

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI TƏHSİL NAZİRLİYİ
AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNİVERSİTETİ

Əlyazması hüququnda

ESMİRA ADİL QIZI MƏMMƏDOVA

AZƏRBAYCANIN AĞCABƏDİ, MASALLI, ŞABRAN
REGIONLARININ GEOTERMAL VƏ MINERAL SULARININ
İSTİLİK-FİZİKİ XASSƏLƏRİ

İxtisas 3343.01– İstilik texnikasının nəzəri əsasları

texnika üzrə fəlsəfə doktoru
alimlik dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

BAKİ – 2016

Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetinin “İstilik və soyuqluq texnikası” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: texnika elmlər doktoru,
professor **A.N.ŞAHVERDİYEV**

Rəsmi opponentlər: texnika elmlər doktoru,
professor **S.O.HÜSEYNOV**

texnika elmlər doktoru,
professor **C.Y.NAZİYEV**

Aparıcı təşkilat: **Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış Energetika İnstitutu**

Dissertasiya işinin müdafiəsi «17» fevral 2016-cı ildə saat 11⁰⁰-da Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən D.02.031 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: Az 1073, Bakı şəhəri, Hüseyn Cavid prospekti, 25.

Dissertasiya işi ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat «__»_____ 2016-cı 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**

E.B.GÖZƏLOV

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı: Alternativ enerji mənbələrindən istifadə olunmaqla əhalinin və iqtisadiyyatın enerjiyə olan tələbatının ödənilməsi inkişaf etmiş ölkələrdə geniş vüsət tapmışdır. Buna səbəb enerji istehsalında ekoloji təmizliyin qorunması, ətraf mühitə atılan zəhərli maddələrin azaldılması, karbohidrogen ehtiyatlarından səmərəli istifadə olunmanın təminatıdır.

Texnikanın və texnologiyanın müasir səviyyəsində alternativ enerji mənbələrindən istifadənin iqtisadi göstəriciləri ənənəvi enerji mənbələrindən istifadənin iqtisadi göstəricilərinə nisbətən baha başa gəlir.

Alternativ enerji mənbələrindən istifadənin iqtisadi cəhətdən sərfəli olmasını təmin etmək məqsədilə Birləşmiş Millətlər Təşkilatı, Avropa Birliyi və bir sıra beynəlxalq qurumlar olduqca vacib qərarlar qəbul etmişlər. İnkişaf etmiş ölkələrin bir çoxunda alternativ enerji mənbələrindən istifadəni stimullaşdıran qanun və qərarlar qəbul olunmuşdur.

Deyilənləri nəzərə alaraq və beynəlxalq təcrübəyə əsaslanaraq Azərbaycanda da alternativ enerji mənbələrindən istifadəni genişləndirmək məqsədilə xeyli işlər görülmüşdür.

Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, Alternativ enerji mənbələrindən istifadə yönündə Azərbaycanın geniş potensial imkanları vardır:

- Azərbaycan Respublikasının hər m^2 ərazisinə il ərzində orta hesabla 1900-2200 kVt·s ekvivalent günəş enerjisi düşür. Bu göstərici üzrə Azərbaycan bir çox ölkələrdən irəlidədir.

- Ölkəmiz gün ərzində 40-100 S° temperatura malik 172 mln. m^3 geotermal suyun enerjisindən istifadə etmək imkanına malikdir.

- Təkcə Abşeron yarımadasında külək enerjisi hesabına il ərzində 4-4,5 mlrd. kVts elektrik enerjisi istehsal etmək mümkündür. Külək elektrik stansiyalarının ümumi potensialını 1800 MVt-a çatdırmaq mümkündür. Bu isə 3000-dən çox külək enerjisi qurğusunun tikintisi deməkdir.

- Azərbaycanda kiçik çaylar və suvarma kanalları üzərində az gücə malik 173 ədəd elektrik stansiyası tikmək mümkündür. Bu az gücə malik elektrik stansiyaları hesabına ildə 3,2 mlrd. kVts elektrik enerjisi istehsal etmək mümkündür.

Aparılan tədqiqatlar və beynəlxalq təcrübə göstərir ki, elm, texnika və texnologiyanın müasir səviyyəsində məlum alternativ enerji mənbələrindən iqtisadi cəhətdən səmərəli şəkildə istifadəyə yararlısı ilk növbədə külək və kiçik su elektrik stansiyaları hesab oluna bilər. Hesabatlar göstərir ki, yalnız bu mənbələr hesabına hər il 3-4 mlrd. kVt-s elektrik enerjisi istehlak etmək mümkündür.

Günəş enerjisi texnikanın müasir səviyyəsində yaşayış və inzibati binaların qızdırılmasında, kənd təsərrüfatı məhsullarının yetişdirilməsi (istixanaların qızdırılması) və onların emalında (qurudulması) iqtisadi cəhətdən səmərəli hesab oluna bilər.

Geotermal suların və biokütlənin enerjisindən lokal miqyasda istifadə etmək mümkündür.

Azərbaycanda alternativ enerji mənbələrindən istifadə sahəsində görülmüş işləri sistemləşdirmək və dünya təcrübəsindən istifadə edərək bu işi daha da genişləndirmək məqsədilə ölkə prezidenti tərəfindən 2003-cü il 24 noyabr tarixində 4 sayılı Fərman imzalanmışdır. Fərmana müvafiq olaraq AMEA-ya, İqtisadi İnkişaf, Yanacaq və Energetika, həmçinin Ekologiya və Təbii Sərvətlər Nazirliklərinə Azərbaycanda beynəlxalq təcrübəyə əsaslanaraq alternativ enerji mənbələrindən istifadənin perspektivləri barədə sənədin hazırlanması tapşırılmışdır.

