

AZƏRBAYCAN RESPUBLİASI TƏHSİL NAZİRLİYİ
AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNİVERSİTETİ

Əlyazması hüququnda

ANAR İBAT oğlu ƏHMƏDOV

AZƏRBAYCANIN QƏBƏLƏ, QAX VƏ CULFA RAYONLARININ
GEOTERMAL ENERJİ RESURSLARININ İSTİLİK – FİZİKİ
XASSƏLƏRİNİN TƏDQIQI

3343.01-“İstilik texnikasının nəzəri əsasları”

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru alimlik dərəcəsi almaq
üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

BAKİ – 2017

Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetinin “İstilik energetikası” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: texnika elmləri doktoru,
professor **M.M.BƏŞİROV**

Rəsmi opponentlər: texnika elmləri doktoru,
professor **Z.X.KƏRİMOV**

техника elmləri namizədi,
dosent **Ş.X.XƏLİLOV**

Aparıcı təşkilat: **Azərbaycan Dövlət Neft
və Sənaye Universitetinin
“İstilik energetikası” kafedrası**

Dissertasiya işinin müdafiəsi «08» noyabr 2017-ci il saat 11⁰⁰-da Azərbaycan Texniki Universiteti nəzdində fəaliyyət göstərən D.02.031 dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: 1073, Bakı şəhəri, H.Cavid pr. 25.

Dissertasiya işi ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat «__»_____2017-ci ildə göndərilmişdir.

Dissertasiya işinin avtoreferatına rəyi 2(iki) nüsxədə təsdiq olunmuş imzalarla elmi katibin adına yuxarıda göstərilən ünvana göndərməyinizi xahiş edirik.

D.02.031
Dissertasiya Şurasının
elmi katibi, t.e.n., dosent

Z.Ə.Cəfərov

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Respublikanın sənaye sahələrinin intensivləşdirilməsi və sosial-iqtisadi inkişafında geniş proqramın hazırlanması üçün iqtisadiyyatda və elmi-texniki tərəqqidə köklü irəliləyişlər tələb olunur. Bu nöqteyi-nəzərdən ölkənin xalq təsərrüfatı üçün bütün növ xammal və maddi resursların qənaətli və rəşional istifadəsi böyük əhəmiyyət kəşb edir.

Yanacaqların, təbii ehtiyatların azalması, müxtəlif səbəblərə görə qiymətlərinin qeyri-stabilliyi, onların yandırılması prosesində ətraf mühitə dəyən zərər, o cümlədən «istixana effekti» və s. kimi amillər alternativ enerji mənbələrinin axtarılması zərurətini meydana çıxarmışdır. Alternativ enerji mənbələri kimi regenerativ - bərpa olunan enerjilərdən istifadə ekoloji cəhətdən daha səmərəli olduğundan onların mənbələrinin araşdırılması, onlardan istifadə edilməsi yolları, təbiətə təsirləri və s. kimi məsələlər hazırkı dövrdə olduqca aktuallaşmışdır.

Alternativ enerji mənbələri insanları sonsuz müddətdə müxtəlif növ enerjilər ilə təmin etmək imkanına malikdir. Hazırkı dövrdə isə şərait regenerativ enerjilərin xeyrinə tamamilə dəyişmişdir. Alternativ enerji sistemlərində istifadə edilən qurğular təkmilləşmiş, bu məqsədlər üçün lazım olan yeni, ucuz və keyfiyyətli materiallar yaradılmış, avtomatlaşdırma və idarəetmə mexanizmləri yeniləşmiş, ekoloji mühitin təmizliyinə diqqət kəskin artmışdır. Beləliklə, regenerativ enerjilərdən istifadə ucuzlaşmış, üzvi və qeyri-üzvi yanacaqlardan istifadə isə bahalaşmışdır. Ona görə də, regenerativ enerji mənbələrindən istifadə məsələlərinə diqqət və maraq artmış və bu sahəyə münasibət tamamilə dəyişmişdir. Müxtəlif dövrlərdə regenerativ enerji mənbələrindən istifadəni stimullaşdırmaq məqsədilə xüsusi proqramlar hazırlanmış və həyata keçirilməyə başlanmışdır.

Hazırda atmosferə atılan karbon qazının miqdarını azaltmaq üçün həm Respublika daxilində, həm də beynəlxalq miqyasda geniş tədbirlər həyata keçirilir. Bu istiqamətdə Azərbaycanda 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 uyğun olaraq, Sənaye və Energetika Nazirliyində Proqramın icrası üzrə koordinator müəyyən edilmişdir. Dövlət Proqramında Respublikamız üçün ən səmərəli enerji mənbələri 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 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. Bu sahədəki 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.

Yerdəki enerji ehtiyatı tükənməzdir. Həmin enerji ehtiyatı Günəş şüalarında, küləkdə, hərəkət edən müxtəlif maddə kütlələrində, yerin altındakı istilik mənbələrində, okeanlarda, faydalı qazıntı şəklində çıxarılan qaz, neft, daş kömür və s.-də toplanmışdır. Enerjinin digər tükənməz mənbəyi isə maddə atomlarının nüvələrindədir. Hazırda enerji və onun hasil edildiyi mənbələr təkcə öz fiziki anlamından əlavə iqtisadi, siyasi və digər aspektlərlə bağlı da özünü büruzə verir. Enerji daşıyıcılarına görə hələ qədim zamanlardan müharibələr, dövlət çevrilişləri, qiyamlar və s. baş vermiş və bu proses indi də davam etməkdədir.

Bütün termal suların tərkibinə müxtəlif duzlar və həll olmuş qazlar daxildir. Bu suların ümumi duzluluğu 0,1 q/l-dən (ultraşirin sular) 600 q/l-ə (yüksək duzluluqlu məhlullar) qədər dəyişə bilər. Demək olar ki, bütün növ termal sulardan istifadə etmək olur. İzafe dərəcədə qızmış sular elektroenergetikada, şirin termal sular kommunal istilik təchizatında, az duzlu sular müalicə məqsədləri ilə, yüksək duzlu sular isə xammal kimi istifadə edilir.

Yuxarıda qeyd olunanlara əsasən bu iş Azərbaycan Respublikasının geotermal sularının sıxlığı, səs sürəti, buxar təzyiqi, istilik tutumu və özlülüyünün təcrübi tədqiqinin öyrənilməsinə həsr olunmuşdur.

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası MEA-nın istilik fizikasının kompleks problemlərinin (şifrə 1.9.1.1.2.1) elmi-tədqiqat əlaqələndirilməsi planına uyğun olaraq icra edilmişdir.

İşin məqsədi:

Dissertasiya işinin məqsədi Azərbaycanın geotermal mənbələrinin istilik-fiziki xassələrinin tədqiqindən ibarətdir. Bu məqsədlə Azərbaycanın Culfa (Darıdağ), Qax (Moksu, İlisu Səngər, İlisu Beşbulaq) və Qəbələ (Yengicə, Qəmərvan) rayonlarının geotermal enerji mənbəyi seçilmişdir.

Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün dissertasiya işində aşağıdakı məsələlər həll olunmuşdur:

- Azərbaycanın Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin yüksək təzyiq və temperaturlarda sıxlığını təyin etmək üçün vibrasiyalı borulu densimetr qurğusunun seçilməsi və nəzəri əsaslandırılması;

- Azərbaycanın Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin yüksək təzyiq və temperaturlarda (p , ρ , T) asılılığının təcrübi tədqiqi;

- Azərbaycanın Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin kimyəvi strukturunun təhlili;

- Azərbaycanın Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin buxar təzyiqinin, səs sürətinin, istilik tutumunun və özlüklüyünün təcrübi tədqiqi;

- alınmış təcrübi nəticələr əsasında (p , ρ , T) asılılığının, buxar təzyiqinin, istilik tutumunun və özlüklüyünün analitik təsviri üçün hal tənliklərinin işlənilməsi;

- alınmış təcrübi nəticələr əsasında bəzi termiki xassələrin (izotermik sıxılma əmsalı, izobarik termiki genişlənmə əmsalı, izobar və izoxor xüsusi istilik tutumlarının fərqi, təzyiqin termiki əmsalı, daxili təzyiq) hesablanması.

