



ISSN 2521-6376

Volume 6  
Number 1  
**2022**

# Journal of Baku Engineering University

MECHANICAL  
AND INDUSTRIAL  
ENGINEERING

Journal is published twice a year  
*Number-1. June, Number-2. December*

*An International Journal*

<http://journal.beu.edu.az>

## Founder

*Havar Mammadov*

## Editor-in-chief

*Huseyn Mirzeyev*

## Co - Editor

*Asif Quliyev, Vuqar Muradov*

## Editorial advisory board

*Anrullah Agamaliyev (Baku State University, Azerbaijan)*  
*Anatoliy Palmov (Sank- Petersburg Technical University, Russia)*  
*Igor Kiyko (Moscow State University, Russia)*  
*Ismail Fidan (USA, Tennessee, Technical University )*  
*Gelani Panahov (National Academy of Science, Azerbaijan)*  
*Garib Murshudov (York Akademy,UK, London)*

*Hamed Sari-Sarraf (Texas Technik University,USA )*  
*Mugammet Mehdiyev (Baku State University, Azerbaijan)*  
*Suleyman Karadeniz (Turkey , 9 Eylul University)*  
*Remzi Varal (Suleyman Demirel University, Turkey)*  
*Vladimir Gudramovic (Dnepropetrovsk State University, Ukraine)*  
*Vagif Mirsalimov (Azerbaijan Technical University, Azerbaijan)*

## International Advisory board

*Abdullah Sofiyev (Suleyman Demirel University, Turkey)*  
*Abusamat Abusattarov (Uzbekistan, Tashkent State University)*  
*Ertugrul Durak (Turkey, Suleyman Demirel University)*  
*Fatih Oncul (USA, Sothern Polytechic State University)*  
*Fuad Latifov (Azerbaijan, National Academy of Science)*  
*Latif Talibli (Azerbaijan, Azerbaijan National Aviation Academy)*  
*Musa Ilyasov (Azerbaijan, Azerbaijan National Aviation Academy)*  
*Mustafa Toparli (Turkey, Dokuz Eylul University)*  
*Nariman Rasulov (Azerbaijan, Azerbaijan Technical University)*  
*Nikolay Leontyev (Russia, Moscow State University of Civil Engineering)*  
*Rudolf Berqman (Israel, Tel-Aviv University)*

*Shakir Mammadov (Azerbaijan, Azerbaijan University of Architecture and Construction)*  
*Sunkay Akbarov (Yildiz Technical University, Turkey)*  
*Tarik Chakar (Turkey, Sakarya University)*  
*Telman Alimjanov (Kazakistan, Alma-Ata State University)*  
*Ugurlu Nadirov (Azerbaijan, Azerbaijan Technical University)*  
*Vagif Hacıyev (Azerbaijan, National Academy of Science)*  
*Vitali Paymushin (Tataristan, Kazan Aviation Academy)*  
*Vladimir Gudramovich (Ukraine, Dnepropetrovsk State University)*  
*Vladimir Starovoytov (Belarus, Minsk State University)*  
*Yuri Konoplyov (Tataristan, Kazan State University)*  
*Ziraddin Mammadov (Turkey, Harran University)*

## Executive Editors

*Shafag Alizade*

## Assistant Editors

*Parviz Hasanov*  
*Gulnara Akhverdiyeva*

## Design

*Ilham Aliyev*

## Contact address

*Journal of Baku Engineering University*  
*AZ0102, Khirdalan city, Hasan Aliyev str. 120, Absheron, Baku, Azerbaijan*

**Tel:** 00 994 12 - 349 99 66/78    **Fax:** 00 994 12 349-99-90/91

**e-mail:** [journal@beu.edu.az](mailto:journal@beu.edu.az)

**web:** <http://journal.beu.edu.az>

**facebook:** [Journal Of Baku Engineering University](https://www.facebook.com/journalofbakuengineeringuniversity)

Copyright © Baku Engineering University

ISSN 2521-6376

ISSN 2521-6376



# **Journal of Baku Engineering University**

**MECHANICAL AND  
INDUSTRIAL ENGINEERING**

**Baku - AZERBAIJAN**

# Journal of Baku Engineering University

## MECHANICAL AND INDUSTRIAL ENGINEERING

2022. Volume 6, Number 1

### CONTENTS

<b>AZƏRBAYCANIN NAXÇIVAN MUXTAR RESPUBLİKASININ DARIDAĞ TERMAL SUYUNUN IZOBARIK İSTILIK TUTUMUNUN VƏ SIXLIĞININ TƏCRÜBİ MƏLUMATLARININ ÜMUMİLƏŞDİRİLMƏŞİ</b>	
<i>Mahir Bəşirov, Nofəl Nəbiyev</i>	3
<b>ŞAXƏLİ NASOS STANSİYALARININ İDARƏETMƏ REJİMLƏRİNİN TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏŞİ BARƏDƏ</b>	
<i>F.S. Əliyev, Asif Quliyev</i>	10
<b>ƏRİTMƏ PROSESİNDƏ MAQNİT ÜSULU</b>	
<i>Şirzadov Fərhad Məhəmməd oğlu</i>	17
<b>ON THE INFLUENCE OF FINITE INITIAL STRAINS OF THE PLATE MADE OF HIGHLY ELASTIC MATERIAL AND LOADED BY THE COMPRESSIBLE INVISCID FLUID ON THE DISPERSION OF THE AXISYMMETRIC WAVES PROPAGATING IN THIS PLATE</b>	
<i>Emin T. Bagirov</i>	22
<b>ÖLÇMƏ VASİTƏLƏRİNİN İŞÇİ SƏTHLƏRİNDƏ YARANAN YEYİLMƏ VƏ DEFORMASIYANIN TƏDİQİQİ</b>	
<i>Rzayev N. S., Abbasova G.N., İsmayılova M.İ.</i>	36
<b>MƏSAFƏDƏN ZONDLAMA ÜSULU İLƏ YERALTI OBYEKTŁƏRİN AŞKARLANMASI</b>	
<i>Azər Əhmədov, Yusif Əhədi, Şirin Sadıqova</i>	43
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЕЧЕНИЯ НЕФТИ ГАЗОМ В СЛОИСТЫХ НЕОДНОРОДНЫХ ПЛАСТАХ</b>	
<i>H.P. Абдуллаева</i>	49

UOT 536.77:547.442

## AZƏRBAYCANIN NAXÇIVAN MUXTAR RESPUBLİKASININ DARIDAĞ TERMAL SUYUNUN IZOBARIK İSTILIK TUTUMUNUN VƏ SİXLİĞİNİN TƏCRÜBİ MƏLUMATLARININ ÜMUMİLƏŞDİRİLMƏŞİ

MAHİR BƏŞİROV<sup>1</sup>, NOFƏL NƏBİYEV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bakı Mühəndislik Universiteti, "Avtomatika və elektroenergetika" kafedrası"

*mbashirov@beu.edu.az*

<sup>2</sup>Azərbaycan Texniki Universiteti, "Enerji effektivliyi və yaşıl enerji texnologiyaları" kafedrası

*nofal-nabi@mail.ru*

### XÜLASƏ

Azərbaycanın Naxçıvan Muxtar Respublikasının Culfa rayonunun "Darıdağ" termal suyunun izobarik istilik tutumunun və sıxlığının atmosfer təzyiqində və müxtəlif temperaturlardakı təcrübi nəticələrinin analitik ümumiləşdirilmiş təhlili verilmişdir. Təcrübələr izobarik istilik tutumu üçün Pyris 1 tipli differensial skaner kalorimetrində, sıxlıq üçün isə DSA 5000M vibrasiyalı borulu densimetr qurğusunda yüksək dəqiqliklə yerinə yetirilmişdir. Seçilmiş temperaturlardakı  $c_p = f(\rho)$  təcrübi qiymətlərindən istifadə edərək, termal suların analitik asılılıqları qurulmuşdur. Alınmış qiymətlər polinomial tənliklər vasitəsi ilə təsvir edilmişdir.

*Açar sözlər: bərpa olunan enerji mənbələri, izobarik istilik tutumu, sıxlıq, termal sular.*

### SUMMARY OF EXPERIMENTAL DATA OF ISOBARIC HEAT CAPACITY AND DENSITY OF THERMAL WATERS DARİDAGH, OF NAKHCHIVAN AUTONOMOUS REPUBLIC OF AZERBAIJAN

#### ABSTRACT

Analytical generalized analysis of experimental results of isobaric heat capacity and density of "Daridag" thermal water of Julfa region of Nakhchivan Autonomous Republic of Azerbaijan at atmospheric pressure and different temperatures is given. The experiments were performed with high accuracy on a Pyris 1 differential scanner calorimeter for isobaric heat capacity, and on a DSA 5000M vibrating tubular densitometer for density. Analytical dependences of thermal waters were constructed using experimental values of  $c_p = f(\rho)$  at selected temperatures. The obtained values are described by polynomial equations.

**Keywords:** Renewable energy sources, heat capacity, density, thermal water.

### ОБОБЩЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ИЗОБАРНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ И ПЛОТНОСТИ ДАРИДАГСКИХ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД НАХЧЫВАНСКОЙ АВТОНОМНОЙ РЕСПУБЛИКИ АЗЕРБАЙДЖАНА

#### РЕЗЮМЕ

Дан аналитический обобщенный анализ экспериментальных результатов изобарной теплоемкости и плотности термальной воды «Даридаг» Джульфинского района Нахчыванской Автономной Республики Азербайджана при атмосферном давлении и различных температурах. Эксперименты выполнены с высокой точностью на дифференциальном сканирующем калориметре типа Pyris 1 для изобарной теплоемкости и на вибрационном трубчатом плотномере DSA 5000M для плотности. Аналитические зависимости термальных вод построены с использованием экспериментальных значений  $c_p = f(\rho)$  при выбранных температурах. Полученные значения описываются полиномиальными уравнениями.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, изобарная теплоемкость, плотность, термальная вода.

## **1. Giriş**

Enerji mənbələri istifadə miqyasına və ehtiyatlarına görə əsas ənənəvi və alternativ növlərə bölünürlər. Karbon və karbohidrogen əsasında formalaşan ənənəvi enerji mənbələrinin tədricən tükənməsi və onlardan istifadə olunduqda ekologiyaya vurulan zərəri nəzərə alaraq hazırda dünyada alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrinə maraq nəzərə çarpacaq dərəcədə artmaqdadır. Bu təsadüfi deyil, belə ki, bir çox ölkələr, xüsusən Avropa ölkələri, karbohidrogen resurslarının sahibi olan ölkələrin enerji asılılıqlarından heç də məmnun deyillər. Çünki, Qərb demokratiyasının fikrincə daha çox karbohidrogen resurslarına əsasən qeyri-demokratik rejimli ölkələr malikdir. Nəzərə alsaq ki, 2030-cu ilədək dünyada enerjiyə olan tələbat daha 45% artacaq, onda alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadəyə keçid prioritet məsələyə çevriləcək.

Bərpa olunmayan enerji mənbələrindən istifadə onların ehtiyatlarının tükənmə müddətini daha da azaldır. Digər tərəfdən də bəşəriyyətin enerjiyə olan tələbatı ilbəl artmaqda davam edir. Ona görə də, mövcud enerji mənbələrindən daha səmərəli istifadə edilməli, hər şeydən əvvəl, onların ehtiyatları düzgün qiymətləndirilməlidir. Bu məqsədlə, Beynəlxalq Energetika Agentliyinin (BEA-nın) sessiyalarında dünyanın enerji ehtiyatları dövrü olaraq müzakirə edilir və onların yenidən qiymətləndirilməsi həyata keçirilir.

Hal-hazırda dünya əhalisi artır və hesablamalara görə cari əsrin ortalarına yaxın 9 milyard nəfər təşkil edəcək. Bu qədər əhali kütləsini komfortlu həyat şəraiti ilə, iqtisadi cəhətdən sərfəli və ekoloji təmiz enerji ilə, isti mənzillə, rahat nəqliyyat vasitələri ilə, təhsillə, tibbi yardımla və s. ilə təmin etmək lazımdır. Əgər ən optimist proqnozlara görə yarım əsrə kifayət edəcək qədər enerji resurslarının qaldığı nəzərə alınsa, maddi rifah halı azaldılmadan bəşəriyyətin normal təminatı üçün zəruri olan enerji haradan alınmalıdır?

Əlbəttə, üzvi yanacaqın yandırılmasına alternativ atom energetikası sayılırdı. AES-lərdə istehsal olunan atom enerjisi var-qüvvə ilə atom buzqıran gəmilərdə, atom sualtı qayıqlarında və s. istifadə olunur. Lakin bu enerjini nüvə silahının yaradılması üçün də istifadə etmək olar. Bəli, zəncirvari nüvə reaksiyası zamanı uran nüvəsinin parçalanmasından ayrılan enerjinin tətbiqinin təhlükəsizliyi və iqtisadi səmərəliliyi ətrafında mübahisələr çoxdan səngimir.

Son illərdə insanların alternativ energetikaya marağı artmışdır. Bu kəskin maraq o ideyaya əsaslanır ki, əgər bərpa olunan enerji resurslarından (günəş, külək, biokütlə, geotermal enerji) istifadə etməsək, onda özümüz üçün olmasa da, bizim uşaqlarımız üçün, nəvələrimiz üçün işə dəqiq olaraq, dünya resursları uğrunda ardı-arası kəsilməyən müharibələrdən, aclıqdan, yaşamaq uğrunda mübarizələrdən ibarət olan kabusa çevriləcəkdir.

İndi bəşəriyyət ümumən alternativ energetikaya və xüsusilə enerjiyə qənaət edən texnologiyaların həyata keçirilməsinə çalışır. Alternativ enerji mənbələrinin köməyi ilə energetik kollapsın ləngidilməsinə ümidlər güclüdür. Enerjiyə qənaət edilməsi və enerjinin səmərəliliyi məqsədi ilə alternativ energetika sahəsində çoxlu sayda layihələr hazırlanmışdır.

Bu istiqamətdə Azərbaycanda da böyük işlər aparılır. Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 2004-cü il 21 oktyabr tarixli Sərəncamı ilə təsdiq edilmiş "Azərbaycan Respublikasında Alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə olunması üzrə Dövlət Proqramı"na[1] uyğun olaraq, Sənaye və Energetika Nazirliyində Proqramın icrası üzrə koordinator müəyyən edilmişdir. Dövlət Proqramında, bizim Respublika üçün ən səmərəli enerji mənbəyi kimi külək enerjisinin potensialından, həmçinin günəş enerjisindən, geotermal suların,

dağ çaylarının və su kanallarının hidroenerjisindən, habelə biokütlənin enerjisindən istifadə ilə əlaqədar tədbirlərin realizəsi üzrə əsas istiqamətlər müəyyən edilmişdir.

Dövlət Proqramında alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrinin tətbiqi üzrə Azərbaycan Respublikasının hüquqi bazasının təkmilləşdirilməsi, həmçinin bu sahədə normativ hüquqi sənədlərin hazırlanması da nəzərdə tutulmuşdur. Bundan başqa, alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrinin istifadəsi üzrə layihələrə investorların cəlb edilməsi, onların fəaliyyəti üçün müvafiq şərait yaradılmasının stimullaşdırılması və ilk növbədə energetika bazarında ekoloji təmiz məhsulun satışının təmin edilməsi istiqamətində işlərin aparılması nəzərdə tutulmuşdur. Tədbirlər planında, həmçinin əhalinin alternativ və bərpa olunan enerji mənbələri barədə məlumatlandırılması, bu sahədə tədris vəsaitlərinin hazırlanması, həmçinin öyrədilməsi nəzərdə tutulmuşdur. Dövlət Proqramının icrası ilə əlaqədar olaraq, investorların cəlb edilməsi, beynəlxalq təcrübənin öyrənilməsi, xarici istehsalçının ölkəyə dəvət olunması məqsədilə Sənaye və Energetika Nazirliyi tərəfindən beynəlxalq maliyyə institutlarına, səfirliklərə, beynəlxalq təşkilatlara və bu sahədə böyük iş təcrübəsinə malik olan xarici kompaniyalara müraciətlər edilmişdir.

Alternativ enerji sahəsindəki dünya təcrübəsindən istifadə etmək üçün Azərbaycan Respublikası 10 iyun 2009-cu il tarixində yeni yaradılmış Beynəlxalq Bərpa Olunan Enerji Agentliyinə qoşulmuşdur. 2009-cu il 10 noyabr tarixli Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 182 sayılı fərmanı əsasında təsis edilmiş Sənaye və Energetika Nazirliyinin Alternativ Bərpa Olunan Enerji mənbələri üzrə Dövlət Agentliyi bu sahənin fasiləsiz işini təmin edəcəkdir. Qəbul olunan Dövlət Proqramları əsasında 14-18 oktyabr 2009-cu ildə ATƏT-in Bakı ofisi tərəfindən bərpa olunan enerji üzrə hüquqi və normativ baza üçün ən yaxşı təcrübələr üzrə beynəlxalq seminar keçirilməsi də bu sahədəki səmərəli işlərin məntiqi nəticəsidir.

Dünya qarşısında keçən əsrin 90-cı illərində enerjiyə qənaət və enerjinin səmərəliliyi problemi heç zaman olmadığı kimi çox kəskin şəkildə dururdu. Nüvə energetikası öz potensialını hələ tükətməmişdir, aydın oldu ki, nüvə energetikası bəşəriyyətin ucuz enerjiyə olan bütün tələbatını ödəməyə qadir deyil.

## **2. Tədqiqatın məqsədi:**

Azərbaycanın Naxçıvan Muxtar Respublikası karbon anhidridi-karbonatlı, karbon anhidridi-xloridli, həmçinin hidrogen sulfidi-sulfatlı suların bütün növlərini özündə cəmləşdirən qiymətli geotermal enerji resursları ilə zəngindir. Bu regionun kurort yeri olması bir neçə mineral mənbənin mövcudluğu ilə müəyyən olunur. Geotermal enerji resurslarının rəngarəngliyinə görə Naxçıvan Muxtar Respublikası sözün həqiqi mənasında "geokimyəvi muzeyi" xatırladır. Altı qrup mənbə – Darıdağ, Sirab, Vayxır, Nahacı, Badamlı və Qızılwəng içməli balneoloji kurortlar üçün fəvqəladə hidromineral resurslardır.

Darıdağ mənbələri ən yüksəkdebitli arsenli mineral mənbələrdir. Bu suyun qiymətli müalicəvi keyfiyyəti onunla şərtlənir ki, kifayət qədər arsenlə yanaşı o, bor turşusuna, litiuma, böyük miqdarda hidrogen qazına, yoda, bromu, dəmirə və digər komponentlərə malikdir.

Bu işin əsas məqsədi – Azərbaycanın Naxçıvan Muxtar Respublikasının Culfa rayonunun "Darıdağ" termal suyunun izobarik istilik tutumunun və sıxlığının müxtəlif temperaturlardakı təcrübi nəticələrinin analitik ümumiləşdirilməsindən ibarətdir.

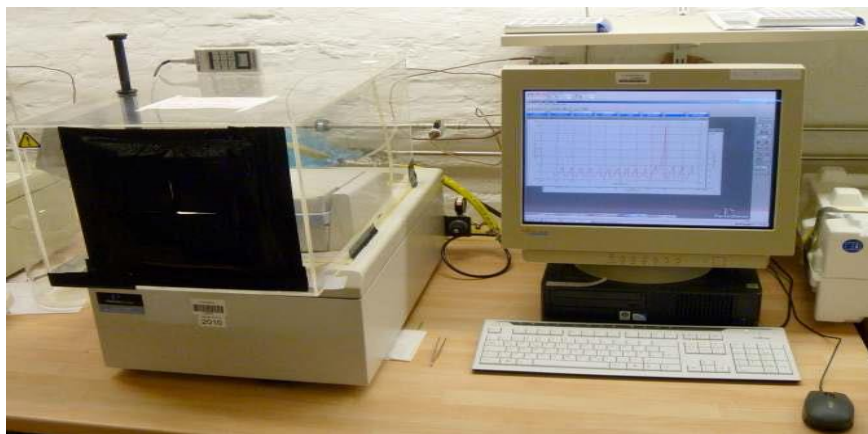
Yuxarıda qeyd olunanları nəzərə alaraq, Azərbaycanın Naxçıvan Muxtar Respublikasının Culfa rayonunun "Darıdağ" termal suyunun izobarik istilik tutumunun və sıxlığının müxtəlif

temperaturlardakı təcrübi nəticələrinin dəqiq elmi tədqiqi üçün Azərbaycan Texniki Universitetinin “Enerji effektivliyi və yaşıl enerji texnologiyaları” kafedrasında intensiv təcrübi tədqiqatlar aparılmış və bu tədqiqatların nəticələri müxtəlif jurnallarda dərc edilmişdir [2-7].

Təcrübələr zamanı istifadə olunan termal sular bilavasitə suyun çıxdığı yerdən götürülmüş və filtdən keçirilərək təmizlənmişdir. Termal suların nümunələrinin çıxdığı yerin coğrafi koordinatları və Yerdən çıxan andakı temperaturları [3]-də verilmişdir. Təcrübələr atmosfer təzyiqində və  $T = (274.15-413.15)$  K temperatur diapazonunda həyata keçirilmişdir.

### 3. Tədqiqat işinin müzakirəsi və onun nəticələri:

Təcrübələr Pyris 1 tipli differensial skaner kalorimetrində yerinə yetirilmişdir (şəkil 1). Bu cür kalorimetrlər materialların xüsusi ərimə istiliyi, faza keçidləri və s. hallarında, kimyəvi reaksiyalar zamanı udulan və ya ayrılan istiliyin çox dəqiqliklə təyin olunmasında, fiziki və kimyəvi xassələrin tədqiq etməkdə böyük rol oynayırlar. Qurğunun əsas elementi daxilində ölçüləcək maddə olan platin-iridium ərintisi ilə örtülmüş paslanmayan poladdan hazırlanmış yuva (şəkil 2), qızdırıcılar və platin termorezistorlardır. Ölçü yuvası 573.15 K temperatura və 24 bar təzyiqlə qədər davamlıdır.



Şəkil 1. Pyris 1 tipli differensial skaner kalorimetri



Şəkil 2. Ölçü yuvası

Ölçü yuvaları termoizolə edilir və çox az istilik inersiyasına malikdirlər. Onların daxilinə sıxlığından asılı olaraq 30-70 mq nümunə yerləşdirilir. Sonra ölçü yuvası xüsusi alətin köməyi ilə kip bağlanır. Qapaqlar arasına yüksək təzyiqlərdə yaranan doymuş buxar təzyiqinə davam gətirmək üçün xüsusi rezin kiplik yerləşdirilir. Ölçü yuvaları bu halda təcrübəyə hazır vəziyyətə gətirilir (şəkil 3).



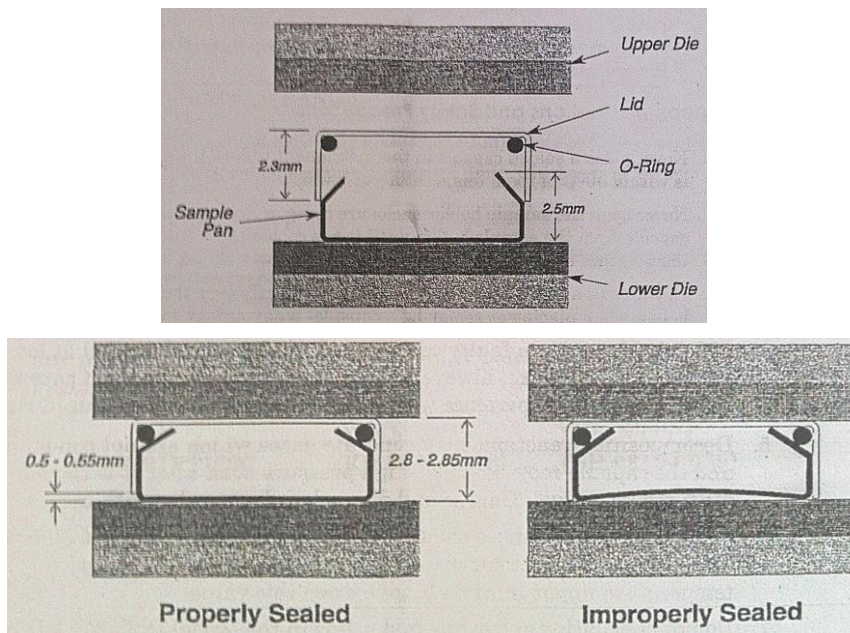
Ölçmələr iki paralel ölçü yuvasından istifadə etməklə yerinə yetirilir. Yuvanın birində ölçüləcək maddə, ikincisində isə etalon maddə (safir) yerləşdirilir. Ölçmələr temperaturun sabit saxlanması və ya sabit sürətlə dəyişməsi ilə aparıla bilər. Bizim apardığımız təcrübələr temperaturun sabit sürətlə dəyişməsi metodu ilə yerinə yetirilmişdir. Bu zaman hər iki ölçü yuvasının temperaturu tamamilə bir-birinə bərabər halda saxlanılır. Ölçü yuvalarında temperaturun eyni saxlanması üçün lazım olan istilik zamanın və temperaturun funksiyası halında qeyd olunur. Bu zaman qurğuda alınmış qrafikin sahəsi faza keçidi zamanı lazım olan istiyə bərabərdir. Təcrübələr zamanı 3 K/dəq. istilikvermə sürəti seçilmişdir. Ölçü yuvalarında nümunələr iki müxtəlif (ölçüləcək nümunə və ədəbiyyat qiymətləri əvvəlcədən dəqiq məlum olan etalon nümunə) olduqlarına görə, yuvaların hər ikisinin sabit temperaturda saxlanması üçün onlara verilən istiliyin miqdarı fərqli olur. Bu istilik fərqlərinə görə istilik tutumu hesablanır.

Azərbaycanın Naxçıvan Muxtar Respublikasında yerləşən “Darıdağ” termal suyunun izobarik istilik tutumunun  $c_p/(C \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$  təcrübi  $T = (274.15 - 413.15)$  K intervalında temperaturdan asılılığı cədvəl 1-də verilmişdir.

Təcrübələrin  $T=(278.15-363.15)K$  intervalından kənar qiymətləri məqaləyə daxil edilməmişdir. Bu ona görədir ki, termal suyun təcrübi  $(p, \rho, T)$  qiymətləri  $T=(278.15 - 363.15)$  K intervalında ölçülmüşdür. Ona görə də hesablamalara yalnız izobarik istilik tutumunun  $c_p/(C \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$  bu intervalında qiymətləri daxil edilmişdir. İzobarik istilik tutumunun  $c_p/(C \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$  geniş intervalda ölçülməsi yalnız faza keçidlərinin qabaqcadan görünməsi, prosesin dəqiq yerinə yetirilməsi və ölçü yuvasının kipliyinin yoxlanılması üçündür.

Alınmış nəticələrinin verilmiş temperatur asılılığına nəzər salsaq onu qeyd etmək olar ki, əsasən termal suların izobarik  $c_p/(C \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$  istilik tutumları IAPWS-95 standartına cavab verən təmiz suyun izobarik  $c_p/(C \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$  istilik tutumundan azdır. “Darıdağ” termal suyunda isə bu fərq daha çoxdur. Bu da əlbəttə termal suların tərkiblərindəki bərk mineral maddələrin miqdarı ilə izah edilə bilər. Belə ki, bərk maddələrin istilik tutumları mayelərə nisbətən aşağıdır.