Bu sahədəki dünya təcrübəsindən istifadə etmək üçün Azərbaycan Respublikası 10 iyun 2009-cu il tarixində yeni yaradılmış Beynəlxalq Bərpa olunan Enerji Agentliyinə qoşulmuşdur. Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 2009-cu il 10 noyabr tarixli 182 sayılı fərmanı ilə 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.

Bu imkanların reallaşması məqsədilə ölkəmizdə toplanmış təcrübənin inkişaf etmiş ölkələrin təcrübəsi ilə birlikdə öyrənilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Tədqiqat obyektı: Ağcabədi, Masallı, Şabran rayonlarının 4 geotermal enerji mənbəyi (Ağcabədi, İstisu, Ərkivan Seyfəddin, Qalaaltı) seçilmişdir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri: Dissertasiya işinin məqsədi Azərbaycanda geotermal enerji mənbələrinin, geotermal energetika stansiyalarının perspektivlərinin, geotermal enerji mənbələrinin istifadə perspektivlərinin təhlilindən və Azərbaycanın geotermal mənbələrinin istilik-fiziki xassələrinin tədqiqindən ibarətdir.

Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün dissertasiya işində aşağıdakı məsələlər formalaşdırılmış və həll edilmişdir:

1. Ağcabədi, Masallı, Şabran rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin (Ağcabədi, İstisu, Ərkivan Seyfəddin, Qalaaltı) kimyəvi strukturunun təhlili;

2. Ağcabədi, Masallı, Şabran rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin (p, ρ, T) asılılığının, səs sürətinin, buxar təzyiqinin və özlülüyünün təcrübi tədqiqi;

3. Ağcabədi, Masallı, Şabran rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin (p, ρ, T) asılılığının, səs sürətinin, buxar təzyiqinin və özlülüyünün analitik təsviri üçün tənliklərin işlənilməsi;

4. Ağcabədi, Masallı, Şabran rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin termiki xassələrinin (izotermik sıxılma əmsalı, izobarik termiki genişlənmə əmsalı, izobar və izoxor xüsusi istilik tutumlarının fərqi, təzyiqin termiki əmsalı, daxili təzyiq) hesablanması və GeoTES-in effektivlik əmsalının təyini.

Elmi yeniliklər:

1. Ağcabədi, Masallı, Şabran rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin istifadə perspektivləri ətraflı təhlil olunmuşdur.
2. İlk dəfə olaraq $T=(278,15\div 373,15)$ K temperaturlarda və $p=(0,101\div 40)$ MPa təzyiqlərdə Ağcabədi, Masallı, Şabran rayonlarının (Ağcabədi, İstisu, Ərkivan Seyfəddin, Qalaaltı) geotermal enerji mənbələrinin (p, ρ, T) asılılığının və səs sürətinin təcrübi məlumatları alınmışdır.
3. $T=(278,15\div 373,15)$ K temperaturlarda və $p=(0,101\div 40)$ MPa təzyiqlərdə Ağcabədi, Masallı, Şabran rayonlarının (Ağcabədi, İstisu,

Ərkivan Seyfəddin, Qalaaltı) geotermal enerji mənbələrinin buxar təzyiqinin təcrübi məlumatları alınmışdır.

4. $T=(278,15\div 373,15)$ K temperaturlarda və $p=(0,101\div 40)$ MPa təzyiqlərdə Ağcabədi, Masallı, Şabran rayonlarının (Ağcabədi, İstisu, Ərkivan Seyfəddin, Qalaaltı) geotermal enerji mənbələrinin özlülüyünün təcrübi məlumatları alınmışdır.
5. Yüksək keyfiyyətli və dəqiq qurğulardan istifadə edilərək ilk dəfə olaraq, Ağcabədi, Masallı, Şabran rayonlarının (Ağcabədi, İstisu, Ərkivan Seyfəddin, Qalaaltı) geotermal enerji mənbələrinin kimyəvi strukturunun müasir təhlili işlənmişdir.
6. Tədqiq olunmuş geotermal enerji mənbələrinin (p,ρ,T) asılılığının, buxar təzyiqinin və özlülüyünün analitik təsviri üçün hal tənlikləri tərtib edilmişdir.
7. GeoTES-in istilik hesabı aparılmışdır.

İşin praktiki əhəmiyyəti: Ağcabədi, Masallı, Şabran rayonlarının (Ağcabədi, İstisu, Ərkivan Seyfəddin, Qalaaltı) geotermal enerji mənbələrinin $T=(278,15\div 373,15)$ K temperatur və $p=(0,101\div 40)$ MPa qədər təzyiq intervalında (p,ρ,T) asılılığının, buxar təzyiqinin və özlülüyünün təcrübi məlumatları və geotermal resurslarının kimyəvi strukturunun təhlili, alternativ enerji mənbələri kimi tikilməli olacaq geotermal elektrostansiyalar üçün perspektiv kimi müəyyən olunmuşdur.

İşin nəticələrinin tətbiqi: Dissertasiyanın əsas nəticələri Geolmlər üçün Alman Elmi Mərkəzində (Potsdam Helmholtz mərkəzi, Almaniya), “ELDAR” Nəticələr Bazasında (Regensburg, Almaniya) və Dortmund Nəticələr Bazasında (Oldenburg, Almaniya) tətbiq olunmaq üçün qəbul olunmuşdur.