Elmi yeniliklər:

1. $T=(278,15\div 413,15)$ K temperaturlarda və $p=0,101\div 100$ MPa təzyiqlərdə Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin (p , ρ , T) asılılığının təcrübi qiymətləri alınmışdır.

2. Yüksək keyfiyyətli və dəqiq qurğulardan istifadə edilərək ilk dəfə olaraq, Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin kimyəvi strukturunun müasir təhlili işlənilmişdir.

3. $T=(278,15\div 343,15)$ K temperaturlarda və $p=0,101$ MPa təzyiqdə Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin səs sürətinin təcrübi məlumatları alınmışdır.

4. $T=(283,15\div 323,15)$ K temperaturlarda və $p=0,101\div 40$ MPa təzyiqlərdə Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin buxar təzyiqinin təcrübi məlumatları alınmışdır.

5. $T=(278,15\div 343,15)$ K temperaturlarda və $p=0,101\div 40$ MPa təzyiqlərdə Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin özlüklüyünün və istilik tutumunun təcrübi məlumatları alınmışdır.

6. Aparılmış tədqiqat nəticəsində sıxlığın, buxar təzyiqinin, özlülüyün və istilik tutumunun analitik təsviri üçün hal tənlikləri tərtib edilmişdir.

İşin praktiki əhəmiyyəti. Azərbaycanın Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin $T=(278,15\div 413,15)K$ temperaturlarda və $p=0,101\div 100$ MPa təzyiqlərdə (p, ρ, T) asılılığının, buxar təzyiqinin, istilik tutumunun və özlülüyünün alınmış təcrübi göstəriciləri və geotermal resurslarının kimyəvi strukturunun təhlili alternativ enerji mənbələri qismində tikilməli olacaq geotermal elektrostansiyalar üçün perspektiv məlumatlar kimi müəyyən olunmuşdur.

İşin nəticələrinin tətbiqi: Dissertasiyanın əsas nəticələri Geoelmlər üçün Alman elmi mərkəzində (Potsdam Helmholtz mərkəzi, Almaniya), "Eldar" nəticələr bazasında (Regensburg, Almaniya) və Dortmund Nəticələr bazasında (Oldenburg, Almaniya) tətbiq olunmuşdur.

Tədqiqatın apsorbiyası: Dissertasiya işinin ayrı-ayrı hissələri və nəticələri, Bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə olunma problemləri və perspektivləri konfransı (Bakı, Azərbaycan, 2012), texniki termodinamika üzrə 2-ci istilik-fiziki xassələr simpoziumunda (Rostok, Almaniya, 2013), Azərbaycan xalqının Umummilli Lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 90 İliyinə həsr edilmish Gənc tədqiqatçıların I Beynəlxalq konfransında (Bakı, Azərbaycan, 2013), Heydər Əliyev və Azərbaycan təhsili respublika elmi konfransında (Bakı, Azərbaycan, 2013), 19-cu Türk milli Elm və texnologiya konqresində (Samsun, Türkiyə, 2013), materialların istilik-fiziki və mexaniki xassələri üzrə Beynəlxalq konfransında (Bakı, Azərbaycan, 2015) məruzə edilmiş, müzakirə olunmuş və bəyənilmişdir.

Çap olunan məqalələr. Dissertasiyanın mövzusu üzrə 13 elmi məqalə, o cümlədən 6 müxtəlif xarici və Respublika elmi jurnallarında dərc olunmuşdur.

Dissertasiyanın quruluşu və həcmi. Dissertasiya işi girişdən, 4 fəsildən, xülasə və nəticədən, istifadə olunan ədəbiyyat siyahısından (bura 149 yerli və xarici müəlliflərin işlərinin adı daxildir) və əlavələrdən ibarətdir. İş 200 səhifə kompyuterdə yazılmış mətndən, 44 şəkil və 27 cədvəldən ibarətdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. $T=(278,15\div 413,15)K$ temperaturlarda və $p=0,101\div 100$ MPa təzyiqlərdə Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin (p, ρ, T) asılılığının təcrübi nəticələri.

2. $T=(278,15\div 343,15)$ K temperaturlarda və $p=0,101$ MPa təzyiqdə Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin səs sürətinin təcrübi nəticələri.
3. $T=(283,15\div 323,15)$ K temperaturlarda və $p=0,101\div 40$ MPa təzyiqlərdə Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin buxar təzyiqinin təcrübi nəticələri.
4. $T=(278,15\div 343,15)$ K temperaturlarda və $p=0,101\div 40$ MPa təzyiqlərdə Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin istilik tutumu və özlülüyünün təcrübi nəticələri.
5. Yüksək keyfiyyətli və dəqiq qurğulardan istifadə edilərək Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin kimyəvi strukturunun müasir təhlili.
6. Tədqiq olunmuş geotermal enerji mənbələrinin sıxlığının, səs sürətinin, buxar təzyiqinin, istilik tutumunun və özlülüyünün analitik təsviri üçün tərtib edilmiş hal tənlikləri.

İŞİN MƏZMUNU

Girişində mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqatın məqsədi və müdafiəyə çıxarılan müddəalar müəyyən edilmişdir. Eyni zamanda burada dissertasiyanın elmi yenilikləri və nəticələrin tətbiqi verilmişdir.

Birinci fəsilə geotermal enerjinin öyrəlməsi, geotermal enerji resursları və istifadəsi problemlərinin müasir vəziyyəti, buxar turbinli geotermal enerji qurğuları, geotermal resursların müxtəlif xəstəliklərin müalicəsində istifadə imkanları, Azərbaycanın geotermal enerji resurslarının icmalı, Azərbaycanın geotermal enerji resurslarının elmi tədqiqatlarının ədəbiyyat üzrə təhlili, Azərbaycanın Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji resurslarının istifadə edilməsinin hidrogeokimyəvi prinsipləri əsaslandırılmışdır.

İkinci fəsilə tədqiqat metodlarının seçilməsi və istifadə olunmuş təcrübi qurğuların təsviri, əsas təcrübi kəmiyyətlərin ölçmə metodikası, nəzarət ölçmələrin nəticələri, eləcə də geotermal enerji mənbələrinin kimyəvi tərkiblərinin tədqiqat metodları verilmişdir.

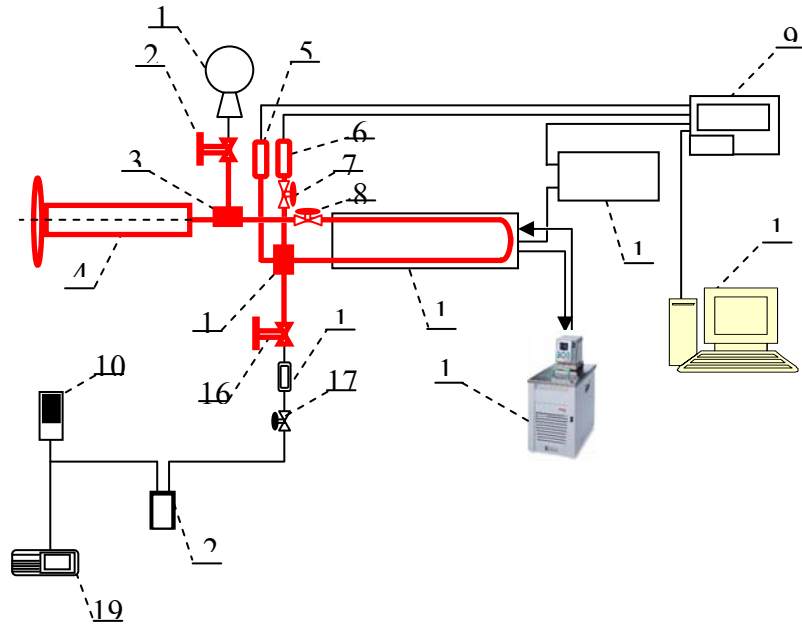
Azərbaycanın Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin hal parametrlərinin geniş diapazonda p - ρ - T asılılıqlarının eksperimental tədqiqat metodikasının seçimində alınan nəticələrin yüksək dəqiqliyinə xüsusi diqqət yetirilmişdir.