Naxçıvan Muxtar Respublikasında yerləşən “Darıdağ” termal suyunun atmosfer təzyiqində ( $p=0.101$  MPa) sıxlığı DSA 5000M vibrasiyalı borulu densimetr qurğusunda, yüksək təzyiqlərdə sıxlığın ölçülməsindən 10 dəfə dəqiq ölçülmüşdür [6-8]. Vibrasiyalı borulu densimetr metodu ilə işləyən DSA 5000M qurğusunun ümumi strukturu və iş prinsipi [4,6-8]-də ətraflı təsvir edilmişdir. Bu qurğu zavod şəraitində yoxlanılır və əlavə kalibrəlməyə ehtiyac yoxdur. Zaman keçdikcə, qurğunun işləmə qabiliyyətinin yoxlanılmasını etalon mayelərin sıxlığının ölçülməsi yolu ilə yerinə yetirmək olar. Qurğu eyni zamanda ölçü temperaturunda sıxlıq ilə birlikdə səs sürətinin  $u/m \cdot s^{-1}$  də yüksək dəqiqliklə ölçülməsinə imkan verir. Sıxlığın ölçülməsi  $T=(278,15 - 363,15)$  K temperatur intervalında və atmosfer təzyiqində aparılmışdır. Ölçmələrin nəticələri cədvəl 2-də verilmişdir.



Şəkil 3. Ölçü yuvasının kip bağlanması.

**Cədvəl 1.** Naxçıvan Muxtar Respublikasında yerləşən “Darıdağ” termal suyunun izobarik istilik tutumunun  $c_p / (C \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$  atmosfer təzyiqində və müxtəlif temperaturalarda  $T / (K)$  təcrübi qiymətləri.

$T$	274.15	278.15	283.15	293.15	298.15	303.15	313.15	323.15	333.15	343.15	353.15	363.15	373.15	383.15	393.15	413.15
$c_p$	4101.74	4095.95	4090.04	4082.22	4080.08	4079.00	4079.63	4083.46	4089.92	4098.57	4109.04	4121.08	4134.54	4149.36	4165.59	4202.94

**Cədvəl 2.** Naxçıvan Muxtar Respublikasında yerləşən “Darıdağ” termal suyunun sıxlığının  $\rho / (kg \cdot m^{-3})$  atmosfer təzyiqində və müxtəlif temperaturalarda  $T / (K)$  təcrübi qiymətləri.

$T$	278.12	288.13	293.13	298.14	303.15	313.16	328.17	343.17	363.15
$\rho$	1016.74	1015.10	1013.93	1012.61	1011.01	1007.35	1000.46	991.92	979.16

**Cədvəl 3.** Naxçıvan Muxtar Respublikasında yerləşən “Darıdağ” termal suyunun  $a_i$  əmsallarının (2) tənliyindən alınmış qiymətləri

$a_i$			
$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
-3256623.40309	9866.14935912	-9.94858135044	0.00334313816398

Naxçıvan Muxtar Respublikasında yerləşən “Darıdağ” termal suyunun sıxlığının  $\rho / kg \cdot m^{-3}$  temperaturdan asılılığı göstərir ki, tədqiq olunmuş su resurslarının sıxlığı bu suların böyük hissəsini təşkil edən təmiz suyun qiymətlərindən yüksəkdir. Bu nəticə molekulyar-kinetik nəzəriyyəyə uyğundur, belə ki, termal sular müxtəlif mineral duzların və bərk maddələrin böyük hissəsindən ibarətdir.

Aşağıdakı polinomial tənliyin köməyi ilə təyin olunmuş  $c_p - \rho$  koordinat sistemində eyni temperatur şərtlərində götürülmüş “Darıdağ” termal suyunun alınmış təcrübi nəticələri əsasında məqalədə  $c_p = f(\rho)$  asılılığı təklif olunmuşdur.

$$c_p = \sum_{i=0}^3 a_i \cdot \rho^i \quad (2)$$

burada:  $a_i$  və  $b_j$  – təcrübi məlumatlardan ən kiçik kvadratlar metodu ilə hesablanmış polinom əmsallarıdır və cədvəl 3-də verilmişdir.

(2) tənliyi və polinom əmsalları (cədvəl 3) nəzərə alınmaqla, Azərbaycan Respublikasının Naxçıvan Muxtar Respublikasında yerləşən “Darıdağ” termal suyunun müxtəlif temperaturlardakı izobarik istilik tutumunun  $c_p/(C \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$  təcrübi qiymətlərini maksimum 0,9% xəta ilə hesablamaq mümkündür.

#### ƏDƏBİYYAT

1. Azərbaycan Respublikasında Alternativ və Bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə olunması üzrə Dövlət proqramı (Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 2004-cü il 21 oktyabr tarixli 462 №-li sərəncamı ilə təsdiq edilmişdir).
2. Bəşirov M., Əhmədov A. Azərbaycanın Naxçıvan Muxtar Respublikasının Darıdağ geotermal suyunun kimyəvi analizi və buxar təzyiqinin tədqiqi. H. Əliyev və Azərbaycanda Energetikanın inkişafı Respublika Elmi Konfransının Materialları, 28-29 noyabr, Mingəçevir, 2014, s.
3. Əhmədov A., Səfərov C., Bəşirov M. Azərbaycanın termal sularının istilik tutumunun tədqiqi. Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının xəbərləri Fizika və Astronomiya institutu. cild 35, №2, Bakı-2015, s.125-130
4. Əhmədov A., Səfərov C., Bəşirov M. Darıdağ termal suyunun istilik-fiziki xassələri. Azərbaycan Texniki Universiteti. Elmi Əsərlər cild2, №2, Bakı-2015, s.34-40
5. Əhmədov A., Səfərov C., Bəşirov M., Hassel E. Thermophysical properties of north-west Azerbaijan geothermal waters. Azərbaycan Texniki Universiteti “Thermophysical and mechanical properties of advanced materials”.
6. Safarov J., Bəşirov M., Hassel E., Ahmadov A. Density of Ilisu geothermal water resources of Gakh region of Azerbaijan. Ondokuz mayıs Üniversitesi Uluslararası Bilimi ve Teknigi kongresi Samsun 09-12 Eylül 2013, ss.
7. Safarov J., Ahmadov A., Bəşirov M., Şahverdiyev A., Hassel E. Density and sound velocity measurements of geothermal water resources of Gabala-Gakh regions of Azerbaijan. Institute of Technical Thermodynamics University of Rostok, Germany, 27-28 mart, 2013, ss.
8. R. Pippo. Geothermal Power Plants, Second edition, Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact, Butterworth-Heinemann; 2d edition, 2008, 520 p.

UOT 620.92

## ŞAXƏLİ NASOS STANSİYALARININ İDARƏETMƏ REJİMLƏRİNİN TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ BARƏDƏ

**F.S. ƏLİYEV**

*SOCAR, "Neftqazəlmətdəqiqatlayihə" İnstitutu  
eliyevfaiq@mail.ru*

**ASİF QULİYEV**

*Bakı Mühəndislik Universiteti, "Mexanika mühəndisliyi" kafedrası  
asquliyev@beu.edu.az*

### XÜLASƏ

Məqalədə qeyri-məhsuldar elektrik enerjisi itkilərinin azaldılması hesabına lay təzyiqinin saxlanması sistemlərinin enerji səmərəliliyinin yüksəldilməsi məsələlərinə baxılmışdır. Bu məqsədlə, lay təzyiqinin saxlanması sistemində elektrik enerjisi işlədicilərinin strukturu araşdırılmış, qeyri-məhsuldar elektrik enerjisi itkilərinin daha çox olduğu elementlər müəyyən olunmuş, həmçinin nasos stansiyalarının iş rejimlərinin mövcud idarəetmə üsulları və onların təkmilləşdirilməsi yolları təhlil edilmişdir.

Araşdırmalar göstərir ki, neft hasilatında qeyri-məhsuldar elektrik enerjisi itkilərinin 55-60%-i lay təzyiqinin saxlanması sistemində baş verir və bunun da böyük hissəsi nasos aqreqatlarının payına düşür. Bu isə, ilk növbədə, onların iş rejimlərinin qeyri-səmərəli idarə edilməsilə izah olunur. Belə ki, istifadə olunan tənzimlənmə üsullarının əksəriyyəti yalnız tələb olunan suvurma həcmələrinin təmin edilməsinə yönəldiyindən, burada məsələnin energetik tərəfi nəzərə alınmır. Bu isə sistemdə elektrik enerjisi itkilərinin artmasına səbəb olmaqla yanaşı, nasos aqreqatlarının iş rejimlərinə nəzarət imkanlarını genişləndirməyə də imkan vermir. Müəyyən olunmuşdur ki, nasos aqreqatlarının məhsuldarlığının valın fırlanma tezliyinin dəyişdirilməsilə tənzimlənməsi üsulundan istifadə etməklə, həm nasos stansiyasının texnoloji imkanlarının genişləndirilməsinə, həm də qeyri-məhsuldar elektrik enerjisi itkilərinin minimuma endirilməsinə nail olmaq mümkündür.

**Açar sözlər:** lay təzyiqi, nasos stansiyası, elektrik enerjisi, məhsuldarlıq, enerji səmərəliliyi, elektrik mühərriki.

### ON IMPROVING THE CONTROL MODES OF CLUSTER PUMPING STATIONS

#### ABSTRACT

The article discusses the issues of increasing the energy efficiency of reservoir pressure maintenance systems by reducing unproductive power losses. For this purpose, the structure of electricity consumers in the reservoir pressure maintenance system was researched, the elements with the highest unproductive power losses were identified, as well as the existing control methods of pumping stations and ways to improve them were analyzed.

Studies show that 55-60% of unproductive power losses in oil production occur in the reservoir pressure maintenance system, and the biggest part of it occurs in pumping units. This is primarily due to the inefficient management of their modes of operation. Thus, the most of the regulation methods are directed only at ensuring the required injection volumes, the energy side of the issue is not taken into account. This not only leads to an increase in power losses in the system, but also does not allow to develop the possibilities of controlling the operating modes of pumping units. It was found that using the method of regulating the productivity of pumping units by changing the frequency of the shaft, it is possible to achieve both the development of technological capabilities of the pumping station and the minimization of unproductive power losses.

**Keywords:** formation pressure, pumping station, electricity, productivity, energy efficiency, electric motor.

### О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ РЕЖИМОВ УПРАВЛЕНИЯ КУСТОВЫМИ НАСОСНЫМИ СТАНЦИЯМИ

#### РЕЗЮМЕ

В статье рассмотрены вопросы повышения энергоэффективности систем ППД за счет снижения непроизводительных потерь электроэнергии. Для этого изучена структура потребителей электроэнергии в

системе ППД, выявлены элементы с наибольшими непроизводительными потерями мощности, а также проанализированы существующие методы управления насосными станциями и пути их совершенствования.

Исследования показывают, что 55-60% непроизводительных потерь мощности при добыче нефти приходится на систему ППД, и большая их часть приходится на насосные агрегаты. В первую очередь это связано с неэффективным управлением режимами их работы. Таким образом, поскольку большинство используемых методов регулирования направлено только на обеспечение необходимых объемов закачки, энергетическая сторона вопроса не принимается во внимание. Это не только приводит к увеличению потерь мощности в системе, но и не позволяет расширить возможности управления режимами работы насосных агрегатов. Установлено, что с помощью метода регулирования производительности насосных агрегатов изменением частоты вращения вала можно добиться как расширения технологических возможностей насосной станции, так и минимизации непроизводительных потерь мощности.

**Ключевые слова:** пластовое давление, насосная станция, электроэнергия, производительность, энергоэффективность, электродвигатель.

## **1. Giriş**

Hazırda laya su vurmaqla təzyiqin saxlanılması neft hasilatının artırılması üçün tətbiq olunan üsullar arasında xüsusi yer tutur. Bu üsuldən həm yatağın ilkin işlənmə mərhələsində, həm də lay təzyiqinin hidrostatik səviyyəyə qədər azaldığı hallarda istifadə oluna bilər [1; 2].

Lay təzyiqinin saxlanması (LTS) sisteminin tətbiqindən sonra neft yataqlarının işlənmə proseslərinin energetik balansında yeni şərait yaranmış olur. Belə ki, layların təbii enerjisi və quyu avadanlıqlarına verilən enerjiyə, suyun vurulmasına sərf edilən enerji də əlavə olunur.

LTS sisteminin ən vacib tərkib hissəsi şaxəli nasos stansiyaları (ŞNS) hesab olunur. Burada istifadə edilən nasos aqreqları isə sistemin ən çox enerji istehlak edən elementləridir. Belə ki, LTS sistemində elektrik enerjisi istehlakının 80-90%-i, qeyri-məhsuldar enerji itkilərinin isə 70%-dən çoxu nasos aqreqlarının payına düşür [10].

Ədəbiyyat məlumatlarına əsasən elektrik enerjisi xərclərinin neftin maya dəyərindəki xüsusi çəkisi 30-35% təşkil edir ki, bunun da 26-35%-i LTS sisteminin payına düşür. Eyni zamanda, neft hasilatında qeyri-məhsuldar elektrik enerjisi itkilərinin 15-25% aralığında olduğu halda, bunun da 55-60%-ini LTS sistemində baş verən itkilər təşkil edir. Ona görə də neft hasilatında elektrik enerjisi sərfiyyatının azaldılmasına yönəlmiş araşdırmalar iqtisadi cəhətdən aktual hesab olunur [3].

Məqalə elektrik enerjisinə qənaət və qeyri-məhsuldar elektrik enerjisi itkilərinin azaldılması yolu ilə nasos stansiyalarının enerji səmərəliliyinin artırılması məsələlərinə həsr edilmişdir. Burada enerji səmərəliliyinin artırılması dedikdə, lay təzyiqinin bərpası və saxlanması üçün minimum enerji sərf etməklə, maksimum həcmdə neft çıxarılmasını təmin edən texnoloji, texniki və təşkilati tədbirlər, həmçinin onların yerinə yetirilmə ardıcılığı nəzərdə tutulur.

## **2. Məsələnin qoyuluşu**

LTS sisteminin ən vacib tərkib hissəsi şaxəli nasos stansiyaları hesab olunur. Burada istifadə edilən nasos aqreqları isə sistemin ən çox enerji istehlak edən elementləridir. Belə ki, LTS sistemində elektrik enerjisi istehlakının 80-90%-i, qeyri-məhsuldar enerji itkilərinin isə 70%-dən çoxu nasos aqreqlarının payına düşür [4].

LTS sisteminin nasos stansiyalarında elektrik enerjisi itkilərinin baş vermə səbəblərini şərti olaraq iki qrupa bölmək olar:

1. İstifadə olunan nasos aqreقاتlarının növü, hidravlik şəbəkənin fərdi xüsusiyyətləri və neft yatağının işlənmə sxeminə uyğun seçilmiş mədən avadanlığından asılı olan itkilər;

2. Nasos aqreقاتlarının qeyri-səmərəli iş rejimləri ilə əlaqədar itkilər.

Birinci qrup itkilərin azaldılması vəzifələri layihə-konstruktor təşkilatlarının və istehsal müəssisələrinin səlahiyyətlərinə aiddir.

İkinci qrup itkiləri isə nasos aqreقاتlarının qeyri-səmərəli iş rejimlərini yaradan səbəblər və onların aradan qaldırılması yollarını müəyyənləşdirməklə minimuma endirmək mümkündür.

Nasos aqreقاتlarında elektrik enerjisi itkilərinin yüksək olması nasosların elektrik intiqalının idarəetmə səviyyəsinin aşağı olması və uyğun olaraq, ŞNS-nin neft yatağının dəyişən işlənmə şəraitinə uyğunlaşmasının zəif olması ilə izah olunur. Bundan əlavə, zaman keçdikcə paralel işləyən nasos aqreقاتlarının hidravlik və energetik xüsusiyyətlərində fərq yaranır ki, bu da aşağı məhsuldarlıqlı nasos aqreقاتlarının əlavə elektrik enerjisi sərfiyyatına səbəb olur.

Nasos aqreقاتlarının elektrik mühərriklərinin texnoloji prosesin real tələbatına uyğun optimal gücünün müəyyən edilməsi də ŞNS-in energetik və texnoloji səmərəliliyinin artırılmasına yönəlmiş tədbirlərin vacib bir hissəsidir. Belə ki, nasosun yüklənmə diapozonunun genişləndirilməsi və nasos aqreقاتlarının gücündən səmərəli istifadə edilməsi məqsədilə, mühərrikin gücü elə seçilməlidir ki, stator sarğularının qızmasına yol verilməsin. Əks halda bu, izolyasiyanın köhnəlmə prosesini sürətləndirməklə təmirlərarası müddətin qısalmasına səbəb olar. Elektrik mühərrikinin düzgün seçilməsi, eyni zamanda elektrik intiqalının digər elementlərinin də düzgün seçilməsini, həmçinin sistemin texnoloji səmərəliliyini müəyyənləşdirir. Həddən artıq güc ehtiyatına malik elektrik mühərrikinin seçilməsi avadanlıq fondundan səmərəsiz istifadə edilməklə xərclərin artmasına, mühərrikin energetik göstəricilərinin aşağı olmasına, həmçinin güc əmsalının aşağı olması səbəbindən elektrik şəbəkəsində itkilərin artmasına gətirib çıxaracaqdır.

Beləliklə, LTS sistemində yüksək elektrik enerjisi itkisi probleminin qənaətbəxş həlli üçün nasos aqreقاتlarının iş rejimlərinə nəzarət etmək üçün mövcud və yeni yanaşmaların təhlili aparılmalıdır [5].

Mövcud suvurma texnologiyasına görə, yüksək su qəbuledici quyulardakı təzyiq quyularında ağzındakı boğucular (ştuserlər) vasitəsilə tənzimlənir [6]. Ştuserlər, iş prinsipinə görə, axın məhdudlaşdırıcı elementlərdir və mövcud təzyiqin tələb olunandan artıq olduğu quyularda quraşdırılır. Tətbiqinin sadəliyinə və istismar xərclərinin aşağı olmasına baxmayaraq, bu üsulun bir sıra çatışmayan cəhəti vardır ki, bunlardan da ən başlıcası sistemdə qeyri-məhsuldar elektrik enerjisi itkilərinin artmasıdır. Bu üsulun daha bir çatışmayan cəhəti isə vurulan suyun həcmının yalnız azalma istiqamətində tənzimlənmə bilməsidir ki, bu da nasos aqreقاتlarının idarə olunma səviyyəsinin artırılmasına və sistemin texnoloji imkanlarının genişləndirilməsinə imkan vermir.

Hər bir nasos aqreقاتının və ya ümumilikdə nasos stansiyasının məhsuldarlığının tənzimlənməsi üçün əsas üsul kimi hələ də çıxış xəttindəki siyirtmədən istifadə edilir [7]. Bu üsulun da əsas çatışmazlığı, ştuser üsulunda olduğu kimi, sistemdə qeyri-məhsuldar elektrik enerjisi itkilərinin artması və məhsuldarlığın yalnız azalma istiqamətində tənzimlənmə bilməsidir. Bundan əlavə, bu üsulun tətbiqi zamanı nasosun çıxış xəttində təzyiqin artması kipliklərin və qapayıcı qurğuların istismar müddətinin azalmasına, həmçinin birləşmə və kipliklərdən maye sızmasına səbəb olur.

Çox yayılmış tənzimləmə üsullardan biri də axının bir hissəsinin çıxış xəttindən baypas xətti və tənzimləyici klapın vasitəsilə yenidən nasosun girişinə yönəltməklə həyata keçirilir. Bu zaman mayenin dövriyyəsinə sərf olunan enerji faydalı iş yaratmır, bu da LTS sistemində qeyri-məhsuldar elektrik enerjisi itkilərinin artmasına səbəb olur. Əvvəlki iki üsulda olduğu kimi, burada da nasos stansiyasının məhsuldarlığı yalnız azalma istiqamətində tənzimləyə bilər.

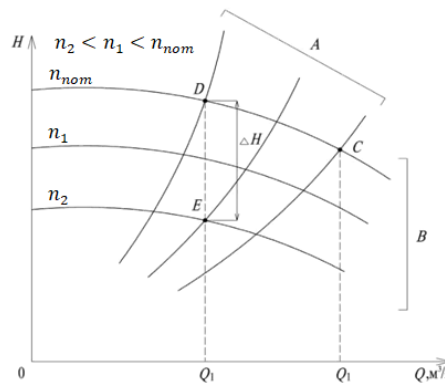
Nasos stansiyası məhsuldarlığının pilləli tənzimlənməsi işləyən nasos aqreqlarının sayının artırılması və ya azaldılması ilə həyata keçirilir. Bu üsul sadədir və elektrik mühərriklərinin rəvan işəsalma qurğularından istifadə edildikdə, nasos aqreqlarında vaxtından əvvəl aşınmaları azaltmağa imkan verir. Buna baxmayaraq, bu üsulun tətbiqi zamanı da həm nasosların çıxışında, həm də quyuağzında axının məhdudlaşdırılmasına ehtiyac yaranır ki, bu da sistemdəki elektrik enerjisi itkilərinin səviyyəsinin artmasına səbəb olur.

Nasos stansiyalarının məhsuldarlığının tənzimlənməsi üsullarının yuxarıda sadalanan çatışmazlıqları onu deməyə əsas verir ki, bunların hamısı sistemdə elektrik enerjisi itkilərinin artmasına səbəb olmaqla yanaşı, nasos aqreqlarının iş rejimlərinə nəzarət imkanlarını genişləndirməyə də imkan vermir. Baxılan tənzimlənmə üsulları yalnız tələb olunan suvarma həcmələrinin ödənilməsinə yönəldiyindən, burada məsələnin energetik tərəfi nəzərə alınmır. Bu da LTS sisteminin enerji səmərəliliyinin artırılması üçün mövcud potensialın həyata keçirilməsinə imkan vermir.

### 3. Həll üsulları

Nasos stansiyasının texnoloji imkanlarının genişləndirilməsi və nasos aqreqlarının enerji səmərəliliyinin artırılması, onların yüksək tənzimləmə qabiliyyətinə malik elektrik kompleksi ilə təchiz edildiyi təqdirdə mümkündür, bu da nasos aqreqlarının məhsuldarlığının tənzimlənməsi zamanı valın fırlanma tezliyinin dəyişdirilməsi üsullarından istifadəyə əsaslanır. Bu istiqamətdə ən mükəmməl üsullardan biri nasos aqreqlarının elektrik intiqalının fırlanma tezliyini tezlik çeviricilərindən istifadə edərək dəyişdirməkdir [8, 9]. LTS sistemində qeyri-məhsuldar elektrik enerjisi itkilərinin tezlik nəzarəti vasitəsilə azaldılması üsulunun mahiyyəti ondan ibarətdir ki, bu zaman nasosun valının fırlanma tezliyini dəyişməklə nasos stansiyasının məhsuldarlığını plan üzrə laya vurulacaq cari su həcmələrinə uyğunlaşdıran iş rejimini müəyyən etmək mümkündür.

Nasos aqreqlarının məhsuldarlığının tezlik çeviricilərindən istifadə etməklə tənzimlənməsi zamanı hidravlik şəbəkə ilə nasos stansiyasının birgə iş rejimləri Q-H (məhsuldarlıq-basqı) koordinat sistemində göstərilmişdir (şəkil 1).



Şəkil 1. Hidravlik şəbəkə və ŞNS-in xarakteristikaları

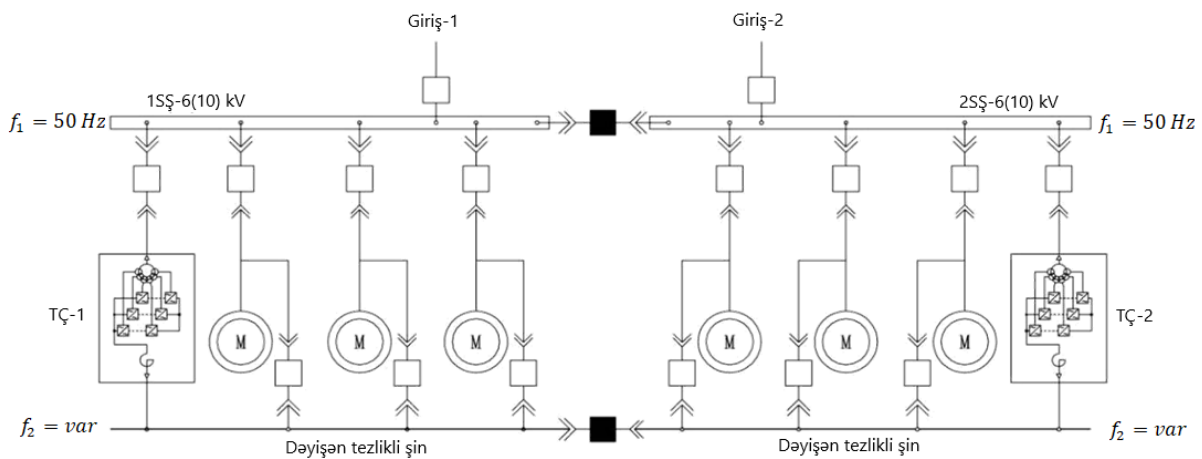
Burada, A əyriləri hidravlik şəbəkənin iş rejimlərini, B-əyriləri isə məhsuldarlığı tezlik çeviricilərindən istifadə etməklə tənzimlənən nasos stansiyasının iş rejimlərini göstərir.  $Q_1$  və  $Q_2$  texnoloji prosesin tələblərindən asılı olaraq nasos stansiyasının məhsuldarlığının mümkün qiymətləri intervalını göstərir. Nasos stansiyasının məhsuldarlığını çıxışdakı siyirtmənin köməyi ilə azaldıqda, işçi nöqtəsi C-dən D-yə keçir ki, bu da basqı itkilərinin ( $\Delta H$ ) çoxalmasına və nəticədə sistemdəki qeyri-məhsuldar elektrik enerjisi itkisinin artmasına səbəb olur. Tənzimlənən elektrik intiqalı istifadə edildikdə isə işçi nöqtənin C-dən E-yə keçidi basqı və elektrik enerjisi itkisi olmadan baş verir.

Tezlik tənzimləyicili elektrik intiqallarından istifadə olunması paralel işləyən nasos aqreqləri arasında yükün optimal paylanmasına imkan verir ki, bu da hidravlik və energetik xarakteristikaları fərqli olan nasosların birgə işi zamanı xüsusilə vacibdir.

LTS sistemində yüksək enerji itkilərinin səbəblərindən biri də texnoloji avadanlıqların rejiminin neft yatağının işlənməsi mərhələlərinə uyğun gəlməməsidir. Belə ki, yatağın istismarı zamanı layların parametrlərinin dəyişməsi onlara vurulan suyun da həcmının dəyişməsinə səbəb olur və bu da ona gətirib çıxarır ki, maksimum məhsuldarlıq üçün nəzərdə tutulmuş texnoloji sistem yatağın işlənmə texnologiyasının dəyişən tələblərinə uyğun gəlmir. Nəticədə nasos aqreqlərinin nominal məhsuldarlığı ilə cari suvurma həcmələri arasında bir uyğunsuzluq yaranır ki, bu da nasos stansiyasının idarəedilməsinin optimallaşdırılmasının və yatağın işlənmə şəraitinə uyğunlaşdırılmasının vacibliyini göstərir.

Beləliklə, mövcud nasos stansiyalarının modernləşdirilməsi və ya yenilərinin layihələndirilməsi zamanı, tezlik tənzimləyicili intiqallarda asinxron mühərriklərin rəşional qidalanma sxemini müəyyən etməklə sistemin işləkliyini və etibarlılığını təmin etmək mümkündür. Nasosların elektrik intiqallarının mövcud tezlik sxemlərinə dair ədəbiyyat məlumatlarının təhlili göstərir ki, yüksəkgərginlikli tezlik çeviricisi (YTÇ) qoşulmuş qismən tezliklə idarə olunan elektrik intiqalı sistemi səmərəlilik və idarəetmə etibarlılığı tələblərinə daha çox uyğun gəlir [10, 11].