İşin probasiyası: Dissertasiyanın əsas nəticələri dünyanın müxtəlif konfrans, simposium və kolloquiumlarında müzakirə edilmişdir: Almaniya Mühəndislər cəmiyyətinin (VDI) "Termodinamika kolloquiumu"ları (Bayreut, 2010 və Frankfurt/Main, 2011), Avropa Geolmlər Birliyi Baş Assambleyası (Vyana, 2011, Avstriya), 25-ci Beynəlxalq Milli Kimya Konqresi (Ərzurum, 2011, Türkiyə), 19-cu İstilik-fiziki xassələr üzrə Avropa Konqresi (Saloniki, 2011, Yunanistan), XVIII Beynəlxalq İstilik-Fiziki Xassələr konfransı (Kolorado, 2012, ABŞ), “Bərpa Olunan Enerji Mənbələrindən İstifadə Problemləri və Perspektivləri”

tiyləri” beynəlxalq konfrans (Bakı, 2012, Azərbaycan), Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XVII Respublika Elmi Konfransı (Bakı, 2012, Azərbaycan), THERMAM 2015. Perspektiv materialların istilik-fiziki və mexaniki xassələri üzrə beynəlxalq konfrans (Bakı, 2015, Azərbaycan).

Çap olunmuş məqalələr: Dissertasiyanın mövzusu üzrə 15 elmi məqalə, o cümlədən 9 tezis-məruzə müxtəlif xarici və Respublika elmi jurnallarında dərc olunmuşdur.

İşin həcmi: Dissertasiya işi giriş, dörd fəsil (39 şəkil, 16 cədvəl), nəticə, istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısı və əlavələrdən ibarət olmaqla 185 səhifəlik kompüter mətnində şərh olunmuşdur.

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Ağcabədi, Masallı, Şabran rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin kimyəvi strukturunun təhlil olunması;
2. Ağcabədi, Masallı, Şabran rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin (p, ρ, T) asılılığının, buxar təzyiqinin və özlülüyünün təcrübi tədqiq olunması;
3. Ağcabədi, Masallı, Şabran rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin (p, ρ, T) asılılığının, buxar təzyiqinin və özlülüyünün analitik təsviri üçün hal tənliyinin işlənilməsi;
4. Ağcabədi, Masallı, Şabran rayonlarının geotermal enerji mənbələrinin termiki xassələrinin (izotermik sıxılma əmsalı, izobarik termiki genişlənmə əmsalı, izobar və izoxor xüsusi istilik tutumlarının fərqi, təzyiqin termiki əmsalı, daxili təzyiq) hesablanması.
5. Alınan nəticələr əsasında Geo TES-in istilik hesabı.

İşin məzmunu:

Girişdə dissertasiya mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, işin məqsədi və müdafiyyə çıxarılan müddəalar müəyyən edilmişdir. Həmçinin dissertasiyanın elmi yenilikləri, praktiki əhəmiyyəti və alınmış nəticələrin tətbiqi verilmişdir.

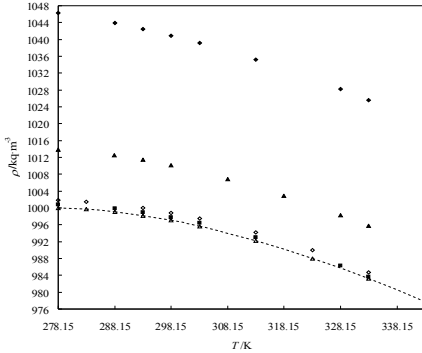
Birinci fəsilə geotermal və mineral sular, onların təsnifatı və Azərbaycanda mümkün tətbiq sahələri haqqında, geotermal elektrik stansiyaları (1 və 2 konturlu), quruluşu və iş prinsipi, buxar turbinli geotermal və turbokompressorlu enerji qurğuları, Azərbaycanın geotermal və mineral sularının icmalı, onların müxtəlif xəstəliklərin müalicə

mənbəyi kimi elmi tədqiqatlarının ədəbiyyat üzrə təhlili, Azərbaycanın Ağcabədi, Masallı, Şabran regionlarının geotermal və mineral sularının istifadə edilməsinin prinsipləri əsaslandırılmışdır.

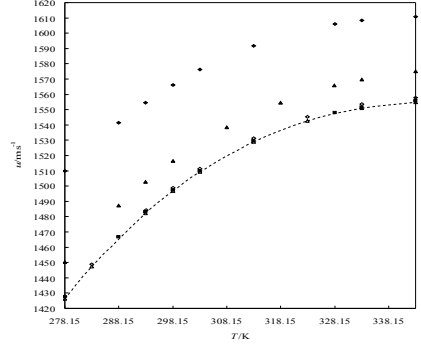
İkinci fəsildə Azərbaycanın Ağcabədi, Masallı, Şabran regionlarının geotermal və mineral sularının istilik-fiziki xassələrinin təcrübi tədqiqinin yerinə yetirilməsi üçün adı çəkilən geotermal və mineral suların (p, ρ, T) asılılığının təcrübi analizi verilmişdir. Mayelərin (p, ρ, T) asılılığının mövcud tədqiq metodları ətraflı verilmiş və bu analizlərin təcrübi tədqiqi üçün vibrasiyalı borulu densimetr qurğusundan istifadə edilmişdir. Həmçinin mayelərin sıxlığının atmosfer təzyiqində tədqiqi üçün DSA 5000 M və DMA 4500 densimetrlərindən istifadə olunmuşdur. Azərbaycanın Ağcabədi, Masallı, Şabran regionlarının geotermal və mineral sularının kimyəvi tərkibi IRIS Intrepid II Optical Emission Spectrometer induktiv-əlaqə plazmalı atomlu-emissiyalı spektrometrdə və DX-100 anion xromatoqrafında, özlülüyü SVM 3000 Ştabinger viskozimetri vasitəsilə ölçülmüşdür.