Vibrasiyalı-borucuqlu densimetr metodu ilə mayelərin (p , ρ , T) asılılıqlarını təyin edən qurğunun iş prinsipi vibrasiya periodunun U -şəkilli

borucuğun bir tərəfinə yönəlməsi asılılığına və borucuğun kütləsinə əsaslanır. Bu kütlə, borucuğun kütləsi ilə bu borucuğa doldurulmuş mayenin kütləsinin cəmindən ibarətdir. Borucuqda olan mayenin və borucuğun öz kütləsini birbaşa ölçmək çox çətindir. Buna görə də, tədqiq olunmuş mayenin kütləsini vibrasiyalı borucuq və vibrasiyanın ölçülməsi metodunun köməyi ilə təyin etmək.

Müxtəlif temperaturlar və təzyiqlərdə geotermal suların sıxlığının ölçülməsi üçün, təqdim olunan işdə vibrasiyalı-borucuqlu densimetr metodu geotermal suların sıxlığını ölçmək üçün seçilmişdir.

Qurğunun sxematik təsviri şəkil 1-də verilmişdir. Qurğunun əsas elementi içərisində Hastelloy C-276 vibrasiya borucuğu olan ölçmə yuvasıdır (13). Ölçmə yuvası interferometr (14) və mPDS2000V3 temperatur və təzyiqlər nəzarət sistemi (9) vasitəsilə kompüterlə birləşdirilmişdir. Ölçmə yuvası $T=(263.15-473.15)K$ temperaturlarda və $p=(0.1-140)MPa$ təzyiqlərdə ölçmələr aparmaq üçün xüsusi olaraq layihələndirilmişdir. Ölçmə yuvasının elektromaqnit sistemi borucuğun rəqslərini yaradır, təyin edir və kompüterə (15) ötürür. Bu parametrlər daim nəzarətdə olur. HP-1 (5) və P-10 (6) təzyiqlər ölçmələrinin siqnalları da kompüterin nəzarət-hesablama sistemində ötürülür. Ölçmə yuvasındakı $T=(263.15-473.15)K$ diapazonlu temperatur F32-ME (Julabo, Almaniya) xarici termostatı (18) vasitəsilə 0.01 K xəta ilə yaradılır. Həmçinin, yaradılmış temperaturun sabitliyi də bu termostat vasitəsilə təmin edilir. Temperatur Pt100 (ITS-90) platin termometrləri vasitəsilə ± 3 mK xəta ilə ölçülür. Qurğunun bütün hissələri yüksək təzyiqlə (400 MPa-dək) hesablanmış ventillər (2, 7, 16, 17), üçağızlı (3), dördəğizli (11) və borular (NOVA и SITEC, İsveçrə) vasitəsi ilə birləşdirilmişdir. Təzyiqlər manometri (4) (37-6-30, HIP, ABŞ) vasitəsilə təzyiqlər yaradılır və müvafiq olaraq, $\Delta p=0,1\%$ və $\Delta p=0,5\%$ dəqiqlik sinfinə malik olan P-10 (6) və HP-1 (5) təzyiqlər sensorları vasitəsilə ölçülür. Qurğunun yüksək təzyiqlər altında olan hissələri qalın qırmızı xətlə göstərilmişdir. Qurğunun təcrübə üçün hazırlanması aşağıdakı kimi aparılır: qurğu yuyulduqdan sonra $T=293.15$ K temperaturda vakuum nasosunun (19) S 1.5 (Oerlikon Leybold Vacuum GmbH, Almaniya) köməyi ilə 5-6 saat müddətində dərin vakuum [$p=(3-5)$ Pa] həyata keçirilir. Bu temperaturda və $p=0.101$ MPa təzyiqlə qurğu kalibrlanmış olur. Vakuum nasosun qurğu tərəfdən maye düşməsindən qorunmaq üçün onlar arasında maye azotun içərisində termos (20) qoyulmuşdur. Vakuum, ölçmə xətası $\Delta p= \pm 5 \cdot 10^{-2}$ Pa kimi qiymətləndirilən



Şəkil 1. DMA HPM vibrasiyalı borucuq qurğusu.

VD83M (Thyracont Vacuum Instruments GmbH, Almaniya) vakuummətrinin (10) köməyi ilə ölçülür.

(2) və (17) ventilləri bağlanır, digər ventillər isə açılır. Təzyiq manometri başlanğıc vəziyyətə (həcm sıfır bərabərdir) gətirilir. Sonra sistemin ölçülən maddə ilə doldurulması üçün kolba (1) ştuserə bərkidilir.

Temperatur, təzyiq və rəqs perioduna nəzarət üçün mPDS2000V3 nəzarət sistemində vakum periodunun qiyməti (təqribən 2584.740 μ s) alınanaqədək vakuüm saxlanılır. Bundan sonra ventillər (2) açılır. Ölçülən maye sistemə dolur. Sistemin doldurulması zamanı havanın mövcud olmasına baxış pəncərəsindən (12) nəzarət edilir. Sonra təzyiq manometrinin sükanı döndərilir və o da ölçülən maye ilə dolur. Ölçmə hissəsinin həcmi təqribən 14-15 sm^3 təşkil edir. Bunun da 11 sm^3 -i təzyiq manometrinin həcmninə payına düşür. Bununla belə, sistem ölçülən maye ilə tam dolur. Bundan sonra ölçmələr aparılır. Təzyiq azdan yüksəyə doğru olmaqla yaradılır və ölçülür. Rəqs periodu 0.001 μ s interval ilə ölçülür. Vibrasiyalı borucuq metodu ilə ölçmələr zamanı rəqs periodundan sıxlığın

hesablanması üçün qurğunun kalibrənməsinin çox dəqiqliklə yerinə yetirilməsi lazımdır. Qurğunun kalibrənməsi üçün sıxlıqlarının qiymətləri yüksək dəqiqliklə məlum olan mayelərdən istifadə olunur. Kalibrənmə əmsallarının hesablanması üçün mövcud olan metodun köməyi ilə bu dissertasiyada ölçülmüş maddələrin sıxlığının hesablanması üçün istifadə olunmuş 14 əmsal tapılmışdır. Bu hesablamaların köməyi ilə maddənin sıxlıq qiyməti $\Delta\rho = \pm(0,01 - 0,03) \text{ kq}\cdot\text{m}^{-3}$ xəta ilə təyin olunmuşdur. Vibrasiyalı borucuq bloku sabit temperatur şəraitini təmin edən termostatlayıcı mühitdə yerləşdirilmişdir və o, asanlıqla nümunə götürülməsini, həmçinin ölçmələr zamanı təzyiqin sabitliyini təmin edən dəst ilə təchiz edilmişdir. Bu, xüsusilə ona görə böyük əhəmiyyətə malikdir ki, ölçmələr ətraf mühitdən çox fərqli olan şəraitlərdə aparılır. Oksigenin mövcudluğu ilə əlaqədar olaraq, korroziyadan qorunması və vibrasiyalı boruların havada deformasiyasının qarşısının alınması məqsədi ilə ölçmə yuvası (U-şəkilli) vakuum kamerasının daxilində yerləşdirilmişdir.