Şəkil 2-də, YTÇ-nin çevik işəsalma sxemi üçün nasos aqreqlərinin asinxron mühərriklərinin 6 kV-lik paylayıcı qurğudan enerji təchizatının funksional sxemi verilmişdir.



Şəkil 2. Nasos aqreqlərinin tezlik tənzimləyicili asinxron elektrik mühərriklərinin qidalanma sxemi.

Tezliklə idarə olunan elektrik intiqalının bu sistemində nasos aqreqlərinin işə salınması və dayandırılması ardıcılığı aşağıdakı kimidir:



Şinlərin hər bölməsinin YTÇ vasitəsilə növbə ilə minimum tələb olunan sayda aqreqat işə salınır və nominal fırlanma tezliyinə çatdırılır. Son aqreqat işə düşür və YTÇ vasitəsilə lazımi idarəetmə tezliyində qoşulu qalır. Nasos stansiyasının ümumi məhsuldarlığını bir nasosun verimini aşan miqdarda artırmaq lazımdırsa, idarə olunan nasos aqreqatının valının fırlanma tezliyi nominala gətirilir, sonra nasos aqreqatının enerji təchizatı birbaşa nasos stansiyasının paylayıcı qurğusunun şininə keçir. PQ-dəki açarı qoşduqdan və mühərrikin işə qoşulması barədə siqnal aldıqdan sonra çevirici elektrik mühərrikinin tənzimlənən tezlik şinindən ayırmaq üçün komanda verir. Bundan əlavə, nasos aqreqatı birbaşa qidalandırıcı şəbəkədən işləməyə davam edir və çevirici növbəti aqreqatı işə salır.

Elektrik mühərrikinin qidalandırıcı şəbəkəyə keçməsi sinxronlaşdırılmalıdır. Bunun üçün mühərriki paylayıcı qurğunun şini ilə birləşdirən açarın açılması əmri yalnız o halda verilir ki, çeviricinin çıxış gərginliyi və tezliyi şəbəkə gərginliyi və tezliyi ilə amplituda və faza üzrə sinxronlaşdırılmış olsun.

Nasos stansiyasının ümumi məhsuldarlığını azaltmaq lazım gəldikdə, sistem YTÇ ilə işləyən axırncı aqreqatın fırlanma tezliyini azaldaraq tədricən onu dayandırır.

Nasos aqreqatlarının məhsuldarlığının baxılan sxem üzrə tənzimlənməsi nasos stansiyasının verilmiş texnoloji parametrlərinin təmin edilməsi və enerji xərclərini minimuma endirmək baxımından optimaldır. Nasos stansiyasında belə idarəetmə sxeminin tətbiqi qeyri-məhsuldar enerji itkilərinin azaldılması baxımından həm ayrı-ayrı nasos aqreqatlarının, həm də bütövlükdə nasos stansiyasının işçi parametrlərinin tənzimlənməsi üçün geniş imkanlar yaradır.

### **Nəticələr**

1. LTS sisteminin enerji səmərəliliyinin yüksəldilməsi hasil olunan neftin maya dəyərinin aşağı salınması baxımından xüsusi əhəmiyyətə malikdir.

2. Laya su vurulması üçün nasos stansiyalarında istifadə olunan tənzimlənmə üsullarının əksəriyyəti tələb olunan suvurma həcmələrinin təmin edilməsinə yönəldiyindən, burada məsələnin energetik tərəfi nəzərə alınmır və nasos aqreqatlarının iş rejimlərinin qeyri-səmərəli idarə edilməsi nəticəsində qeyri-məhsuldar elektrik enerjisi itkiləri artır.

3. Nasos aqreqatlarında tezlik tənzimləyicili elektrik intiqallarından istifadə edilməsi LTS sistemində qeyri-məhsuldar elektrik enerjisi itkilərini azaltmaqla bütövlükdə neft hasilatı prosesinin rentabelliliyini artırmağa imkan verir.

4. Mövcud nasos stansiyalarının modernləşdirilməsi və ya yenilərinin layihələndirilməsi zamanı, tezlik tənzimləyicili intiqallarda asinxron mühərriklərin rəşional qidalanma sxemini müəyyən etməklə, sistemin işləkliyini və etibarlılığını təmin etmək mümkündür.

5. Nasos aqreqatlarının məhsuldarlığının qeyd olunan sxem üzrə tənzimlənməsi qeyri-məhsuldar enerji itkilərinin azaldılması baxımından həm ayrı-ayrı nasos aqreqatlarının, həm də bütövlükdə nasos stansiyasının işçi parametrlərinin tənzimlənməsi üçün geniş imkanlar yaradır.

**ƏDƏBİYYAT SİYAHISI**

1. A.X.Mirzəcanzadə və b., Neft və qaz yataqlarının istismarı və işlənilməsi, Bakı, 2010.
2. F.S.İsmayılov, F.Q.Həsənov, İ.R.Həsənov, Neftqaz və qazkondensat yataqlarının istismarı, Bakı, 2019, 230 səh.
3. Ивановский В.Н., Энергетика добычи нефти: основные направления оптимизации энергопотребления, Инженерная практика, 2011, № 6, С. 18—26.
4. Меньшов Б.Г., Электротехнические установки и комплексы в нефте-газовой промышленности, М.: Недра, 2000, 487 с.
5. Велиев М.К., Анализ основных направлений сокращения энергетических затрат в системах поддержания пластового давления, Актуальные вопросы энергетического комплекса: Сб. науч. тр. Тюмень: ТГНГУ, 2010, С. 3—5.
6. ВНТП 3-85, Нормы технологического проектирования объектов сбора, транспорта, подготовки, газа и воды нефтяных месторождений, М.: Изд-во «Миннефтепром», 1986.
7. Байков И.Р., Повышение энергоэффективности нефтедобычи, Инженерная практика, 2010, № 3, с. 42—43.
8. Копырин В.С., Автоматизация насосной станции с применением частотно-регулируемого электропривода, Силовая электроника, 2006, № 2, С. 20—23.
9. E.M.Fərhadzadə, Neft sənayesi mexanizmlərinin avtomatlaşdırılmış elektrik intiqalı, Bakı-2003, 65 səh.
10. Лезнов Б.С., Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходушных установках, М.: Энергоатомиздат, 2006, 360 с.
11. Ниссенбаум И.А., Энергоэффективное управление производительностью нефтепромысловой насосной станции, Нефтяное хозяйство, 2010, № 6, С. 110—114.

UOT: 621.43.03.6:669.268

## ƏRİTMƏ PROSESİNDƏ MAQNİT ÜSULU

ŞİRZADOV FƏRHAD MƏHƏMMƏD OĞLU

Bakı Mühəndislik Universiteti

fashirzadov@beu.edu.az

### XÜLASƏ

Üstəritmə əməliyyatları zamanı əridilmiş mayenin arzuolunmaz axması nəticəsində bərkimə prosesindən sonra onun həndəsəsi xətalı alınır. Tökmə prosesində əridilmiş materialın qabın divarlarına toxunması və onun yaxşı qarışdırılmaması alınmış məhsulda qarışıqların miqdarını artırmaqla yanaşı elementlərin tərkibdə qeyri-bərabər paylanmasına səbəb olur. Məqalədə əritmə əməliyyatlarında maye metala əlavə maqnit sahəsi təsir etməklə, onun hərəkətini məhdudlaşdırmaq və onu məcburi qarışdırmaq məqsədi ilə sabit cərəyan induktorlarının qoşulma sxemi və emal texnologiyası təklif olunmuşdur. Texnologiya elektrik cərəyanı keçirən istənilən maye və qaz halında olan mühitə tətbiq oluna bilər.

**Açar sözlər:** əritmə, induktor, maqnit sahəsi, elektrik cərəyanı

### MAGNETIC METHOD IN MELTING PROCESS

#### ABSTRACT

During the conventional melting and solidification process are met unwanted flow of molten liquid and its geometry errors. At the pouring process, the molten material touches the walls of the container and doesn't mix it well and increase the amount of impurities in the obtained product and it causes uneven distribution of elements in the composition. In the article, a direct current connection scheme and inductor processing technology were proposed for the purpose of limiting movement of a molten material and forcibly mixing it by applying an additional magnetic field to the liquid metal during melting operations. The technology can be applied to any liquid or gaseous medium that conducts electricity. So that, it can be used to restrict the movement of liquid metal, shaping it, mixing the alloy during melting processes, to limit movement plasma in nuclear reactors, in plasma weapons, etc.

**Key words:** welding, inductor, magnetic field, welding.

### МАГНИТНЫЙ МЕТОД В ПЛАВИЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

#### АННОТАЦИЯ

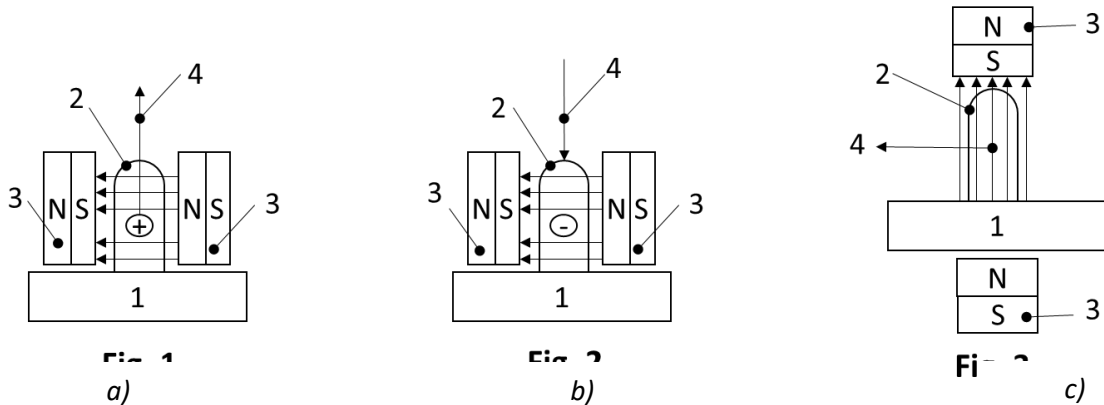
В статье предложены более простые и эффективные индукторные схемы с применением магнитного поля, используемого непосредственно при сварке в сварочной ванне или в дополнительном источнике и создаваемого постоянным током. С целью ограничения движения жидкости, жидкий металл сжимается с боков или растягивается на основании предлагаемых схем на рис. 2 и рис. 3, направляя вытекающий поток из бокового индуктора с параллельным с ним потоком, идущим из сварного шва, одинаково или в разных направлениях, возможно сжать или растянуть сварной шов, одинаково или по разному направляя, возникающий с среде магнитную силу.

Предлагаемые схемы направлены на изменение геометрических, химических и физико-механических свойств любой электропроводящей жидкости или газа путем создания действия электромагнитного поля, так, они могут применяться при плавлении для ограничения движения жидкого металла, придания ему формы, перемешивания сплава во время литья, для ограничения движения плазмы в ядерных реакторах, в плазменном оружии, и т. д.

**Ключевые слова:** сварка, индуктор, магнитное поле, наплавление.

**Giriş və məsələnin aktuallığı.** Elektroqövs və digər əritmə əməliyyatları zamanı maye vannasına kənar sabit maqnit sahəsinin təsiri ilə onun hündürlüyünün artırılması maqnit sahəsində hərəkət edən elektronlara, beləliklə maye metala Lorens qüvvəsinin tətbiqi prinsipinə əsaslanmış və bu məqsədlə qaynaq vannasına əlavə sabit elektrik cərəyanı verməklə yanaşı, onun ətrafında böyük qabaritli sabit maqnitlər tətbiq olunmuşdur [1-3].

Sabit maqnitlərin səthə çəkilən örtüklə qarşılıqlı təsirinə mövcud sxemləri şəkl. 1- də təsvir olunmuş şəkl. 1,a, şəkl. 1,b və şəkl. 1,c- də verilmişdir.



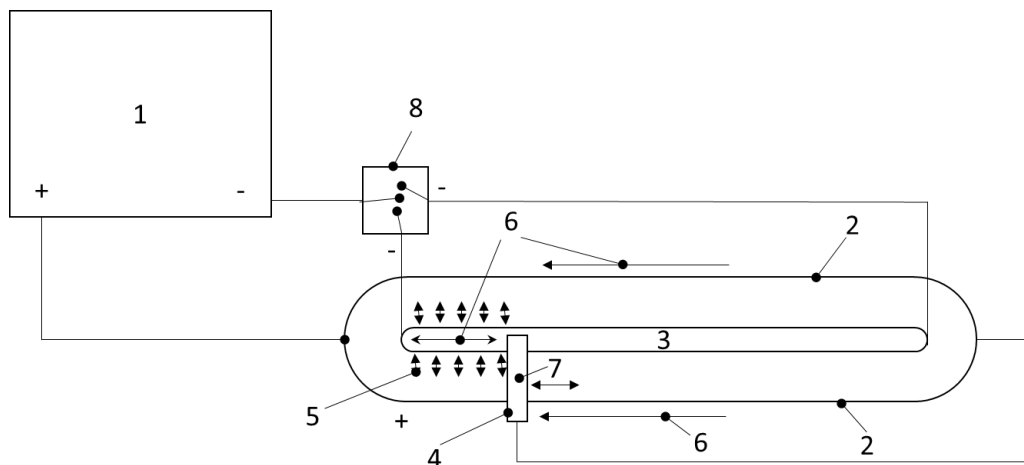
Şəkil 1. Sabit maqnitlərin və əlavə cərəyanın tətbiqi ilə əridilmiş materiala formanın verilməsi.

Şəkil 1- də verilmiş sxemlərə əsasən 1- əsas materialın səthinə üstəəritmə zamanı 3- sabit maqnitləri arasında yerləşdirilmiş 2- qaynaq vannasından qeyd olunan işarələmə istiqamətində cərəyan verdikdə, maye metal 4- maqnit qüvvəsi istiqamətində hərəkət edəcəkdir. Lakin, sabit maqnit sahəsində maye metala (qaynaq vannasına) formavermə texnikası və texnologiyası məhdud imkanlara malikdir. Şəkil 1- də verilmiş variantlarda göstəriləndiyindən fərqli olaraq, real şəraitdə qaynaq vannasında temperaturun və cərəyanın sıxlığının paylanması qeyri-müntəzəm olduğundan, qaynaq vannasına təsir edəcək qüvvələr də qeyri-bərabər paylanır. Qaynaq vannasına güclü, dartıcı maqnit qüvvəsi (və ya Lorens qüvvəsi) təsir etdikdə, ərimiş material örtüklə əsas materialın kontakt zonasından ayrılacaqdır. Ayrılma temperaturun aşağı, cərəyan sıxlığının və maqnit qüvvəsinin yüksək olduğu zonada - əsas materialla qaynaq vannasının kontakt sahəsində yaranır. Bundan əlavə, qaynaq vannasının ətrafında yerləşdirilmiş sabit maqnitlər və onlarla əlaqələndirilmiş maqnit selini qaynaq vannasına istiqamətləndirən dəmir içliklər böyük qabaritli olub, kiçik sahələrdə və çevik əməliyyatlarda çətinliklər yaradacaq və ya tətbiqi mümkün olmayacaqdır.

**Texnoloji üsulun təklifi və əsaslandırılması.** Elektrik cərəyanının axma istiqamətindən asılı olaraq məqalədə iki texnoloji üsul fərqləndirilmişdir.

**1. Cərəyanın istiqaməti üfiqi istiqamətdədir.** Qaynaq vannasının hər iki yan tərəflərində induktorlar yerləşdirilərək bir-birləri ilə həlqəvi əlaqələndirilmiş, parallel induktorun bir tərəfi sabit cərəyan mənbəyinin müsbət qütbünə digər hissəsi isə elektrod tutucuya daimi birləşdirilmiş, qaynaq vannasının sıxılma və ya dartılma vəziyyətlərindən asılı olaraq, onun sol və ya sağ tərəfləri sabit cərəyan mənbəyinin mənfi qütblərinə qoşularaq, elektrod tutucu bu qoşulma yerinin əksinə doğru hərəkət etdirilmişdir. Qaynaq vannasının hər iki yan tərəflərində induktorlar yerləşdirilərək bir-birləri ilə əsas materialdan keçməklə həlqəvi əlaqələndirilmiş, onların sağ və sol tərəfləri cərəyan mənbəyinin müsbət qütbünə, qaynaq vannasının sağ və sol tərəfi isə onun sıxılması və dartılması vəziyyətlərinə və elektrodun hərəkət istiqamətinə uyğun olaraq elektrik açarının köməyi ilə ardıcıl olaraq cərəyan mənbəyinin mənfi qütbünə qoşulmuşdur (şəkil 2).

Sabit maqnitlərdən imtna eməklə, konstruksiyanın sadələşdirilməsi ilə yanaşı təklif olunan sxemə əsasən Lorens qüvvəsi qaynaq vannasına şaquli istiqamətdə deyil, ona üfiqi istiqamətdə təsir edəcəkdir ki, bu da güclü maqnit sahəsində maye metalı qaynaq vannasından ayırmayaraq, əksinə onun sıxılma dərəcəsini daha da artıracaq və keyfiyyət göstəricilərini yüksəldəcəkdir. Bundan əlavə induktorlardan axan cərəyanın üfiqi istiqamətdə yönəldilməsindən fərqli olaraq, şaquli istiqamətdə yönəldilsə, onda onun əmələ gətirdiyi maqnit sahəsi, əsasən şaquli yerləşmiş materiyaya – maye metala nüfuz edəcəkdir. Belə olan halda induktorun yaratdığı maqnit sahəsi əsas materialla deyil, əsasən qaynaq vannası ilə qarşılıqlı təsirdə olacaqdır.



Şəkil 2. Sabit maqnit induktorlarının və cərəyanın tətbiqi ilə maye metal formanın verilməsi.

Şəkil 2- də əritmə prosesində maqnit üsulunun struktur sxemi verilmişdir. Sxemdə 3- qaynaq vannasını və onun ətrafında yerləşdirilmiş 2- induktorlarını qarşılıqlı sabit maqnit sahələri ilə təmin etmək üçün 1- sabit cərəyan mənbəyinin müsbət qütbü qaynaq vannasının ətrafında yerləşdirilmiş tərpnəmz parallel induktorların sol tərəfinə qoşulmuşdur. İnduktorların sağ tərəfi isə elektrod tutucuya birləşdirilmişdir. Qaynaq vannasının yandan sıxılması vəziyyətində 8- açarı qaynaq vannasının sol tərəfini mənfə qütbə qoşur. Qaynaq vannasının yana dartılması vəziyyətində isə 8- açarı qaynaq vannasının sağ tərəfini mənfə qütbə qoşur. Əritmə prosesində maqnit üsulu aşağıdakı prinsipə əsaslanmışdır.

Maye metalı sıxaraq onun hündürlüyünü artırmaq məqsədi ilə 1- sabit cərəyan mənbəyinin mənfə qütbünə qoşulmuş 8- açarıdan axan elektronlar 3- maye metalın sol tərəfindən, sağa doğru hərəkət edən 4- elektrod tutucudan keçməklə, 2- parallel tərpnəmz induktorlardan 6- istiqamətində sola doğru axdıqda, onun qaynaq vannasının ətrafında yaratdığı maqnit sahəsi 3- maye metalı parallel naqillər prinsipinə əsasən 5- maqnit qüvvəsi istiqamətində - induktorların mərkəzinə doğru sıxaraq, qaynaq vannasının hündürlüyünü artıracaq və ya hərəkətini məhdudlaşdıracaqdır (şəkil 2). Bu zaman 3- maye metaldan 6- istiqamətində sağa doğru axan elektrik cərəyanı 2- induktorlarından 6 istiqamətində sola doğru axan elektrik cərəyanı ilə əks istiqamətində yönəldiyindən parallel naqillər prinsipinə əsasən maye metaldan axan elektronlar və sonda maye metal tərpnəmz yan induktorların mərkəzinə doğru sıxılacaqdır

Maye metalı dartaraq onun eninin artırılması məqsədi ilə 1- sabit cərəyan mənbəyinin mənfə qütbünə qoşulmuş 8- açarıdan axan elektronlar 3- maye metalın sağ tərəfindən, sola hərəkət edən 4- elektrod tutucudan keçməklə, 2- parallel tərpnəmz induktorlardan 6- istiqamətində sola doğru axdıqda onun qaynaq vannasının ətrafında yaratdığı maqnit sahəsi 3- maye metalı parallel naqillər prinsipinə əsasən 5- maqnit qüvvəsi istiqamətində dartacaqdır (şəkil 2). Bu

zaman 3- maye metaldan 6- istiqamətində sola doğru axan elektrik cərəyanı 2- parallel induktorlarından 6 istiqamətində sola doğru axan elektrik cərəyanı ilə eyni istiqamətində yönəldiyindən parallel naqillər prinsipinə əsasən maye metaldan axan elektronlar və sonda maye metal tərpənməz yan induktorlara doğru dartılacaqdır.

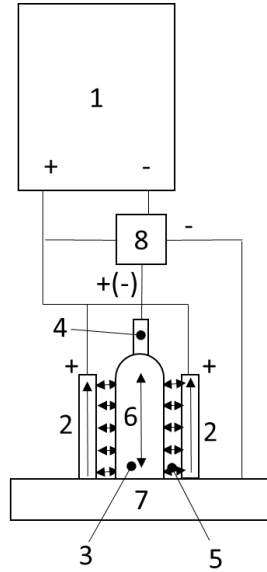
**2. Cərəyan axını şaquli istiqamətdədir.** Bu üsulda qaynaq vannasının hər iki yan tərəflərində induktorlar yerləşdirilərək bir-birləri ilə əsas materialdan keçməklə həlqəvi əlaqələndirilmiş, onların yuxarı hissəsi cərəyan mənbəyinin müsbət qütbünə, qaynaq vannasının yuxarı hissəsi isə onun sıxılması və dartılması vəziyyətlərinə uyğun olaraq elektrik açarının köməyi ilə cərəyan mənbəyinin həm mənfi həm də müsbət qütblərinə qoşulmuşdur.

Şəkil 3- də əritmə prosesində maqnit üsulunun struktur sxemi verilmişdir. Sxemdə 7- əsas materialı üzərinə üstəridiləcək 6- qaynaq vannasını və onun ətrafında yerləşdirilmiş 2- induktorlarını qarşılıqlı sabit maqnit sahələri ilə təmin etmək üçün 1- sabit cərəyan mənbəyinin müsbət qütbü qaynaq vannasının yuxarı hissəsinə 4- elektrodu isə 8- elektrik açarı vasitəsi ilə sabit cərəyan mənbəyinin həm müsbət və həm də mənfi qütbünə qoşula bilər. 8- açarı qaynaq vannasının maqnit sahəsinin təsiri ilə yandan dartılması halında 4- elektrodunu müsbət qütbə qoşduqda 7- əsas materialı 1- sabit cərəyan mənbəyinin müsbət qütbünə qoşur. Qaynaq vannasının ətraf maqnit sahəsinin təsiri ilə yandan sıxılması vəziyyətində 8- açarı 4- elektrodu mənfi qütbə qoşaraq, 7- əsas materialı dövrədən ayırır.

Maye metalı yandan sıxaraq və ya dartaraq, onun hündürlüyünün artırılması və ya azaldılması qarışdırılması və mayenin hərəkətinin məhdudlaşdırılması məqsədi ilə, parallel naqillər prinsipinə əsasən Şəkil 3- də təklif olunan sxemdə, qaynaq tikişindən axan cərəyanın istiqaməti ilə ona parallel yan induktorlardan axan cərəyanın istiqamətini eyni və ya fərqli yönəltməklə, mühitdə yaranan maqnit qüvvəsini əks və eyni istiqamətli yönəldərək, qaynaq tikişini sıxmaq və ya dartmaq olar.

Maye metalı dartaraq onun eninin artırılması məqsədi ilə 1- mənbəyindən qidalandırılan cərəyanın mənfi qütbündən axan elektronlar 8- açarından, 7- əsas materialdan keçərək, 3- maye metala, eyni zamanda 2 elektrodlarına və 4- elektrod tutucuya 6- istiqamətində yuxarıya doğru axdıqda, qaynaq vannası ətrafında yaratdığı maqnit sahəsi parallel naqillər prinsipinə əsasən maye metalı 2- induktorlarına doğru itələyərək, qaynaq vannasının hündürlüyünü azaldaraq onun enini artıracaqdır (şəkil 3). Bu zaman 3- maye metaldan 6- istiqamətində yuxarıya doğru axan elektrik cərəyanı 2- induktorlarından yuxarı istiqamətdə axan elektrik cərəyanı ilə eyni istiqamətində yönəldiyindən parallel naqillər prinsipinə əsasən maye metaldan axan elektronlar və sonda maye metal tərpənməz yan induktorlara doğru dartılacaqdır.

Maye metalı sıxaraq onun hündürlüyünü artırmaq məqsədi ilə 1- mənbəyindən qidalandırılan mənfi yüklənmiş elektrik cərəyanı 8- açarından, 4- elektrod tutucudan keçərək 3- maye metaldan aşağı istiqamətdə, 7- əsas materialdan keçərək, 2- induktorlarına eyni zamanda yuxarı doğru axdıqda, onun qaynaq vannasının ətrafında (maye metaldan) yaratdığı maqnit sahəsi parallel naqillər prinsipinə əsasən maye metalı 2- induktorlarından kənara – induktorların mərkəzinə doğru hərəkət etdirərək onun hündürlüyünü artıracaq və ya hərəkətini məhdudlaşdıracaqdır (şəkil 3). Bu zaman 3- maye metaldan 6- istiqamətində aşağıya doğru axan elektrik cərəyanı 2- induktorlarından yuxarı istiqamətdə axan elektrik cərəyanının əks istiqamətində yönəldiyindən parallel naqillər prinsipinə əsasən maye metaldan axan elektronlar və sonda maye metal tərpənməz yan induktorların mərkəzinə doğru sıxılacaqdır.



Şəkil 3. Cərəyanın şaquli istiqamətdə yönəldilməsi ilə ərimiş materialın induktorlara tərəf dartılaraq, qaynaq tikişinin eninin artırılması və ya yandan sıxılaraq, onun hündürlüyünün artırılması və maye axınının hərəkətinin məhdudlaşdırılması. 1- enerji mənbəyi; 2- induktor; 3- qaynaq vannası; 4- elektrod tutucu; 5- maqnit qüvvəsi; 6- cərəyanın istiqaməti; 7- əsas material; 8- ikivəziyyətli elektrik açarı.

**Nəticə.** Məqalədə qaynaq vannasına birbaşa qaynaqda istifadə olunan və ya əlavə kənar mənbədən sabit cərəyanın yaratdığı maqnit sahəsinin tətbiqi ilə daha da səmərəli və sadə induktor sxemlər təklif edilmişdir. Maye metalı yandan sıxaraq və ya dartaraq, onun hündürlüyünün artırılması və ya azaldılması qarışdırılması və mayenin hərəkətinin məhdudlaşdırılması məqsədi ilə şəkl. 2 və şəkl. 3- də təklif olunan sxemlərə əsasən, qaynaq tikişindən axan cərəyanın istiqaməti ilə ona parallel yan induktorlardan axan cərəyanın istiqamətini eyni və ya fərqli yönəltməklə, mühitdə yaranan maqnit qüvvəsini əks və eyni istiqamətli yönəldərək, qaynaq tikişini sıxmaq və ya dartmaq mümkündür.

Təklif olunan sxemlər elektrik keçiriciliyinə malik olan istənilən mayenin və ya qazın emalında, elektromaqnit sahə təsiri yaratmaqla onların həndəsi, kimyəvi və fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərinin dəyişdirilməsinə yönəldilmiş, belə ki, əritmə zamanı metal mayenin hərəkətinin məhdudlaşdırılmasında, ona forma verilməsində, tökmə zamanı ərintinin qarışdırılmasında, plazma silahlarında, atom reaktorlarında plazmanın hərəkətinin məhdudlaşdırılmasında, plazma silahlarında və s. tətbiq oluna bilər.