Üçüncü fəsildə təcrübələrdən alınmış nəticələr və onların təhlili verilmişdir. Azərbaycanın Ağcabədi, Masallı, Şabran regionlarının geotermal və mineral sularının (p, ρ, T) asılılıqları ölçülmüşdür. Alınmış təcrübi göstəricilər cədvəl şəklində verilmişdir. Təzyiqin 0,1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 və 40 MPa qiymətlərində p - ρ koordinatlarında izotermləri qurulmuşdur. Eyni zamanda tədqiq olunmuş geotermal və mineral suların atmosfer təzyiqində sıxlığı və səs sürəti dissertasiyada cədvəl və qrafik şəklində verilmişdir. Alınmış nəticələr təmiz suyun sıxlığı və səs sürəti ilə müqayisə olunmuşdur. Şəkil 1 və 2-də Ağcabədi, Masallı, Şabran regionlarının geotermal və mineral sularının atmosfer təzyiqində səs sürətinin $u/m \cdot s^{-1}$, sıxlığının $\rho/kq \cdot m^{-3}$ temperaturdan T/K asılılığı göstərilmişdir. Tədqiq olunmuş geotermal və mineral suların doymuş buxarlarının təzyiqi P/Pa izoxor metodla çalışan iki müxtəlif avtomatik qurğu vasitəsi ilə $T=(274.15 - 413.15)$ K temperatur intervalında aparılmışdır:

- $T=(274.15 - 323.15)$ K temperatur intervalında mütləq və diferensial statik metod qurğusu.
- $T=(323.15 - 413.15)$ K temperatur intervalında mütləq və diferensial statik metod qurğusu.



Şəkil 1: Azərbaycanın Ağcabədi, Masallı, Şabran regionlarının geotermal və mineral sularının atmosfer təzyiqində sıxlığının $\rho/\text{kq}\cdot\text{m}^{-3}$ temperaturdan T/K asılılığı: ◆, Ağcabədi; ▲, Masallı - İstisu; ◇, Masallı–Seyfəddin, ■, Qalaaltı, △, IAPWS-95 standartlı təmiz su.



Şəkil 2: Azərbaycanın Ağcabədi, Masallı, Şabran regionlarının geotermal və mineral sularının atmosfer təzyiqində səs sürətinin $u/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ temperaturdan T/K asılılığı: ◆, Ağcabədi; ▲, Masallı - İstisu; ◇, Masallı – Seyfəddin, ■, Qalaaltı, △, IAPWS-95 standartlı təmiz su.

Tədqiq olunmuş geotermal və mineral suların dinamik özlülüyü SVM3000 Ştabinger qurğusunda ölçülmüşdür.

Şəkil 3 və 4-də Azərbaycanın Ağcabədi, Masallı, Şabran regionlarının geotermal və mineral sularının doymuş buxarlarının təzyiqinin (P) və özlülüyünün temperaturdan asılılığı göstərilmişdir.

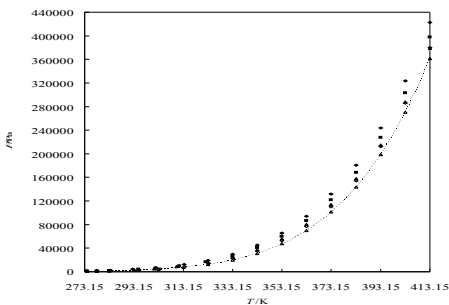
Dördüncü fəsil eksperimental nəticələrin təhlilinə, analitik təsvirinə və öyrənilmiş sıxlıq üzrə ümumiləşdirilməsinə həsr edilmişdir. A.İ.Baçinski müəyyən etmişdir ki, nisbətən kiçik sıxılımlarda repulsiv təzyiqin birinci həddi p/V^2 özünü büruzə verir və yalnız bundan sonra 2000-3000 kq/sm^2 və daha yüksək təzyiqlərdə ikinci həddə $1/V^7$ müqayisədə kiçik alınır.

$$p + K = \frac{L}{V^7} \quad (1)$$

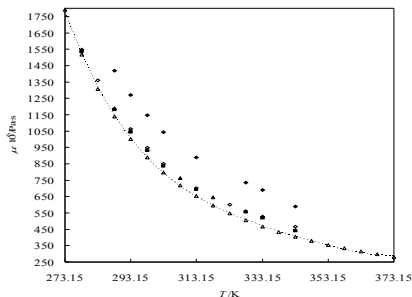
lazım olduğu dolğunluqla təhlil olunmamış qalır.

A.İ.Baçinski çox sıxılmış mayelərin onun tərəfindən təklif olunmuş hal tənliyinin əsaslandırılması üçün Bricmenin tədqiq etdiyi bütün mayelər üçün yuxarıda izah olunmuş hesablamaları yerinə yetirməyi

zəruri hesab etmişdir (o, bunu, Bricmenin tədqiq etdiyi mayelərin yalnız 1/3-i – bromlu etil, dietil efiri, etil spirti, metil spirti, propil spirti və natamam halda amil spirti, aseton və su üçün edə bilmişdir). Bu hesablamaları daha yüksək temperatur oblastlarında, bütün birbaşa və ya dolayısı ilə toplanılmış təcrübi verilənlərə görə tamamlamaq üçün yalnız bu yol ilə K və L temperatur funksiyalarını elə dəqiqləşdirmək olar ki, (1) tənliyini kritikə yaxın temperatura ekstropolyasiya etmək olsun.



Şəkil 3. Azərbaycanın Ağcabədi, Masallı, Şabran regionlarının geotermal və mineral sularının doymuş buxarlarının təzyiqinin (P) temperaturdan T/K asılılığı: ◆, Ağcabədi; ▲, Masallı-İstisu; ◇, Masallı – Seyfəddin, ■, Qalaaltı, △, IAPWS-95 standartlı təmiz su.