Təcrübə, nümunənin vibrasiyalı sınaq borusuna təzyiq gücləndiricisi ilə daxil edildiyi və lazım olan təzyiqdə ölçmə zamanı tərpənməz qaldığı statik rejimdə aparılır. Bu konstruksiya xalis mayələrin və onların qarışıqlarının ölçülməsi üçün istifadə edilir. Vibrasiyalı borucuğun davranışı prinsipə, hər iki ucunda sıxılan və rəqsin təsvir edilməsi üçün istifadə edilən vibrasiyalı içliyin davranışına bənzəyir. Hal tənliyinin çıxarılması üçün τ rəqs periodunun ifadəsindən istifadə edilir. Rezonans tezliyi f aşağıdakı tənlikdə göstərilən sadə fiziki-riyazi model ilə təsvir edilə bilər:

$$f = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

burada: ω_0 – bucaq tezliyi, san^{-1} ; k – boru materialının sərtliyi, $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$; m – vibrasiya borusunun kütləsidir, kq .

(1) tənliyini aşağıdakı şəkildə yazmaq olar,

$$f(T, p) = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m_0 + \rho(T, p)V(T, p)}} \quad (2)$$

Borucuğun sərtliyi k , onun forma və ölçülərindən asılıdır və boru materialının Yunq moduluna proporsionaldır. Buradan aydın olur ki, tezliyin kvadratı borucuq materialının sərtliyi artdıqca böyüyür və onun kütləsi ilə tərs mütənəsidir. Həmçinin, borucuğun uzunluğu artdıqca, adətən tezlik azalır. Yaxşı məlumdur ki, rezonans tezliyi τ vibrasiya periodunun əks qiymətinə bərabərdir. Bu period aşağıdakı kimi təyin oluna bilər:

$$\tau(T, p) = 2\pi \sqrt{\frac{m_0 + \rho(T, p)V(T, p)}{k}}. \quad (3)$$

Yuxarıda verilmiş tənlikdən görünür ki, mayenin sıxlığı vibrasiya borucuğunun rəqs tezliyi ilə bilavasitə aşağıdakı kimi əlaqəli ola bilər:

$$\rho(T, p) = \frac{\tau(T, p)^2 k}{4\pi^2 V(T, p)} - \frac{m_0}{V(T, p)} = \frac{\tau^2(T, p)k}{4\pi^2 V(T, p)} - \frac{m_0}{V(T, p)}. \quad (4)$$

$$\rho(T, p) = C_1(T, p) - C_2(T, p)\tau^2(T, p), \quad (5)$$

burada:

$$C_1(T, p) = -\frac{m_0}{V(T, p)} \quad (6)$$

$$C_2(T, p) = -\frac{k}{4\pi^2 V(T, p)} \quad (7)$$

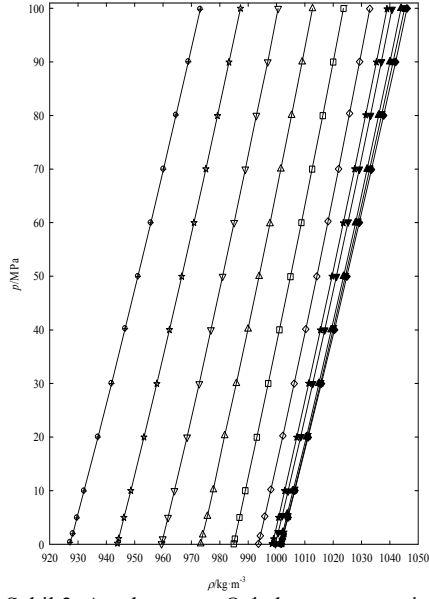
$C_1(p, T)$ və $C_2(p, T)$ parametrləri ölçülən mayenin xassələrindən asılı deyil. Cihaz, kalibrleyici məhlullar qismində sıxlıqları məlum olan, ən azı iki maddə üzrə rəqs periodunun ölçülməsi yolu ilə yenidən kalibrələnmişdir.

Daha sonra Azərbaycanın Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji resurslarının kimyəvi tərkibinin tədqiqi verilmişdir. Təcrübələr IRIS Intrepid II Optical Emission Xramotoqraf induktiv-əlaqəli plazması ilə atomlu-emissionlu xramotoqrafda yerinə yetirilmişdir.

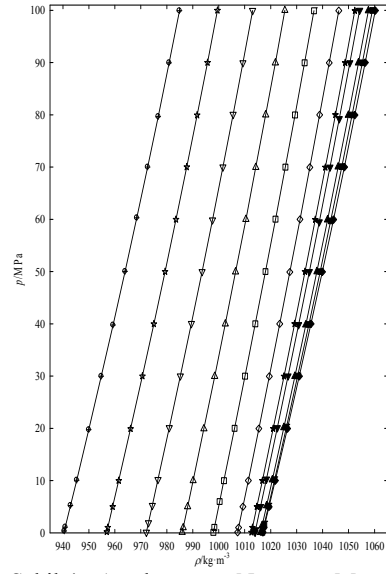
Tədqiq olunan nümunələrin doymuş buxarlarının təzyiqi statik metodla tədqiq olunmuşdur.

Azərbaycanın Culfa, Qax, Qəbələ rayonlarının geotermal enerji resurslarının səs sürəti DSA 5000M, özlülüyü SVM3000 Ştabinger viskozimetri və istilik tutumu isə Pyris 1 tipli differensial skaner kalorimetrimin köməyi ilə ölçülmüşdür.

Üçüncü fəsildə tədqiqatlardan alınmış nəticələr və onların təhlili verilmişdir. Ədəbiyyatdan sıxlıqları məlum olan suyun, NaCl, metanol, etanol və toluolun (p, ρ, T) yoxlama təcrübələri aparıldıqdan sonra Azərbaycanın Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji resurslarının (p, ρ, T) asılılıqları, yüksək təzyiq və müxtəlif temperaturlarda vibrasiya borulu densimetr metodunun reallaşdırıldığı təcrübi qurğuda ölçülmüşdür və alınmış təcrübi nəticələr cədvəl şəklində verilmişdir. Təzyiqin 0;1; 5; 10;20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 və 100 MPa qiymətlərində p - ρ koordinatlarında izotermələr qurulmuşdur. Şəkil 3-4-də Azərbaycanın Culfa, Qəbələ rayonlarının termal sularının (p, ρ, T) xassələrinin müxtəlif koordinatlarda asılılıqları göstərilmişdir.



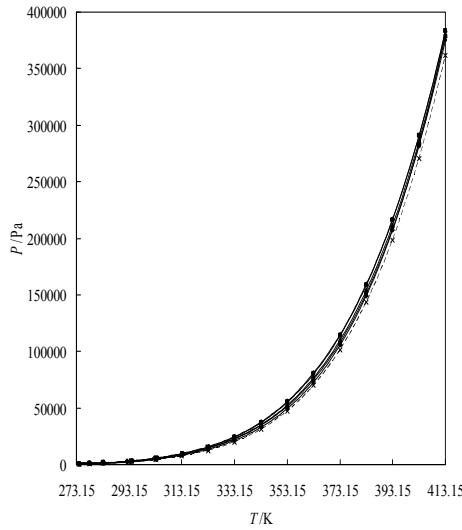
Şəkil 3. Azərbaycanın Qəbələ rayonu ərazisində yerləşən „Qəmərvan“ termal suyunun sıxlığının ρ təzyiqdən p asılılığı: \blacklozenge , 274.15K; \blacksquare , 278.16 K; \blacktriangle , 283.16 K; \blacktriangledown , 293.15 K; \star , 298.15K; \diamond , 313.16 K; \square , 333.15 K; \triangle , 353.14 K; ∇ , 373.15 K; \star , 393.15K; \oplus , 413.14 K.