#### ƏDƏBİYYAT

1. Ширзадов Ф.М., Садыхов А.И., Гасимова Л.А. Наплавка поверхности под действием магнитного поля // Вестник машиностроения. 2015. № 3. С. 50–52.
2. Ширзадов Ф.М., Садыхов А.И., Гасимова Л.А. Повышение эффективного воздействия магнитного поля на сварочную ванну // Вестник машиностроения. 2021. №3. С. 29-33.
3. Ширзадов Ф.М., Садыхов А.И., Гасимова Л.А. Исследования степени сжатия и стабильности жидкого металла в высокочастотном магнитном поле // Вестник машиностроения. 2021. №8. С. 57-59.

UDC 620.194.2

## ON THE INFLUENCE OF FINITE INITIAL STRAINS OF THE PLATE MADE OF HIGHLY ELASTIC MATERIAL AND LOADED BY THE COMPRESSIBLE INVISCID FLUID ON THE DISPERSION OF THE AXISYMMETRIC WAVES PROPAGATING IN THIS PLATE

EMIN T. BAGIROV

Institute of Mathematics and Mechanics, B.Vahabzade 9, Baku, AZ1141, Azerbaijan

[bagirov@bk.ru](mailto:bagirov@bk.ru)

### ABSTRACT

The paper investigates the influence of the axisymmetric homogeneous initial strains of a plate of highly elastic material, loaded by a compressible inviscid fluid, on the dispersion of the axisymmetric waves propagating in this plate. The material of the plate is Lucite, but Glycerin and water are chosen as the fluid. The motion of the plate is described by the three-dimensional linearized equations and relations of the theory of elastic waves in pre-stressed bodies. However, the flow of the fluid is described by the linearized Euler equations for the compressible, non-viscous fluid. The dispersion curves for different modes are presented and discussed. In particular, it is found that the character of the influence of the initial strains in the plate on these curves depends not only on the magnitude and sign of the initial strains but also on the values of the dimensionless wavenumber. It is also found that this character is more complicated for the Lucite + Glycerin pair than for the soft rubber + water pair studied in an earlier paper by the author.

**Keywords:** Axisymmetric wave dispersion, plate + fluid system, compressible fluid, highly elastic material, finite initial deformation, Lucite, glycerin.

### YÜKSƏK ELASTİK MATERIALDAN HAZIRLANMIŞ VƏ SIXILAN QEYRİ-ÖZLÜ MAYE İLƏ YÜKLƏNMİŞ LÖVHƏNİN SONLU İLKİN GƏRGİNLİKLƏRİNİN BU LÖVHƏDƏ YAYILAN DALĞALARIN DİSPERSİYASINA TƏSİRİ

#### XÜLASƏ

Məqalədə yüksək elastik materialdan hazırlanmış və sıxılan qeyri – özlü maye ilə yüklənmiş lövhənin oxasimmetrik bircins ilkin gərginliklərinin bu lövhədə yayılan oxasimmetrik dalğaların dispersiyasına təsiri öyrənilir. Lövhənin materialı lusitdəndir, maye kimi qliserin və su götürülmüşdür. Lövhənin hərəkəti 3 – ölçülü xəttilləşdirilmiş tənliklərlə və əvvəlcədən gərginləşdirilmiş cisimlərdə elastik dalğalar nəzəriyyəsinin münasibətləri ilə təsvir edilir. Mayenin hərəkəti isə sıxılan, qeyri – özlü maye üçün Eyler tənlikləri ilə təsvir edilir. Müxtəlif rejimlər üçün dispersiya dalğaları təqdim edilir və müzakirə edilir. Xüsusilə də, lövhədəki ilkin gərginliklərin bu ayrıləri təsirinin xarakterinin təkcə ilkin gərginliklərin ölçüsü və işarəsindən yox, həm də ölçüsüz dalğa ədədinin qiymətindən asılı olması tapılır. Bu xarakterin Lusit – qliserin cütü üçün müəllifin bundan əvvəlki məqaləsində öyrənilmiş yumşaq rezin+su cütü xarakterindən daha mürəkkəb olması göstərilir.

**Açar sözlər:** Oxasimmetrik dalğa dispersiyası, lövhə+maye sistemi, sıxılan maye, yüksək elastikli material, sonlu ilkin deformasiya, Lusit, qliserin.

### О ВЛИЯНИИ КОНЕЧНЫХ НАЧАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПЛАСТИНЫ ИЗ ВЫСОКОУПРУТОГО МАТЕРИАЛА НАГРУЖЕННОЙ СЖИМАЕМОЙ НЕВЯЗКОЙ ЖИДКОСТЬЮ НА ДИСПЕРСИИ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ВОЛН

#### АННОТАЦИЯ

В работе исследуется влияние осесимметричных однородных начальных деформаций пластины из высокоэластичного материала, нагруженной сжимаемой невязкой жидкостью, на дисперсию распространяющихся в этой пластине осесимметричных волн. Материал пластины – Люцит, но в качестве жидкости выбраны глицерин и вода. Движение пластины описывается трехмерными линеаризованными уравнениями и соотношениями теории упругих волн в предварительно напряженных телах. Однако течение жидкости описывается линеаризованными уравнениями Эйлера для сжимаемой невязкой жидкости. Представлены и обсуждены дисперсионные кривые для различных мод. В частности, установлена, что характер влияния начальных деформаций в пластине на эти кривые зависит не только от величины и знака начальных



деформаций, но и от значений безразмерного волнового числа. Установлена также, что этот признак для пары люцит + глицерин более сложен, чем для пары мягкий каучук + вода, изученной в более ранней работе автора.

**Ключевые слова:** Осесимметричная волновая дисперсия, система пластина + жидкость, сжимаемая жидкость, высокоэластичный материал, конечная начальная деформация, люцит, глицерин.

## 1. Introduction

The overview of the relevant investigations is detailed in the papers [1 - 3] and from this overview, it is clear that before the paper [4], published this year, all the investigations on the wave dispersion problems related to the plate + fluid hydroelastic systems were carried out for the plane strain case. For the first time, in contrast to the aforementioned studies, the paper [4] investigates the dispersion of axisymmetric waves propagating in a hydroelastic system consisting of a finite, radially axisymmetric, prestained plate of highly elastic compressible material, a compressible inviscid fluid layer, and a rigid wall limiting the flow of this fluid. In the context of this study, the motion of the plate is described by the three-dimensional linearized theory of elastic waves in prestressed elastic bodies, but the flow of the fluid is described by the linearized Euler equations. The numerical results on the influence of the initial strains in the plate on the dispersion curves are presented and discussed. At the same time, in the work [4] the influence of the fluid depth on the mentioned dispersion curves is also investigated. However, in the work [4], all numerical results were obtained for the case when the plate material is soft rubber and the fluid is water. In the present work, we try to continue the investigation started in paper [4] for the case when the plate material is Lucite and the fluid is not only water but also glycerin. In this continuation, we assume that the fluid depth is infinite. As in the work [4], the three-dimensional linearized theory of elastic waves in initially stressed elastic bodies is used to describe the motion of the plate, and the linearized Euler equations are used to describe the flow of the fluid.

## 2. Mathematical formulation of the problem

We consider the hydro-elastic system shown schematically in Fig. 1 and associate the cylindrical coordinate system  $Or\theta z$  with the upper surface plane of the plate and assume that in the natural state the plate occupies the region  $\{0 \leq r < \infty, 0 \leq \theta \leq 2\pi, -h \leq z \leq 0\}$  in this coordinate system. Moreover, assume that before the axisymmetric waves propagate in the system (i.e. in the initial state), the plate is stretched (or compressed) by homogeneous, axisymmetrically uniformly distributed radial forces acting at infinity and these forces cause the initial strain state in the plate determined by the following displacements:

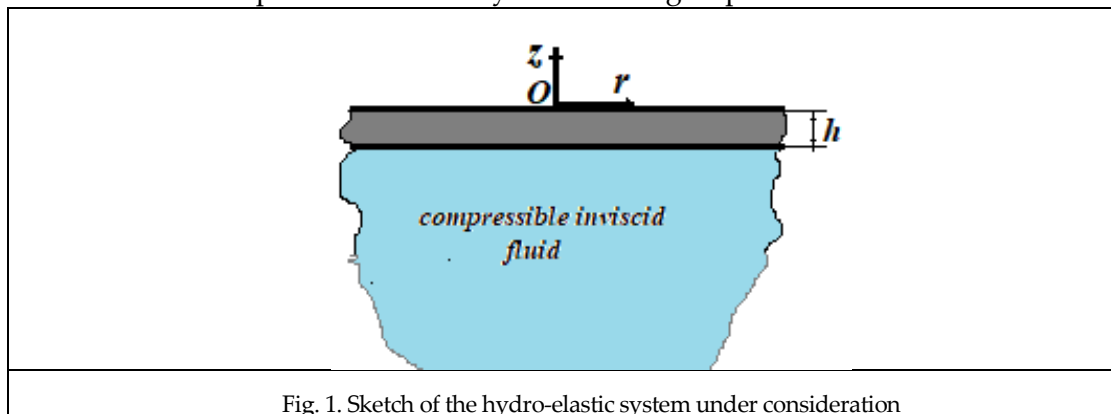


Fig. 1. Sketch of the hydro-elastic system under consideration

$$u_r^0 = (\lambda_1 - 1)r, u_\theta^0 = 0, u_z^0 = (\lambda_3 - 1)z \quad (1)$$

where  $\lambda_1$  and  $\lambda_3$  are constants and are called elongation parameters. In (1), the upper index 0 denotes that the related quantity belongs to the initial strain-stress state. This notation will also be used below.

As in the paper [4], we assume that the material of the plate is highly elastic and compressible, therefore, for describing the elasticity relations of the plate material we use the harmonic potential proposed by John [5] which has the following expression:

$$\Phi = \frac{1}{2} \lambda e_1^2 + \mu e_2, \quad (2)$$

where

$$e_1 = \sqrt{1+2\varepsilon_1} + \sqrt{1+2\varepsilon_2} + \sqrt{1+2\varepsilon_3} - 3, \\ e_2 = \left(\sqrt{1+2\varepsilon_1} - 1\right)^2 + \left(\sqrt{1+2\varepsilon_2} - 1\right)^2 + \left(\sqrt{1+2\varepsilon_3} - 1\right)^2. \quad (3)$$

Here  $\lambda$  and  $\mu$  are material constants and  $\varepsilon_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) are the principal values of Green's strain tensor.

After selection of the elastic potential, the physical components of the symmetric stress tensor  $s_{(ij)}$  are determined by the following expression:

$$s_{(ij)} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial}{\partial \varepsilon_{(ij)}} + \frac{\partial}{\partial \varepsilon_{(ji)}} \right) \Phi, \quad (4)$$

where under  $(ij)$ , the indices  $rr, \theta\theta, zz, r\theta, rz, z\theta$  are understood.

Thus, substituting the expressions in (1) into the non-linear strain-displacement relations in the cylindrical coordinate system  $Or\theta z$  (the explicit expressions of these relations can be found in many textbooks related to the theory of elasticity, as well as in the monograph [6]), we obtain the following initial strains:

$$\varepsilon_{rr}^0 = \varepsilon_{\theta\theta}^0 = \frac{1}{2} \left( (\lambda_1)^2 - 1 \right), \quad \varepsilon_{zz}^0 = \frac{1}{2} \left( (\lambda_3)^2 - 1 \right), \quad \varepsilon_{rz}^0 = \varepsilon_{r\theta}^0 = \varepsilon_{\theta z}^0 = 0. \quad (5)$$

It follows from the expressions in (5) that in the initial state, the principal values  $\varepsilon_1^0$ ,  $\varepsilon_2^0$  and  $\varepsilon_3^0$  of the strain tensor coincide with  $\varepsilon_{rr}^0$ ,  $\varepsilon_{\theta\theta}^0$  and  $\varepsilon_{zz}^0$ , respectively. Therefore, according to the expressions (3), (5), and (2), we can write that in the initial state the expression for the selected elastic potential  $\Phi$  is:

$$\Phi^0 = \frac{1}{2} \lambda (2\lambda_1 + \lambda_3 - 3)^2 + \mu (2(\lambda_1 - 1)^2 + (\lambda_3 - 1)^2). \quad (6)$$

Using this expression, we obtain the following expressions for the initial stresses from the relation (4):

$$s_{zz}^0 = [\lambda(2\lambda_1 + \lambda_3 - 3) + 2\mu(\lambda_3 - 1)](\lambda_3)^{-1}, \quad s_{rr}^0 = s_{\theta\theta}^0 = [\lambda(2\lambda_1 + \lambda_3 - 3) + 2\mu(\lambda_1 - 1)](\lambda_1)^{-1}. \quad (7)$$

According to the problem statement, we can assume that

$$s_{zz}^0 = [\lambda(2\lambda_1 + \lambda_3 - 3) + 2\mu(\lambda_3 - 1)](\lambda_3)^{-1} = 0 \Rightarrow \lambda(2\lambda_1 + \lambda_3 - 3) = 2\mu(1 - \lambda_3) \Rightarrow$$

$$\lambda_3 = \frac{\lambda(3 - 2\lambda_1) + 2\mu}{\lambda + 2\mu} = \frac{(3 - 2\lambda_1) + 2\mu/\lambda}{1 + 2\mu/\lambda} . (8).$$

Using the relations in (8), we obtain the following expressions for the stresses  $s_{rr}^0$  and  $s_{\theta\theta}^0$  :

$$s_{rr}^0 = s_{\theta\theta}^0 = \frac{2\mu}{\lambda_1}(\lambda_1 - \lambda_3) . (9)$$

In this way, we determine completely the initial axisymmetric stress-strain state in the plate. Thus, through the expressions (1), (5), (8) and (9), we determine completely the initial axisymmetric stress-strain state in the plate for the selected material constants  $\lambda$  and  $\mu$ . It follows from the foregoing expressions that under fixed values of the material constants  $\lambda$  and  $\mu$  this state is determined only by the elongation parameter  $\lambda_1$ . Consequently, the magnitude of the initial stress-strain state in the plate can be estimated only through the parameter  $\lambda_1$ .

Thus, we assume that after appearing of the foregoing initial stress-strain state in the plate that is in contact with the fluid, the axisymmetric waves in the composite hydro-elastic system propagate in the radial direction. For writing the equations and relations of this propagation, we use the Lagrange coordinates  $r'$  and  $z'$  in the coordinate system  $O'r'\theta'z'$  related to the foregoing initial state, and these coordinates are determined through the coordinates  $r$  and  $z$  in the coordinate system  $Or\theta z$  by the following expressions:

$$r' = \lambda_1 r, \quad z' = \lambda_3 z, \quad (10)$$

according to which, in the initial state the thickness of the plate becomes  $h'$  where  $h' = \lambda_3 h$ .

Thus, taking the foregoing preparing into consideration, according to the monographs by Guz [7] and Akbarov [6] and others listed therein, we can write the equations and relations of the three-dimensional linearized theory of elastic waves in initially finite pre-strained elastic bodies with the Lagrange coordinates  $r'$  and  $z'$ .

The linearized equations of motion:

$$\frac{\partial Q_{r'r'}}{\partial r'} + \frac{\partial Q_{z'r'}}{\partial z'} + \frac{1}{r'}(Q_{r'r'} - Q_{\theta'\theta'}) = \rho' \frac{\partial^2 u_{r'}}{\partial t^2},$$

$$\frac{\partial Q_{r'z'}}{\partial r'} + \frac{\partial Q_{z'z'}}{\partial z'} + \frac{1}{r'} Q_{r'z'} = \rho' \frac{\partial^2 u_{z'}}{\partial t^2} . (11)$$

The linearized elasticity relations:

$$Q_{r'r'} = \omega'_{1111} \frac{\partial u_{r'}}{\partial r'} + \omega'_{1122} \frac{u_{r'}}{r'} + \omega'_{1133} \frac{\partial u_{z'}}{\partial z'},$$

$$Q_{z'z'} = \omega'_{3311} \frac{\partial u_{r'}}{\partial r'} + \omega'_{3322} \frac{u_{r'}}{r'} + \omega'_{3333} \frac{\partial u_{z'}}{\partial z'}, \quad Q_{r'z'} = \omega'_{1313} \frac{\partial u_{r'}}{\partial z'} + \omega'_{1331} \frac{\partial u_{z'}}{\partial r'},$$

$$Q_{z'r'} = \omega'_{3113} \frac{\partial u_{r'}}{\partial z'} + \omega'_{3131} \frac{\partial u_{z'}}{\partial r'}. \quad (12)$$

In (11) and (12),  $Q_{r'r'}$ ,  $Q_{\theta'\theta'}$ , ...,  $Q_{z'r'}$  are the perturbations of the components of the non-symmetric Kirchhoff stress tensor,  $u_{r'}$  and  $u_{z'}$  are the perturbations of the components of the displacement vector in the system of coordinates  $O'r'\theta'z'$ ,  $\rho'$  is the plate material density related to the unit volume in the initially strained state and  $\rho' = (\lambda_1^2 \lambda_3)^{-1} \rho$  where  $\rho$  is the plate material density in its natural state. Moreover, according to Guz [7], in the case under consideration, the components  $\omega'_{1111}$ ,  $\omega'_{1122}$ , ...,  $\omega'_{3131}$  are determined by the following expressions:

$$\begin{aligned} \omega'_{1111} &= (\lambda + 2\mu) \frac{1}{\lambda_3}, \quad \omega'_{2222} = \omega'_{1111}, \quad \omega'_{3333} = \frac{\lambda_3}{\lambda_1^2} (\lambda + 2\mu), \quad \omega'_{1122} = \frac{1}{\lambda_3} \lambda, \\ \omega'_{1133} &= \frac{1}{\lambda_1} \lambda, \quad \omega'_{1313} = 2\mu \frac{\lambda_3}{\lambda_1(\lambda_1 + \lambda_3)}, \quad \omega'_{3113} = \omega'_{1331} = 2\mu \frac{\lambda_1}{\lambda_3(\lambda_1 + \lambda_3)}. \end{aligned} \quad (13)$$

This completes the field equations and relations within the framework of which the motion of the plate is described.

Now, based on the monograph by Guz [8], we consider the equations and relations for describing the axisymmetric flow of the compressible inviscid fluid in the cylindrical coordinate system  $O'r'\theta'z'$ .

The continuity equation:

$$\frac{\partial \rho'_1}{\partial t} + \rho_{10} \left( \frac{\partial V_{r'}}{\partial r'} + \frac{V_{r'}}{r'} + \frac{\partial V_{z'}}{\partial z'} \right) = 0. \quad (14)$$

The linearized Euler and state equations of the fluid flow:

$$\frac{\partial V_{r'}}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_{10}} \frac{\partial p'_1}{\partial r'}, \quad \frac{\partial V_{z'}}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_{10}} \frac{\partial p'_1}{\partial z'}, \quad p'_1 = a_0^2 \rho'_1, \quad a_0^2 = \left( \frac{\partial p_1}{\partial \rho_1} \right)_0, \quad (15)$$

where  $a_0$  is the sound speed in the fluid,  $\rho'_1$  and  $p'_1$  are the perturbations of the fluid density and the fluid pressure, respectively,  $\rho_{10}$  is the fluid density in the initial state, and  $V_{r'}$  and  $V_{z'}$  are the components of the velocity vector.

Thus, the flow of the compressible inviscid fluid is described by the equations (14) – (15) and the coordinates  $r'$  and  $z'$  are taken as the Euler coordinates. At the same time, taking the smallness of the perturbations into account, the difference between the Euler and Lagrange coordinates is ignored.

Now we consider formulation of the compatibility and boundary conditions for the plate + fluid system illustrated in Fig. 1. According to this illustration, we can write the following boundary conditions on the upper face plane (i.e. at  $z' = 0$ ) of the plate:

$$Q_{z'z'}|_{z'=0} = 0, \quad Q_{z'r'}|_{z'=0} = 0. \quad (16)$$

Also, according to this illustration, we can write the following compatibility conditions on the interface plane between the plate and fluid:

$$Q_{z'z'}|_{z'=-h'} = -P_1|_{z'=-h'}, \quad Q_{z'r'}|_{z'=-h'} = 0, \quad \frac{\partial u_{z'}}{\partial t}|_{z'=-h'} = V_z|_{z'=-h'}. \quad (17)$$

Finally, we must add to conditions (16) and (17) the following non-reflection condition of the waves from infinity:

$$|V_z|, |V_r|, |p_1|, |\rho_1| < \infty \text{ as } z \rightarrow -\infty. \quad (18)$$

This completes the formulation of the problem.

### 3. Method of solution

According to Guz [7], for solution to the system of equations (11) and (12) we use the presentations:

$$u_{r'} = -\frac{\partial^2}{\partial r' \partial z'} X, \quad u_{z'} = \frac{1}{\omega'_{1111} + \omega'_{1313}} \left( \omega'_{1111} \Delta'_1 + \omega'_{3113} \frac{\partial^2}{\partial z'^2} - \rho' \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) X, \quad (19)$$

where the function  $X$  is determined from the equation

$$\left[ \left( \Delta' + (\xi'_2)^2 \frac{\partial^2}{\partial z'^2} \right) \left( \Delta' + (\xi'_3)^2 \frac{\partial^2}{\partial z'^2} \right) - \rho' \left( \frac{\omega'_{1111} + \omega'_{1331}}{\omega'_{1111} \omega'_{1331}} \Delta' + \frac{\omega'_{3333} + \omega'_{3113}}{\omega'_{1111} \omega'_{1331}} \right) \frac{\partial^2}{\partial t^2} + \frac{\rho'}{\omega'_{1111} \omega'_{1331}} \frac{\partial^4}{\partial t^4} \right] X = 0, \quad \Delta' = \frac{d^2}{dr'^2} + \frac{1}{r'} \frac{d}{dr'}, \quad (20)$$

where

$$(\xi'_{2,3})^2 = d \pm \left[ d^2 - \omega'_{3333} \omega'_{3113} (\omega'_{1111} \omega'_{1331})^{-1} \right]^{\frac{1}{2}},$$

$$d = \left[ \omega'_{1111} \omega'_{3333} + \omega'_{1331} \omega'_{3113} - (\omega'_{1133} + \omega'_{1313})^2 \right] (2\omega'_{1111} \omega'_{1331})^{-1}. \quad (21)$$

Following the usual procedure, for the axisymmetric waves, we seek the function  $X$  in the form

$$X = F e^{\chi k z'} J_0(kr') \cos(\omega t). \quad (22)$$

Substituting the expression in (22) into the equation (20) and doing some mathematical calculations, we obtain the following characteristic equation for determination of the constant  $\chi$  :

$$A_1 \chi^4 + B_1 \chi^2 + C_1 = 0, \quad (23)$$

where

$$A_1 = (\xi'_2)^2 (\xi'_3)^2, \quad B_1 = \left( B \frac{c^2}{\lambda_1^2 \lambda_3 c_2^2} - ((\xi'_2)^2 + (\xi'_3)^2) \right), \quad C_1 = -A \frac{c^2}{\lambda_1^2 \lambda_3 c_2^2} + \frac{c^4}{\lambda_1^4 \lambda_3^2 c_2^4} + 1$$

$$A = \frac{\omega'_{1111} + \omega'_{1331}}{\omega'_{1111}\omega'_{1331}}, B = \frac{\omega'_{3333} + \omega'_{3113}}{\omega'_{1111}\omega'_{1331}}, c = \frac{\omega}{k}, c_2 = \sqrt{\mu/\rho}. \quad (24)$$

In this way, we determine the following expressions for the roots of the equation (23):

$$\chi_1 = \sqrt{D_1}, \chi_2 = \sqrt{D_2}, \chi_3 = -\chi_1, \chi_4 = -\chi_2, \quad (25)$$

where

$$D_1 = -\frac{B_1}{2A_1} + \sqrt{\left(\frac{B_1}{2A_1}\right)^2 - \frac{C_1}{A_1}}, D_2 = -\frac{B_1}{2A_1} - \sqrt{\left(\frac{B_1}{2A_1}\right)^2 - \frac{C_1}{A_1}}. \quad (26)$$

After determination of the foregoing roots, the function  $X$  is presented as follows:

$$X = \left[ F_1\varphi_1(\chi_1 kz') + F_2\varphi_2(\chi_1 kz') + F_3\varphi_3(\chi_2 kz') + F_4\varphi_4(\chi_2 kz') \right] J_0(kr') \cos(\omega t). \quad (27)$$

where

$$\begin{aligned} \varphi_1(\chi_1 kz') &= \begin{cases} e^{\chi_1 kz'} & \text{if } D_1 > 0 \\ \cos(\alpha kz') & \text{if } D_1 < 0 \end{cases}, \varphi_2(\chi_1 kz') = \begin{cases} e^{-\chi_1 kz'} & \text{if } D_1 > 0 \\ \sin(\alpha kz') & \text{if } D_1 < 0 \end{cases}, \\ \varphi_3(\chi_2 kz') &= \begin{cases} e^{\chi_2 kz'} & \text{if } D_2 > 0 \\ \cos(\beta kz') & \text{if } D_2 < 0 \end{cases}, \varphi_4(\chi_2 kz') = \begin{cases} e^{-\chi_2 kz'} & \text{if } D_2 > 0 \\ \sin(\beta kz') & \text{if } D_2 < 0 \end{cases}, \\ \alpha &= \text{Im}\sqrt{D_1}, \beta = \text{Im}\sqrt{D_2}. \quad (28) \end{aligned}$$

Substituting the expressions in (27) and (28) into the relations in (19) we determine the expressions for the displacements, and substituting the latter ones into the relations in (12) we determine the perturbation of the stresses. For reducing the volume of the paper we do not write these expressions here. This completes the determination of the quantities related to the plate.

Now we consider the solution to the equations (14) and (15) related to the fluid flow. Based on the monograph by Guz [8], we use the following presentation for the solution to these equations:

$$V_{r'} = \frac{\partial}{\partial r} \Phi, V_{z'} = \frac{\partial}{\partial z} \Phi, p'_1 = -\rho_{10} \frac{\partial}{\partial t} \Phi, \rho'_1 = -\frac{\rho_{10}}{a_0^2} \frac{\partial}{\partial t} \Phi, \quad (29)$$

where the function  $\Phi$  satisfies the following equation:

$$\left( \Delta - \frac{1}{a_0^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) \Phi = 0, \Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}. \quad (30)$$

We seek the function  $\Phi$  in the form

$$\Phi = Ge^{\delta kz'} J_0(kr') \sin(\omega t). \quad (31)$$

Substituting the expression (31) into the equation (30) we obtain the following characteristic equation for determination of the constant  $\delta$ :

$$\delta^2 = 1 - \frac{c^2}{a_0^2} \Rightarrow \delta_1 = \sqrt{1 - \frac{c^2}{a_0^2}}, \delta_2 = -\delta_1. \quad (32)$$

Taking the relations in (32) and in (18) into consideration we can write the following expression for the function  $\Phi$ :

$$\Phi = G_1 \psi_1(\delta_1 k z') J_0(k r') \sin(\omega t), \quad (33)$$

where

$$\psi_1(\delta_1 k z') = \begin{cases} e^{\delta_1 k z'} & \text{if } (1 - c^2 / a_0^2) > 0 \\ \cos(\alpha_1 k z') & \text{if } (1 - c^2 / a_0^2) < 0 \end{cases}, \quad \alpha_1 = \sqrt{(c^2 / a_0^2) - 1}. \quad (34)$$

Thus, after determination of the function  $\Phi$  and substituting them into the relations (29), we obtain the expressions for the velocities, pressure and density of the fluid. Finally, substituting these expressions into the boundary and compatibility conditions in (16) and (17), we obtain the system of homogeneous algebraic equations for the unknown constants  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ,  $F_3$ , and  $G_1$ . Equating to zero the determinant of the coefficient matrix of these equations, we obtain the dispersion equation which can be written formally as follows:

$$\det |\alpha_{ij}(kh, c / c_2, a_0 / c_2, \rho / \rho_{10}, \lambda_1, \lambda / \mu)| = 0. \quad (35)$$

Solving the dispersion equation (35), we construct the dispersion curves, i.e. the graphs of the dependence between  $c / c_2$  and  $kh$  for the fixed problem parameters  $a_0 / c_2$ ,  $\rho / \rho_{10}$ ,  $\lambda / \mu$ , and  $\lambda_1$ . We recall that through the parameter  $\lambda_1$  we will investigate the influence of the initial strains in the plate on the mentioned dispersion curves. Note that the dispersion equation is solved numerically by employing the well-known "bi-section" method.