Şəkil 4. Azərbaycanın Ağcabədi, Masallı, Şabran regionlarının geotermal və mineral sularının atmosfer təzyiqində özlülüyünün $\mu \cdot 10^6 / \text{Pa}$ temperaturdan T/K asılılığı: ◆, Ağcabədi; ▲, Masallı - İstisu; ◇, Masallı – Seyfəddin, ■, Qalaaltı, △, IAPWS-95 standartlı təmiz su.

Bu isə, (1) tənliyini verilmiş parametrlərdə vermək üçün və beləliklə, ayrı-ayrı mayelər üçün K və L kəmiyyətlərini rəşional şəkildə ifadə etmək və nəticədə onların mayenin kimyəvi quruluşundan asılılığını aydınlaşdırmaq üçün zəruridir.

Baçinski tənliyi əsasında Axundov T.S. və İmanov Ş.Y. aşağıdakı hal tənliyini təklif etmişlər:

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

burada: p – təcrübi təzyiq, v – xüsusi həcm, A və B – temperaturdan asılı olan əmsallardır.

Müəlliflər təcrübi verilənlərin təsvirolunma xətasını 0,1%-dən az olmaqla (2) hal tənliyinin köməyi ilə qiymətləndirmişlər.

(2) hal tənliyi (p, ρ, T) təcrübi verilənlərini yaxşı təsvir edir və bu tənliyin köməyi ilə bir çox termiki parametrləri hesablamaq olar. Yeni forma halında Baçinski tənliyində K simvolu A əmsalı ilə, L simvolu B ilə əvəz edilmişdir. 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, yazılma intervalı yüksək temperaturlardan əhəmiyyətli dərəcədə artır. Beləliklə, (2) hal tənliyinin modifikasiya olunmuş növündən istifadə edilmişdir və yeni tənlik aşağıdakı formamı almışdır:

$$p = A(T)\rho^2 + B(T)\rho^8 + C(T)\rho^{12}. \quad (3)$$

Burada: $A(T)$, $B(T)$ və $C(T)$ əmsalları polinomial formada temperaturdan asılıdırlar:

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

Azərbaycanın Ağcabədi, Şabran, Masallı rayonlarının tədqiq olunmuş geotermal və mineral sularının təcrübi nəticələrinin yazılması üçün istifadə olunmuş hal tənliyinin a_i , b_i və c_i əmsallarının qiymətləri, (p, ρ, T) təcrübi qiymətlərinin təsvirolunma xətası (Şəkil 5, 6) cədvəl və şəkil şəklində dissertasiyada verilmişdir.

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

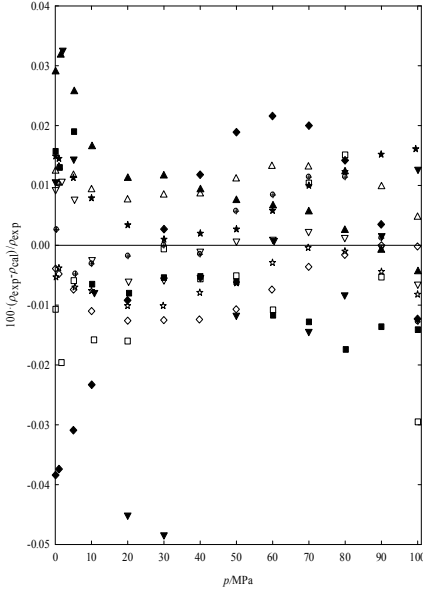
Termiki xassələr aşağıdakı düsturlarla hesablanır:

a) izotermik sıxılma əmsalı κ_T/MPa^{-1} , sabit temperaturda həcm V dəyişməsinin təzyiqin dəyişməsindən asılılığını xarakterizə edir:

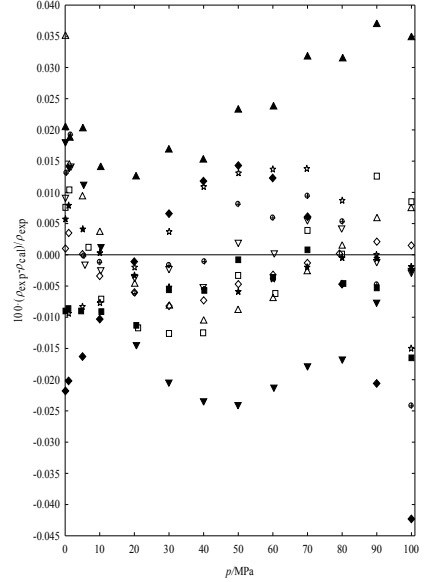
$$\kappa_T = (1/\rho)(\partial p/\partial \rho)_T^{-1}. \quad (5)$$

(5) tənliyindən istifadə edərək (3-4) hal tənliklərindən izotermik sıxılma əmsalının κ_T/MPa^{-1} hesablanması üçün aşağıdakı tənliyi almaq olar:

$$\kappa_T = 1/[2A(T)\rho^2 + 8B(T)\rho^8 + 12C(T)\rho^{12}]. \quad (6)$$



Şəkil 5: Azərbaycanın Ağcabədi rayonu ərazisində termal suyun təcrübə yolu ilə ölçülmüş sıxlığının ρ_{exp} hal tənliyinin köməyi ilə hesablanmış sıxlığından ρ_{cal} fərqinin təzyiqdən p asılılığı: ◆, 274.15 K; ■, 278.16 K; ▲, 283.15 K; ▼, 293.12 K; ★, 298.15 K; ◇, 313.13 K; □, 333.13 K; △, 353.15 K; ▽, 373.10 K; ☆, 393.15 K; ⊕, 413.41 K.



