

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

**ÇOXKOMPONENTLİ ELEKTROLİT SİSTEMLƏRİNİN
SU MƏHLULLARININ YÜKSƏK TEMPERATUR VƏ
TƏZYİQLƏRDƏ İSTİLİK-FİZİKİ XASSƏLƏRİ**

İxtisas: 2003.01 - Maye, qaz və plazma mexanikası

Elm sahəsi: Texnika

İddiaçı: **Lalə Əlisəttar qızı Əzizova**

Elmlər doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

BAKİ - 2025

Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetinin “Enerji effektivliyi və yaşıl enerji texnologiyaları” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi məsləhətçi: texnika elmləri doktoru, professor
İlmutdin Maqomedoviç Abdulaqatov
Rəsmi opponətlər: texnika elmləri doktoru, professor
Məleykə Ağamoğlan qızı Məmmədova

texnika elmləri doktoru, professor
Fəqan Qənbər oğlu Əliyev

texnika elmləri doktoru, professor
Fuad Həsən oğlu Vəliyev

elmləri doktoru, professor
Farizan Rakibovich Qabitov

Azərbaycan Texniki Universiteti nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.09 Dissertasiya şurasının bazasında Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyası tərəfindən yaradılmış BED 2.09 Birdəfəlik dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

_____ texnika elmləri doktoru, professor
Ələkbər Güləhməd oğlu Hüseynov

Dissertasiya şurasının
elmi katibi:

_____ texnika elmləri namizədi, dosent
Elşən Nəcəfəli oğlu Əliyev

Elmi seminarın sədri

_____ texnika elmləri doktoru, professor,
AMEA-nın müxbir üzvü
Qeyrani Minhac oğlu Pənahov

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Problemin aktuallığı temperatur və təzyiqin geniş dəyişmə intervalında su sistemləri üçün dəqiq empirik istilik-fiziki qiymətlərin, həmçinin bu qiymətlərə əsaslanaraq, termodinamika və maye mexanikasında prosesləri təsvir etmək üçün istifadə olunan hal tənliklərinin müasir texnologiyalara olan tələbatı ilə bağlıdır.

Termodinamikada və xüsusən də hidrodinamikada bir çox həll edilməmiş məsələ var ki, bunları mayələrin termodinamik xarakteristikalarının analitik təhlilindən istifadə etməklə həll etmək mümkündür. Maye bütöv mühitin əsas mexaniki xassələri olan özlülük və sıxlıq, öz növbəsində, temperatur və təzyiqdən asılı olaraq dəyişir. Bununla əlaqədar olaraq, tədqiq olunan maddələrin mühitində istiliyin yayılma xarakteri məsələsində çətinliklər yaranır və bu, bütöv mühitin digər mühüm istilik-fiziki xassəsini – istilikkeçirməni öyrənmək üçün bir stimül yaradır. Məhlul-həlləddici, məhlul-həll olunan maddə kimi mürəkkəb mexaniki sistemlərdə baş verən proseslər, maddənin istilik-fiziki xassələri mühitin bir çox parametrlərindən asılıdır.

Hal parametrlərinin, temperaturun paylanması və qarışıqın komponentlərinin konsentrasiyalarının təsiri bütöv mühitlərdə baş verən prosesləri müəyyən etməyə və onların tam hesabatını aparmağa imkan yaradır. Termodinamik sistemlərdə baş verən proseslər temperatur, təzyiq, komponentlərin konsentrasiyası kimi makroskopik kəmiyyətlərlə təsvir olunur ki, bunlar çoxlu sayda hissəciklərdən ibarət mexaniki sistemləri təsvir etmək üçün təqdim edilir, ayrı-ayrı molekulara və atomlara, həmçinin mexanika və ya elektrodinamikada tətbiq edilən kəmiyyətlərə tətbiq edilir.

Su məhlullarının köçürmə (istilikkeçirmə, özlülük), həcmi (sıxlıq, parsial, izafi və xəyali molyar həcmələr), akustik (səs sürəti) və energetik xassələri haqqında dəqiq qiymətlər bir çox təbiət və texnoloji prosesləri dərindən başa düşmək üçün son dərəcə vacibdir. Məsələn, fotosintez prosesləri və əsas kimyəvi çöküntülər kalsium karbonat, natrium, maqnezium, dolomit, gips, haloidlər və sulfatların iştirakı ilə formalaşır. Su məhlulları yüksək temperatur və təzyiqlərdə

geologiya və mineralogiyada (hidrotermal sintez üçün), kimyada, neft və qaz sənayesində (məsələn, karbohidrogenlərin çıxarılmasında), geotermal sistemlərdə və canlı orqanizmlərin bioloji proseslərində, həmçinin separasiyanın bəzi yeni metodları üçün fundamental əhəmiyyət kəsb edir. Yerüstü (çaylar, göllər) və okean sularının temperaturu otaq temperaturuna yaxındır, yüksək temperatura malik və hidrostatik təzyiqi (10-60) MPa olan su məhlullarına isə dərin geoloji birləşmələrdə rast gəlinir. Su sistemləri geotermal elektrik stansiyalarının buxar generatorlarında, hidrotermal sintezdə, dəniz suyunun duzsuzlaşdırılması üçün yüksək temperatur və təzyiqlərdə baş verən proseslərdə və digər sənaye əməliyyatlarında geniş istifadə olunur. Elektrolitlərin su məhlullarının yüksək təzyiq və temperaturlarda termodinamik xassələri dərin geokimyəvi proseslərdə süxur birləşmələri və geotermal mayelər (flyuidlər) arasında qarşılıqlı əlaqəni başa düşmək üçün vacibdir. Kristal struktura malik süxurlarda qazılmış dərin quyularda rast gəlinən qrunt suları adətən yüksək duzlu məhlullardır.

Üçlü sistemin su+spirt+elektrolit xassələri kristallaşma (kristalların alınması) proseslərinin kinetikasının və mexanizminin öyrənilməsi üçün də istifadə edilə bilər. Çirkab suların və ventilyasiya qazlarının təmizlənməsi də elektrolitlərin su məhlullarının xassələri haqqında dəqiq bilik tələb edir. Geotermal məhlulların istilik xassələrinin dəqiq qiymətlərini bilmək geotermal kollektorun modelləşdirilməsi üçün ilkin şərt və təbii mühitdə baş verən müxtəlif fiziki-kimyəvi prosesləri başa düşmək üçün əsasdır.

İşdə temperatur və təzyiqin sonsuz zəif məhlulların həcmi xassələrinə təsiri problemlərinin araşdırılması mühüm yer tutur. Eyni dərəcədə vacib bir problem, yüksək temperatur və təzyiqlərdə su məhlulları üçün etibarlı hal tənliyinin işlənilib hazırlanmasıdır. Su, duz, spirtlər və onların qarışıqları molekullarası qarşılıqlı təsirlərin mürəkkəb xarakterinə malik mürəkkəb birləşmələrdir və bu da eksperimental və nəzəri tədqiqatları çətinləşdirir.

Bu sahələr üzrə mövcud ədəbiyyat məlumatlarının təhlili tədqiqat mövzusunun aktuallığını əsaslandırmağa imkan verdi.

Təqdim olunmuş dissertasiya işi çoxkomponentli elektrolit su məhlullarının yüksək temperatur və təzyiqlərdə istilik-fiziki

xassələrinin tədqiqinə, proseslərin nəzəri təhlili, geotermal və süni məhlullarda molekullar arasında qarşılıqlı təsirlərin və mayələrdə istilik köçürmə hallarının təhlili, bütöv mühitlərin mexanikasının, molekulyar komplekslərin əmələ gəlməsi və dağılması proseslərinin öyrənilməsi, qarışdırma və həllolma problemlərinin həll olunması, qarışdırma zamanı komponentlərin assosasiya dərəcəsinin dəyişməsinin öyrənilməsi və s. aktual problemlərə həsr olunmuşdur. İşdə alınan məlumatlar elmdə və texnikada praktiki əhəmiyyətə malikdir, o cümlədən məlumat cədvəllərinin tərtibi üçün zəruri məsələdir.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Tədqiqatın obyektı çoxkomponentli elektrolit sistemlərinin su məhlulları, yüksək temperatur və təzyiqlərdə su+spirt+elektrolit binar və üçlü sistemləri, Rusiyanın cənubundakı yataqların geotermal sularıdır.