#### 4. Numerical results and discussions

Under obtaining numerical results it is considered the cases where the plate material is Lucite with the mechanical constants  $\mu = 1.86 * 10^9 Pa$ ,  $\lambda = 3.96 * 10^9 Pa$ ,  $\rho = 1160 kg / m^3$ , and  $c_2 = \sqrt{\mu / \rho} = 1265 m / s$ , and the fluid is Glycerin with density  $\rho_{10} = 1260 kg / m^3$  and with the sound speed  $a_0 = 1927 m / s$ . Note that under consideration the dispersion curves related to the lowest modes we consider also the case where the fluid is water with density  $\rho_{10} = 1000 kg / m^3$  and with the sound speed  $a_0 = 1459.5 m / s$ .

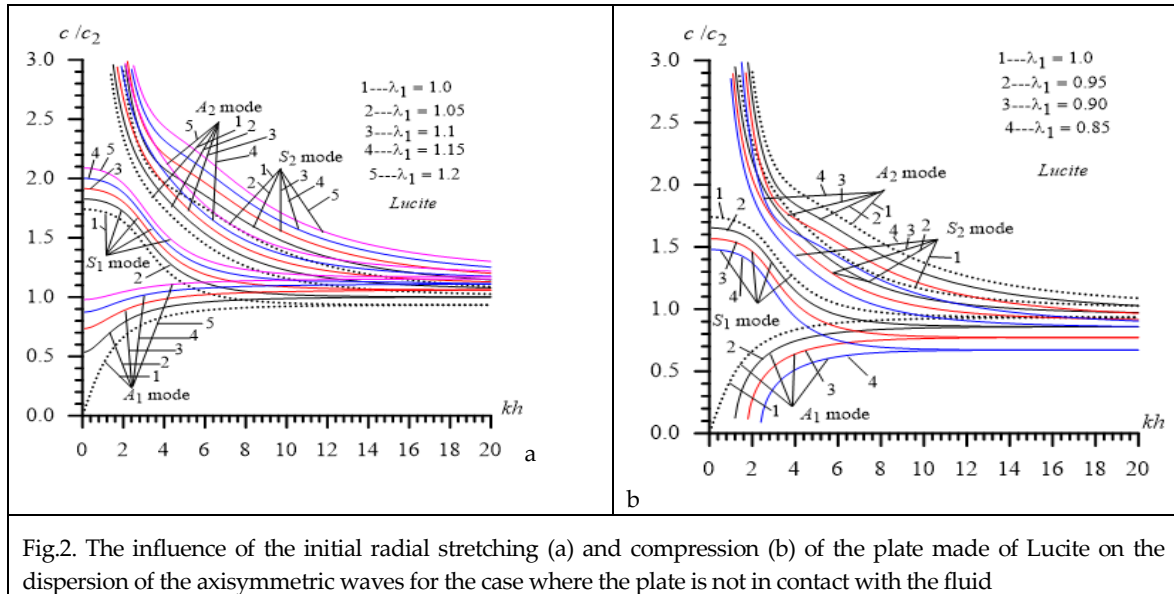


Fig.2. The influence of the initial radial stretching (a) and compression (b) of the plate made of Lucite on the dispersion of the axisymmetric waves for the case where the plate is not in contact with the fluid

First, we consider the dispersion curves of axisymmetric waves propagating in the plate of Lucite, which is not in contact with the fluid, and analyze the influence of the initial strains in this plate, i.e., the influence of the parameter  $\lambda_1$  on these curves, which are shown in Fig.2. Note that this plot is done separately for the cases  $\lambda_1 \geq 1$  (Fig. 2a) and  $\lambda_1 \leq 1$  (Fig. 2b) and the modes  $A_1$ ,  $S_1$ ,  $A_2$ , and  $S_2$  are considered. From the analysis of the results presented in Fig. 2, it is evident that the initial radial elongation (compression) of the plate leads to a monotonic increase (decrease) of the wave propagation velocity in all the modes considered. Moreover, it is evident from the results in Fig. 2a that in the case  $\lambda_1 \geq 1$ , the limits of the wave propagation velocity in the low and high wavenumbers in modes  $A_1$  and  $S_1$  increase monotonically with  $\lambda_1$ , and the limits of the wave propagation velocity in the high wavenumbers coincide with the axisymmetric Rayleigh wave velocity in the relevant initially stretched Lucite half-space. However, the results in Fig. 2b indicate that the initial radial compression of the plate leads to a decrease in the limiting value of the wave propagation velocity at low wavenumbers in the  $S_1$  mode and the cut-off wavelength occurs in the  $A_1$  mode, in addition to the fact that the wave propagation velocity decreases monotonically with the decrease of the parameter  $\lambda_1$  in all the modes considered. Note that these results are in a qualitative sense consistent with the corresponding results presented and analyzed in papers [9, 10], where the corresponding case with plane strain was considered. Note also that the dispersion curves presented in Fig. 2, obtained under  $\lambda_1 = 1.0$  coincide with the corresponding dispersion curves obtained for the case with plane strain [9, 10]. This agreement and matching provide some guarantee of the reliability of the calculation algorithm used and of the PC programs used to obtain these results.



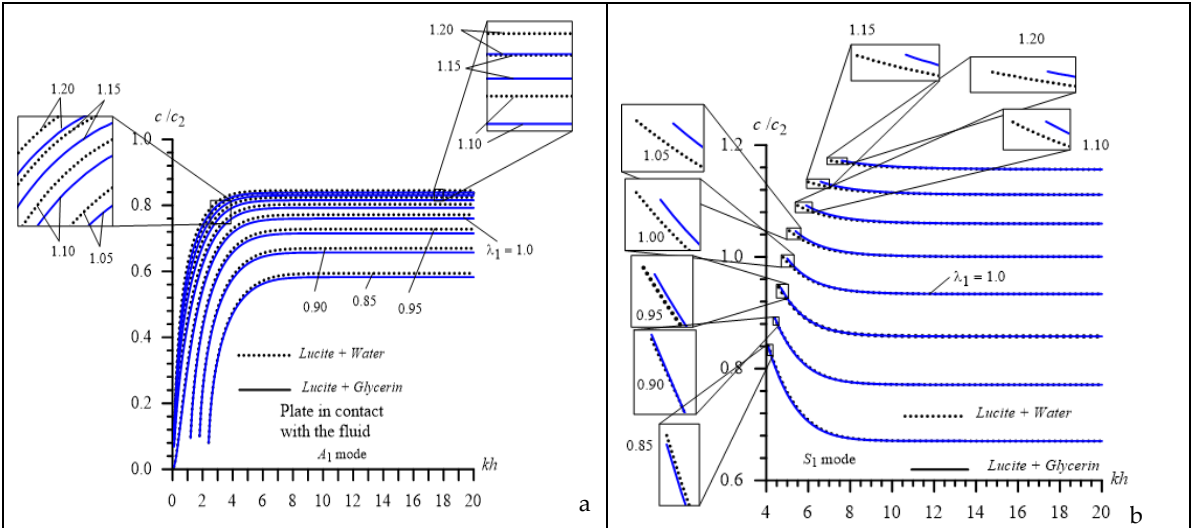


Fig. 3 The influence of the initial strains of the plate on the dispersion of the asymmetric quasi-Scholte mode (a) and the first symmetric  $S_1$  mode (b) for the Lucite + Glycerin and for the Lucite + water pairs

This completes the consideration of the results illustrated in Fig. 2.

We now attempt to analyze the results for the case where the plate is in contact with the fluid, and we begin this analysis with the graphs shown in Fig. 3. These graphs illustrate the dispersion curves for the two lowest modes. The first of them (Fig. 3a) appears in place of the dispersion curves for the  $A_1$  mode in Fig. 2, and the second (Fig. 3b) appears in place of the dispersion curves for the  $S_1$  mode in Fig. 2. At the same time, Fig. 3 gives the results for the pairs Lucite + Glycerin and Lucite + water simultaneously.

It is clear from Fig. 3 that the character of the initial strains in the plate, i.e. the character of the influence of the parameter  $\lambda_1$  in the quantitative sense on the dispersion curves is the same as in the case where the plate is not in contact with the fluid. In other words, the initial stretching of the plate leads to an increase, but the initial compression leads to a decrease in the wave propagation velocity. However, the contact of the plate with the fluid leads to a change in the limiting wave propagation velocity at high wavenumbers. As in the first lowest mode (Fig. 3a), the limiting wave propagation velocity at high wavenumbers is the velocity of the corresponding Scholte wave propagation velocity for the selected pairs of materials, but in the subsequent second mode, this limiting velocity is the Rayleigh wave velocity in the axisymmetric radially stretching or compressing half-space of Lucity. In accordance with this statement, the mode in Fig. 3a will be referred to as the quasi-Scholte mode, as usual.

From Fig. 3b it can be seen that the contact of the plate with the fluid leads to the appearance of a cutoff wavelength in the dispersion curves of the second mode. In this case, the initial radial stretching (compression) of the plate leads to a decrease (increase) in the cut-off wavenumbers. Fig. 3 also shows that the values of the cut-off wavenumbers for the Lucite+water pair are lower than the corresponding cut-off wavenumbers for the Lucite-glycerin. The results also show that the wave propagation velocity on the dispersion curves obtained for the Lucite+water pair in the first mode is large (although insignificant) than the corresponding velocity obtained for the Lucite+ glycerin pair. However, in the second mode, in the cases where  $\lambda_1 \geq 0.95$ , the wave propagation velocity on the dispersion curves obtained for the Lucite+water pair is smaller (although insignificant) than the corresponding velocity obtained for the Lucite+ glycerin pair.

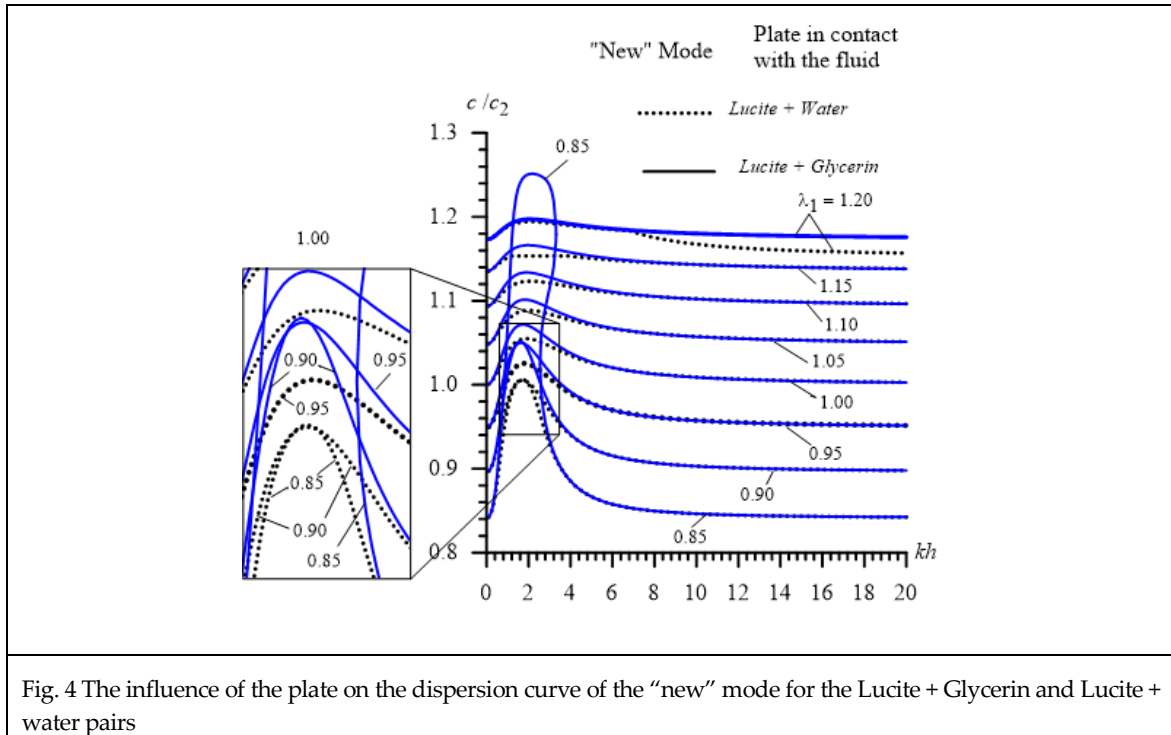


Fig. 4 The influence of the plate on the dispersion curve of the "new" mode for the Lucite + Glycerin and Lucite + water pairs

The numerical results show that in the case of contact of the plate with the fluid, the dispersion curves appear with respect to the mode that has no correspondence with the modes with respect to the plate without contact with the fluid. Therefore, we refer to such modes as new modes, of which the dispersion curves are shown in Fig. 4. From Fig. 4, we can see that the initial stretching (compression) of the plate leads to an increase (decrease) in the values of the wave propagation velocity, as in the previous modes. Moreover, we can conclude from Fig. 4 that the wave propagation velocity in this mode has finite limits for low and high wavenumbers, which also increase (decrease) with the initial stretching (compression) of the plate.

The more interesting feature of these dispersion curves is the appearing a spade point on the dispersion curves where the wave propagation velocity becomes maximum. Fig. 4 also shows that the occurrence of the spade point on the dispersion curves takes place near the wavenumber  $kh = 2.0$  and that the values of these maximum velocities decrease with initial stretching but increase significantly with initial compression. This "increase" in maximum velocities under initial compression is more pronounced for the "Lucite + Glycerin" pair than for the "Lucite + water" pair. Note that this situation requires separate, more fundamental investigations of this new mode, which will be the subject of the author's future work.

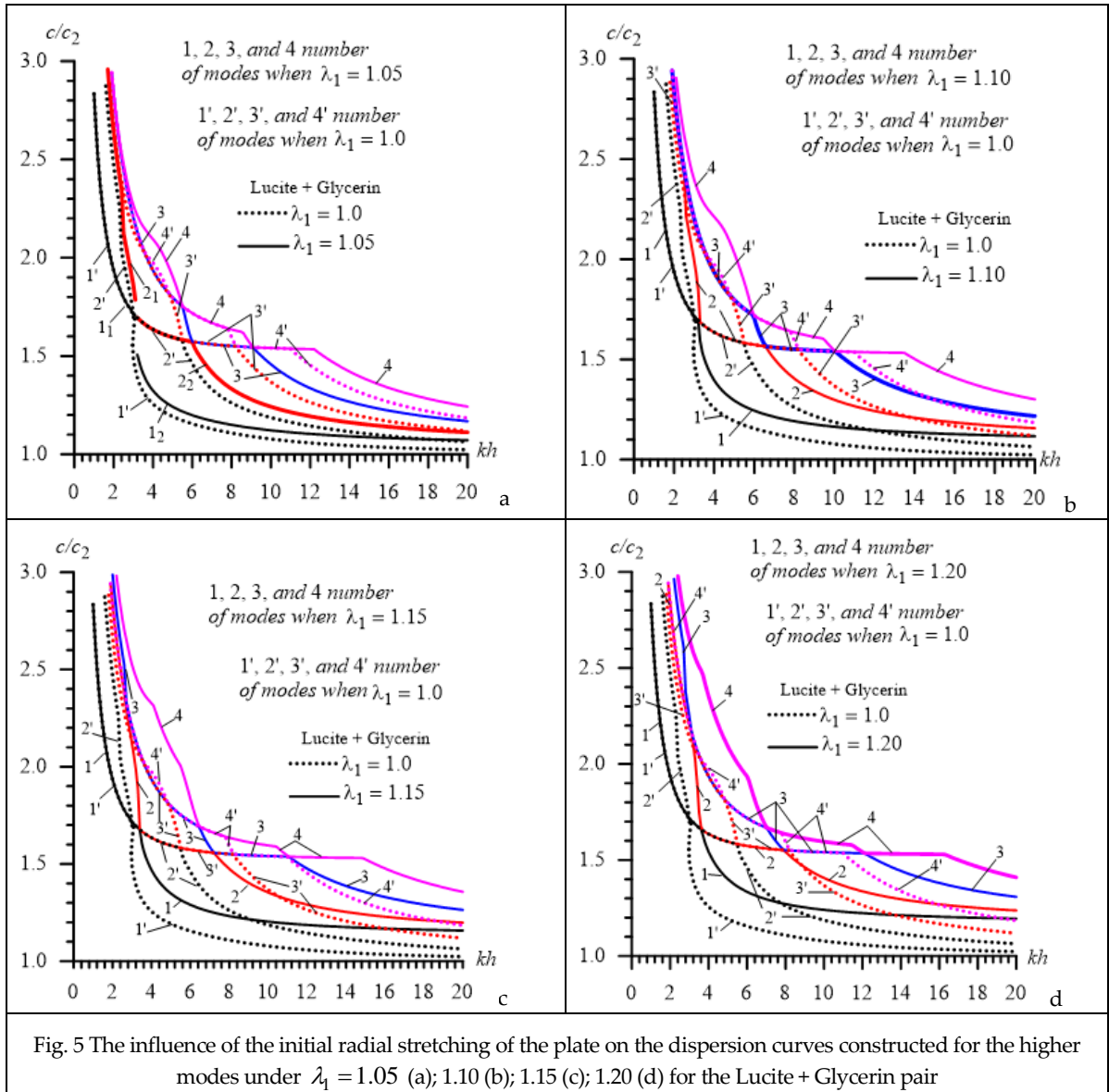


Fig. 5 The influence of the initial radial stretching of the plate on the dispersion curves constructed for the higher modes under  $\lambda_1 = 1.05$  (a); 1.10 (b); 1.15 (c); 1.20 (d) for the Lucite + Glycerin pair

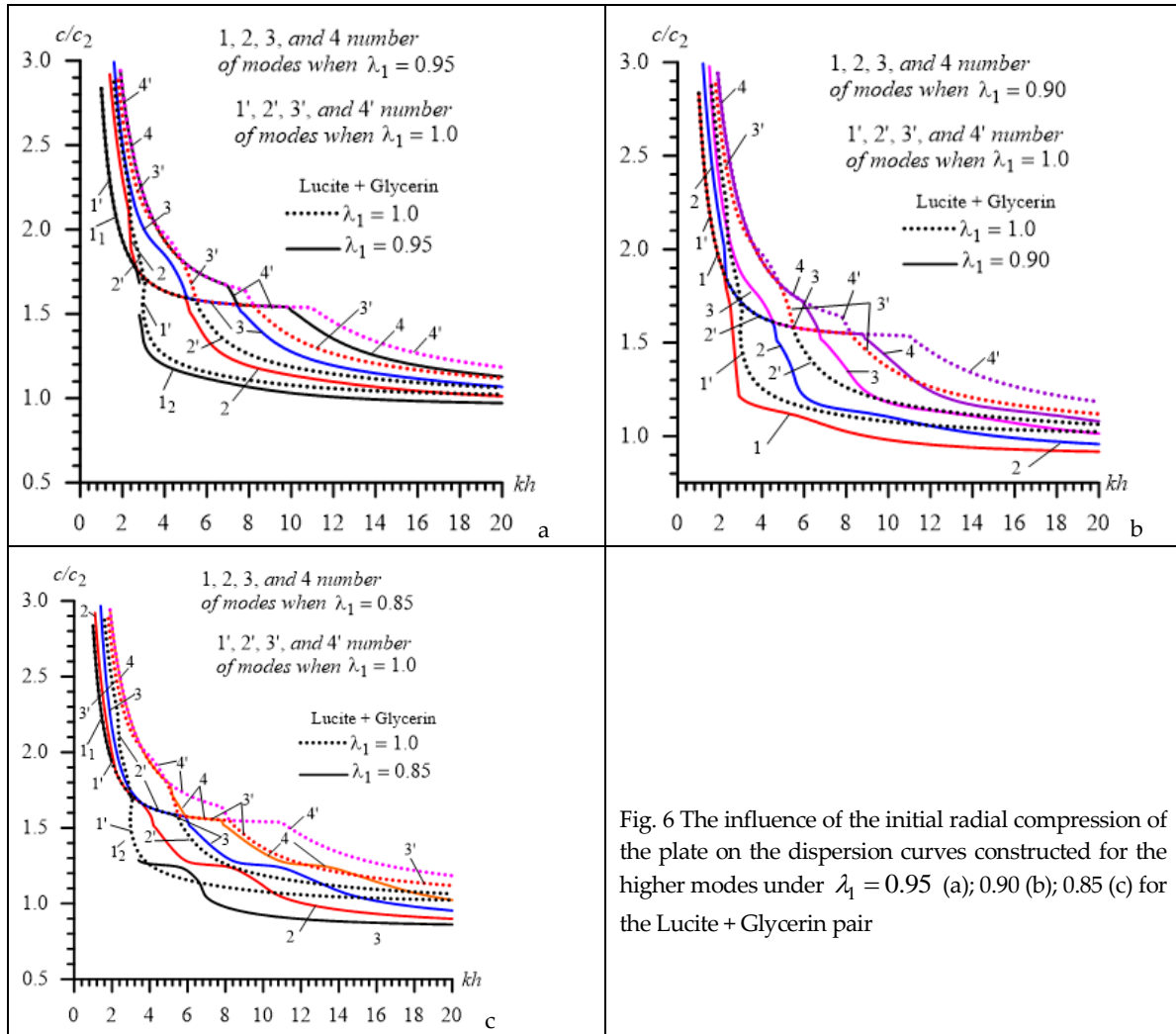


Fig. 6 The influence of the initial radial compression of the plate on the dispersion curves constructed for the higher modes under  $\lambda_1 = 0.95$  (a); 0.90 (b); 0.85 (c) for the Lucite + Glycerin pair

We now consider the influence of the initial strains of the plate on the dispersion curves obtained for the higher mod constructed under the contact of the plate with the fluid for the pair Lucite+glycerin. These curves for the initial elongation of the plate are shown in Fig. 5, and for the initial compression of the plate in Fig. 6. The dispersion curves for  $\lambda_1 = 1.05, 1.10, 1.15,$  and  $1.20$  are shown in Figs. 5a, 5b, 5c and 5d, respectively. The dispersion curves for  $\lambda_1 = 0.95, 0.90,$  and  $0.80$  are shown in Figs. 6a, 6b, and 6c, respectively. In each of these figures, the corresponding dispersion curves for the case  $\lambda_1 = 1.0$  are also given to estimate the magnitude of the influence of the initial strains of the plate on the wave propagation velocities in the higher mod. In Figs. 5 and 6 the numbers 1, 2, 3,... (1', 2', 3',...) indicate the dispersion curves of the first, second, third, ... higher modes constructed in the cases where  $\lambda_1 \neq 1.0$  (in the case where  $\lambda_1 = 1$ ).

Thus, the analysis of the results of the propagation curves of the higher modes shows that these curves have a more complicated character than the dispersion curves of the preceding lower modes. Nevertheless, it can be accurately said that in the cases where  $c/c_2 < 1.5$ , the initial stretching leads to an increase, but the initial compression leads to a decrease in the wave propagation velocity in these higher modes. At the same time, these results show that the magnitude of the above "increase" and "decrease" increases with  $|\lambda_1 - 1|$ .

This completes the analysis of the numerical results.

## 5. Conclusions

Thus, in the present paper, the influence of the axisymmetric homogeneous initial strains of a plate of highly elastic material, loaded by a compressible inviscid fluid, on the dispersion of the axisymmetric waves propagating in this plate has been investigated. The material of the plate is Lucite, but Glycerin and water are chosen as the fluid. The motion of the plate is described by the three-dimensional linearized equations and relations of the theory of elastic waves in pre-stressed bodies. However, the flow of the fluid is described by the linearized Euler equations for the compressible, non-viscous fluid. The dispersion curves for different modes are presented and discussed. It is found that the initial stretching (compression) of the plate leads to an increase (a decrease) in the wave propagation velocity in the lowest modes. It is also found that as a result of the contact of the plate with the fluids it appears the new type mode the dispersion curves shift up (down) with initial stretching (compression) of the plate. Moreover, it is considered the dispersion curves related to the higher modes which have more complicated character. The character of the influence of the initial strains of the plate on these dispersion curves is also analysed.

More detail conclusion with respect to the foregoing states are given in the text of the paper.

## REFERENCES

1. Akbarov, S.D. Forced vibration of the hydro-viscoelastic and – elastic systems consisting of the viscoelastic or elastic plate, compressible viscous fluid and rigid wall: a review. *App. Comput Math*, **17**, (2018), pp.
2. Akbarov, S.D., Negin, M.: On the dispersion of waves propagating in “plate+fluid layer” systems. *Coupled Systems Mechanics*, **10**(2), (2021), pp. 23-142.
3. Akbarov, S.D., Negin, M.: Attenuation of quasi-Lamb waves in a hydroelastic system “elastic plate+compressible viscous fluid+rigid wall” *Structural Engineering and Mechanics*, **81**(4), (2022), pp. 443-459.
4. Akbarov, S.D., Bagirov, E.T. Dispersion of the axisymmetric waves propagating in the hydro-elastic system consisting of the pre-strained highly elastic plate, compressible inviscid fluid, and rigid wall. *Arch Appl Mech* (2022).
5. John, F.: Plane strain problems for a perfectly elastic material of harmonic type. *Commun Pure Appl Math* **13**(2):239-296 (1960)
6. Akbarov, S.D.: Dynamics of pre-strained bi-material elastic systems: Linearized three-dimensional approach, Springer, Heidelberg, New-York, U.S.A. (2015).
7. Guz, A.N. Elastic waves in bodies with initial (residual) stresses. A.C.K. Kiev (in Russian), 2004.
8. Guz, A.N. Dynamics of compressible viscous fluid. Cambridge Scientific Publishers. 2009.
9. Akbarov, S.D., Agasiyev, E.R., Zamanov, A.D.: Wave propagation in a pre-strained compressible elastic sandwich plate. *Eur. J. Mech A/Solids* **30**: 409 -422 (2011).
10. Wijeyewickrema A.C., Ushida, Y., Kayestha, P.: Wave propagation in a pre-stressed compressible elastic layer with constrained boundaries. *J. Mech Mater Struct* **3**(10): 1963– 1976 (2008).

UOT 620.178

## ÖLÇMƏ VASİTƏLƏRİNİN İŞÇİ SƏTHLƏRİNDƏ YARANAN YEYİLMƏ VƏ DEFORMASIYANIN TƏDİQİQİ

**RZAYEV N. S.**

*Bakı Mühəndislik Universiteti, Xırdalan, AZƏRBAYCAN*  
*nzayev@beu.edu.az*

**ABBASOVA G.N.**

*Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, AZƏRBAYCAN*  
*govherabbasova1961@gmail.com*

**İSMAYİLOVA M.İ.**

*Bakı Mühəndislik Universiteti, Xırdalan, AZƏRBAYCAN*  
*medineismayilova71@gmail.com*

### XÜLASƏ

İş prosesində müxtəlif amillərin təsirindən ölçmə vasitələrinin, işçi səthləri yeyilməyə məruz qalır. Ölçmə vasitələri o zaman istifadə üçün yararsız hesab olunur ki, xəta buraxıla bilən həddən çox olur. Xətaların yaranması müxtəlif səbəblərdən olur. Amma əsas səbəb ölçmə vasitələrinin işçi səthlərinin yeyilmə nəticəsində sıradan çıxmasıdır. Bu səbəbdən məqalədə ölçmə vasitələrinin xətalarının yaranmasının əsas səbəbi olan yeyilmə problemləri tədqiq olunacaqdır.