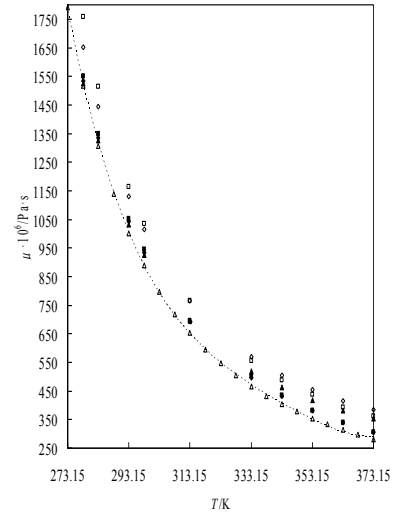
Şəkil 4. Azərbaycanın Naxçıvan Muxtar Respublikasının Culfa rayonunda yerləşən „Darıdağ“ termal suyunun sıxlığının ρ təzyiqdən p asılılığı: \blacklozenge , 274.15 K; \blacksquare , 278.13 K; \blacktriangle , 283.15 K; \blacktriangledown , 293.19 K; \star , 298.15 K; \diamond , 313.15 K; \square , 333.90 K; \triangle , 353.15 K; ∇ , 373.17 K; \star , 393.15 K; \oplus , 413.23 K.

Şəkil 5-də Azərbaycanın Culfa, Qax, Qəbələ rayonlarının termal sularının doymuş buxarlarının təzyiqinin P/Pa temperaturdan asılılığı verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi, tədqiq olunmuş suların doymuş buxarlarının təzyiqi P/Pa təmiz suyun sıxlığından yüksəkdir. Ölçmələr zamanı Azərbaycanın Culfa, Qax, Qəbələ rayonlarının termal sularının, bütün həll olmuş qaz və hava ilə birlikdə, natural nümunələrindən istifadə olunmuşdur. Buna görə də, həll olmuş qazlar və hava geotermal su nümunələrinin doymuş buxarlarına təsir edir və nəticələr təmiz suyun doymuş buxarının nəticələrindən yüksəkdir.

Şəkil 6-da Azərbaycanın Qax və Qəbələ rayonlarının termal sularının dinamik özlülüyünün $\mu \cdot 10^6/\text{Pa} \cdot \text{s}$ temperaturdan asılılığı verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi, tədqiq olunmuş geotermal su resurslarının dinamik



Şəkil 5. Azərbaycanın Qax və Qəbələ rayonlarının termal sularının doymuş buxalарının p təzyiqinin temperaturdan asılılığı: (◆, “Moksu”; ■, “İlisu Səngər”; ▲, “İlisu Beşbulaq Yuxarı”; ●, “Yengicə”; ◇ “Qəmərvan”; Δ, təmiz su).



Şəkil 6. Azərbaycanın Qax və Qəbələ rayonlarının termal sularının dinamik özlülüyünün $\mu/\text{Pa}\cdot\text{s}$ temperaturdan asılılığı: (◆, “Moksu 1”; ■, “İlisu Səngər Beşbulaq”; ▲, “İlisu Beşbulaq Yuxarı”; ◇, “Yengicə”; □, “Qəmərvan”; Δ, təmiz su).

özlülüyünün qiymətləri μ təmiz suyun özlülüyündən yüksəkdir.

Dördüncü fəsil eksperimental nəticələrin təhlilinə, analitik təsvirinə və öyrənilmiş obyektlərin sıxlığı üzrə ümumiləşdirilməsinə həsr edilmişdir. Bu fəsilə həmçinin, Azərbaycanın Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal sularının təcrübi yolla alınmış doymuş buxar təzyiqi, səs sürəti, istilik tutumu və özlülüyünün hesablama metodu ilə ümumiləşdirilməsi, mayelərin bəzi termiki xassələrinin hesablanması göstərilir.

Hal tənliyinin tərtibində əsas diqqət başlanğıc verilənlərin qiymətinin dəqiqliyinə, sonra tənliyin sadəliyinə və istifadəsinin rahatlığına ayrılır.

Biz əvvəlcə $p-\rho-T$ asılılıqlarının riyazi təhlili üçün istifadə edilmiş bir sıra hal tənliklərini analiz etdik. Belə ki, Baçinskiyin tənliyi əsasında Axundov T.S. və İmanov Ş.Y. aşağıdakı hal tənliyindən istifadə etmişlər:

$$pv^2 = A + \frac{B}{v^6}, \quad (8)$$

burada: p – təcrübi təzyiq, v^6 – xüsusi həcm, A və B – temperaturdan asılı olan əmsallardır. Müəlliflər təcrübi verilənlərin təsvir olunma xətasını 0,1%-dən az olmaqla (8) hal tənliyinin köməyi ilə qiymətləndirmişlər. (8) hal tənliyi (p, ρ, T) təcrübi verilənlərini yaxşı təsvir edir və bu tənliyin köməyi ilə bir çox termiki parametrləri hesablamaq olar.

Dissertasiya işində tədqiq olunmuş (p, ρ, T) təcrübi qiymətləri daha dəqiq analitik ifadə etmək üçün (8) tənliyinin müəyyən qədər dəyişdirilmiş aşağıdakı yazılışından istifadə edilmişdir:

$$p = A(T)\rho^2 + B(T)\rho^8 + C(T)\rho^{12}. \quad (9)$$

İsbat edilmişdir ki, Axundov-İmanov tənliyinə üçüncü həddin artırılması ilə təcrübi verilənlərin yazılma xətası $\Delta\rho/\rho = \pm(0,01\div 0,03)$ %-dək azalır. Bundan başqa, təcrübi qiymətlərin yazılma intervalı yüksək temperaturlardakə əhəmiyyətli dərəcədə artır.

$A(T)$, $B(T)$ və $C(T)$ əmsallarının temperaturdan asılılığı polinom tənlik şəklində aşağıdakı kimidir:

$$A(T) = \sum_{i=1}^4 a_i T^i, \quad B(T) = \sum_{i=0}^3 b_i T^i, \quad C(T) = \sum_{i=0}^3 c_i T^i \quad (10)$$

Azərbaycanın Culfa, Qax, Qəbələ rayonlarının tədqiq olunmuş geotermal və mineral sularının təcrübi nəticələrinin yazılması üçün istifadə olunmuş hal tənliyinin a_i , b_i və c_i əmsallarının qiymətləri cədvəl 1-də verilmişdir.

Termiki əmsallar, müəyyən termodinamik prosesdə digər parametrlərdən (təzyiqdən p , temperaturdan T) asılı olaraq, termodinamik sistemin termiki hal tənliyinə daxil olan hər hansı parametrlərin (həcm V , təzyiq p) dəyişməsinə xarakterizə edən kəmiyyətlərdir.

