротажного прибора на основе инновационных твердотельных фотоумножителей ..... 106

**Экономика**

Ануртов Ю.М., Коваль В.А., Васильев А.И.

Оценка эффективности четырехблочной электростанции нового поколения ГТЭС-200 с воздушной утилизацией тепла ..... 113

**Экология**

Азизов Б.М., Мехтиев Д.С., Кулиева Х.Б.

О точности дистанционных измерений влагосодержания атмосферы ..... 121

**Новости науки и техники**

Поздравления ..... 6

**Механика и машиностроение**

Вольченко Н.А.

Саморегулирование и регулирование внутренних и внешних параметров в металлополимерных парах

трения ленточно-колодочных тормозов (часть 3) ..... 10

Гафаров А.М., Сулейманов П.Г., Гафаров В.А.

Повышение надежности деталей машин и оборудования, работающих в экстремальных условиях, методом раскатывания ..... 22

Халилов И. А.

Исследования факторов, влияющих на нагрев упругого элемента соединительных муфт ..... 34

**Нефть и газ**

Рзаев А.Г., Расулов С.Р., Абасова И.А., Рагимова С.Н.

Разработка математической модели процесса фильтрации нефти в пласте-коллекторе с учетом скрин-фактора ..... 43

Мурветов Ф.Т., Керимова А.Г.

Об уникальности геолого-физических и эксплуатационных условий нефтяного месторождения Сиазаньской моноклини ..... 47

Салаватов Т.Ш., Дадаш-заде М.А., Кирдода И.И., Бабаева Т.С., Салаватова Р.Ш.

Исследование течения двухфазной системы типа «вода-нефть» в трубе ..... 54

Нуруллаев В.Х.

Мониторинг авиационного топлива при транспортировке и хранении современными методами ..... 59

**Нефтехимические технологии**

Аббасов В.М., Рзаева Н.М., Алиева Л.И., Мамедханова С.А., Талыбов А.Г.

Непредельные синтетические и природные органические кислоты, их производные и применение ..... 67

Рзаева Л.Т., Миракалов Г.Ф., Мамедов Ч.И.

Синтез и применение макроциклических соединений с четвертичными аммониевыми центрами для

улучшения реологических свойств нефти ..... 81

**Авиация**

Джалафзаде Т.Р., Шмелева Т.Ф., Сикирда Ю.В.

Моделирование принятия решений человеком-оператором социотехнической авиационной системы ..... 88

Бадалов А.З., Набиев Р.Н., Мамедов А.З.

Прибор для измерения вертикальной скорости полета самолета на базе магнитной левитации ..... 103

Пурхани С.Г., Мехтиев Д.С., Кулиев Р.Э.

Методы сокращения потерь авиационных топлив на предприятиях авиатопливообеспечения гражданской авиации ..... 110

**Экология**

Мехтиев А.Ш., Азизов Б.М., Бадалова А.Н., Султанов Д.А., Мехтиев Д.С., Рамазанов К.Ш.

Использование космической радиолокации высокого разрешения для оценки параметров нефтяных

загрязнений в акватории азербайджанского сектора Каспийского моря ..... 119

**К 80-летию академика А.Ш. Мехтиева**

..... 131

Содержание 6 тома (январь - декабрь 2014 г.) ..... 134

## MƏQALƏLƏRİN TƏRTİBATI QAYDALARI

**“Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri”** jurnalının redaksiyasına göndərilən məqalələr aşağıdakı tələblərə cavab verməlidir:

1. Məqalənin mövzusu və məzmunu jurnalın profiliinə uyğun olmalı və fikirlər çox aydın yazılmalıdır.
2. Məqalə azərbaycan, rus və ingilis dillərində yazılı bilər. Ciddi redaktə olunmalı və A4 formatda aq 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 həcmində makina yazısı ilə rus dilində referat və əsas sözlük, məqalənin mətni, qeydlərin, ədəbiyyatın siyahısı; ingilis dilində müəllifin adı və soyadı, məqalənin adı, referati 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 aq kağızda qara tuşla (6x9 sm ölçüsündən kiçik və 10x15 sm – dən böyük olmamaqla) və ya “Excel” cədvəl prosessorunun köməyi ilə.
- Yarımton fotosəkillər (orjinallar 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 göstəriləməlidir.
- Əlyazma mətndə şəkillər və cədvəllərin yeri göstərilir. Eyni bir məlumatı mətndə, cədvəldə və əlyazmada təkrarlamaq yolverilməzdır.
6. Məqalədə istifadə olunan işarələr bilavasitə mətndə açıqlanır.

7. Mətndə 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 transliterasiyasi zamanı mötərəzədə onların adları orjinalda yazıldığı kimi verilməlidir.

8. Məqalədə istifadə olunan ölçü vahidləri beynəlxalq ölçü vahidləri sisteminə uyğun olmalıdır. Qəbul olunmuş sözlərdən başqa və s, və i.a., qısalılmış 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 mütəxəssisidir, həmçinin telefon (ev, xidməti) nömrələri, faxsimil 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 ixtisarları etmək hüququnu özündə saxlayır.

13. Məqalə çapa verilmədikdə redaksiya heyətinin qərarı barədə müəllifə məlumat verilir və əlyazma müəllifə qaytarılmır. Redaksiyanın məqaləni yenidən işləmək haqqında müraciəti, onun çapa veriləcəyini ehtiva etmir, belə ki, ona əvvəl resenziyaçılar sonra isə redaksiya heyəti yenidən baxır. Çap üçün məqbul sayılmayan məqalə müəllifinin məqalənin çapına yenidən baxılması xahişi ilə redaksiya heyətinə müraciət etmək hüquq var.

14. Məqalənin korrekturası müəllifə göndərilmir. 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 страницы 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. Полутоновые 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 общезвестных 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. Корректура авторам не высыпается. После опубликования статьи редакция рассыпает 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 6, № 4  
Vol. 6, № 4  
Том 6, № 4

BAKİ – 2014

İnformasiya şöbəsinin müdürü  
*N.Z. Əskərova*

Nəşriyyat və yayım şöbəsinin müdürü  
*A.M. Dənziliyev*

**“Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının  
XƏBƏRLƏRİ”**

jurnalı redaksiyanın kompyüterlərində yığılmış və  
“**A P O S T R O F F**” mətbəəsində  
offset üsulu ilə çap olunmuşdur.  
(akif0706@mail.ru / 050-313-07-06)

*Çapa imzalanmış 16.12.2014,  
formatı 60x84 1/8,  
kağız təbaşirli,  
f.ç.v. 17,5.  
tirajı 1450 əd.  
Qiyməti müqavilə ilə*