Tədqiqatın predmeti çoxkomponentli elektrolit sistemlərinin su məhlullarının, o cümlədən Rusiyanın Cənub (Dağıstan) yataqlarının təbii geotermal sularının köçürmə (istilikkeçirmə, özlülük,), həcmi (sıxlıq, genişlənmə və sıxılma əmsalları), akustik (səs sürəti) və energetik xassələri, eləcə də çoxlaylı maye mühitdə struktur dəyişikliklərinin mexanizmi. Bütün tədqiqatlar verilən diapazonda ilk dəfə aparılır.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Tədqiqatın əsas məqsədi elektrolitlərin və spirtlərin binar və çoxkomponentli qarışıqlarının hal parametrlərinin geniş diapazonunda termodinamik halının proqnozlaşdırılması üçün mövcud elmi əsasların təkmilləşdirilməsi və yeni elmi əsasların işlənilib hazırlanmasından ibarətdir, bu da öz növbəsində, mühitin mexaniki xassələrini xarakterizə edir. Bu əsaslar bir elm kimi bütöv mühitin mexanikasının və istilik fizikasının öyrənilməsi üçün zəruridir. Bu məqsədə çatmaq üçün çoxkomponentli məhlulların termodinamik xassələrini eksperimental və analitik şəkildə tədqiq etmək lazımdır.

Qarşıya qoyulan məqsədlərə nail olmaq üçün tədqiq edilməmiş və ya az öyrənilmiş obyektlərin hal parametrlərinin geniş intervalında öyrənilmişdir.

Mayələrin mühüm istilik-fiziki xassələri arasında istilikkeçirmə və sıxlıq xüsusi yer tutur; bu parametrlər istilik

mübadiləsinin kriterial tənliklərinə daxil olur və termodinamik səthin xüsusiyyətlərini əks etdirir. Statika mexanikanın əsas müddəalarına əsasən, zərrəciklərin strukturu, daxili hərəkətləri və onlar arasında qarşılıqlı təsir qanunu məlum olduqda sistemin termodinamik funksiyalarını, xüsusilə hal tənliyini təyin etmək olar. Məhlulların istilik-fiziki xassələri haqqında əsas məlumat mənbəyi eksperimental qiymətlərdir. Sistemin köçürmə, həcmi və akustik xassələrinin eksperimental tədqiqatları praktiki əhəmiyyətdən əlavə, son dərəcə mühüm elmi əhəmiyyət kəsb edir, belə ki, maddələrin termodinamik xassələrinin tədqiqatı üçün hesabi-nəzəri metodların işlənib hazırlanması və təkmilləşdirilməsi həmişə dəqiq təcrübələrlə müşayiət olunur və müasir maye hal nəzəriyyəsinin inkişafına və təkmilləşdirilməsinə töhfə verir. Mayələrdə molekullararası qarşılıqlı təsir mexanizmi molekulyar köçürmə ilə əlaqəli bir sıra fiziki-kimyəvi və istilik hadisələrini izah etməyə imkan verir. Qarşıya qoyulan məqsədlərə nail olmaq üçün tədqiq edilməmiş və ya az öyrənilmiş obyektlər hal parametrlərində geniş dəyişikliklərdə istifadə edilmişdir.

İşdə aparılan tədqiqatlar aşağıdakı məsələlərin həllinə yönəlmişdir:

1. Mayələrin istilikkeçirməsinin eksperimental tədqiqi üçün etibarlı qurğunun yaradılması.
2. Tədqiq olunan təbii və süni məhlulların istilikkeçirməsi, özlülüyü, sıxlığı, səs sürəti üzrə dəqiq eksperimental qiymətlərin alınması.
3. Məhlulların molekullararası qarşılıqlı təsir prosesləri və mexanizminin, struktur modellərinin, molekulyar komplekslərin əmələ gəlməsi və dağılması proseslərinin təsviri.
4. Qiymətlərin analitik təsviri üçün statistik tədqiqat metodunu istifadə etməklə, tədqiq olunan sistemin həcm və köçürmə xassələrinin hal parametrlərindən asılılığını ifadə edən korrelyasiya modellərinin işlənib hazırlanması (o cümlədən, təmiz suyun məlum xassələri nəzərə alınmaqla).
5. Bütöv mühit mexanikası nöqteyi-nəzərindən mühitdə proseslərin inkişaf dinamikasının təqdimatı.

Tədqiqat metodları

Empirik metodlar (təcrübə, müşahidə və müqayisəli təhlil), nəzəri üsullar (analiz və sintez, deduksiya və induksiya), statistik metod, korrelyasiya və reqressiya təhlili, riyazi və kompüter modelləşdirmə üsulları.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Təbii və süni sistemlərin çoxkomponentli elektrolit məhlullarının köçürmə, həcmi, akustik xassələri üzrə eksperimental qiymətlərin böyük massivi.
2. Binar və çoxkomponentli sistemlərin istilikkeçirmə xassəsi üçün konsentrasiya, temperatur və təzyiqdən asılı olaraq geniş diapazonlu korrelyasiya tənliyi (hal tənliyi, kriterial tənlik).
3. Su məhlullarının gətirilmiş istilikkeçirməsinin konsentrasiyadan asılılığını müəyyən edən polinomial reqressiv tənlik.
4. Su məhlullarının gətirilmiş istilikkeçirməsinə təsir edən temperatur, təzyiq və konsentrasiyanın kombinə edilmiş effektinin ifadə olunması üçün model.
5. Xüsusi həcm (p, V, T, m) parametrlərindən asılılığını ifadə edən hal tənliyi. Tənlik elmi və mühəndis hesablamalarında müxtəlif su məhlulları üçün sıxlığı, özlülüyü, parsial və xəyali molyar həcmələri, həmçinin digər termodinamik xassələri hal parametrlərinin geniş intervalında proqnozlaşdırmağa imkan yaradır.
6. Hər bir izobar-izoterm üçün üçlü qarışığın molyar həcmnin dəyişməsi komponentlərin konsentrasiyalarının polinom funksiyası ilə ifadəsi.
7. Geotermal sistemlər üçün sıxlığın eksperimental qiymətlərinin temperaturdan asılılığını ifadə edən reqressiya tənliyi.
8. Geotermal sistemlər üçün sıxlıq, özlülük və səs sürəti üzrə eksperimental qiymətlərin temperatur və təzyiqdən asılılığını ifadə edən korrelyasiya tənliyi (atmosfer təzyiqində təmiz suyun məlum sıxlıq, özlülük və səs sürəti istinad qiymətləri əsasında).
9. Çoxkomponentli su sistemləri üçün yüksək təzyiq və temperaturlarda həcm, köçürmə və akustik qiymətlərini proqnozlaşdıran, atmosfer təzyiqində suyun və məhlulun məlum istinad qiymətlərləri əsasında qurulan, eksperimental qiymətlərin hal parametrlərdən asılılığını ifadə edən korrelyasiya modeli.