**Açar sözlər:** Ölçmə vasitəsi, ştangenpərgar, mikrometr, yeyilmə, deformasiya, xəta

### INVESTIGATION OF CORRUPTION AND DEFORMATION ON THE WORKING SURFACES OF MEASURING INSTRUMENTS

#### ABSTRACT

In the working process, the contact surfaces of measuring instruments are subject to wear due to various causes. Measuring instruments are considered dysfunctional if the value of error is too high from the tolerance limit. Generally, errors arise due to various causes. Nevertheless, the main factor for the failure of measuring instruments is considered the wear. Therefore, the research paper will examine the wearing problems that are the main cause of measurement errors.

**Keywords:** Measuring instrument, vernier calliper, micrometer, wear, deformation, error.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА И ДЕФОРМАЦИИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ

#### АННОТАЦИЯ

Из-за воздействия различных факторов в процессе работы рабочие поверхности измерительных приборов изнашиваются. Измерительные приборы считаются непригодными к использованию, когда погрешность больше допустимого значения. Существуют различные причины возникновения погрешностей. Однако основная причина в том, что рабочие поверхности измерительных приборов повреждаются вследствие износа. В связи с этим в статье исследуется проблема износа, который является основной причиной возникновения погрешностей средств измерения.

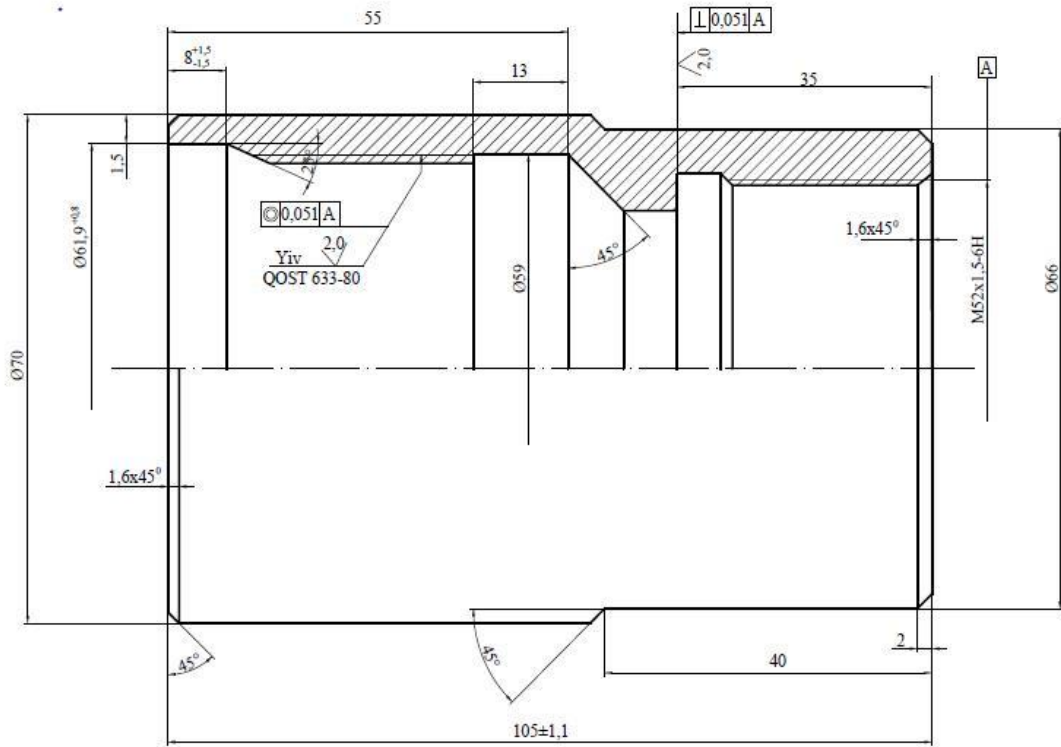
**Ключевые слова:** средство измерения, штангенциркуль, микрометр, износ, деформация, погрешность.

İşdə biz ölçülən obyekt kimi ştanqlı quyu nasosunun muftasını seçirik (şəkil 1.1.) Ştanqlı quyu nasosunun muftasının səthlərini ölçmək üçün sadə ölçmə alətlərindən istifadə olunur. Həmin alətlər əsasən mexaniki ölçmə vasitələri qrupuna aiddir. Bu alətlərə misal kimi

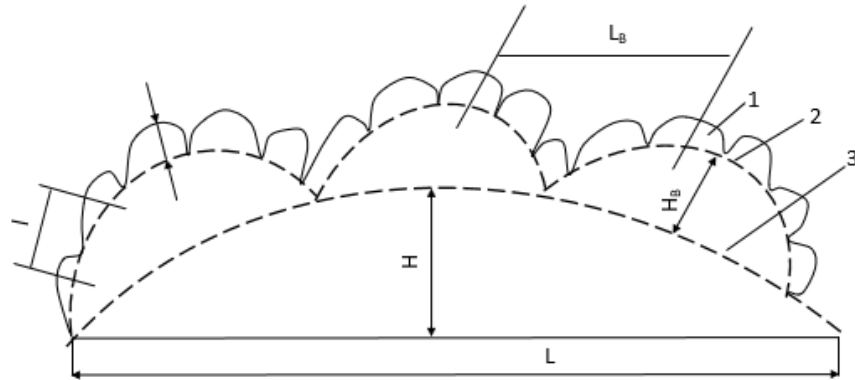
mikrometri, hamar kalibr bəndi, yivli kalibr tıxacı və s. göstərmək olar. Bu tip alətlər vasitəsi ilə çoxsaylı muftalar ölçükdə onların işçi səthlərində yeyilmə baş verir. Bu yeyilmənin intensivliyi bəzi hallarda elə kiçik olur ki, onu normal vəziyyətdə görmək mümkün olmur.

Hətta çox kiçik ölçüdə yeyilmiş ölçü alətləri ilə ölçmə apardıqda böyük xətalər yaranır və nəticə olaraq muftanın real müvcud olan ölçülərindən fərqli qiymətləri qəbul etmiş oluruq.

Ölçü alətlərinin işçi səthləri muftanın ölçülən səthi ilə sürtünməsi nəticəsində yeyilmə əmələ gəlir. Burada sürtünmə növü xarici və quru sürtünmədir. Muftanın ölçülən səthi nə qədər təmiz olarsa ölçü alətlərində yeyilmə bir o qədər az ola bilər. Muftanın ölçülən xarici səthinin nahamarlığını aşağıdakı kimi göstərmək olar (şəkil 1.2).



Şəkil 1.1. Muftanın ümumi görünüşü



Şəkil 1.2. Muftanın real səthinin görünüşü

1-dalğalılıq; 2-kələ-kötürlülük; 3-mikromeyillənme

Ölçmə zamanı kontakt muftanın ayrı-ayrı zonalarında çıxıntıların təpələrində baş verir. Faktiki kontakt sahəsi ayrı-ayrı kontakt xallarının sahələrinin cəmindən ibarətdir. Çox saylı ölçmələr zamanı ardıcıl olaraq alətdə cızıqlar, çıxıntılar, qopmalar baş verə bilər [1, 2].

Ölçmə alətinin yeyilmə intensivliyinə xarici amillər (sıxma qüvvəsi, temperatur, mühit, alətin ölçü səthində hərəkət qüvvəsi və s.) təsiri altında ölçmə vasitəsinin materialının fiziki-kimyəvi xassələrinin dəyişməsi böyük təsir göstərir.

Ölçü alətinin yeyilməsinin intensivliyinə təsir edən əsas amilləri aşağıdakı kimi qruplaşdırmaq olar.

-Sıxıcı qüvvə. Uyuşmamış səthlər üçün sıxıcı qüvvənin yeyilməyə təsiri qeyri-xəttidir, həm də kontakt sahəsi dalğasız olan səthlər üçün bu qeyri-xəttilik daha çox nəzərə çarpır. Səthin dalğalı olması qeyri-xəttiliyi azaldır. Uyuşmuş səthlər üçün yeyilmə intensivliyi xüsusi yüklə düz mütənasibdir.

-Muftanın materialının elastiklik xassələri. Materialın elastiklik modulu. Yeyilmə intensivliyinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir.

-Materialın möhkəmlik xassələri. Bu xarakteristikaların artıq olması bir qayda olaraq yeyilməyə davamlığa müsbət təsir göstərir.

-Muftanın ölçülən səthinin kələ-kötürlüyü və dalğalılığı. Yeyilən səthin mikrohəndəsəsinin əhəmiyyətli dərəcədə təsiri var. Kələ-kötürlüyün kompleks göstəricisi dörd qüvvət üstü qədər dəyişə bildiyinə və onun qüvvət göstəricisi 0,8-4,0 həddində olduğuna görə yeyilmə intensivliyinin təyini zamanı kələ-kötürlüyün nəzərə alınmaması kobud xəyata səbəb ola bilər.

Ölçmə vasitələrinin yeyilməsinin hesablanması aparmaq üçün ölçülən detalların sayının yeyilmə intensivliyindən asılılığını tapmaq lazımdır. Bu asılılıq yuxarıda qeyd olunan faktorlardan asılı olaraq müxtəlif qanunlarla dəyişə bilər. Şəkil (1.2) ümumi olaraq bunu aşağıdakı kimi göstərmək olar [1, 2]:

$$U(x) = N_n \cdot K(x) \quad (1.1)$$

Burada  $U(x)$  – yeyilmənin qiyməti,  $N_n$  – ölçülən detalların sayı,  $K(x)$  – yeyilmənin dəyişmə qanununu göstərir. Eksperiment nəticəsində tapılır.

Ölçü alətlərinin uzunömürlüyünü hesablamaq üçün onun ayrı-ayrı hissələrinin və qovşaqlarının hansı həddə qədər yeyilməsinin mümkün olduğunu başqa sözlə onların yol verilən yeyilməsini  $U_{\max}$  - bilmək lazımdır. Hədd yeyilməsi meyarlarını 3 qrupa bölmək olar.

1) Yeyilmə nəticəsində ölçmə vasitəsi öz iş qabiliyyətini itirir. (Onun işçi səthləri ölçmə üçün yararsız olur);

2) Yeyilmə nəticəsində ölçü alətinə metroloji xarakteristikaları yol verilən həddən kənara çıxır.

Ölçü aləti üçün yol verilən yeyilmə muftanın ölçülən səthinin müsaidəsindən kiçik olmalıdır.

$$U_{yv} < T \quad (1.2)$$

Burada  $U_{yv}$  – yol verilən yeyilmə

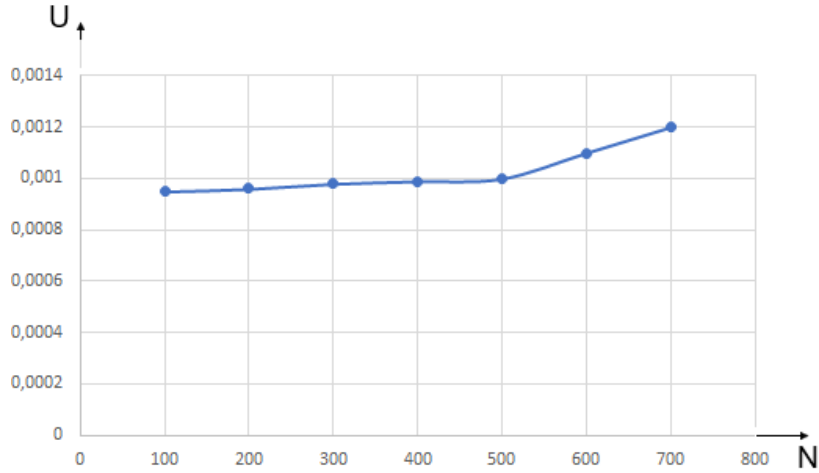


$T$  – muftanın ölçülən səthinin müsaidəsidir.

Deyilən metodikalardan istifadə edərək eksperiment aparılmış və nəticələr aşağıda qeyd olunmuşdur.

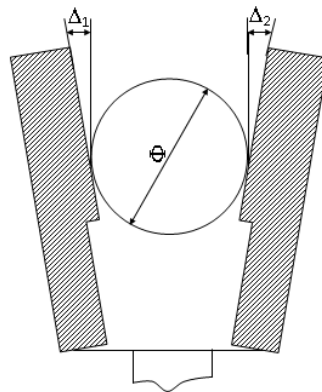
Qeyd etmək lazımdır ki, burada 200 ədəd mufta hazırlanma prosesində ayrı-ayrı-təkrarən , fərqli ölçmə vasitələri ilə ölçülmüşdür (şəkil 1.3).

Alınmış nəticələrdən belə qənaətə gəlmək olar ki, muftanın hazırlanması zamanı hər əməliyyat üçün ayrıca ölçmə vasitəsi seçmək lazımdır. Kobud yonma zamanı alınmış ölçü ilə yarım təmiz ölçmə zamanı alınmış ölçünü eyni mikrometrlə ölçmək düzgün nəticə verməyə bilər.



Şəkil 1.3. Torna kobut yonma üçün alətin yeyilməsinin ölçülən detallın sayından asılılığı  
Alet – Hamar mikrometr; ölçülən səth - Ø66;  
U – yeyilmənin qiyməti; N – ölçülən detalların sayı.

Ölçmə vasitələrinin deformasiyanın digər səbəbləri vardır. Buraya aşağıdakılar daxildir: alətin düzgün istifadə edilməməsi, ölçü vasitəsindən istifadə zamanı bərkitmə vintlərinin həddindən çox sıxılması və ya boş bağlanması, ölçmə zamanı cihazın işçi səthlərinin detallın nəzarət olunan səthinə sərt şəkildə toxundurulması. Məsələn, muftanın Ø66 ölçüsünün ölçülməsi zamanı sərt şəkildə toxunma nəticəsində alətin işçi səthinin deformasiya nəticəsində yerdəyişməsi baş verir. Bu işə ölçü quruluşunda ciddi xətanın yaranmasına gətirib çıxarır. Aşağıdakı sxemdə ştangerpərgarın işçi səthin deformasiyası kimi göstərilmişdir(şəkil 1.4).



Şəkil 1.4. Ştangerpərgarın işçi səthində yaranan deformasiyanın sxemi

$\Delta_1$  və  $\Delta_2$  – alətdə yaranan xətalardır.

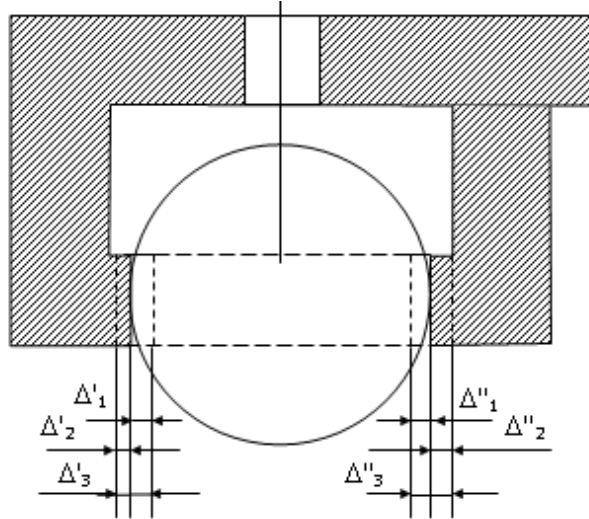
$\Delta_1$  və  $\Delta_2$  – qiymətlərini tapmaq üçün ştangerpərgarı nümunəvi ölçü ilə ölçmə nəticəsində tapmaq olar. Bunun üçün muftanın  $\varnothing 66$  ölçüsünə ştanger alətlə ölçürük. Sonra muftanın həmin ölçüsünü Hexogen Tigo markalı maşınla ölçürük. Bu halda alətin xətasını aşağıdakı kimi hesablayırıq.

$$\Delta_1 + \Delta_2 = (d_m - d_n) \quad (1.3)$$

Burada:  $d_m$  – ştangerpərgar vasitəsilə muftanın ölçülən diametri

$d_n$  – Hexogen Tigo markalı maşınla muftanın ölçülən diametridir.

Eyni halda muftanın  $\varnothing 66$  parametrinin hamar mikrometrlə ölçülməsində barabanın həddindən çox sıxılması ölçünün həqiqi qiymətdən kiçik olmasına, sonradan isə böyük olmasına gətirib çıxarır. Çünki bərk sıxma zamanı barabanı daxilində olan birləşmələr öz dayanıqlığını itirir və xətalarn diapazonun artmasına zəmin yaradır. Bunu sxematik olaraq aşağıdakı şəkildəki kimi göstərmək olar (şəkil 1.5).



Şəkil 1.5. Hamar mikrometrdə deformasiya nəticəsində xətalarn əmələ gəlmə sxemi.

Yuxarıda qeyd olunan qayda ilə alətin xətası belə hesablanır:

$$\Delta'_1 + \Delta'_2 = (d'_m - d'_n)$$

$$\Delta''_1 + \Delta''_2 = (d''_m - d''_n) \quad (1.4)$$

Əgər alınmış bu qiymətlər detalın müsaidə sahəsindən kənara çıxarsa onda ölçü aləti yararsız hesab olunur. Bu aşağıdakı şərtlər şəklində göstərilir:

$\Delta'_1 + \Delta'_2 \leq Td$  - Ölçmə vasitəsi yararlıdır

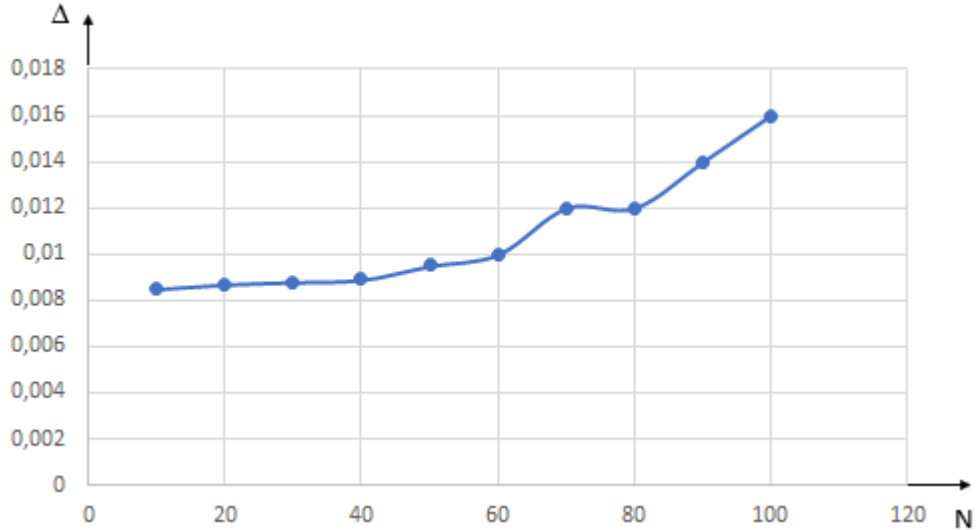
$\Delta'_1 + \Delta'_2 > Td$  - Ölçmə vasitəsi yararsızdır.

$Td$  – diametri  $\varnothing 66$  olan hissənin müsaidəsidir.

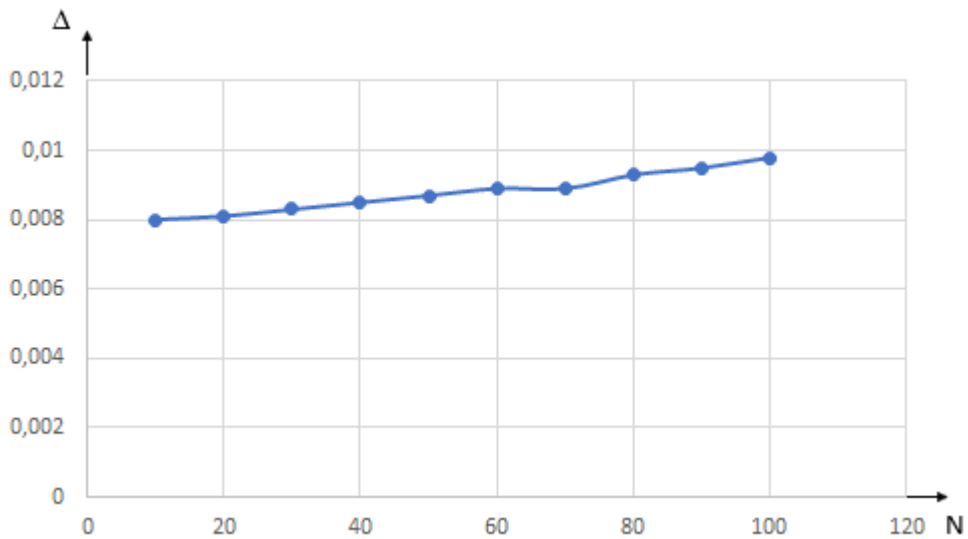
$\Delta'_1 + \Delta'_2$  – Hamar mikrometrik işçi səthinin yerdəyişməsi nəticəsində yaranan xətalarn cəmidir.

Hər bir ölçmə vasitəsi üçün detalın müsaidə sahəsində asılı olaraq verilir.

Ştangerpərgar və mikrometr vasitəsi ilə 10 ədəd muftanın  $\varnothing 66$ ,  $\varnothing 70$  səthlərinin yuxarıda qeyd edilmiş qayda ilə hər biri 20 dəfə olmaqla ölçülmüşdür. Bu zaman deformasiya nəticəsində alətdə yaranan xətlərin ölçülən muftanın sayından asılı olaraq aşağıdakı əyrilər şəklində alınmışdır. (1.6 və 1.7).



Şəkil 1.6. Ştangerpərgarda yaranan xətlərin ölçülən muftanın sayından asılılıq qrafiki



Şəkil 1.7. Hamar mikrometrdə yaranan xətlərin ölçülən muftanın sayından asılılıq qrafiki

**Nəticə:** Ölçmə prosesində bu alətlərin dəqiqliyi bilavasitə muftanın emal dəqiqliyinə təsir edir. Ölçülən detalların sayı artdıqca, ölçmə alətlərində yaranan deformasiyalar və yeyilmənin qiyməti tədricən artır. Bu amillərin nəticəsində ölçmə vasitələrində xətlər yaranır. Yaranmış xətləri minimuma endirmək üçün göstərilən alətlər dövrü olaraq yoxlamadan keçməlidir.

#### **ƏDƏBİYYAT SİYAHISI**

1. Abbasova G.N., Ağayev A.R. Ölçmə vasitələrinin yoxlanması fənnindən laboratoriya işlərinin yerinə yetrilməsinə dair metodiki göstəriş. Bakı, AzTU,2009.78s.
2. Qafarov A.M. Metrologiya, standartlaşdırma və sertifikatlaşdırma. Bakı: Çarşıoğlu. 2008. 528 s.
3. İsgəndərzadə E. B., İsmayılov N. K., Hacıyev F.H. Metrologiya, standartlaşdırma və sertifikatlaşdırma. Dərslik."Vektor" Nəşirlər Evi. Bakı/ Azərbaycan - 2015, 669s.
4. 2. Məmmədov N.R., Məmmədov M.S. Metrologiyanın əsasları. Dərslik.- Bakı: 2000, 340s.
5. Демкин Н.Б. Качество поверхности и контакт деталей машин. –М.: Машиностроение, 1981 г.
6. Дроздов Ю.Н., Павлов В.Г., Пучков В.Н. Трение и износ в экспериментальных условиях. М.; Машиностроение, 1986, 223 с.
7. Дроздов Ю.Н., Юдин Е.Г., Белов А.И. Прикладная трибология (Трение, износ, смазка в технологических системах). М.: Эко-Пресс, 2010, 604 с.
8. Клевлеев В.М., Кузнецов И.А., Попов Ю.П. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник. – М.: форум-ИНФА-М., 2004. 348 с.
9. Каплунов Р.С. Точность контрольных приспособлений. М., Машиностроение, 1968 г., 219 с.
10. Крагельский В.И. Трение и износ. Москва, 1969.
11. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов трение и износ. М.; Машиностроение, 1977, 526 с.

UOT: 528.8

## MƏSAFƏDƏN ZONDLAMA ÜSULU İLƏ YERALTI OBYEKTŁƏRİN AŞKARLANMASI

Azər ƏHMƏDOV, Yusif ƏHƏDİ, Şirin SADIQOVA

Bakı Mühəndislik Universiteti ,  
Azərbaycan Respublikası Fövqalada Hallar Nazirliyi,  
Bakı Mühəndislik Universiteti,  
azehmedov@beu.edu.az , yehedi@gmail.com, shisadiqova@beu.edu.az

### XÜLASƏ

Son illər Yer üzərində baş verən qlobal dəyişmələrin tədqiqində məsafədən zondlamanın nəticələri öz aktuallığı ilə böyük əhəmiyyət kəsb edir.

"Yerin məsafədən zondlanması" dedikdə Yerin müxtəlif tərkibli obyektlərinin əks etdirdiyi və ya şüalandırdığı sahələr haqqında, məlumatların alması və emalı nəzərdə tutulur.

Buna görə elektromaqnit diapazonun müxtəlif sahələrində -ultrabənövşəyi, görünən, infraqırmızı elektromaqnit sahəsinin intensivliyini qeyd edə bilən yüksək həssasiyyətə malik cihazlardan çox geniş istifadə olunur. Görünən spektral diapazon rənglərə görə bir neçə zonalara ayrılır. Çəkilişlər zamanı Yerın səthinin alınmış şəkillərinin və energetik qiymətlərinin emalı əsasında müxtəlif obyektlərin tanınması və xarakteristikalarını dəqiq və daha asan üsulla təyin etmək üçün eyni vaxtda diapazonların sayından asılı olaraq panxromatik, çoxspektral və hiperspektral görüntülərdən istifadə olunur.

Bu araşdırımızda qeyd olunan rəsmilərin xüsusiyyətlərindən istifadə edərək bəzi mövzulara toxunulacaqdır.

**AÇAR SÖZLƏR:** Məsafədən zondlama, NDVI, Spektral Anali

**ПОДЗЕМНЫЕ ОБЪЕКТЫ МЕТОДОМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ОТКРЫТИЕ  
РЕЗЮМЕ**

Результаты дистанционного зондирования Земли имеют большое значение в изучении глобальных изменений на Земле в последние годы.

«Дистанционное зондирование Земли» означает получение и обработку информации об площадях, отраженных или облучаемых объектами различного состава Земли.

Поэтому в различных полях электромагнитного диапазона широко применяются высокочувствительные приборы, способные регистрировать интенсивность ультрафиолетового, видимого, инфракрасного электромагнитного поля. Видимый спектральный диапазон делится на несколько зон по цвету. Панхроматические, мультиспектральные и гиперспектральные изображения используются одновременно, в зависимости от количества диапазонов, для точного и более простого определения характеристик различных объектов на основе обработки изображений земной поверхности и значений энергии.

В этом исследовании некоторые темы будут затронуты с использованием характеристик упомянутых должностных лиц.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** дистанционное зондирование, NDVI, спектральный анализ.

**UNDERGROUND OBJECTS BY REMOTE SENSING METHOD DISCOVERY**

### ABSTRACT

The results of remote sensing are of great importance in the study of global changes on Earth in recent years.

"Remote sensing of the Earth" means the acquisition and processing of information about the areas reflected or irradiated by objects of different composition of the Earth.