Termiki xassələrin hesablanması zamanı əsasən aşağıdakı parametrlər təhlil olunur:

a) izotermik sıxılma əmsalı κ_T/MPa^{-1} , sabit temperaturda həcm V dəyişməsinin təzyiq p dəyişməsindən asılılığını xarakterizə edir və birinci mühüm termiki xassədir:

$$\kappa_T = (1/\rho)(\partial p/\partial \rho)_T^{-1}. \quad (11)$$

(11) asılılığından istifadə edərək (9)-(10) hal tənliklərindən izotermik sıxılma əmsalının κ_T/MPa^{-1} hesablanması üçün tənlik almaq olar:

$$\kappa_T = 1/[2A(T)\rho^2 + 8B(T)\rho^8 + 12C(T)\rho^{12}]. \quad (12)$$

Cədvəl 1. Azərbaycanın Culfa, Qax, Qəbələ rayonlarının geotermal və mineral sularının hal tənzimləmə əmsalları a_i , b_i və c_i əmsallarının qiymətləri.

a_i	b_i	c_i
Culfa "Darıdağ"		
$a_1 = -0.9531864068$	$b_0 = 4914.7407613$	$c_0 = -3311.60320168$
$a_2 = -0.0090772884$	$b_1 = -40.026838383$	$c_1 = 27.1285273$
$a_3 = 0.259457 \cdot 10^{-4}$	$b_2 = 0.11852948576$	$c_2 = -0.07464958746$
$a_4 = -0.12609365 \cdot 10^{-7}$	$b_3 = -0.1082883527 \cdot 10^{-3}$	$c_3 = 0.636766136 \cdot 10^{-4}$
Qax "İlisu Səngər"		
$a_1 = -3.672103063$	$b_0 = 4301.202235263421$	$c_0 = -2349.8486542148$
$a_2 = 0.91107149 \cdot 10^{-2}$	$b_1 = -28.44049321$	$c_1 = 14.57194557266$
$a_3 = -0.1012804 \cdot 10^{-4}$	$b_2 = 0.06861514423$	$c_2 = -0.0270686025561$
$a_4 = 0.75202367 \cdot 10^{-8}$	$b_3 = -0.46332175 \cdot 10^{-4}$	$c_3 = 0.8239190823 \cdot 10^{-5}$
Qax "İlisu Beşbulaq"		
$a_1 = -9.6465706774$	$b_0 = 5192.940802$	$c_0 = -2547.558976736$
$a_2 = 0.0473926444$	$b_1 = -25.37362572143$	$c_1 = 9.89742807646$
$a_3 = -0.8218597 \cdot 10^{-4}$	$b_2 = 0.02872728057$	$c_2 = 0.503390381 \cdot 10^{-2}$
$a_4 = 0.416658429 \cdot 10^{-7}$	$b_3 = 0.20692891 \cdot 10^{-4}$	$c_3 = -0.40112019 \cdot 10^{-4}$
Qax "Moksu"		
$a_1 = -1.65312648$	$b_0 = 3149.55712272263$	$c_0 = -1492.7361398$
$a_2 = -0.781771511 \cdot 10^{-2}$	$b_1 = -18.34345463128$	$c_1 = 6.9529161611745$
$a_3 = 0.387987376325 \cdot 10^{-4}$	$b_2 = 0.0376598267335046$	$c_2 = -0.369513979 \cdot 10^{-2}$
$a_4 = -0.40615118271640 \cdot 10^{-7}$	$b_3 = -0.139324416266 \cdot 10^{-4}$	$c_3 = -0.160859377121 \cdot 10^{-4}$
Qəbələ "Yengicə"		
$a_0 = 181.42503073591$	$b_0 = 5859.59927520511$	$c_0 = -811.855961425$
$a_1 = 7.298042934559$	$b_1 = 57.7288944272145$	$c_1 = 5.34016695257$
$a_2 = -0.0205652684$	$b_2 = -0.14793483322$	$c_2 = -0.012058797816$
$a_3 = 0.1766437497 \cdot 10^{-4}$	$b_3 = 0.12440534596 \cdot 10^{-3}$	$c_3 = 0.19034796872 \cdot 10^{-5}$
Qəbələ "Qəmərvan"		
$a_1 = 3.57897884764$	$b_0 = -273.61148361$	$c_0 = 771.618024868$
$a_2 = -0.0503628213413$	$b_1 = 10.30687074136$	$c_1 = -12.84400373275$
$a_3 = 0.1506072 \cdot 10^{-3}$	$b_2 = -0.041534971$	$c_2 = 0.0540136$
$a_4 = -0.1377645331531 \cdot 10^{-6}$	$b_3 = 0.6067401 \cdot 10^{-4}$	$c_3 = -0.73521162263 \cdot 10^{-4}$

b) izobarik termiki genişlənmə əmsalı α_p/K^{-1} , təcrübə işlərinin keyfiyyətinin təhlilində böyük rol oynayan termiki əmsaldır. O, sabit təzyiqdə həcmə dəyişməsinin temperaturun dəyişməsindən asılılığını xarakterizə edir:

$$\alpha_p = (1/\rho)(\partial p/\partial T)_\rho (\partial \rho/\partial p)_T^{-1}. \quad (13)$$

(13)-dən istifadə edərək, (9)-(10) hal tənliklərindən izobarik sıxılma əmsalının α/K^{-1} hesablanması üçün tənlik almaq olar:

$$\alpha_p = \frac{A'(T) + B'(T)\rho^6 + C'(T)\rho^{10}}{2A(T) + 8B(T)\rho^6 + 12C(T)\rho^{10}}, \quad (14)$$

harada ki, A' , B' və C' aşağıdakı düsturla təyin olunan hal tənliyinin A , B və C əmsallarının birinci tərtib törəməsidir:

$$A(T) = \sum_{i=1}^3 a_i T^i, \quad B(T) = \sum_{i=0}^2 b_i T^i, \quad C(T) = \sum_{i=0}^2 c_i T^i. \quad (15)$$

c) izobarik və izoxorik xüsusi istilik tutumlarının fərqi $(c_p - c_v)/J \cdot \text{kq}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ üçüncü mühüm termiki xassədir:

$$c_p = c_v + T \frac{(\partial p / \partial T)_p^2}{\rho^2 (\partial p / \partial \rho)_T}. \quad (16)$$

Belə ki, sabit həcmində xüsusi istilik tutumunun ($c_p^1, J \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$) ölçülməsi çətinidir. Buna görə də izobarik və izoxorik xüsusi istilik tutumlarının fərqi $(c_p - c_v)/J \cdot \text{kq}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ hesablanması $c_p^1/J \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ sabit həcmində xüsusi istilik tutumunun təyini üçün həmişə istifadə etmək olar.

(16) asılılığını istifadə edərək (9)-(10) hal tənliklərindən izobarik və izoxorik xüsusi istilik tutumlarının fərqi $(c_p - c_v)/J \cdot \text{kq}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ hesablanması üçün tənlik ala bilərik:

$$c_p - c_v = \frac{\alpha_p^2 T}{\rho \kappa_T}. \quad (17)$$

d) təzyiğin termiki əmsalı $\gamma/\text{MPa} \cdot \text{K}^{-1}$, hansı ki, izobarik termiki genişlənmə əmsalının α_p/K^{-1} sıxılmanın izotermik əmsalına κ_T/MPa^{-1} olan nisbətində bərabərdir:

$$\gamma = \frac{\alpha_p}{\kappa_T}. \quad (18)$$

e) daxili təzyiq $p_{\text{int}}/\text{MPa}$, sistemin temperaturu artdıqda və ya sabit qaldıqda sistemin daxili enerjisinin nə qədər dəyişməsinə göstərir. O, təzyiqlə eyni ölçü vahidinə malikdir və sabit temperaturda həcmə nəzərən daxili enerji törəməsinin hissəsi kimi təyin edilir. Daxili təzyiq $p_{\text{int}}/\text{MPa}$ təzyiğin istilik əmsalı ilə əlaqəlidir və aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$p_{\text{int}} = \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V - p = T\gamma - p = \frac{T\alpha_p}{\kappa_T} - p \quad (19)$$

İstənilən hal parametrlərindən bu xassələrin tapılması üçün təcrübədən alınmış nəticələrin tənliklər vasitəsi ilə yazılması vacibdir. Bu səbəbdən də dissertasiya işində termal suların sıxlığının $\rho/\text{kq} \cdot \text{m}^{-3}$ ölçülmüş

təcrübi qiymətlərinin temperaturdan T/K asılılığı polinom tənlik vasitəsilə yazılmışdır:

$$\rho = \sum_{i=0}^3 a_i T^i, \quad (20)$$

burada: a_i polinomun əmsallarıdır.