10. Bütöv mühit mexanikası üçün vacib olan struktur və energetik xarakteristikalar.

Tədqiqatın elmi yeniliyi:

1. Mayelərin istilikkeçirməsini ölçmək üçün koaksial silindrlər metodu (stasionar metod) əsasında modifikasiya olunmuş, etibarlı eksperimental qurğu yaradılmışdır.
2. $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, LiNO_3 , Na_2CO_3 , CaCl_2 , K_2CO_3 , NaBr , KBr binar su məhlulları və $\text{H}_2\text{O}+\text{NaBr}+\text{KBr}$ üçlü sistem üçün istilikkeçirmə üzrə hal parametrlərinin əvvəllər tədqiq olunmayan dəyişmə intervallarında yeni eksperimental qiymətlər massivi alınmışdır.
3. Binar və çoxkomponentli sistemlərin istilikkeçirməsi üçün konsentrasiya, temperatur və təzyiqdən asılı olaraq dəyişən, geniş diapazonlu empirik tənlik təklif edilmişdir.
4. Tədqiq olunan su məhlullarının gətirilmiş istilikkeçirməsinə temperatur, təzyiq və konsentrasiyanın kombinə edilmiş effektinin ifadə olunması üçün model işlənib hazırlanmışdır.
5. Tədqiq olunan su məhlullarının gətirilmiş istilikkeçirmə əmsalının konsentrasiyadan asılılığını göstərən polinomial regressiv tənlik.
6. Binar və çoxkomponentli $\text{H}_2\text{O}+\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, $\text{H}_2\text{O}+\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}+\text{LiNO}_3$, $\text{H}_2\text{O}+\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}+\text{Li}_2\text{SO}_4$, $\text{H}_2\text{O}+\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}+\text{KNO}_3$ qarışıqları üçün (p, V_m, T, x) üzrə hal parametrlərinin geniş dəyişmə intervalında ilk dəfə olaraq yeni eksperimental qiymətlər massivi alınmışdır.
7. Hər bir izobar-izoterm üçün su-duz-spirt üçlü qarışığının molyar həcmələri alınmış və təmiz suyun molyar həcmələri nəzərə alınmaqla komponentlərin konsentrasiyalarının polinom funksiyaları ilə təsvir edilmişdir. Onlar binar sistemlərin komponentlərinin parsial molyar həcmələrini hesablamaq üçün istifadə edilə bilər. Tədqiq olunan sistemlər üçün parsial, izafi və xəyali molyar həcmələr araşdırılmışdır.
8. Sonsuz zəif məhlulların həcmi xassələrinə temperatur və təzyiqin təsiri və dəyişmə xüsusiyyətləri aşkar edilmişdir. Su-duz-spirt üçlü sistemlər üçün, o cümlədən, sonsuz durulaşma zamanı parsial molyar həcmələrinin termiki genişlənmə əmsalının qiymətləri hesablanmışdır.
9. Elektrolitlərin binar su məhlullarının (p, V_m, T, m) xassələri üçün ölçülmüş qiymətlər əsasında, xüsusi həcmənin hal parametrlərindən asılılığını ifadə edən polinom tipli hal tənliyi işlənib hazırlanmışdır. Verilmiş hal tənliyi digər elektrolitlərin su məhlullarının

termodinamik xassələrinin, eləcə də parsial və xəyali molyar həcmələrinin geniş temperatur (600 K-dək), təzyiq (40 MPa-dək) və konsentrasiya ($5 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ -dək) intervallarında hesablanmasında istifadə oluna bilər.

10. Rusiyanın cənub (Dağıstan) yataqlarından götürülmüş 8 təbii geotermal mayenin (flyuid) kimyəvi tərkibi ilk dəfə olaraq müəyyən edilmiş (kation və anionların analizi) və ilk dəfə onların həcmi (sıxlıq), akustik (səs sürəti) və köçürmə (özlülük) xassələrinin atmosfer təzyiqində eksperimental qiymətləri alınmışdır.

11. Tədqiq olunan mürəkkəb sistemin sıxlıq üzrə eksperimental qiymətlərin temperaturdan asılılığı reqressiya tənliyi ilə ifadə edilmişdir.

12. Məhlulun sıxlığı, özlülüüyü və səs sürəti üzrə eksperimental qiymətlərinin temperatur və konsentrasiyadan asılılığını (təmiz suyun məlum xassələrini nəzərə alaraq) ifadə edən korrelyasiya modeli və həmin xassələri yüksək təzyiqdə proqnozlaşdırmaq üçün korrelyasiya tənliyi işlənib hazırlanmışdır. Model sıxlıq, özlülük və səs sürətinin ölçülmüş qiymətlərini müvafiq olaraq 0,03%, 2,55% və 0,06% hədlərində ifadə edir.

13. Sıxlıq, özlülük və səs sürətinin ölçülmüş qiymətləri geotermal mayələrin geotermal energetika üçün vacib olan digər termodinamik xassələrinin hesablanmasında istifadə edilmişdir: adiabatik sıxılma əmsalı, izotermik sıxılma əmsalı, termiki genişlənmə əmsalı, təzyiqin termiki əmsalı, entalpiya, izoxor kütlə istilik tutumu, izobar kütlə istilik tutumu, entalpiyanın təzyiqə görə xüsusi törəməsi, daxili enerjinin xüsusi törəməsi. Onların atmosfer təzyiqində məlum qiymətləri qarışıqların yüksək təzyiqlərdə xassələrini proqnoz etməyə imkan verir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.

Müəllifin eksperimental qurğusu digər binar və çoxkomponentli su, su-spirtli sistemlərin və karbohidrogenlərin istilikkeçirməsini tədqiq etmək üçün uğurla istifadə edilə bilər.

Çoxkomponentli elektrolit sistemlərinin su məhlullarının yüksək temperatur və təzyiqlərdə istilik-fiziki xassələri üzrə tövsiyə olunan məlumat cədvəlləri hazırlanmış, maye mexanikasının əsas göstəricilərini tapmaq üçün istifadə edilmişdir.

Su məhlulların həcmi xassələri (sıxlıq, izafi molyar həcm, xəyali molyar həcm və parsial molyar həcm) üzrə alınmış dəqiq məlumatlar bir çox texnoloji və təbii proseslərin dərinədən başa düşülməsi üçün son dərəcə vacibdir və onlar tətbiqi xarakter daşıyır.

Yüksək temperatur və təzyiqlərdə su məhlulları energetikada, karbohidrogenlərin çıxarılmasında, separasiyanın yeni üsulları üçün, geotermal elektrik stansiyaların buxar generatorlarında, hidrotermal sintezdə, soyuducu texnikada, dəniz suyunun duzsuzlaşdırılması proseslərində, kristalların modelləşdirməsi proseslərində, yüksək temperatur və təzyiqlərdə baş verən digər sənaye əməliyyatlarında, bioloji proseslərdə fundamental əhəmiyyət kəsb edir.

Bu işdə su sistemlərinin (binar və üçlü su məhlullarının) yüksək təzyiqlərdə (60 MPa-a qədər) və temperaturlarda (600 K-ə qədər) termodinamik (həcmi) və köçürmə (istilikkeçirmə) xassələrinə xüsusi diqqət yetirilir. İşdə digər məhlullar və termodinamik sistemlər üçün hal parametrlərinin geniş intervalında istilik-fiziki xassələri proqnozlaşdıran bir neçə analitik asılılıqlar verilmişdir.

İşin aprobasiyası və tətbiqi

Dissertasiya işinin əsas məzmunu üzrə 60 elmi əsər çap olunmuşdur, bunlardan 2-si kollektiv monoqrafiya olmaqla 21 məqalə Web of Science və Scopus-da, 17 məqalə Respublika və beynəlxalq elmi jurnallarda dərc edilmiş, 22-isi beynəlxalq və Respublika elmi konfranslarının materiallarıdır.

Dissertasiya işinin əsas müddəaları aşağıdakı konfrans və simpoziumlarda məruzə və müzakirə edilmişdir:

- Thermophysical Properties Symposium, Boulder, Colorado, USA, 2005
- Thermophysical Properties Symposium, Boulder, Colorado, USA, 2006.
- Thermophysical Properties Symposium, Boulder, Colorado, USA, 2007
- Thermophysical Properties Symposium, Boulder, Colorado, USA, 2008
- Thermophysical Properties Symposium, Boulder, Colorado, USA, 2009

- 3rd International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, 2006, Ankara, Turkey.
- NATO. Security of Industrial Water Supply and Management. 2010. Ankara, Turkey.
- Материалы 3 международной конференции "Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы", 2014. Махачкала. РФ.
- THERMAM 2015. "Thermophysical properties for technical thermodynamics". International conference. 2015. AzTU. Baku
- 14 Российская конференция по теплофизическим свойствам веществ. 2014. Казань. РФ.
- GEOENERGY. Материалы II Международной научно-практической конференции. 2016. Грозный, ГГНТУ.
- Thermam 2017, 6th Rostocker International Conference on Thermophysical Properties for Technical Thermodynamics. 2017. Baku.
- "Azərbaycan və Türkiyə Universitetləri: təhsil, elm, texnologiya" adlı birinci beynəlxalq elmi-praktiki konfrans, III hissə, AzTU. 2019. Bakı, Azərbaycan.
- II Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Фундаментальные проблемы и прикладные аспекты химической науки и образования», 2022, Махачкала, РФ.
- Beynəlxalq Elm və Texnologiya Konfransı (ISTEC). 2024. AzTU, Bakı, Azərbaycan.
- VI Beynəlxalq Türk Dünyası Konfransı (TURK-COSE), 2024, AzTU, Bakı, Azərbaycan.
- 6-cı Avrasiya Konfransı "İqlim Dəyişikliklərinin Təbii və Texnoloji Risklərinin minimuma endirilməsi sahəsində yeniliklər: Metodologiya və Təcrübə" 2024. AzTU, Bakı, Azərbaycan.