Therefore, high-sensitivity devices that can detect the intensity of the ultraviolet, visible, infrared electromagnetic field are widely used in various fields of the electromagnetic range. The visible spectral range is divided into several zones according to color. Panchromatic, multispectral and hyperspectral images are used simultaneously, depending on the number of ranges, to accurately and more easily determine the characteristics of different objects based on the processing of images of the Earth's surface and energy values.

In this study, some topics will be addressed using the characteristics of the officials mentioned.

**KEYWORDS:** Remote Sensing, NDVI, Spectral Analys

## Giriş

Məsafələrdən müşahidə və tədqiq etmə prinsipləri Yer üzərində olan təbii obyektlərə düşən Günəş şüalarının udma və əks etdirmə qabiliyyətinə əsaslanır. Məlumdur ki, hər bir təbii obyekt fiziki, bioloji, həndəsi parametrlərinə görə onun üzərinə düşən elektromaqnit şüalarının bir hissəsini udur, qalan hissəsini isə əks etdirir. Təbii obyektlərin az şüalanması isə onların temperaturu ilə əlaqədardır və elektromaqnit dalğalarının infraqırmızı diapazonunun 1,5 – 30,0 mkm dalğa uzunluqlarında müşahidə olunur. Müasir kosmik ölçü cihazları vasitəsilə yer üzərində olan obyektlərinin temperaturu 0,1 – 0,5 °C dəqiqliklə ölçülür.

Elektromaqnit spektrin müxtəlif sahələrində ölçmələrin aparılması ilə müxtəlif məsələlər həll edilir. Məsələn üçün görünən diapazonda təbii obyektlərin fiziki-kimyəvi parametrləri: bitkilərdə xlorofilin tərkibi, suyun duzluluğu və çirklənməsi və s. kimyəvi, bioloji parametrlər aşkar edilir. Yaxın və uzaq infraqırmızı diapazonda bitki obyektlərində yanma və çürümə prosesləri ilə əlaqədar olaraq müxtəlif "xəstəliklər" aşkar edilir. İfrat yüksək tezliklərin müsbət cəhəti ondan ibarətdir ki, Günəşin və iqlim şəraitinin ölçü sistemlərinə təsiri olmur.

Müşahidə prinsiplərinə, məqsədli təyinatına, təsisat aidliyinə, cihaz daşıyıcısının hərəkətini nəzərə almaqla, çəkilən şəkillərin və məlumatların emalına, məlumatların zamana və ya məkana görə açılmasına, skanerli və xətti olmaqlarına görə məsafədən zondlamanın məlumat ölçmə sistemləri müxtəlif siniflərə ayrılırlar. Məsafədən zondlama üçün nəzərdə tutulmuş kosmik cihazlar uçuş hündürlüklərinə görə aşağı, orta hündürlüklü və geostasionar tipli cihazlara ayrılırlar.

Bu yazımızda, Məsafədən Zondlamanın bir bölməsi olan – yeraltı strukturların aşkarlanması metodologiyalarını araşdıracağıq.

Müasir dövrdə peyk vasitəsilə məsafədən zondlama - yeraltı strukturların aşkarlanması üçün getdikcə daha vacib texnologiya hesab olunur. Müxtəlif tədqiqatçılar bu metodun geniş tətbiq dairəsinə malik olduğunu qəbul edir. Bununla belə, məsafədən zondlama alətlərindən istifadə etməklə müxtəlif zaman dilimlərində göndərilən və müxtəlif keyfiyyətlərə malik olan müxtəlif mənbələrdən alınmış məlumatların inteqrasiyasına böyük ehtiyac var. Belə ki, **SVC-HR1024 sahə spektrometri**ndən, **GPR** və s. ərazi alətlərindən istifadə edilməkdədir. **GPR**, maqnitometr və rezistivlik kimi müxtəlif geofiziki emal texnikaları və avadanlıqları adətən yeraltı qalıqların aşkarlanmasında müvəffəqiyyət dərəcəsini artırmaq üçün istifadə olunur.



Şəkil 1. SVC-HR1024 sahə spektrometri Şəkil 2. GPR

Bu avadanlıqların mənfə cəhəti ondan ibarətdir ki, istifadə zamanı mütləq əraziyə çıxılmalı və ölçü aparılmalıdır. Lakin, elə zamanlar olur ki, tədqiqat aparılacaq əraziyə getmək mümkün olmur. Belə vəziyyətlərdə Landsat peyki daxil olmaqla orta və yüksək rezolyusiyaya malik peyklərdən istifadə edilərək diapazon daxili əksətmələr müəyyən edilməkdədir. Qeyd etmək lazımdır ki, bütün fenoloji mərhələlərdə bitki örtüyünün spektral dəyəri (*spectral signature*) - dalğa uzunluqlarına görə materialın əks etdirmə və ya udulma miqdarının parametri) dəyişməsi nəticəsində yeraltı strukturların mövcud olduğu və ya olmadığı vəziyyətlərdə təbii torpaqla örtülmüş ərazilərin asanlıqla aşkarlanması mümkündür. Nəticə etibarilə bu məqsəd üçün *normallaşdırılmış fərq bitki örtüyü indeksi* (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index), *sadə nisbət* (SR – Simple Ratio) və *gücləndirilmiş bitki örtüyü indeksi* (EVI – Enhanced Vegetation Index) kimi *vegetasiya indekslərindən* (VI – vegetation index) istifadə edilir. Qeyd edək ki, SR bitki örtüyü indeksi yeraltı tikililərin mövcud olduğu əraziləri müəyyən etmək üçün olduqca faydalıdır.

### NDVI nədir?

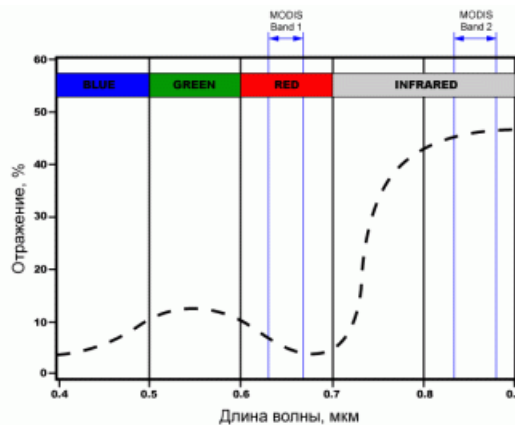
*NDVI – Müəyyən nöqtədə qırmızı və infraqırmızı diapozonda işığın əksətdirmə intensivliyi adlanır.*

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

*NIR – Spektrin yaxın infraqırmızı sahədə əksətdirməsi*

*RED – Spektrin Qırmızı sahədə əksətdirməsi*

NDVI-nin hesablanması, damarlı bitkilərinin spektral əksətmə əyrisinin ən sabit (digər amillərdən asılı olmayan) iki diapozonuna əsaslanır. Spektrin qırmızı bölgəsində (0,6-0,7 mkm) günəş radiyasının damarlı bitkilərinin xlorofilləri tərəfindən maksimum udulmasına, infraqırmızı bölgədə isə (0,7-1,0 mkm) hüceyrə strukturlarının maksimum əks olunduğu bölgəsinə əsaslanır. Yəni, yüksək fotosintetik aktivlik (bir qayda olaraq, sıx bitki örtüyü ilə bağlıdır) spektrin qırmızı bölgəsində daha az, infraqırmızıda isə daha çox əks olunmasına səbəb olur.



Şəkil 3. NDVI göstəriciləri

### SR (sadə nisbət) nədir?

$$SR = \frac{pNIR}{pRED}$$

pNİR və pRED müvafiq olaraq yaxın infraqırmızı (NİR) və qırmızı (RED) dalğa uzunluqları üçün qısmən atmosfer dəyərlərinə edilmiş düzəlişlərin sətlin əksətmə dəyərlərini təmsil edir.

Sadə nisbət (SR) həm regional, həm də qlobal miqyasda kosmosdan bitki örtüyünün monitorinqi üçün uzaqdan zondlama mütəxəssisləri tərəfindən geniş istifadə edilməkdədir. Bu indekslər yarpaqların sıxlığı ilə yaxşı əlaqələndirmək olur, eyni zamanda üç əsas xarici faktordan aslıdır: günəşin görünüşünə və geometriyasına, torpaq fonu və atmosfer təsirlərinə. Hər üç amilin cavabları mürəkkəbdir, mürəkkəbdir və səthin xüsusiyyətlərindən aslıdır .

Uzun müddətdir ki, basdırılmış strukturların aşkarlanması ilə bağlı metodoloji tədqiqatlar aparılır. Belə ki, bu tədqiqatlar nəticəsində basdırılmış strukturların müəyyən edilməsi üçün bir sıra müxtəlif üsullar inkişaf etdirilmişdir. Bu üsullardan biri GPR aləti (Ground Penetrating Radar- yerə nüfuz etmək üçün istifadə olunan radar) kimi müxtəlif geofiziki alətlərin istifadəsindən ibarətdir. GPR aləti, yeraltı dielektrik sabitliyində hətta kiçik dəyişiklikləri belə aşkar etmək üçün həssas bir texnika hesab olunur. Nəticə etibarlı ilə, GPR sistemləri tərəfindən yaradılan təsvirlər böyük miqdarda məlumatı özündə saxlayır, onların çoxu yeraltı obyektlərin tədqiqatı üçün lazımlı və ya lazımsız ola bilər. Buna görə də məlumatlar əldə edildikdən sonra filtrlənməsi çox vacibdir. Beləliklə, yeraltı strukturun yerini müəyyən etmək məqsədilə GPR-dən istifadə zamanı əsas problem maraq doğuran yeraltı obyekt tərəfindən əks olunan qayıdış siqnallarını digər yeraltı obyektlərin yaratdığı bütün siqnallardan dəqiq fərqləndirmək qabiliyyətinin olmamasından ibarətdir.

Bundan başqa, istifadə olunan- məlumat toplama üsullarından biri kimi insan kəşfiyyatından (HUMINT – Human Intelligence) istifadə edir. HUMINT təlim keçmiş HUMINT kollektoru (peşəkar təcrübə) tərəfindən elementlərin - quruluşunu, gücünü, taktikalarını, avadanlıqlarını, kadrlarını və imkanlarını müəyyən edilməsi üçün insanlardan eləcə də əlaqəli sənədlərdən , media mənbələrindən məlumatların toplanması prosesinə deyilir. Bundan əlavə, görüntü kəşfiyyatı (IMINT – Image Intelligence) kimi texnologiya da peyk və hava fotosəkilləri vasitəsilə məlumat toplamaq üçün istifadə edilməkdədir. Məsafədən zondlama üsulları vasitəsi ilə məlumatların əldə olunması sürətli olduğu qədər də asanlıqla idarə olunan metoddur və özündə qiymətli məlumatların uzaqdan əldə edilə biləcəyi, geniş çeşidliliyi texnikalarını özündə birləşdirir.

Basdırılmış yeraltı tikililərin tam torpaqla örtüldüyü zaman aşkar edilməsi çətin bir prosesdir. Lakin, bu cür yeraltı tikililərin peyk şəkilləri və aerofotoqrafiya vasitəsilə aşkar etmək mümkündür.

Tikililər və arxeoloji qalıqlar kimi yeraltı strukturlar müxtəlif yollarla torpağın rütubəti, drenaj dərəcələri, tərkibi və bitki örtüyünün canlılığı kimi onların əhatə etdiyi landsaftlara təsir göstərə bilər. Bitki örtüyünün canlılığı torpaq üzərində məhsul işarəsi (crop mark) kimi müşahidə oluna bilər və bu işarə yeraltı tikililərin mövcudluğunu göstərmək üçün istifadə olunma imkanına sahibdir. Məhsul işarələri (Crop Marks) həm beton təməllərdə mənfi işarələr, həm də damperlərdə , qazılmış tunellərdə və torpaqlarında müsbət işarələr kimi görünə bilər.

Son onillikdə kosmik texnologiyada texnoloji nailiyyətlər, eləcə də daha yüksək məkan ayırdetmə və hiperspektral məlumatlar kimi sensor xüsusiyyətlərinin təkmilləşdirilməsi gələcək işlər üçün yeni imkanlar təklif edir.

Bundan əlavə, yeraltı tikililərin aşkarlanması üçün spektral zondlama yeraltı qalıqların



aşkar edilməsində çox dəqiq hesab olunur. GPR, maqnitometr və rezistivlik kimi müxtəlif geofiziki emal texnikaları və avadanlıqları adətən yeraltı qalıqların aşkarlanmasında müvəffəqiyyət dərəcəsini artırmaq üçün istifadə olunur. Üstəlik, ətraf mühitin məsafədən zondlanması məqsədləri üçün dronun istifadəsi də son illərdə artmışdır.

### **Metodologiya**

Bu tədqiqat məsafədən zondlama üsullarından istifadə edərək yeraltı hədəflərin aşkarlanması metodologiyasını təklif edir. Bu metodologiyanın əsasını müdafiə üçün əhəmiyyət kəsb edən basdırılmış yeraltı tikililər üçün proxy kimi bitki örtüyünün fenologiyasının öyrənilməsinin birləşməsidir. Məlumatların əldə edilməsi əsas strukturun üzərindəki sahə ilə istinad sahəsi arasındakı hər hansı dəyişikliyi müəyyən etmək üçün istifadə edilməkdədir.

Bu araşdırma üçün müəyyən fərziyyələr qəbul edilmişdir. Bu tədqiqatda müxtəlif fenoloji fazaların tamamlanma tarixlərini müəyyən etmək üçün müəyyən illərə aid iki sınaq sahəsində fenoloji sahə müşahidələri aparılmışdır. Faktiki müdafiə məqsədləri üçün maraq sahəsinin xüsusiyyətləri çox vaxt məlum olmur. Bundan əlavə, ərazidə arpa becərilməsi tədqiqat məqsədləri üçün və alt strukturların bitki örtüyünə təsirini öyrənmək üçün eksperimental işlərin bir hissəsidir. Real ssenarilərə əsasən, müxtəlif növ bitki örtüyü (əgər varsa) mövcud olacaqdır.

### **Geomatika**

Yerin məsafədən zondlanması məlumatlarından faydalı informasiya əldə etmək üçün, bir qayda olaraq, onların emal edilməsi vacib bir məsələdir. Müasir dövrdə proqram vasitələri bütün emalları avtomatlaşdırılmış rejimdə həyata keçirməyə imkan verir. Şəkillərin fotoqrammetrik və tematik işlənməsini həyata keçirə biləcəyiniz proqram məhsullarının siyahısı olduqca genişdir. Proqramlar bir-birindən qiymət, funksionallıq və bir sıra digər parametrlər baxımından fərqlənir, buna görə də müəyyən bir proqram təminatını seçərkən hansı tapşırığın həll edilməli olduğu barədə qərar vermək mütləqdir. Məsafədən zondlama məlumatlarının emalı üçün ən populyar və tələb olunan proqram məhsullarına *INPHO, ENVI və bəzi digər proqram paketlərini* misal göstərmək olar. Dövrün diqqətəlayiq tendensiyalarından biri emal olunan və təhlil edilən məlumatların həcmnin artmasıdır. Big Data (böyük məlumat) adlanan bir anlayış haqqında danışmaq lazımdır. Bununla əlaqədar olaraq, alətlərin və texnologiyanın inkişafı sifarişçiyə - müəyyən məlumatlara, alətlərə və xidmətlərə çıxışı təmin etməklə, saxlama və emal mərkəzlərində müxtəlif mənbələrdən məlumatların toplanmasına yönəldilmişdir. Big Data ilə işləmək üçün bulud (cloud) hesablamaları və superkompüterlərdən istifadə olunur.

Big Data üç aspektlə əlaqəli böyük həcmli məlumatlarla işləməyə imkan verən texnologiyalar toplusudur. Böyük miqdarda məlumat, onun müxtəlifliyi və məlumatların çox tez emal edilməsi ehtiyacı müasir dövrün tələbidir. Big Data yalnız böyük miqdarda məlumatın təhlilindən daha çoxunu əhatə edir. Məsələn, məsafədən zondlama məlumatlarını nəzərdən keçirərkən, problem təkcə onların böyük həcmələrində deyil, həm də məlumatların zaman keçdikcə daha tez-tez yenilənməsindədir. Nəticədə informasiyanın təhlilinin ənənəvi üsullarının tətbiq olunduğu bir vəziyyət yaranır. Daim yenilənən böyük həcmli məlumatlarla ayaqlaşa bilmir və nəticədə Big Data texnologiyalarına yol açır.

**ƏDƏBİYYAT**

1. Г.Дженкинс, Д. Ваттс «Спектральный анализ и его приложения» Москва 1972
2. Altıbaş, Ü., 1999. Uzaktan Algılamanın Temel İlkeleri ile Kullanılan Uydular ve Algılayıcılar. Map Camp' 99 Ders Notları. Menemen İzmir.
3. 1994. European Community. CORINE. Land Cover Types Technical Guide L. 2920. Luxemburg.
4. P. A. 1985. Principles of Remote Sensing. Longman Group Limited, United Kingdom.

УДК 519.634

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЕСНЕНИЯ НЕФТИ ГАЗОМ В СЛОИСТЫХ НЕОДНОРОДНЫХ ПЛАСТАХ

**Н.Р. АБДУЛЛАЕВА**

*Аз 1012 Баку, пр-т Зардаби 88, Ин-т "Нефтегазпроект" ГНКАР, Азербайджан,*

*nergiz\_salehova@mail.ru*

### РЕЗЮМЕ

В данной работе рассмотрен процесс извлечения нефти из пласта путем его вытеснения в слоистых неоднородных пластах. Оба слоя коллектора неоднородны, и коэффициент проницаемости в каждом слое изменяется линейно в зависимости от радиуса. Проницаемость принималась уменьшающейся в одном пласте и увеличивающейся в другом пласте в направлении от нагнетательной к добывающей скважине, для каждого пласта записывались уравнение фильтрация нефти и уравнение движения газа в пласте и решалась задача в граничных условиях. Аналитические выражения массового расхода газовой вытесняемой нефти и периода сжатия были получены для каждого неоднородного пласта путем построения модели процесса вытеснения нефти газом в неоднородных пластах.

**Ключевые слова:** коэффициент динамической вязкости, массовый расход, проводимость, условие непрерывности

### MODELING OF OIL AND GAS COMPRESSION PROCESS IN DISPLACEMENT HETEROGEN LAYERS

#### ABSTRACT

In this case, the process of extracting oil from the formation by compressing it was considered. Both layers of the reservoir are non-homogeneous, and the permeability coefficient in each layer varies linearly depending on the radius. Permeability is taken as decreasing in one layer and increasing in the other layer in the direction from the injection well to the production well, and the oil percolation equation and the gas movement equation in the layer were written for each layer, and the problem was solved within the boundary conditions. Analytical expressions of mass consumption of gas-displaced oil and compression period were obtained for each non-homogeneous layer by building a model of the process of compression of oil by gas in non-homogeneous layers.

**Key words :** coefficient of dynamic viscosity, mass flow, conductivity, continuity condition

### TƏBƏQƏLİ QEYRİ-BİRCİNS LAYLARDA NEFTİN QAZ İLƏ SİXİŞDİRİLMƏ PROSESİNİN

#### MODELLƏŞDİRİLMƏSİ

#### XÜLASƏ

İşdə layın iki təbəqəli olan halında neftin laydan sıxışdırılaraq çıxarılması prosesinə baxılmışdır. Layın hər iki təbəqəsi qeyri bircinsdir və hər bir təbəqədə keçiricilik əmsalı radiusdan asılı olaraq xətti dəyişir. Keçiricilik vurucu quyudan hasilat quyusu istiqamətində bir təbəqədə azalan, digər təbəqədə isə artan kimi qəbul edilərək hər təbəqə üçün layda neftin süzülmə tənliyi və qazın hərəkət tənliyi yazılmış, sərhəd şərtləri daxilində məsələ həll edilmişdir. Qeyri-bircins laylarda neftin qaz ilə sıxışdırılma prosesinin modeli qurularaq hər bir qeyri-bircins təbəqə üçün qazın sıxışdırdığı neftin kütlə sərfinin və sıxışdırılma müddətinin analitik ifadələri alınmışdır.

**Açar sözlər:** dinamik özlülük əmsalı, qazın kütlə sərfi, keçiricilik, kəsilməzlik şərti

**Введение.** Для увеличения добычи на многих месторождениях осуществляется процесс вытеснения нефти водой или газом. Эффективность вытеснения нефти также зависит от количества слоев неоднородных слоев. Изучение процесса вытеснения нефти с учетом неоднородности пласта и динамической взаимосвязи системы пласт-скважина имеет большое практическое и научное значение.

Существует множество факторов, влияющих на процесс вытеснения нефти газом. Среди них пористость пласта, степень насыщения пласта нефтью, проницаемость пласта,

вязкости нефти и воды в пласте, активность нефти и др [1-6]. Если остаточное содержание нефти в пласте до 35%, то закачка газа или воздуха в эти типы пластов не считается эффективной и не рекомендуется. Если в пласте кроме нефти содержится 35% воды, в этот пласт можно закачивать газ [7].

Для усовершенствования процесса извлечения нефти из пласта следует создать и изучить математическую модель процесса с учетом основных факторов, влияющих на этот процесс. Рассматриваемая работа посвящена решению и анализу уравнений, полученных при построении модели процесса вытеснения нефти газом в неоднородном пласте.

Рассмотрим процесс добычи нефти с помощью вытеснения, когда пласт является слоистым. Предположим, что слой состоит из двух слоев каждый слой, в свою очередь, неоднороден (Рис.1, Рис.2). Предположим, что в первом приближении неоднородность слоя линейна (Рис.2), гидравлическая связь слоев слабая и нами не учитывается [8].

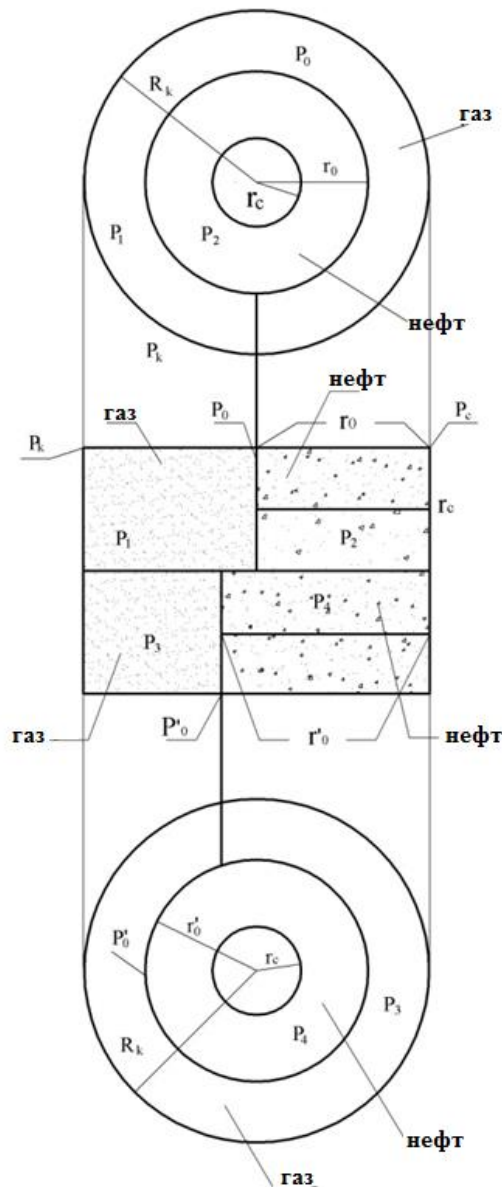


Рис.1 Схема процесса вытеснения нефти газом в слоисто-неоднородном пласте

Примем, что линейное изменение коэффициента проницаемости в зависимости от радиуса в направлении от нагнетательной к добывающей скважине в одном слое пласта уменьшается, а в другом увеличивается (Рис.2).

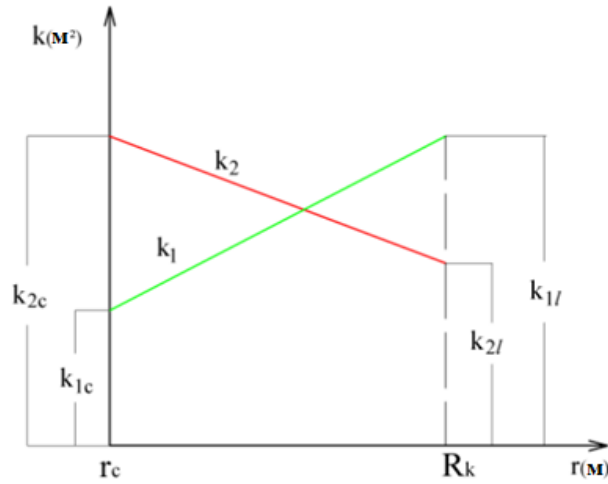


Рис.2 Линейное изменение проницаемости слоисто-неоднородного слоя по радиусу.

Согласно Рис.2 запишем для первого и второго слоев:

$$k_1 = k_{1c} + \frac{k_{1l} - k_{1c}}{R_k - r_c} (r - r_c) \quad (1)$$

$$k_2 = k_{2c} - \frac{k_{2c} - k_{2l}}{(R_k - r_c)} (r - r_c) \quad (2)$$

Здесь  $k_1$  и  $k_2$  – проницаемости отдельных слоев пласта,  $k_{1l}$ ,  $k_{2l}$ ,  $k_{1c}$ ,  $k_{2c}$  – проницаемостиконтура и призабойной зоны,  $R_k$  – радиус контура,

$r$  – координата.

Учитывая, что  $r_c \ll R_k$ , мы можем записать выражения (1) и (2) следующим образом:

$$k_1 = k_{1c} + \frac{k_{1l} - k_{1c}}{R_k} r \quad (3)$$

$$k_2 = k_{2c} - \frac{k_{2c} - k_{2l}}{R_k} r \quad (4)$$

Поскольку процесс вытеснения происходит медленно, в первом приближении примем этот процесс стационарным.

Тогда уравнение движения газа в пласте для первого слоя будет [9]:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \bar{\chi}_1 r \frac{\partial P^2}{\partial r} \right) = 0 \quad (5)$$

где  $P_1$  – давление в любой точке части пласта, содержащей газ,  $\bar{\chi}_1 = \frac{k_1 P_k}{\mu_q m}$ ,  $\mu_q$  – коэффициент динамической вязкости газа,  $m$  – пористость,  $P_k$  – контурное давление.

Граничные условия:

$$P_1^2 \Big|_{r=R_k} = P_k^2 \quad (6)$$

$$P_1^2 \Big|_{r=r_0} = P_0^2 \quad (7)$$

Уравнение фильтрации, устанавливаемое в первом слое нефти, записывается следующим образом:

$$\frac{d}{dr} \left( \frac{rk_1}{\mu_n} \frac{dP_2}{dr} \right) = 0 \quad (8)$$

Уравнение (8) решается при следующих граничных условиях:

$$P_2 \Big|_{r=r_0} = P_0 \quad (9)$$

$$P_2 \Big|_{r=r_c} = P_c \quad (10)$$

Уравнение движения газа для второго слоя:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \bar{\chi}_2 r \frac{\partial P_3^2}{\partial r} \right) = 0 \quad (11)$$

$$\bar{\chi}_2 = \frac{k_2 P_k}{\mu_q m} \quad (12)$$

Граничные условия:

$$P_3^2 \Big|_{r=R_k} = P_k^2 \quad (13)$$

$$P_3^2 \Big|_{r=r'_0} = P_0'^2 \quad (14)$$

В этом слое запишем уравнение фильтрации нефти следующим образом:

$$\frac{d}{dr} \left( \frac{rk_2}{\mu_n} \frac{dP_4}{dr} \right) = 0 \quad (15)$$

Граничные условия:

$$P_4 \Big|_{r=r'_0} = P_0' \quad (16)$$

$$P_4 \Big|_{r=r_c} = P_c \quad (17)$$

Где  $P_1, P_3$ - давления в любой точке части пласта, содержащей газ,  $P_2, P_4$ - давления в любой точке части пласта, содержащей нефть,  $\mu_g$  и  $\mu_n$  –коэффициенты динамической вязкости газа и нефти,  $P_k$ - контурное давление,  $P'_0$  – давление на границе  $r'_0$ .