Termal suların səs sürətinin $u/m \cdot s^{-1}$ təcrübi qiymətlərinin temperaturdan T/K asılılığı da eyni zamanda polinom tənlik vasitəsilə yazılmışdır:

$$u = \sum_{i=0}^3 b_i T^i, \quad (21)$$

burada: b_i - polinomun əmsalıdır.

Təcrübi nəticələri təhlil etmək üçün izobar termiki genişlənmə əmsalının α_p/K^{-1} hesablanması böyük rol oynayır. Bu zaman yüksək təzyiqlərdə ölçülmüş sıxlıq ilə atmosfer təzyiqində ölçülmüş sıxlıqlardan hesablanmış hər iki izobar termiki genişlənmə əmsalının müqayisə edilməsi təcrübələrin dəqiqliyinə daha bir təsdiq olar. Bu parametr sabit təzyiqdə həcmnin dəyişməsinin temperaturun dəyişməsindən asılılığını xarakterizə edir:

$$\alpha_p = \frac{1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p, \quad (22)$$

İzobar termiki genişlənmə əmsalının α_p/K^{-1} hesablanmış qiymətləri dissertasiyada verilmişdir.

Termal suların sıxlığı və səs sürəti ölçüldükdən sonra Laplas tənliyi vasitəsilə suyun adiabatik sıxılma əmsalını κ_s/MPa^{-1} hesablamaq mümkündür:

$$\kappa_s = \frac{1}{\rho \cdot u^2}, \quad (23)$$

Azərbaycanın Culfa, Qax, Qəbələ rayonlarının geotermal enerji resurslarının doymuş buxarlarının təzyiqlərinin təcrübi nəticələrinin təsvir olunması üçün Klauzius-Klapeyron tənliyi istifadə olunmuşdur:

$$\ln p = A + \frac{B}{T} + C \ln T, \quad (24)$$

burada: p – buxarın təzyiqi, Pa ; T – mütləq temperaturdur, K. (24) tənliyinin A, B, C əmsalları dissertasiyada verilmişdir. Bu halda Azərbaycanın Culfa, Qax, Qəbələ rayonlarının geotermal enerji resurslarının doymuş

buxarlarının təzyiqlərinin təcrübi nəticələrinin təsvirolunma xətası 0,5%-dək qiymətləndirilir.

Azərbaycanın Culfa, Qax, Qəbələ rayonlarının tədqiq olunmuş geotermal enerji resurslarının dinamik özlülüyü yüksək dəqiqliyə malik qurğuda ölçülmüş və aşağıdakı tənliyin köməyi ilə təsvir edilmişdir:

$$\mu = \sum_{i=0}^3 a_i T^i, \quad (25)$$

$$\nu = \sum_{i=0}^3 b_i T^i, \quad (26)$$

burada: a_i və b_i – əmsalları dissertasiyada verilmişdir.

Aparılan araşdırmalardan belə nəticəyə gəlmək olar ki, Azərbaycanın Culfa, Qax, Qəbələ rayonlarının geotermal enerji resurslarının özlülüyü təmiz suyun özlülüyündən çoxdur. Bu onunla əlaqədardır ki, kimyəvi minerallar Azərbaycanın Culfa, Qax, Qəbələ rayonunun geotermal enerji resurslarının özlülüyünü artırır.

Tədqiq olunan termal suların dinamik özlülüyünün $\mu \cdot 10^6 / \text{Pa} \cdot \text{s}$ natural loqarifminin temperaturdan T/K asılı polinom tənlik vasitəsilə yazılmışdır:

$$\ln(\mu) = \sum_{i=0}^2 \frac{c_i}{(T - 413.15)^i}, \quad (27)$$

burada: c_i polinomun əmsalındır, qiymətləri dissertasiyada verilmişdir.

Tədqiq olunmuş məhlulların izobar xüsusi istilik tutumunun təcrübi nəticələri temperaturdan asılı polinom tənlik şəklində yazılmışdır:

$$c_p / (\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}) = \sum_{i=0}^5 a_i T^i, \quad (28)$$

burada: a_i polinomun əmsalındır, qiymətləri dissertasiyada verilmişdir.

Empirik şəkildə hazırlanmış (28) tənliyi təcrübə nəticələrini $\Delta c_p / c_p = \pm 0.01\%$ xəta ilə yazmağa imkan verir.

Azərbaycanın Culfa, Qax, Qəbələ rayonlarının geotermal enerji resurslarının atmosfer təzyiqində izobarik xüsusi istilik tutumunun alınmış təcrübə qiymətlərinin ədəbiyyat qiymətləri ilə müqayisəsindən görünür ki, təcrübə nəticələrindən alınmış qiymətlər ədəbiyyat qiymətlərinə çox yaxşı uyğun gəlirlər. Buradan belə qənaətə gəlmək olar ki, alınmış təcrübə nəticələrini yüksək hal parametrlərində (p, ρ, T) xassələri ilə birlikdə Azərbaycanın Culfa, Qax, Qəbələ rayonlarının geotermal enerji

resurslarının istilik-fiziki xassələrinin hesablanması üçün istifadə etmək olar.

NƏTİCƏLƏR

1. Azərbaycanın Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji resurslarının istilik-fiziki xassələrinin ölçülməsi üçün yüksək hal parametrlərində çox dəqiq ölçmələrin aparılmasına imkan verən metodlar seçilmiş və əsaslandırılmışdır.
2. Yüksək dəqiqliyə malik qurğulardan istifadə olunaraq, Azərbaycanın Culfa, Qax, Qəbələ rayonlarının geotermal enerji resurslarının kimyəvi strukturunun müasir təhlili verilmişdir.
3. İlk dəfə olaraq, $T=(278,15\div 413,15)$ K temperaturlarda və $0,1\div 100$ MPa təzyiqlərdə Azərbaycanın Culfa, Qax, Qəbələ rayonlarının geotermal enerji resurslarının təcrübi qiymətlərinin (p, ρ, T) asılılıqları alınmışdır.
4. İlk dəfə olaraq, $T=(283,15\div 323,15)$ K temperaturlarda və $p=0,101\div 40$ MPa təzyiqlərdə Azərbaycanın Culfa, Qax, Qəbələ rayonlarının geotermal enerji resurslarının buxar təzyiqlərinin təcrübi qiymətləri alınmışdır.
5. İlk dəfə olaraq, $T=(278,15\div 343,15)$ K temperaturlarda və $p=0,101\div 40$ MPa təzyiqlərdə Azərbaycanın Culfa, Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal enerji resurslarının kinematik özlülüklərinin təcrübi qiymətləri alınmışdır.
6. Tədqiq olunmuş geotermal enerji resurslarının (p, ρ, T) asılılıqlarının, atmosfer təzyiqində sıxlığının, buxar təzyiqinin və özlülüyünün təsviri üçün tənliklər verilmişdir.

Dissertasiyanın əsas məzmunu növbəti işlərdə dərc edilmişdir:

1. Ahmadov A.İ., Safarov J.T., Bashirov M.M., Hassel E. Thermophysical properties of geothermal water resources of Gabala region of Azerbaijan/AzTU, Bərpa Olunan enerji mənbələrindən istifadə olunma problemləri və perspektivləri Beynəlxalq Elmi-texniki Konfransının materialları. 29-30 noyabr, Bakı, 2012, s.52.
2. Ahmadov.A.İ., Safarov J.T., Bashirov M.M, Shahverdiyev A.N., 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, p.36.