İşin nəticələri tətbiq olunmuşdur:

1. Binar və üçlü sistemlərin istilik-fiziki xassələri üzrə alınmış eksperimental nəticələri yüksək reytingli jurnallarda 12 nəşrlə təqdim olunmaqla "Thermo Data Engine standard reference data base (NISTSRD 103b) and SOURCE DATA Archival System of the

U.S.A.” (National Institute of Standards and Technology) Məlumat Bankına daxil edilmişdir (Tətbiq haqqında şəhadətnamə).

2. Rusiyanın cənubunda (Dağıstan) geotermal suların istilik-fiziki xassələri və kimyəvi analizi üzrə alınmış eksperimental qiymətlər, həmçinin mühitin mexanikasını nəzərə almaqla prosesləri modelləşdirməyə imkan verən korrelyasiya tənlikləri yeni istehsal texnoloji proseslərin layihələndirilməsi və yaradılmasında istifadə üçün “Теоэкспром” ООО (RF) tərəfindən qəbul olunmuşdur (Tətbiq haqqında şəhadətnamə).

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.

Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlər Neft və Sənaye Universitetində və Azərbaycan Texniki Universitetinin “Enerji effektivliyi və yaşıl enerji texnologiyaları” kafedrasında yerinə yetirilmişdir. Geotermal məhlulların kimyəvi analizi, sıxlığı, özlülüyü, səs sürəti üzrə təcrübələr Almaniyanın Rostok Universitetinin "Texniki termodinamika" kafedrasında akademik mübadilə proqramı çərçivəsində (DAAD) aparılmışdır.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işi giriş, üç fəsil, xülasə və nəticələr, 330 adda elmi ədəbiyyat siyahısı və əlavələrdən ibarət olmaqla 380 səhifədə şərh olunmuşdur. İşə 124 şəkil və 52 cədvəl daxil edilmişdir. Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi: giriş hissəsi 26838 işarə; I fəsil 114060 işarə; II fəsil 116851 işarə; III fəsil 35584 işarə; xülasə – 12527, əsas nəticələr 14216 işarədən və dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi: 320076 işarədən ibarətdir.

İŞİN QISA MƏZMUNU

Girişdə işin mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqatın obyekti və predmeti məsələləri araşdırılmış, tədqiqatın məqsəd və vəzifələri müəyyən edilmiş, tədqiqatın metodları göstərilmiş, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar şərh olunmuş, alınmış elmi yeniliklərə, tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyətinə baxılmış, işin aprobeiasiyası və tətbiqi, eləcə də dissertasiya işinin qısa məzmunu verilmişdir.

Birinci fəsildə çoxkomponentli qarışıqların su məhlullarının

istilikkeçirməsinin öyrənilməsi üçün ədəbiyyatda tədqiqat metodlar, nəzəriyyələr və korrelyasiya tənlikləri haqqında mövcud olan məlumatların təhlili verilmişdir. Süni çoxkomponentli qarışıqların su məhlullarının köçürmə (istilikkeçirmə) xassələrinin eksperimental tədqiqatları verilmişdir. Müəllifə məxsus koaksial silindr metoduna (stasionar metod) əsaslanan eksperimental qurğu əvvəllər uğurla istifadə edilmişdir. Təcrübələr temperatur addımı 20 K və təzyiq addımı 10 MPa olan izotermərdən istifadə etməklə aparılmışdır. 95% etibarlılıq səviyyəsi ilə istilikkeçirmə, təzyiq, temperatur və konsentrasiyanın ümumi ölçmə xətası müvafiq olaraq 2%, 0,05%, 30 mK və 0,02% təşkil edir.

Bu metodda daxili silindrdə generasiya olunan istilik sınaq məhlulu ilə doldurulmuş dar boşluq vasitəsilə koaksial xarici istilik qəbuledici silindrə radial olaraq paylanır. Tədqiq olunan mayenin istilikkeçirmə əmsalı (λ) məhlul təbəqəsindən keçən istilik miqdarının (Q) ölçülmüş qiyməti, daxili və xarici silindrlər arasındakı temperatur fərqi (ΔT), məhlul təbəqəsinin qalınlığı və silindrin ölçü hissəsinin effektiv uzunluğu (l) ilə təyin edilir.

Tədqiq olunan mayenin istilikkeçirmə əmsalı verilmiş temperatur və təzyiqdə aşağıdakı tənliklə (metodun işçi tənliyi) hesablanmışdır:

$$\lambda = \frac{Q \ln(d_2 / d_1)}{2\pi l \Delta T}, \quad (1)$$

burada $Q = Q_{meas} - Q_{los}$ - nümunənin silindrlər arası layından istilikötürmə yolu ilə keçən istilik miqdarı; Q_{meas} - kalorimetrik mikroqızdırıcıdan ayrılan istilik miqdarı; Q_{los} - ölçü xanasının uclarından (sərhəd effektləri hesabına) itirilən istilik miqdarı; d_1 - daxili silindrin xarici diametri; d_2 - xarici silindrin daxili diametri; l - silindrin ölçmə hissəsinin uzunluğu; ΔT - daxili və xarici silindrlər arasındakı temperatur fərqidir (məhlul layı boyunca).

Ölçmə xanasının xarakteristikaları aşağıdakılardır: daxili silindrin xarici diametri $d_2 = (10.98 \pm 0.01) \times 10^{-3}$ m, xarici silindrin xarici diametri $d_1 = (12.92 \pm 0.02) \times 10^{-3}$ m, daxili silindrin ölçü hissəsinin (seksiyanın) uzunluğu $l = (150 \pm 0.1) \times 10^{-3}$ m, silindrlər arasındakı məsafə (maye qatının qalınlığı) $\delta = (0.97 \pm 0.03) \times 10^{-3}$ m.

Silindrlər arasında optimal məsafənin seçimi konveksiya dərəcəsinin və ehtimalının, eləcə də yerləşmə effektivliyinin azalması ilə şərtləndirilir. Maye qatının qalınlığının δ məqbul qiyməti 0,5 ilə 1 mm aralığındadır. Əgər $\delta > 1$ mm olarsa, silindrlərin divarları arasında istilik ötürülməsinin təbii konveksiyası baş verir. Uzunluğun l daxili silindrin diametrinə d_2 nisbətinin l/d_2 optimal qiyməti 10-dan 15-ə qədər olmalıdır. Nisbət $l/d_2 > 15$ olduqda daxili silindrin uzunluğu boyunca temperaturun bərabər paylanmasına nail olmaq çox çətindir. Əgər $l/d_2 < 10$ olarsa, onda kənar effektlərin təsiri əhəmiyyətli olur.

Sulu məhlulun tədqiq olunan nümunəsi ölçmə xanasının silindrləri arasındakı boşluğa şaquli şəkildə yerləşdirildi. Ölçmə xanası 7 ventildən istifadə edərək nümunə ilə dolduruldu (bax: şəkil 1). Doldurmadan əvvəl xana qızdırılmış və vakuumlaşdırılmışdır. Ölçmə xanasını (silindrlər arasındakı boşluq) tədqiq olunan məhlul ilə doldurmaq üçün xarici silindrə uclarından 3 mm məsafədə eni 2 mm və uzunluğu 25 mm olan yarıqlar açılmışdır. Sistemdə təzyiq yuxarı təzyiq ölçmə hədləri müvafiq olaraq 600 və 60 bar olan MP-600 və MP-60 porşenli manometrlərin köməyi ilə yaradılmış və ölçülmüşdür. U formalı borudakı civə, yağ və tədqiq olunan nümunə arasında ayırıcı maye kimi istifadə edilmişdir. Bütün birləşdirici kapilyar borular, o cümlədən doldurma boruları və U formalı ayırıcıda yüksək təzyiq boruları paslanmayan poladdan hazırlanmışdır.