В первом слое пласта давления  $P_1^2$  и  $P_2$  определяются на основе уравнений фильтрации (5) и (8) и граничных условий (6), (7), (9) и (10):

$$P_1^2 = A \left( \ln \left( \frac{r}{k_{1c} + \frac{k_{1l} - k_{1c}}{R_k} r} \right) - \ln \left( \frac{R_k}{k_{1l}} \right) \right) + P_k^2 \quad (18)$$

$$P_2 = B \left( \ln \left( \frac{r}{k_{1c} + \frac{k_{1l} - k_{1c}}{R_k} r} \right) - \ln \left( \frac{r_0}{k_{1c} + \frac{k_{1l} - k_{1c}}{R_k} r_0} \right) \right) + P_0 \quad (19)$$

где

$$A = \frac{P_k^2 - P_0^2}{\ln \left( \frac{R_k \left( k_{1c} + \frac{k_{1l} - k_{1c}}{R_k} r_0 \right)}{k_{1l} r_0} \right)}$$

$$B = \frac{P_0 - P_c}{\ln \left( \frac{r_0 \left( k_{1c} + \frac{k_{1l} - k_{1c}}{R_k} r_c \right)}{k_{1c} + \frac{k_{1l} - k_{1c}}{R_k} r_0} \frac{r_c}{r_c} \right)}$$

Решив задачу, получаем следующее выражение для дебита нефти скважины при вытеснении нефти газом для первого слоя неоднородного пласта:

$$Q_n = \frac{2\pi r_c h k_n \rho_n}{\mu_n} \left[ \frac{k_c}{r_c \left( k_{1c} + \frac{k_{1l} - k_{1c}}{R_k} r_c \right)} \right] \times$$

$$\left( \frac{\frac{1}{2} B_1 \pm \sqrt{B_1^2 + 4A_1^2 P_k^2 + 4A_1 B_1 P_c}}{A_1} - \frac{P_c}{\ln \left( \frac{r_0 \left( k_{1c} + \frac{k_{1l} - k_{1c}}{R_k} r_c \right)}{k_{1c} + \frac{k_{1l} - k_{1c}}{R_k} r_0} \frac{r_c}{r_c} \right)} \right) \quad (20)$$

Время дохождения водонефтяного контакта до скважины определяется следующим выражением:

$$T = \frac{m\mu_n}{k_n} \int_{r_c}^{R_k} \frac{1}{\left. \frac{\partial P_2}{\partial r} \right|_{r=r_0}} dr_0 \quad (21)$$

где

$$A_1 = \frac{\rho_{atm} k_q}{P_{atm} \mu_q} \frac{k_c}{\ln \left( \frac{R_k}{k_{1l}} \frac{k_{1c} + \frac{k_{1l} - k_{1c}}{R_k} r_0}{r_0} \right)} \frac{1}{r_0 \left( k_{1c} + \frac{k_{1l} - k_{1c}}{R_k} r_0 \right)}$$

$$B_1 = \frac{2\rho_n k_n}{\mu_n} \frac{k_c}{\ln \left( \frac{r_0}{k_{1c} + \frac{k_{1l} - k_{1c}}{R_k} r_0} \frac{k_{1c} + \frac{k_{1l} - k_{1c}}{R_k} r_c}{r_c} \right)} \frac{1}{r_0 \left( k_{1c} + \frac{k_{1l} - k_{1c}}{R_k} r_0 \right)} \quad (22)$$

Аналогично решим задачу для второго слоя. Записав выражения (12) и (4) в уравнении (11) и проинтегрировав с учетом граничных условий (13) и (14), получим:

$$P_3^2 = \frac{(P_k^2 - P_0'^2)}{\ln \left( \frac{R_k}{k_{2l}} \frac{k_{2c} - \frac{k_{2c} - k_{2l}}{R_k} r_0'}{r_0'} \right)} \left( \ln \left( \frac{r}{k_{2c} - \frac{k_{2c} - k_{2l}}{R_k} r} \frac{k_{2l}}{R_k} \right) \right) + P_k^2 \quad (23)$$

здесь  $P_0'$  - значение пластового давления на границе газ-нефть.

Записав выражение (4) в уравнении фильтрации нефти(15) и проинтегрировав его с учетом граничных условий (16) и (17), получим:

$$P_4 = \ln \left( \frac{r}{k_{2c} - k_{2l} r - k_{2c}} \right) \left( \frac{(P_0' - P_c)}{\ln \left( \frac{r_0'}{\frac{k_{2c} - k_{2l}}{R_k} r_0' - k_{2c}} \frac{k_{2c} - k_{2l} r_c - k_{2c}}{r_c} \right)} \right) +$$



(24)

$$+ P_c - \ln \left( \frac{r_c}{\frac{k_{2c} - k_{2l}}{R_k} r_c - k_{2c}} \right) \left( \frac{(P'_0 - P_c)}{\ln \left( \frac{r'_0}{\frac{k_{2c} - k_{2l}}{R_k} r'_0 - k_{2c}} \frac{k_{2c} - k_{2l}}{R_k} r_c - k_{2c}}{r_c} \right)} \right)$$

Выражения (23) и (24) запишем соответственно следующим образом:

$$P_3^2 = A_2 \left( \ln \left( \frac{r}{k_{2c} - \frac{k_{2c} - k_{2l}}{R_k} r} \frac{k_{2l}}{R_k} \right) \right) + P_k^2 \quad (25)$$

$$P_4 = B_2 \left( \ln \left( \frac{r}{\frac{k_{2c} - k_{2l}}{R_k} r - k_{2c}} \frac{k_{2c} - k_{2l}}{R_k} r_c - k_{2c}}{r_c} \right) \right) + P_c \quad (26)$$

здесь

$$A_2 = \frac{(P_k^2 - P_0'^2)}{\ln \left( \frac{R_k}{k_{2l}} \frac{k_{2c} - \frac{k_{2c} - k_{2l}}{R_k} r'_0}{r'_0} \right)}$$

$$B_2 = \frac{(P'_0 - P_c)}{\ln \left( \frac{r'_0}{\frac{k_{2c} - k_{2l}}{R_k} r'_0 - k_{2c}} \frac{k_{2c} - k_{2l}}{R_k} r_c - k_{2c}}{r_c} \right)}$$

Массовый расход закаченного газа на контактной поверхности [9]:

$$Q_q = \frac{\pi k_q r h \rho_{atm}}{\mu_q P_{atm}} \frac{\partial P_3^2}{\partial r} \Big|_{r=r'_0} \quad (27)$$

Здесь  $h$  - эффективная толщина,  $k_q$  - проницаемость газа в пласте,  $\rho_{atm}$  - атмосферная плотность,  $P_{atm}$  - атмосферное давление.

Массовый расход вытесненной нефти:

$$Q_n = \frac{2\pi k_n r h \rho_n}{\mu_n} \frac{\partial P_4}{\partial r} \Big|_{r=r'_0} \quad (28)$$

$k_n$  -проницаемость нефти,  $\rho_n$  –плотность нефти

Условие неразрывности:

$$Q_q \Big|_{r=r'_0} = Q_n \Big|_{r=r'_0} \quad (29)$$

Если записать выражения (25) и (26) в формулах (27) и (28) , учитывая результат в уравнении (29), получим

$$P_{01/2} = \frac{1}{2} \frac{B_3 \pm \sqrt{B_3^2 + 4A_3^2 P_k^2 - 4A_3 B_3 P_c}}{A_3} \quad (30)$$

здесь

$$A_3 = -\frac{\rho_{atm} k_q}{P_{atm} \mu_q} \frac{k_{2c}}{\ln \left( \frac{R_k}{k_{2l}} \frac{k_{2c} + \frac{k_{2l} - k_{2c}}{R_k} r'_0}{r'_0} \right)} \frac{1}{r'_0 \left( k_{2c} + \frac{k_{2l} - k_{2c}}{R_k} r'_0 \right)}$$

$$B_3 = \frac{2\rho_n k_n}{\mu_n} \frac{k_{2c}}{\ln \left( \frac{r'_0}{k_{2c} + \frac{k_{2l} - k_{2c}}{R_k} r'_0} \frac{k_{2c} + \frac{k_{2l} - k_{2c}}{R_k} r_c}{r_c} \right)} \frac{1}{r'_0 \left( k_{2c} + \frac{k_{2l} - k_{2c}}{R_k} r'_0 \right)}$$

Для определения массового расхода нефти при вытеснении газом в неоднородном пласте с учетом выражений (26) и (30) в формуле (28) получаем следующее аналитическое выражение для массового расхода нефти:

$$Q_n = \frac{2\pi_c h k_n \rho_n}{\mu_n} \left[ \frac{k_{2c}}{r_c \left( k_{2c} + \frac{k_{2l} - k_{2c}}{R_k} r_c \right)} \right] \times \left( \frac{\frac{1}{2} \frac{B_3 \pm \sqrt{B_3^2 + 4A_3^2 P_k^2 - 4A_3 B_3 P_c}}{A_3} - P_c}{\ln \left( \frac{r'_0}{\frac{k_{2c} - k_{2l}}{R_k} r'_0 - k_{2c}} \frac{k_{2c} - k_{2l}}{R_k} r_c - k_{2c}} \right)} \right) \quad (31)$$

Время фильтрации нефти в процессе вытеснения газом будет:

$$T = \frac{m\mu_n}{k_n} \int_{r_c}^{R_k} \frac{1}{\left. \frac{\partial P_4}{\partial r} \right|_{r=r'_0}} dr'_0 \quad (32)$$

Итак, строится модель процесса вытеснения нефти газом в слоисто-неоднородных пластах и получаются аналитические выражения массового расхода нефти (20) и (31) и времени вытеснения (21), (34) для каждого неоднородного слоя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Косяков В.П., Родионов С.П. Получение точных решений задачи Баклея-Левретта в зонально-неоднородном пласте // Вестник Тюменск. ГУ, 2010, № 6, с. 36-42.
2. Косяков В.П., Родионов С.П., Солянов П.Н., Пичугин О.Н. Исследование эффективности взаимного расположения нагнетательных и добывающих скважин в зонально-неоднородном нефтяном пласте // Нефтяное хозяйство, 2012, № 1, с. 2-4.
3. A.M.Qasımlı, Ş.F.Musayeva, S.C.Rzayeva, M.Q.Abdullayev. Qeyri-bircins təbəqəli laylardan neftsıxışdırma effektivinin artırılması/ "Neftqazemitədqiqatlayihə" İnstitutunun Əsərləri, 2013, №2, s. 53-55.
4. Котенев А.Ю., Кондрашев О.Ф.,Шарафутдинов Р.Ф. и др. Моделирование процесса вытеснения нефти в неоднородных коллекторах//Нефтегазовое дело, УДК622.276.6,2010.
5. Морозов П.Е.Моделирование совместной и одновременно-раздельной разработки слоисто-неоднородных пластов//Материалы Международной Начуно-практической Конференции Моделирование Геологического Строения и Процессов Разработки–Основа Успешного Освоения Нефтегазовых Месторождений, 2018, с. 273-276.
6. T.B.N.Nguyen, T.Q.C.Dang, Z.Chen and et al. Effects of Lithofacies and Reservoir Heterogeneity on Improved Oil Recovery Processes, SPE-174473-MS, 2015.
7. Мирзаджанзаде А.Х., Кузнецов О.Л., Басниев К.С., Алиев З.С. Основы технологии добычи газа.,М.: Недра 2003, 880с.
8. Лейбензон Л.С. Собрание трудов. Том II, Подземная гидрогазодинамика. Москва, 1953, 544 с.
9. Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидродинамика- М.: Недра, 1993, 416 с.



## INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

1. "The Baku Engineering University Mechanical and Industrial engineering" accepts original unpublished articles and reviews in the research field of the author.
2. Articles are accepted in English.
3. File format should be compatible with **Microsoft Word** and must be sent to the electronic mail ([journal@beu.edu.az](mailto:journal@beu.edu.az)) of the Journal. The submitted article should follow the following format:
  - Article title, author's name and surname
  - The name of workplace
  - Mail address
  - Abstract and key words
4. The title of the article should be in each of the three languages of the abstract and should be centred on the page and in bold capitals before each summary.
5. **The abstract** should be written in **9 point** type size, between **100** and **150** words. The abstract should be written in the language of the text and in two more languages given above. The abstracts of the article written in each of the three languages should correspond to one another. The keywords should be written in two more languages besides the language of the article and should be at least three words.
6. **UDC** and **PACS** index should be used in the article.
7. The article must consist of the followings:
  - Introduction
  - Research method and research
  - Discussion of research method and its results
  - In case the reference is in Russian it must be given in the Latin alphabet with the original language shown in brackets.
8. **Figures, pictures, graphics and tables** must be of publishing quality and inside the text. Figures, pictures and graphics should be captioned underneath, tables should be captioned above.
9. **References** should be given in square brackets in the text and listed according to the order inside the text at the end of the article. In order to cite the same reference twice or more, the appropriate pages should be given while keeping the numerical order. For example: [7, p.15].

Information about each of the given references should be full, clear and accurate. The bibliographic description of the reference should be cited according to its type (monograph, textbook, scientific research paper and etc.) While citing to scientific research articles, materials of symposiums, conferences and other popular scientific events, the name of the article, lecture or paper should be given.

### Samples:

- a) **Article:** Demukhamedova S.D., Aliyeva İ.N., Godjayev N.M.. *Spatial and electronic structure of monomerrik and dimeric conapeetes of carnosine üith zinc*, Journal of structural Chemistry, Vol.51, No.5, p.824-832, 2010
  - b) **Book:** Christie ohn Geankoplis. *Transport Processes and Separation Process Principles*. Fourth Edition, Prentice Hall, p.386-398, 2002
  - c) **Conference paper:** Sadychov F.S., Aydın C., Ahmedov A.İ.. Appligation of Information – Commu-nication Technologies in Science and education. II International Conference."Higher Twist Effects In Photon- Proton Collisions", Baki, 01-03 Noyabr, 2007, ss 384-391  
References should be in 9-point type size.
10. The margins sizes of the page: - Top 2.8 cm. bottom 2.8 cm. left 2.5 cm, right 2.5 cm. The article main text should be written in Palatino Linotype 11 point type size single-spaced. Paragraph spacing should be 6 point.
  11. The maximum number of pages for an article should not exceed 15 pages
  12. The decision to publish a given article is made through the following procedures:
    - The article is sent to at least to experts.
    - The article is sent back to the author to make amendments upon the recommendations of referees.
    - After author makes amendments upon the recommendations of referees the article can be sent for the publication by the Editorial Board of the journal.

## YAZI VƏ NƏŞR QAYDALARI

1. "Journal of Baku Engineering University- Mexanika və sənaye mühəndisliyi" - əvvəllər nəşr olunmamış orijinal əsərləri və müəllifin tədqiqat sahəsi üzrə yazılmış icmal məqalələri qəbul edilir.
  2. Məqalələr İngilis dilində qəbul edilir.
  3. Yazılar **Microsoft Word** yazı proqramında, (**journal@beu.edu.az**) ünvanına göndərməlidir. Göndərilən məqalələrdə aşağıdakılara nəzərə alınmalıdır:
    - Məqalənin başlığı, müəllifin adı, soyadı,
    - İş yeri,
    - Elektron ünvanı,
    - Xülasə və açar sözlər.
  4. **Məqalədə başlıq hər xülasədən əvvəl** ortada, qara və böyük hərflə xülasələrin yazıldığı hər üç dildə olmalıdır.
  5. **Xülasə** 100-150 söz aralığında olmaqla, 9 punto yazı tipi böyüklüyündə, məqalənin yazıldığı dildə və bundan əlavə yuxarıda göstərilən iki dildə olmalıdır. Məqalənin hər üç dildə yazılmış xülasəsi bir-birinin eyni olmalıdır. Açar sözlər uyğun xülasələrin sonunda onun yazıldığı dildə verilməklə ən azı üç sözdən ibarət olmalıdır.
  6. Məqalədə UOT və PACS kodları göstərməlidir.
  7. Məqalə aşağıdakılardan ibarət olmalıdır:
    - Giriş,
    - Tədqiqat metodu
    - Tədqiqat işinin müzakirəsi və onun nəticələri,
    - İstinad ədəbiyyatı rus dilində olduğu halda orijinal dili mötəzə içərisində göstərməklə yalnız Latın əlifbası ilə verilməlidir.
  8. **Şəkil, rəsm, grafik və cədvəllər** çapda düzgün, aydın çıxacaq vəziyyətdə və mətn içərisində olmalıdır. Şəkil, rəsm və grafiklərin yazıları onların altında yazılmalıdır. Cədvəllərdə başlıq cədvəlin üstündə yazılmalıdır.
  9. **Mənbələr** mətn içərisində kvadrat mötərizə daxilində göstərməklə məqalənin sonunda mətn daxilindəki sıra ilə düzəlməlidir. Eyni mənbəyə iki və daha çox istinad edildikdə əvvəlki sıra sayı saxlanmaqla müvafiq səhifələr göstərməlidir. Məsələn: [7,səh.15].

Ədəbiyyat siyahısında verilən hər bir istinad haqqında məlumat tam və dəqiq olmalıdır. İstinad olunan mənbənin bibliografik təsviri onun növündən (monoqrafiya, dərslik, elmi məqalə və s.) asılı olaraq verilməlidir. Elmi məqalələrə, simpozium, konfrans, və digər nüfuzlu elmi tədbirlərin materiallarına və ya tezislərinə istinad edərkən məqalənin, məruzənin və ya tezisnin adı göstərməlidir.
- Nümunələr:**
- a) **Məqalə:** Demukhamedova S.D., Aliyeva İ.N., Godjayev N.M.. *Spatial and electronic structure of monomeric and dimeric complexes of carnosine with zinc*, Journal of structural Chemistry, Vol.51, No.5, p.824-832, 2010
  - b) **Kitab:** Christie ohn Geankoplis. *Transport Processes and Separation Process Principles*. Fourth Edition, Prentice Hall, 2002
  - c) **Konfrans:** Sadychov F.S., Aydın C., Ahmedov A.İ.. Appligation of Information-Communication Technologies in Science and education. II International Conference. "Higher Twist Effects In Photon- Proton Collisions", Baki, 01-03 Noyabr, 2007, ss 384-391
- Mənbələr 9 punto yazı tipi böyüklüyündə olmalıdır.
10. **Səhifə ölçüləri:** üstədən 2.8 sm, altdan 2.8 sm, soldan 2.5 sm və sağdan 2.5 sm olmalıdır. Mətn 11 punto yazı tipi böyüklüyündə, **Palatino Linotype** yazı tipi ilə və tək simvol aralığında yazılmalıdır. Paraqraflar arasında 6 punto yazı tipi aralığında məsafə olmalıdır.
  11. Orijinal tədqiqat əsərlərinin tam mətni bir qayda olaraq 15 səhifədən artıq olmamalıdır.
  12. Məqalənin nəşrə təqdimi aşağıdakı qaydada aparılır:
    - Hər məqalə ən azı iki ekspertə göndərilir.
    - Ekspertlərin tövsiyələrini nəzərə almaq üçün məqalə müəllifə göndərilir.
    - Məqalə, ekspertlərin tənqidi qeydləri müəllif tərəfindən nəzərə alındıqdan sonra Jurnalın Redaksiya Heyəti tərəfindən çapa təqdim oluna bilər.

## YAZIM KURALLARI

1. “Journal of Baku Engineering University- Makine ve endüstri mühendisliği” önceler yayımlanmamış orijinal çalışmaları ve yazarın kendi araştırma alanın-da yazılmış derleme makaleleri kabul etmektedir.
2. Makaleler İngilizce kabul edilir.
3. Makaleler Microsoft Word yazı programında, (**journal@beu.edu.az**) adresine gönderilmelidir. Gönderilen makalelerde şunlar dikkate alınmalıdır:
  - Makalenin başlığı, yazarın adı, soyadı,
  - İş yeri,
  - E-posta adresi,
  - Özet ve anahtar kelimeler.
4. **Özet** 100-150 kelime arasında olup 9 font büyüklüğünde, makalenin yazıldığı dilde ve yukarıda belirtilen iki dilde olmalıdır. Makalenin her üç dilde yazılmış özeti birbirinin aynı olmalıdır. Anahtar kelimeler uygun özeti sonunda onun yazıldığı dilde verilmekle en az üç sözcükten oluşmalıdır.
5. Makalede UOT ve PACS tipli kodlar gösterilmelidir.
6. Makale şunlardan oluşmalıdır:
  - Giriş,
  - Araştırma yöntemi
  - Araştırma
  - Tartışma ve sonuçlar,
  - İstinat Edebiyatı Rusça olduğu halde orjinal dili parantez içerisinde göstermekle yalnız Latin alfabesi ile verilmelidir.
7. **Şekil, Resim, Grafik** ve **Tablolar** baskıda düzgün çıkacak nitelikte ve metin içerisinde olmalıdır. Şekil, Resim ve grafiklerin yazıları onların alt kısmında yer almalıdır. Tablolarda ise başlık, tablonun üst kısmında bulunmalıdır.
8. **Kullanılan kaynaklar**, metin dâhilinde köşeli parantez içerisinde numaralandırılmalı, aynı sırayla metin sonunda gösterilmelidir. Aynı kaynaklara tekrar başvurulduğunda sıra muhafaza edilmelidir. Örneğin: [7,seh.15]. Referans verilen her bir kaynağın künyesi tam ve kesin olmalıdır. Referans gösterilen kaynağın türü de eserin türüne (monografi, derslik, ilmî makale vs.) uygun olarak verilmelidir. İlmî makalelere, sempozyum, ve konferanslara müracaat ederken makalenin, bildirinin veya bildiri özetlerinin adı da gösterilmelidir.

### Örnekler:

- a) **Makale:** Demukhamedova S.D., Aliyeva İ.N., Godjajev N.M.. *Spatial and Electronic Structure of Monomeric and Dimeric Conapeetes of Carnosine Üith Zinc*, Journal of Structural Chemistry, Vol.51, No.5, p.824-832, 2010
- b) **Kitap:** Christie ohn Geankoplis. *Transport Processes and Separation Process Principles*. Fourth Edition, Prentice Hall, p.386-398, 2002
- c) **Kongre:** Sadychov F.S., Aydın C., Ahmedov A.İ. Appligation of Information-Communication Technologies in Science and education. II International Conference. “*Higher Twist Effects In Photon- Proton Collisions*”, Baki, 01-03 Noyabr, 2007, ss 384-391

Kaynakların büyüklüğü 9 punto olmalıdır.

9. **Sayfa ölçüleri**; üst: 2.8 cm, alt: 2.8 cm, sol: 2.5 cm, sağ: 2.5 cm şeklinde olmalıdır. Metin 11 punto büyüklükte **Palatino Linotype** fontu ile ve tek aralıkta yazılmalıdır. Paragraflar arasında 6 puntoluk yazı mesafesinde olmalıdır.
10. Orijinal araştırma eserlerinin tam metni 15 sayfadan fazla olmamalıdır.
11. Makaleler dergi editör kurulunun kararı ile yayımlanır. Editörler makaleyi düzeltme için yazara geri gönderebilir.
12. Makalenin yayına sunuşu aşağıdaki şekilde yapılır:
  - Her makale en az iki uzmana gönderilir.
  - Uzmanların tavsiyelerini dikkate almak için makale yazara gönderilir.
  - Makale, uzmanların eleştirel notları yazar tarafından dikkate alındıktan sonra Derginin Yayın Kurulu tarafından yayına sunulabilir.
13. Azerbaycan dışından gönderilen ve yayımlanacak olan makaleler için,(derginin kendilerine gönderilmesi zamanı posta karşılığı) 30 ABD Doları veya karşılığı TL, T.C. Ziraat Bankası/Üsküdar-İstanbul 0403 0050 5917 No’lu hesaba yatırılmalı ve makbuzu üniversitemize fakslanmalıdır.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. «Journal of Baku Engineering University» - Механические и промышленного строительства публикует оригинальные, научные статьи из области исследования автора и ранее не опубликованные.
2. Статьи принимаются на английском языке.
3. Рукописи должны быть набраны согласно программы **Microsoft Word** и отправлены на электронный адрес ([journal@beu.edu.az](mailto:journal@beu.edu.az)). Отправляемые статьи должны учитывать следующие правила:
  - Название статьи, имя и фамилия авторов
  - Место работы
  - Электронный адрес
  - Аннотация и ключевые слова
4. **Заглавие статьи** пишется для каждой аннотации заглавными буквами, жирными буквами и располагается по центру. Заглавие и аннотации должны быть представлены на трех языках.
5. **Аннотация**, написанная на языке представленной статьи, должна содержать 100-150 слов, набранных шрифтом 9 punto. Кроме того, представляются аннотации на двух других выше указанных языках, перевод которых соответствует содержанию оригинала. Ключевые слова должны быть представлены после каждой аннотации на его языке и содержать не менее 3-х слов.
6. В статье должны быть указаны коды UOT и PACS.
7. Представленные статьи должны содержать:
  - Введение
  - Метод исследования
  - Обсуждение результатов исследования и выводов.
  - Если ссылаются на работу на русском языке, тогда оригинальный язык указывается в скобках, а ссылка дается только на латинском алфавите.
8. **Рисунки, картинки, графики и таблицы** должны быть четко выполнены и размещены внутри статьи. Подписи к рисункам размещаются под рисунком, картинкой или графиком. Название таблицы пишется над таблицей.
9. **Ссылки** на источники даются в тексте цифрой в квадратных скобках и располагаются в конце статьи в порядке цитирования в тексте. Если на один и тот же источник ссылаются два и более раз, необходимо указать соответствующую страницу, сохраняя порядковый номер цитирования. Например: [7, стр.15]. Библиографическое описание ссылаемой литературы должно быть проведено с учетом типа источника (монография, учебник, научная статья и др.). При ссылке на научную статью, материалы симпозиума, конференции или других значимых научных мероприятий должны быть указаны название статьи, доклада или тезиса.

### Например:

- a) **Статья:** Demukhamedova S.D., Aliyeva I.N., Godjayev N.M. *Spatial and electronic structure of monomeric and dimeric complexes of carnosine with zinc*, Journal of Structural Chemistry, Vol.51, No.5, p.824-832, 2010
- b) **Книга:** Christie on Geankoplis. *Transport Processes and Separation Process Principles*. Fourth Edition, Prentice Hall, 2002
- c) **Конференция:** Sadychov F.S, Fydin C, Ahmedov A.I. Application of Information-Communication Nechnologies in Science and education. II International Conference. "Higher Twist Effects In Photon-Proton Collision", Baki,01-03 Noyabr, 2007, ss.384-391

Список цитированной литературы набирается шрифтом 9 punto.

10. **Размеры страницы:** сверху 2.8 см, снизу 2.8 см, слева 2.5 и справа 2.5. Текст печатается шрифтом **Palatino Linotype**, размер шрифта 11 punto, интервал-одинарный. Параграфы должны быть разделены расстоянием, соответствующим интервалу 6 punto.
11. Полный объем оригинальной статьи, как правило, не должен превышать 15 страниц.
12. Представление статьи к печати производится в ниже указанном порядке:
  - Каждая статья посылается не менее двум экспертам.
  - Статья посылается автору для учета замечаний экспертов.
  - Статья, после того, как автор учел замечания экспертов, редакционной коллегией журнала может быть рекомендована к печати.