Şəkil 6: Azərbaycanın Masallı rayonu İstisu termal suyunun təcrübə yolu ilə ölçülmüş sıxlığının ρ_{exp} hal tənliyinin köməyi ilə hesablanmış sıxlığından ρ_{cal} fərqinin təzyiqdən p asılılığı: ◆, 274.15 K; ■, 278.00 K; ▲, 283.19 K; ▼, 293.21 K; ★, 298.15 K; ◇, 313.15 K; □, 332.93 K; △, 353.15 K; ▽, 372.91 K; ☆, 393.15 K; ⊕, 413.18 K.

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

$$\alpha_p = (1/\rho)(\partial p/\partial T)_\rho (\partial p/\partial \rho)_T^{-1}. \quad (7)$$

(7)-dən istifadə edərək, (3-4) hal tənliklərindən izobarik sıxılma əmsalının α/K^{-1} hesablanması üçün aşağıdakı tənliyi almaq olar:

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

Burada, A' , B' və C' təyin olunan hal tənliyinin A , B və C əmsallarının törəməsidir:

$$A(T) = \sum_{i=1}^4 a_i T^i, \quad B(T) = \sum_{i=0}^3 b_i T^i, \quad C(T) = \sum_{i=0}^3 c_i T^i. \quad (9)$$

c) izobar və izoxar xüsusi istilik tutumlarının fərqi $(c_p - c_v)/C \cdot \text{Kq}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$:

$$c_p = c_v + T \frac{(\partial p/\partial T)_\rho^2}{\rho^2 (\partial p/\partial \rho)_T}. \quad (10)$$

Belə ki, $c_v/C \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ sabit həcmində istilik tutumunun ölçülməsi çətindir. Digər tərəfdən $c_p/C \cdot \text{Kq}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ sabit təzyiqində istilik tutumunun ölçülməsi çətin deyil. Buna görə də izobarik və izoxarik xüsusi istilik tutumlarının fərqi $(c_p - c_v)/C \cdot \text{Kq}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ hesablanmasını $c_v/C \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ sabit həcmində istilik tutumunun təyini üçün həmişə istifadə etmək olar. (10) tənliyini istifadə edərək (3-4) hal tənliklərindən izobarik və izoxarik xüsusi istilik tutumlarının fərqi $(c_p - c_v)/C \cdot \text{Kq}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ hesablanması üçün aşağıdakı tənliyi alırıq:

$$c_p - c_v = \frac{\alpha_p^2 T}{\rho \kappa_T}. \quad (11)$$

d) təzyiğin termiki əmsalı $\gamma/\text{MPa} \cdot \text{K}^{-1}$, izobarik termiki genişlənmə əmsalının α_p/K^{-1} izotermik sıxılma əmsalına κ_T/MPa^{-1} nisbətidir:

$$\gamma = \frac{\alpha_p}{\kappa_T}. \quad (12)$$

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

$p_{\text{int}}/\text{MPa}$ təzyiqin istilik əmsalı ilə əlaqəlidir və aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$p_{\text{int}} = \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V - p = T\gamma - p = \frac{T\alpha_p}{k_T} - p \quad (13)$$

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

$$u = \sum_{i=0}^3 b_i T^i, \quad (14)$$

Təcrübi nəticələrini 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 dəqiqliyinin bir daha təsdiqi olar. α_p sabit təzyiqdə həcmnin dəyişməsinin temperaturun dəyişməsindən asılılığını təyin edir:

$$\alpha_p = \frac{1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p, \quad (15)$$

Termal suların sıxlığı və səs sürəti ölçüldükdən sonra (16) tənliyi vasitəsilə suyun adiabatik sıxılma əmsalını κ_s/MPa^{-1} hesablamaq mümkündür:

$$\kappa_s = \frac{1}{\rho \cdot u^2}, \quad (16)$$

Termal suların dinamik özlülüyünün $\mu \cdot 10^6/\text{Pa}\cdot\text{s}$ temperaturdan T/K asılılığı loqarifmik tənlik vasitəsilə yazılmışdır:

$$\ln(\mu) = \sum_{i=0}^2 \frac{c_i}{(T - 43.15)^i}, \quad (17)$$

Termal suların doymuş buxarlarının təzyiqləri P/Pa Antuan tənliyinin köməyi ilə ümumiləşdirilərək yazılmışdır:

$$\ln P = A - \frac{B}{T + C}, \quad (18)$$

Qoşulma zamanı istilikvermə əmsalının qiymətini (21) düsturu ilə hesablayırıq:

$$\varphi_p = 1 - \frac{Q_p'}{c \cdot 10^3 \cdot G_{\text{su}} \cdot (t_T - t_0)} = 1 - \frac{7.3 \cdot 10^6}{0.9 \cdot 4.19 \cdot 10^3 \cdot 103 \cdot (100 - 60)} = 0.53 \frac{\text{kKcal}}{\text{m}^3 \cdot \text{sazat} \cdot \text{K}} \quad (21)$$

Verilmiş sxem üçün geotermal istilik təchizatının effektivlik əmsalı (22) düsturu ilə hesablanır:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{geotermal}} &= (\alpha \cdot I_{i_s} \cdot z_{i_s} + \gamma \cdot I_{i_{\text{su}}} \cdot z_{i_{\text{su}}}) \cdot \xi = \\ &= (0.85 \cdot 0.46 \cdot 0.23 + 0.15 \cdot 1 \cdot 0.766) \cdot 1.6 = 0.33 \quad (22) \end{aligned}$$