Xananın içərisində diametri 0,1 mm olan izolyasiya edilmiş (yüksək temperaturlu lak ilə örtülmüş) konstantan məftildən ibarət mikroqızdırıcının 4 köməyi ilə istilik generasiya olunmuşdur. Mikroqızdırıcı 4 daxili silindrin içərisində yerləşdirilmiş və 2 mm diametrli keramika borunun səthinə sarılmış, sonra isə yüksək temperaturlu lak ilə izolyasiya edilmişdir. Daxili silindrə 6 mm diametrli olan boru qızdırıcının içərisində möhkəm şəkildə yerləşdirilmişdir.

Paslanmayan poladın (1X18H9T) həcmi sıxılma qabiliyyəti çox kiçik olduğundan təzyiqə görə xananın ölçülərinin dəyişməsinə nəzərə alınmaq olar.

Daxili silindrin böyük ölçüsünə və onu əhatə edən məhlulun

kiçik həcminə görə, akkomodasiya effektinin təsirini tamamilə nəzərə almamaq olar. Akkomodasiya effektinə düzəliş etməmək üçün kalibrəmə 60 MPa təzyiqdə də aparılmışdır.

Silindrlər arasında Reynolds ədədini Re azaltmaq üçün silindrlərlə kiçik boşluq $\delta = (0.97 \pm 0.03) \times 10^{-3}$ m götürülmüşdür. Bu, mümkün konveksiya riskini minimuma endirməyə imkan verir. Re ədədi müəyyən kritik Re_k qiymətini aşdıqda konveksiya artır, bu qiymət də şaquli koaksial silindr üçün 1000 təşkil edir. Beləliklə, $Re > 1000$ şərti konveksiyanın başlanma kriteriyası kimi qəbul edilmişdir. Təcrübələrimin şərtlərinə görə, Re ədədinin qiyməti həmişə 500-dən az olmuşdur, yəni Q_{con} qiymətini nəzərə almamaq olar. Təcrübələrdə konveksiyanın olmaması silindrlər arasındakı boşluqda müxtəlif temperatur fərqlərində ΔT və silindrlər arasında istilik ötürülməsinin müxtəlif güclərində Q istilikkeçirməni ölçməklə yoxlanıla bilər.

Radiativ istilik ötürülməsini minimuma endirmək üçün silindrlər üçün aşağı şüalanma qabiliyyətinə malik 1X18H9T markalı paslanmayan poladdan istifadə edilmiş və silindrlər arasında maye təbəqəsi çox kiçik götürülmüşdür (təxminən 0,97 mm). Bu yolla, radiasiya ilə istilik ötürülməsi molekulyar istilik ötürülməsi ilə müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə azaldıla bilər. Duzların sulu məhlullarının optik xarakteristikalarının yüksək temperaturlarda olmaması səbəbindən radiasion istilikkeçirmə λ_r və şüalanma ilə istilik axınını nəzəri cəhətdən qiymətləndirmək mümkün deyil. Təmiz su üçün absorbsiyaya görə korreksiya çox azdır, buna görə də duzların sulu məhlulları üçün 600 K-ə qədər temperaturlarda radiasiyanın təsirini nəzərə alınmamışdır.

İstilikkeçirmənin ölçmə xətası (2) işçi tənliyinə daxil olan kəmiyyətlərin ölçmə xətalrı ilə müəyyən edilir. Verilmiş metodda istilikkeçirmə, (2) işçi tənliyinə uyğun olaraq, ölçülən A , Q , T , ΔT , P və m kəmiyyətləri vasitəsilə təyin edilir. Elektrolitlərin sulu məhlulları (ion sistemləri) kimi mürəkkəb sistemlərdə istilik ötürmə hadisələrinin nəzəri əsaslarının olmaması səbəbindən eksperimental nəticələrin nəzəri analizi tamamilə istilikkeçirmənin temperatur, barik və

konsentrasiya asılılıqlarını təsvir edən empirik və yarımempirik modellərə əsaslanır.

Esperiment nəticəsində alınmış qiymətlərin etibarlılığı və həqiqiliyi təmiz su, toluol və $\text{H}_2\text{O}+\text{NaCl}$ kimi daha yaxşı tədqiq olunmuş standart mayelərin ölçmələri əsasında təsdiq edilmişdir. İstilikkeçirmə üzrə alınan eksperimental qiymətlər və IAPWS düsturları əsasında hesablanmış xəta həddində uyğun gəlir ($\text{AAD} = 0,44\%$). NaCl sulu məhlullarının istilikkeçirmə üzrə eksperimental qiymətlərdə ədəbiyyatda dərc edilmiş ən etibarlı qiymətlər arasında uyğunluq $0,64\%$ -dən $1,72\%$ -ə qədər təşkil edir.

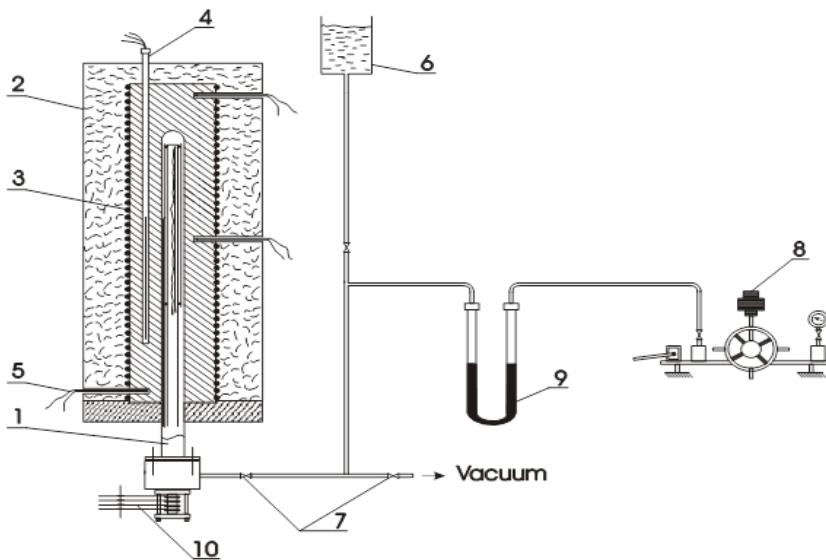
Bütün düzəlişlər nəzərə alındıqdan sonra işçi tənliyi aşağıdakı kimi yazmaq olar, $\lambda / (\text{Vt} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$:

$$\lambda = A \cdot \frac{Q_{meas} - Q_{los}}{\Delta T_{meas} - \Delta T_{corr}}, \quad (2)$$

burada $A = \frac{\ln(d_2/d_1)}{2\pi l}$ - qurğunun həndəsi sabiti olub, ölçmə xanasının həndəsi xarakteristikaları ilə müəyyən edilir.

Ölçmə xanasının sabitinin həndəsi xarakteristikalara görə təmiz su üzrə $293,15\text{-}750,15 \text{ K}$ temperatur və $0,101 - 60 \text{ MPa}$ təzyiqlərdə kalibrəmə yolu ilə təyin olunan qiyməti uyğun olaraq $0,1727 \text{ m}^{-1}$ və $0,1752 \text{ m}^{-1}$ təşkil edir.

Eksperimental qurğunun tam təsviri və iş prinsipi müəllifin əsərlərində verilmişdir. $\text{H}_2\text{O}+\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, $\text{H}_2\text{O}+\text{LiNO}_3$, $\text{H}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{CO}_3$, $\text{H}_2\text{O}+\text{K}_2\text{CO}_3$, $\text{H}_2\text{O}+\text{CaCl}_2$, $\text{H}_2\text{O}+\text{NaBr}$, $\text{H}_2\text{O}+\text{KBr}$ binar sistemlərin və $\text{H}_2\text{O}+\text{NaBr}+\text{KBr}$ üçlü sistemlərin istilikkeçirməsi hal parametrlərinin geniş intervalında eksperimental olaraq tədqiq edilmişdir. Eksperimental qurğu sxematik olaraq şəkil 1-də göstərilmişdir.