3. Əhmədov.A.İ., Bəşirov.M.M., Qax və Qəbələ rayonlarının geothermal sularının istilik-fiziki xassələri / Qafqaz Universiteti, Azərbaycan xalqının Umummilli Lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 90 illiyinə həsr edilmiş Gənc Tədqiqatçıların I Beynəlxalq Konfransı, 25-26 aprel, 2013, Bakı, s.247.
4. Əhmədov A.İ., Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal sularının kimyəvi analizi / AzTU, Heydər Əliyev və Azərbaycan təhsili Respublika elmi konfransının materialları, 7-8 may, 2013, Bakı, s.288-291.
5. Ahmadov A.İ., Safarov. J.T., Bashirov. M.M., Hassel E. Density of Ilisu geothermal water resources of Gakh region of Azerbaijan / Ondokuz mayıs Üniversitesi Ulusal İsi Bilimi ve Teknigi kongresi, Samsun 09-12 eylül 2013, p.210.
6. Əhmədov A.İ., Azərbaycanın Qax və Qəbələ rayonlarının geotermal sularının kimyəvi analizi // AzTU, Elmi Əsərlər, cild 1, №4, 2013, Bakı, s.125-129.
7. Əhmədov A.İ., Səfərov C.T., Bəşirov M.M., Hassel E. Azərbaycanın Qax və Qəbələ rayonlarının termal sularının özlülüyünün tədqiqi // Qafqaz Uni-versiteti Jurnalı, Bakı, 2014, cild 2, № 1, s.47-53.
8. Əhmədov A.İ., Səfərov C.T., Bəşirov M.M., Hassel E., Azərbaycanın Qax və Qəbələ rayonlarının termal sularının sıxlığının və səs sürətinin tədqiqi // AzTU, Elmi Əsərlər, cild 1, №1, 2014, Bakı, s.110-116.
9. А.И. Ахмедов , Дж.Т.Сафаров, М.М.Баширов, Э.Хассель. Давление насыщенных паров термальных вод Гахского и Габалинского районов Азербайджана // АМЕА, Fizika və Astronomiya jurnalı, cild 34, №5, 2014, Bakı, səh. 109 - 113.
10. А.И.Ахмедов., Дж.Т.Сафаров, А.Клинов, М.М.Баширов, Э.Хассель Экспериментальне исследования плотности геотермальных вод Гахского района Азербайджана в широком диапазоне давлений и температур // Вестник Казанского Технологического Университета, Т. 18, №3, 2015, с.210-215.
11. Əhmədov A.İ., Səfərov C.T., Bəşirov M.M., Azərbaycanın termal sularının istilik tutumunun tədqiqi // АМЕА, Fizika və Astronomiya institutu, cild 35, №2, 2015, Bakı, s. 125 -130 .
12. Əhmədov A.İ., Səfərov C.T., Bəşirov M.M., Hassel.E. Thermophysical properties of north-west Azerbaijan geothermal waters / AzTU, Thermo-physical and mechanical properties of advanced materials, 2015, Bakı, p.62

13. Əhmədov A.İ., Səfərov C.T., Bəşirov M.M., Darıdağ termal suyunun istilik-fiziki xassələri // AzTU, Elmi Əsərlər, Bakı, 2015, cild 2, №2, səh.34 -39 .

Dərc olunmuş işlərdə A.İ.Əhmədovun töhfələri aşağıdakılardır:

- [4,6] iş sərbəst yerinə yetirilmişdir.
- [1] məsələnin qoyuluşu, təcrübənin aparılması, nəticələrin təhlili.
- [2,3,5,7,8,11] alınan nəticələrin təhlili.
- [9,10,12,13] təcrübədən alınan nəticələrin təhlili, termiki əmsalların hesablanması.

Исследование теплофизических свойств геотермальных вод Гахского, Габалинского и Джулфинского районов Азербайджана

РЕЗЮМЕ

Диссертация посвящена исследованию теплофизических свойств геотермальных водных ресурсов Джулфинского, Гахского и Габалинского районов Азербайджана. Они являются потенциальными ресурсами для использования их в системах горячей воды, санаториях и в медицинских целях.

Цель работы является получения точных экспериментальных данных (p, ρ, T) зависимости, скорости звука, вязкости и давления паров исследующих веществ в интервале температур $T=(278.15\div 343.15)$ К и давлениях $P=(0.101\div 40)$ МПа.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и дополнений.

В введении дана актуальность диссертации, цель исследования, научная новизна и практическая ценность.

В первой главе речь идет об истории геотермальных ресурсов, применении их в различных областях, развитии геотермальных водных ресурсов в лечении, разработке этих работ в Азербайджане.

Во второй главе представлены конструкция и принцип работы установки, которая использована для измерений.

Тарировочные опыты были проведены с целью проверки работоспособности установки и были вычислены погрешности полученных результатов. Химические составы образцов были проанализированы в IRIS Intrepid II и в спектрометре оптического излучения (СОИ). Измерения (p, ρ, T) были выполнены с использованием новой смоделированной вибрирующей трубки денсиметра DMA НРМ высокого давления, высокой температуры. Измерения давления пара были выполнены с использованием статического метода. Измерения вязкости были выполнены с использованием полностью автоматического вискозиметра Stabinger SVM 3500.

В третьей главе обработаны результаты экспериментов при высоких параметрах состояния.

Четвертая глава посвящена анализу уравнения состояния жидкостей. Приведены эмпирические уравнения для плотности геотермальных ресурсов в зависимости от давления и температуры.

Physical cases of geothermal heat energy resources of Gabala, Gax and Culfa regions of Azerbaijan

SUMMARY

The dissertation is dedicated to the experimental investigation of the thermophysical properties of geothermal water resources of Julfa, Qach, Qabala region of Azerbaijan. These resources are the potential candidates for the application of them in hot water systems, Sanatoriums and for medical purpose.

The main purpose of this research is to investigate (p, ρ, T) dependence, speed of sound, viscosity, vapor pressure at temperatures $T=(278.15 \div 373.15)$ K and pressures $p=(0.101 \div 40)$ MPa.

In introduction the estimation of an urgency of the dissertation, the purpose of research, scientific novelty and practical value is given.

In the first part the history of geothermal resources, application of them in various branches. Developing of geothermal power stations, using of geothermal water resources in medicine, developing of these works in Azerbaijan.

In the second part the working principle and a design of different installation which used for the measurements were presented. The test measurements were carried out for the checking of working ability of these installation and calculate the uncertainty of obtained results. The chemical compounds of samples were analyzed in the IRIS Intrepid II optical emission spectrometer (OES). The (p, ρ, T) measurements were carried out using a new modernized high-pressure-high-temperature vibrating tube densimeter DMA HPM. The vapour pressure measurements were carried out using the static method. The viscosity measurements were carried out using the Stabinger SVM 3000 full automatic viscometer.

In the third part the experimental result of the studied solution at high state parameters.

The fourth part is dedicated to the analysis of equation of state of liquids. An empirical correlation for the density of the geothermal resources as a function of pressure and temperature has been developed. The equation was used to calculate other volumetric properties such as isothermal compressibility, isobaric and isochoric heat capacities. The graphical description of thermal properties these solutions, also fitting of obtained result using the various equations of state were carried out.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

АЗЕРБАЙДЖАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

АНАР ИБАТ оглы АХМЕДОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
ГАБАЛИНСКОГО, ГАХСКОГО И ДЖУЛЬФИНСКОГО РАЙ-
ОНА АЗЕРБАЙДЖАНА**

3343.01 - "Теоретических основы теплотехники"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**диссертации на соискание ученой степени
доктора философии по технике**

БАКУ - 2017