NƏTİCƏLƏR

1. Geotermal enerji resurslarının dünyanın müxtəlif sahələrində tətbiqinin geniş xülasəsi, enerji alınması üçün geotermal qurğuların müxtəlif növləri verilmişdir.
2. Azərbaycanın Ağcabədi, Masallı, Şabran rayonlarının (Ağcabədi, Qalaaltı, İstisu, Ərkivan Seyfəddin) geotermal və mineral sularının istilik-fiziki xassələrinin ölçülməsi üçün yüksək hal parametrlərində maye fazada çox dəqiq ölçmələrin aparılmasına imkan verən metodikalar seçilmiş və əsaslandırılmışdır.
3. Müxtəlif temperatur və təzyiqlərdəki sıxlığın vibrasiyalı borulu densimetr metodu üzrə ölçülməsi üçün təcrübi qurğu yığılmış və sazlanmışdır. Təcrübi qurğunun iş qabiliyyətinin yoxlanılması üçün etalon maddəsi qismində su, toluol, metanolun və eyni zamanda NaCl-un sulu məhlullarının sıxlıqları hal parametrlərinin geniş intervalında tədqiq olunmuşdur.
4. Azərbaycanın Ağcabədi, Masallı, Şabran rayonlarının geotermal və mineral sularının doymuş buxarlarının müxtəlif temperaturlardakı təzyiqlərinin statik metod üzrə ölçülməsi üçün təcrübi qurğu yığılmış və sazlanmışdır. Təcrübi qurğunun iş qabiliyyətinin yoxlanılması üçün etalon maddəsi qismində suyun, toluolun, metanolun, asetonitrilin və s. buxarları temperaturun geniş intervalında tədqiq olunmuşdur.
5. İlk dəfə olaraq $T=(278,15 \div 373,15)$ K temperaturlarda və ətraf mühitdən 40 MPa-dək təzyiqlərdə Azərbaycanın Ağcabədi, Masallı,

Şabran rayonlarının geotermal və mineral sularının təcrübi verilənlərinin (p, ρ, T) asılılıqları alınmışdır.

6. $T=(288,15 \div 323,15)$ K temperaturlarda və atmosfer təzyiqində Azərbaycanın Ağcabədi, Masallı, Şabran rayonlarının geotermal və mineral sularının buxarlarının təcrübi asılılıqları alınmışdır.
7. $T=(278,15 \div 343,15)$ K temperaturlarda və atmosfer təzyiqində Azərbaycanın Ağcabədi, Masallı, Şabran rayonlarının geotermal və mineral sularının özlülüklərinin təcrübi asılılıqları alınmışdır.
8. Yüksək keyfiyyətli qurğulardan istifadə olunaraq, Azərbaycanın Ağcabədi, Masallı, Şabran rayonlarının (Ağcabədi, Qalaaltı, İstisu, Ərkivan Seyfəddin) geotermal və mineral sularının kimyəvi strukturunun müasir təhlili alınmışdır.
9. Tədqiq olunmuş geotermal enerji resurslarının (p, ρ, T) asılılıqlarının, atmosfer təzyiqində sıxlığının, buxarın təzyiqinin təsviri üçün hal tənlikləri tərtib edilmişdir.
10. Təcrübə nəticələrinin (Masallı "İstisu" geotermal suyunun nümunəsində) geotermal istilik qurğularına tətbiqi zamanı istilik hesabı verilmişdir. Geotermal istilik təchizatının effektivlik əmsalı hesablanmışdır.

Dissertasiyanın əsas hissəsi aşağıdakı əsərlərdə dərc edilmişdir:

1. Stephan M., Mammadova E., Safarov J., Nocke J., Shahverdiyev A., Hassel E. Thermophysical properties of geothermal waters of Germany and Azerbaijan, VDI "Thermodynamik-Kolloquium" und "Ingenieurdaten" 2010, Universität Bayreuth, **Germany**, <http://www.processnet.org/tdy10>
2. Stephan M., Mammadova E., Safarov J., Nocke J., Shahverdiyev A., Hassel E. Thermophysikalische Eigenschaften von geothermische Wasserquellen von Deutschland und Aserbaidschan, VDI "Thermodynamik-Kolloquium" und "Ingenieurdaten", 4./6. Oktober 2011, Frankfurt/Main, **Germany**, <http://www.processnet.org/tdy11>
3. Stephan M., Mammadova E., Schmidt H., Safarov J., Nocke J., Shahverdiyev A., Hassel E. Thermophysical Properties of Geothermal Waters of Germany and Azerbaijan, 19th European Confer-

- ence on Thermophysical Properties, 28 August-01 September 2011, Thessaloniki, **Greece**, <http://19ectp.cheng.auth.gr>
4. Kul I., Safarov J., Mammadova E., Nocke J., Shahverdiyev A., Hassel E. Thermophysical properties of geothermal water resources of Germany and Azerbaijan, 25thNational Chemistry Congress with international participation, 26 June – 02 July 2011, Erzurum, **Turkey**, <http://www.kimya2011.com/index.asp?lng=en>
 5. Safarov J., Stephan M., Mammadova E., Schmidt H., Nocke J., Shahverdiyev A., Hassel E. Thermophysical Properties of Geothermal Energy Resources of Germany and Azerbaijan, European Geosciences Union General Assembly 2011, 03 – 08 April 2011, Vienna, **Austria**, <http://meetings.copernicus.org/egu2011/home.html>
 6. Mammadova E., Stephan M., Talibov M., Sirota E., Zorer O., Safarov J., Cherunova İ., Shahverdiyev A., Hassel E. Thermophysical properties of geothermal water resources. Bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə olunma problemləri və perspektivləri Beynəlxalq Elmi-texniki Konfransının materialları. 29-30 noyabr 2012. Bakı-Azərbaycan.
 7. Məmmədova E.A. “Azərbaycanın mineral sularının tərkibi və fiziki xassələri”. Bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə olunma problemləri və perspektivləri Beynəlxalq Elmi-texniki Konfransının materialları. 29-30 noyabr 2012. Bakı-Azərbaycan.
 8. Məmmədova E.A. “Azərbaycanın mineral sularının tərkibi və fiziki xassələri” Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XVII Respublika elmi konfransı. 18-19 dekabr 2012-ci il.
 9. Hüseynov A.Q., Həsənov V.H., Qaracayev B.Q., Məmmədova E.A. “Yeni üsulla fərdi mayələrin termodinamik, kalorik və akustik kəmiyyətlərinin kompleks təyini” Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi. Azərbaycan Texniki Universiteti. Elmi əsərlər. Fundamental elmlər. Cild 2, №2. Bakı 2013.
 10. Məmmədova E.A. Azərbaycanın İstisu geotermal suyu. Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi. Azərbaycan Texniki Universiteti. Elmi əsərlər. Cild 1, №3. 2013. Vol.1