Şəkil 1. Duzların su məhlullarının istilikkeçirməsinin koaksial silindrlər metodu ilə yüksək temperatur və təzyiqlərdə ölçülməsi üçün eksperimental qurğunun sxematik təsviri.

Burada 1-yüksək təzyiqli avtoklav; 2-termostat; 3-qızdırıcı; 4-platin müqavimət termometri; 5-termocüt; 6-doldurma sistemi; 7-klapan dəsti; 8-porşenli təzyiqölçən (MP-600); 9-U formalı boru (ayırıcı); 10-elektrik naqilləri.

Uzunluğun daxili silindrin diametrinə nisbəti $l/d_2 > 15$ olduqda daxili silindrin uzunluğu boyunca temperatur bircinsli paylanması həyata keçirmək çox çətindir. Əgər $l/d_2 < 10$ olarsa, onda kənar effektlərin təsiri artır. Birinci fəsilə tədqiq olunan binar və üçlü sistemlərin istilikkeçirmə əmsalının eksperimental tədqiqinin nəticələrinin analizi verilmişdir. Məhlulların istilikkeçirmə əmsalı üzrə qiymətlərin qrafik-analitik işlənməsi nəticəsində temperatur, təzyiq və konsentrasiya asılılıqlarının qanunauyğunluqları aşkar edilmiş, binar su məhlullar və üçlü sistemlər üçün tənlik (λ, P, T, m) aşağıdakı kimi təqdim olunmuşdur (3):

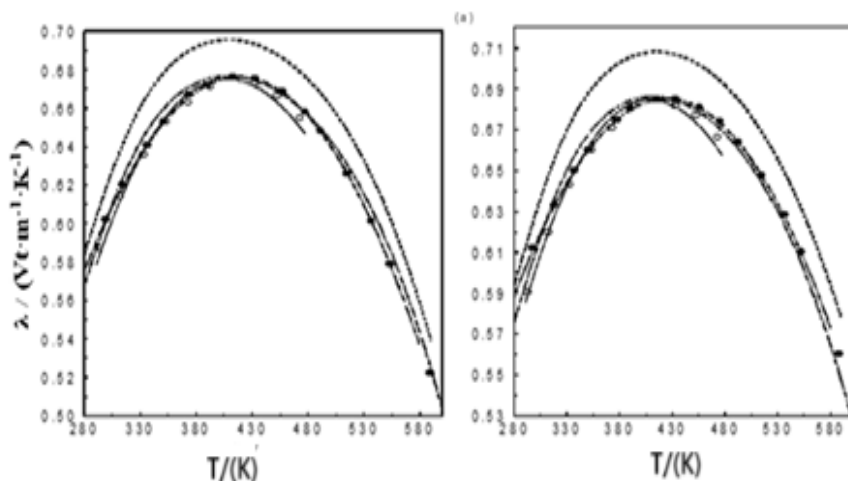
$$\lambda = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 \sum_{k=0}^2 a_{ijk} m^i P^j T^k \quad (3)$$

burada λ - məhlulun istilikkeçirmə əmsalı, ($\text{Vt} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$); T -temperatur, K; P -təzyiq, MPa.

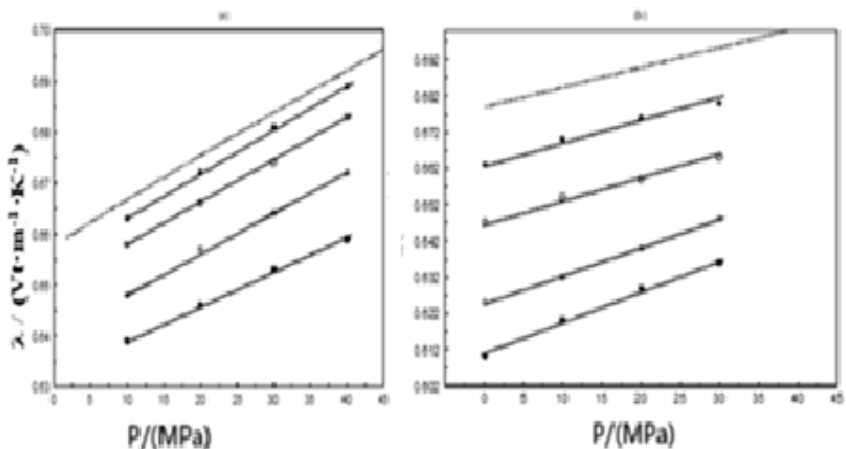
İstilikkeçirmə əmsalının eksperimental və hesablanmış qiymətlərinin orta mütləq xətası (AAD) 0,5 ilə 0,7% arasında dəyişir. Tədqiq edilmiş məhlullar üçün alınmış (3) tənliyi 290.15-dən 595.15 K-ə qədər temperatur diapazonunda, 40 MPa-dək təzyiqlərdə və 4 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ -ə qədər konsentrasiyalarda etibarlıdır.

İstilikkeçirmə əmsalının temperatur, təzyiq və konsentrasiyadan asılılıqları ətraflı öyrənilmişdir (Şəkil 2-5). $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ -nin su məhlullarının istilikkeçirmə əmsalının ölçülməsi 5 izobar (0.1, 10, 20, 30, 40) MPa üzrə, 294.11-dən 591.06 K-dək temperatur intervalında, beş konsentrasiya üçün (0.249, 0.525, 1.181, 2.025, 3.150) $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ aparılmışdır.

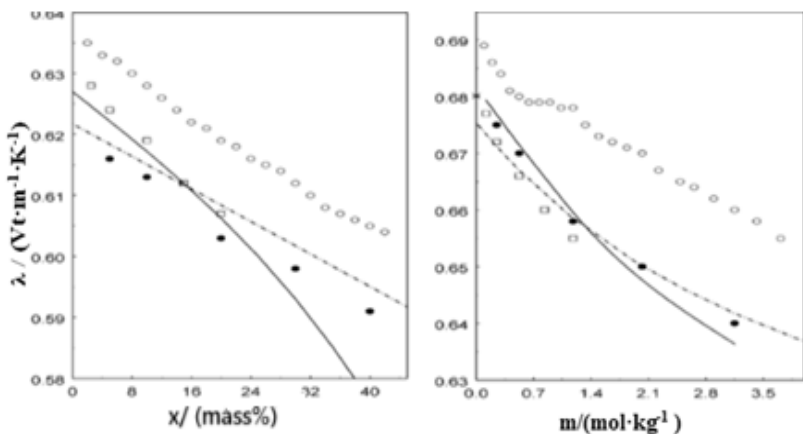
LiNO_3 -ün su məhlulları üçün ölçmələr dörd izobar (0.1, 10, 20, 30) MPa üzrə, dörd konsentrasiya (1.0, 1.7, 2.8, 3.9) $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ üçün və 293.15-dən 573.15 K-ə qədər temperatur intervalında aparılmışdır.



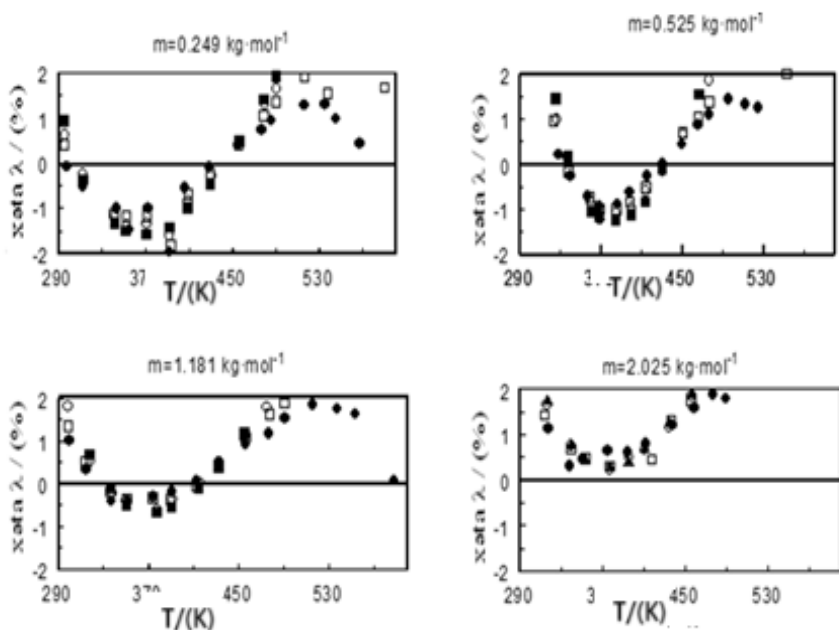
Şəkil 2. $\text{H}_2\text{O}+\text{LiNO}_3$ məhlullarının istilikkeçirmə əmsalının müxtəlif təzyiq və konsentrasiyalarda temperaturdan asılı olaraq ölçülən qiymətləri ilə birlikdə təmiz su üçün IAPWS tənliyi ilə hesablanmış və ədəbiyyatdan digər müəlliflərin qiymətləri.



Şəkil 3. $\text{H}_2\text{O}+\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ və $\text{H}_2\text{O}+\text{LiNO}_3$ məhlullarının istilikkeçirmə əmsalının müxtəlif temperatur və konsentrasiyalarda təzyiqdən asılı olaraq ölçülən qiymətləri ilə birlikdə təmiz su üçün IAPWS tənliyi ilə hesablanmış qiymətlər. (a) $\text{H}_2\text{O}+\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, $T=479.55$ K: ●, $0.249 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$; □, $0.525 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$; ○, $1.181 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$; ■, $2.015 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$; (b) $\text{H}_2\text{O}+\text{LiNO}_3$; $T=373.15$ K: ●, $1.0 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$; □, $1.7 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$; ○, $2.8 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$; ■, $3.9 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$; —, (2) tənliyi ilə, - - -, təmiz su üçün IAPWS tənliyi ilə hesablanmış.



Şəkil 4. $\text{H}_2\text{O}+\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ su məhlullarının istilikkeçirmə əmsalının 20 və 40 MPa təzyiq üçün seçilmiş iki izoterm 353.15 K (solda) və 473.15 (sağda) üzrə konsentrasiyadan asılı olaraq ölçülən qiymətləri. ●, bu iş; □, Abdulgatov и Magomedov, ○, Aseyev; —, (3) tənliyi ilə hesablanmışdır.



Şəkil 5. $\text{H}_2\text{O}+\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ su məhlullarının istilikkeçirmə əmsalının müxtəlif təzyiqlərdə temperaturdan asılı olaraq ölçülmüş və (1) tənliyi ilə hesablanmış qiymətlərinin $\delta\lambda=100(\lambda_{gks}-\lambda_{ras})/\lambda_{ras}$ nisbi xətası: ●, 10 MPa; □, 20 MPa; ○, 30 MPa; ■, 40 MPa.

$\text{H}_2\text{O}+\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ üçün istilikkeçirmənin eksperimental və (3) tənliyi ilə hesablanmış qiymətləri arasındakı kənarə çıxmanın statistikası hər ölçülmüş konsentrasiya üçün şəkil 5-də göstərilmişdir.

CaCl_2 su məhlullarının istilikkeçirməsi üzrə (5, 10, 15 və 20 kütlə%) konsentrasiyalar üçün (293-573) K temperatur intervalında və 40 MPa-a qədər təzyiqlərdə yeni eksperimental qiymətlər alınmışdır. CaCl_2 su məhlulları üçün istilikkeçirmənin temperatur, təzyiq və konsentrasiyadan asılılıqları tədqiq edilmişdir. Hər ölçülən izobar üçün istilikkeçirmənin temperatur maksimumu 423 K-ə yaxın aşkar edilmişdir. Həmçinin, CaCl_2 su məhlulları üçün istilikkeçirmənin maksimumu aşağı konsentrasiyalarda (5 kütlə% konsentrasiya ətrafında zəif məhlul) aşkar edilmişdir.

Su məhlullarının gətirilmiş istilikkeçirmə əmsalının

konsentrasiyadan asılılığı (4) tənliyi şəklində verilmişdir. Su məhlulların istilikkeçirmə əmsalının konsentrasiyadan asılılığının mahiyyəti həll olunan maddələrin ionlarının təbiətindən əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır:

$$\lambda_r = 1 + A_\lambda \sqrt{m} + B_\lambda m + B_\lambda m^{3/2}, \quad (4)$$

burada $\lambda_r = \lambda_{sol} / \lambda_{H_2O}$ - su məhlullarının gətirilmiş istilikkeçirmə əmsalı, A_λ və B_λ - elektrolit məhlulları üçün əmsallarının qiymətləridir. (4) tənliyindəki A_λ və B_λ əmsallarının qiymətləri məhlulda struktur qarşılıqlı təsirləri (ion-ion, ion-həlləddici və həlləddici-həlləddici) öyrənmək üçün çox faydalı vasitədir. Əmsalların qiymətləri ionlar arasındakı qarşılıqlı təsir qüvvələrinin Kulon qüvvəsindən asılıdır. Verilmiş konsentrasiyada əmsal, elektrolitlərin köçürmə xassələrinə təsir edən müxtəlif növ effektlərin xüsusi qarşılıqlı təsiri terminləri baxımından şərh edilə bilər, məsələn, Kulon qarşılıqlı təsirləri, ionların ölçü və formalarının təsiri və ya Eynşteyn effekti, digər molekulların orta sahəsində polyar molekullarının düzülüşü və ya oriyentasiyası, həlləddicinin strukturunun təhrif edilməsi.

Bu işdə CaCl_2 su məhlullarının gətirilmiş istilikkeçirmə əmsalına temperatur təzyiq və konsentrasiyanın kombine edilmiş

$$\lambda_r(T, P, x) = 1 + \Phi_0(T, P)x^{1/2} + \Phi_1(T, P)x + \Phi_2(T, P)x^{3/2}, \quad (5)$$

burada $\lambda_r(T, P, x) = \lambda_{sol}(T, P, x) / \lambda_{H_2O}(T, P)$; x - konsentrasiya, kütlə%, T - temperatur, K, P - təzyiq, MPa, $\Phi_0(T, P)$, $\Phi_1(T, P)$ və $\Phi_2(T, P)$ - təzyiq və temperaturdan (T və P) asılı empirik funksiyalardır, bu funksiyalar məhlulun istilikkeçirmə əmsalının T və P -nin dəyişməsi ilə konsentrasiyadan asılılıq formasının dəyişməsinə göstərir.

CaCl_2 su məhlullarının gətirilmiş istilikkeçirmə əmsalı (λ_r) təxminən təzyiqin xətti funksiyasıdır. Nəticə etibarilə, CaCl_2 su

məhlullarının istilikkeçirmə əmsalının təzyiqdən asılılığı tamamilə təmiz su üçün təzyiqdən asılılıq $\lambda_{H_2O}(T, P)$ kimi təyin edilir.

Ümumiyyətlə, $\lambda_r(T, P, x)$ funksional forması təmiz suyun istilikkeçirmə əmsalının (IAPWS üzrə) sərhəd şərtlərinə ($x=0$, $\lambda_r(T, P, x=0)=1$) uyğun olmalıdır, yəni $x \rightarrow 0$ olduqda (5) tənliyindən avtomatik olaraq təmiz suyun istilikkeçirmə əmsalını $\lambda_{H_2O}(T, P)$ alırıq. Deməli, (5) tənliyinin konsentrasiyadan asılılığının strukturu $\lambda_r(T, P, x)$ düzgün seçilmişdir. Mən (5) tənliyində $\Phi_i(T, P)$ üçün müxtəlif funksional formaları yoxladım. Təəssüf ki, $\Phi_i(T, P)$ funksiyasının temperatur və təzyiqdən asılılığını açıq şəkildə düzgün proqnozlaşdırma biləcək heç bir nəzəriyyə yoxdur. (5) tənliyinin modelinin $\Phi_i(T, P)$ aydın formasını “Eureqa” proqramının vasitəsi ilə empirik funksiyalarından istifadə etməklə təyin edilmişdir.