11. Şahverdiyev A.N., Məmmədova E.A. Azərbaycanın Şabran rayonu Qalaaltı termal suyunun sıxlığının təzyiqdən asılılığı. Azərbaycan Texniki Universiteti. Elmi əsərlər, cild 1, №4. 2013.
12. Şahverdiyev A.N., Cəfərov C.T., Məmmədova E.A. Ağcabədi rayonunun mineral və geotermal sularının təsnifatı. Energetikanın problemləri, 2014, cild 2, s. 58-63.
13. Маммадова Е.А. “Геотермальная энергия как источник альтернативной энергии ” Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası. Fizika İnstitutu. “Azərenerji”ASC Az.ET və Layihə-Axtarış Energetika İnstitutu. Energetikanın problemləri jurnalı. №3. Bakı. 2014.
14. Маммадова Е., Сафаров Дж., Клинов А., Шахвердиев А., Хассель Е. Теплофизические свойства геотермальных вод Масаллинского района Азербайджана при высоких давлениях и температурах, Вестник Казанского технологического университета, 2015, № 4, 109-114.
15. Esmira Mammadova, Javid Safarov, Astan Shahverdiyev, Egon Hassel “Classification of geothermal and mineral waters of Azerbaijan”. THERMAM 2015. International Conference on thermo-physical and mechanical properties of advanced materials. 17-18 September 2015, Baku, Azerbaijan.

Şəxsi töhvəsi.

- [7, 8, 10, 13] işləri sərbəst yerinə yetirilmişdir.
- [1÷6, 11, 14, 15] alman nəticələrin təhlili.
- [9, 12] texniki əmsalların hesablanması.

**Теплофизические свойства геотермальных и минеральных вод
Масаллинского, Агджабединского и Шабранского районов
Азербайджана
Резюме**

Диссертационная работа посвящена экспериментальному исследованию теплофизических свойств 4-х геотермальных источников энергии Агджабединского, Масаллинского и Шабранского районов (Агджабеди, Истису, Еркиван Сейфеддин, Галаалты).

Цель работы является получения точных экспериментальных данных (p, ρ, T) зависимости, скорости звука, вязкости и давления паров исследующих веществ в интервале температур $T=(278.15 \div 373.15)$ К и давлениях $P=(0.101 \div 40)$ МПа. Проведен анализ химических структур геотермальных источников энергии, представлены уравнения состояния (p, ρ, T) зависимости, аналитическая обработка давления паров и вязкости.

Во введении обоснована актуальность поставивших исследований, сформирована цель работы, её научная новизна и практическая ценность.

В первой главе представлен анализ существующих в Азербайджане геотермальных и минеральных вод, их перечень, принцип работы геотермальных электростанций.

Во второй главе представлены экспериментальные исследования теплофизических свойств геотермальных и минеральных вод Агджабединского, Масаллинского и Шабранского районов Азербайджана.

В третьей главе приводятся результаты экспериментальных исследований и их анализ.

Четвертая глава посвящена анализу экспериментальных результатов, аналитическому описанию и обобщению полученных результатов. Были вычислены термические свойства, также как изотермическая сжимаемость, изобарический коэффициент расширения, термический коэффициент давления, внутренняя давления. Приведены графическое описание термических свойств этих вод, также расчет основных параметров Геотермального Электростанция.

Thermal properties of geothermal and mineral waters of the Agcabedi, Masalli, Shabran districts of Azerbaijan

Summary

The dissertation dedicated on investigation of thermophysical properties of four geothermal energy sources (Aghjabadi, Istisu, Seyfeddin Erkivan, Galaalti) located in Aghjabadi, Masalli, Shabran regions of Azerbaijan.

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.

The chemical structure of the geothermal energy sources has been determined, the equation of state for the fitting of (p, ρ, T) dependence has been developed, the analytical expressions of the viscosity, vapor pressure, speed of sound have been found out with application of the most effective and qualitative device.

In **introduction** part the importance of the research has been justified, the main goals and scientific innovations, the practical significance and the application of the results have been defined.

In the **first** section the classification of geothermal and mineral waters of Azerbaijan, their application fields, the structure and work principle of geothermal electric stations have been introduced.

In the **second** part the practical research of thermophysical properties of geothermal and mineral waters located in Aghjabadi, Masalli, Shabran regions of Azerbaijan has been described.

In the **third** section the results from experiments and their analysis have been given and discussed.

In the subsequent, **fourth** section the investigation of experimental results, analytic description and summary in accordance with accepted density have been presented. The different thermal properties, such as isothermal compressibility, isobaric thermal expansion, internal pressure, and thermal pressure coefficient have been calculated. The graphic description of these types of waters, thermal properties and also report on main parameters of geothermal electric stations have been listed in the research work.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

АЗЕРБАЙДЖАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

МАМЕДОВА ЭСМИРА АДИЛ КЫЗЫ

**ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ И
МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД МАСАЛЛИНСКОГО, АГДЖАБЕДИН-
СКОГО И ШАБРАНСКОГО РЕГИОНОВ АЗЕРБАЙДЖАНА**

Специальность: 3343.01–Теоретические основы теплотехники

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

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

БАКУ – 2016