$CaCl_2$ su məhlullarının istilikkeçirmə əmsalı üzrə eksperimental qiymətlərin ən yaxşı (optimal) variantda ifadə olunması aşağıdakı funksiyalar üçün əldə edilmişdir:

$$\Phi_0(T, P) = a_1 T_r, \quad (6)$$

$$\Phi_1(T, P) = a_2 T_r^2, \quad (7)$$

$$\Phi_2(T, P) = a_3 + a_4 T_r^2, \quad (8)$$

burada $T_r = T / 1000$, T – temperatur, K; x – konsentrasiya, kütlə%; P – təzyiq, MPa.

(6), (7) və (8) funksiyalarının parametrlərinin alınan a_i qiymətləri bərabərdir:

$$a_1 = -0.941773 \times 10^{-2}; a_2 = 0.113933 \times 10^{-1}; a_3 = -0.35569 \times 10^{-3};$$

$$a_4 = -0.137671 \times 10^{-2}.$$

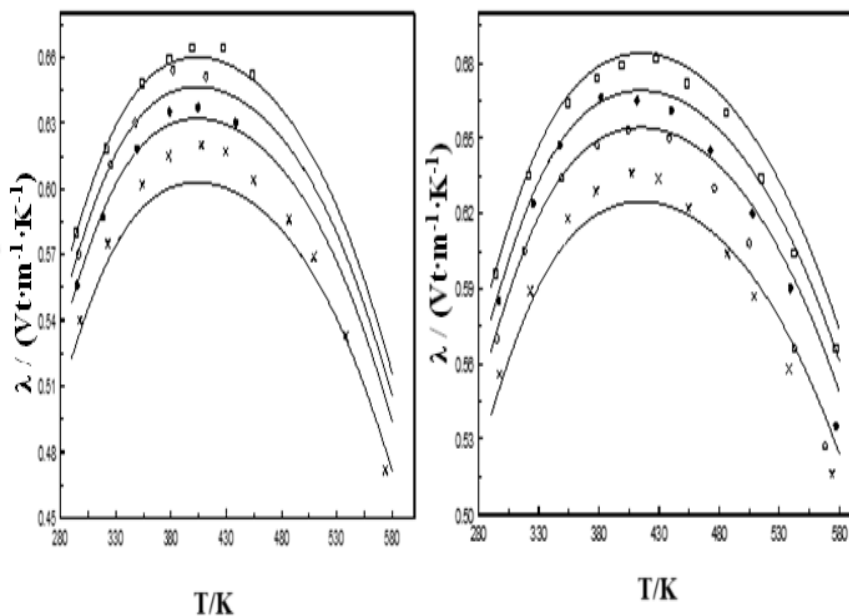
Gətirilmiş istilikkeçirmə əmsalının (λ_r) təzyiqdən (P) asılılığı çox zəifdir (λ_r təzyiqə P görə zəif dəyişir). Buna görə də, birinci

yaxınlaşmada (4) tənliyi modelində $\Phi_i(T, P)$ funksiyasına temperatur funksiyası kimi baxmaq olar, yalnız bu zaman eksperimental qiymətlərin ifadə olunması dəqiqliyi AAD=0.23% qəbul edilir.

Tədqiq olunan su məhlulların istilikkeçirmə əmsalı üçün işlənmiş korrelyasiya modeli (293-573) K temperatur intervalında, 40 MPa-a qədər təzyiqlər üçün və 0-dan 20 kütlə%-ə qədər konsentrasiyalarda etibarlıdır, baxmayaraq ki, istilikkeçirmə əmsalının eksperimental qiymətlərinin ekstrapolyasiyası temperatur və təzyiqin verilmiş intervalından kənarda da mümkündür. İstilikkeçirmə əmsalının ölçülmüş və hesablanmış qiymətləri arasında orta mütləq xəta 0.21% təşkil edir.

Dörd NaBr su məhlulunun (10, 20, 30, и 38) kütlə%, üç KBr su məhlulunun (10, 20, и 30) kütlə% və üç $H_2O + NaBr + KBr$ (10%NaBr+5%KBr, 10%NaBr+10%KBr и 10%NaBr+20%KBr) üçlü sistemin su məhlulunun istilikkeçirmə əmsalının ölçmələri iki izobar (10 və 40) MPa üzrə və doyma xəttinin yaxınlığında (0,101-2) MPa aparılmışdır. Temperatur (294-577) K intervalını əhatə edir. Təmiz su üçün maksimum istilikkeçirmə (409-421) K temperatur və (20–60) MPa təzyiq intervallarında alınır. Duzun əlavə edilməsi maksimum istilikkeçirmənin alındığı temperatur mövqeyini bir qədər daha yüksək temperaturlara doğru dəyişir. $\lambda - T$ asılılığında hər bir izobar üçün maksimum istilikkeçirmə aşkar olundu, belə ki, məhlulun təzyiq və konsentrasiyasından asılı olaraq $H_2O + NaBr$ üçün (400-427) K və $H_2O + KBr$ üçün (403-410) K temperatur intervallarında istilikkeçirmənin maksimumları təyin olundu, bu hal təmiz suyun üçün istilikkeçirməyə də aiddir. İstilikkeçirmənin maksimumlarının mövqeyi (bu zaman $(\partial\lambda/\partial T)_{P,\omega} = 0$) ilə məhlulun təzyiqi və konsentrasiyası arasında əlaqə tapıldı.

Ölçmələrin seçilmiş nəticələri $\lambda - T$ koordinat sistemində şəkil 6-də göstərilmişdir.



Şəkil 6. $\text{H}_2\text{O}+\text{NaBr}+\text{KBr}$ üçlü su məhlullarının KBr-un müxtəlif tərkibləri üçün temperaturdan asılı olaraq istilikkeçirmə əmsalının ölçülmüş qiymətləri ilə birlikdə $\text{H}_2\text{O}+\text{NaBr}$ və $\text{H}_2\text{O}+\text{KBr}$ binar məhlulları üçün qiymətlər: (a) $P=0.1-2$ MPa: $\square$, $\text{H}_2\text{O}+10\%\text{NaBr}+0\%\text{KBr}$; $\bullet$, $\text{H}_2\text{O}+10\%\text{NaBr}+5\%\text{KBr}$; $\circ$, $\text{H}_2\text{O}+10\%\text{NaBr}+10\%\text{KBr}$; $\text{H}_2\text{O}+10\%\text{NaBr}+20\%\text{KBr}$. (b) $P=40$ MPa: $\square$, $\text{H}_2\text{O}+10\%\text{NaBr}+0\%\text{KBr}$; $\bullet$, $\text{H}_2\text{O}+10\%\text{NaBr}+5\%\text{KBr}$; $\circ$, $\text{H}_2\text{O}+10\%\text{NaBr}+10\%\text{KBr}$; $\text{H}_2\text{O}+10\%\text{NaBr}+20\%\text{KBr}$, —, Aseyev.

Na_2CO_3 su məhlulları üçün istilikkeçmə əmsalının ölçülməsi üç izobar (0,1, 10 və 30) MPa üzrə, (294,11 - 627,06) K temperatur intervalında və (0,4966, 1,0483 və 1,6650) $\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$ konsentrasiyalar diapazonunda aparılmışdır. $\text{H}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{CO}_3$ məhlullarının istilikkeçmə əmsalı müxtəlif konsentrasiyalar üçün sabit təzyiqdə temperaturdan asılı olaraq ölçülmüşdür. İstilikkeçmənin maksimumu təzyiq və konsentrasiyadan asılı olaraq (406 və 440) K-də yaranır. İstilikkeçmə 627,15 K-ə qədər temperatur diapazonunda və 30 MPa-a qədər təzyiqin artması ilə demək olar ki, xətti olaraq artır. Məhlulun istilikkeçmə əmsalı konsentrasiya artması ilə monoton olaraq azalır.

$\text{H}_2\text{O} + \text{K}_2\text{CO}_3$ beş su məhlulu (5, 10, 15, 20, 25) kütlə% üçün doyma xəttinə yaxın (0-1) MPa təzyiqdə istilikkeçirmə üzrə yeni qiymətlər alınmışdır. Bu qiymətlər doyma təzyiqinə xətti olaraq ekstrapolyasiya edilmişdir. Ölçmələr (293-573) K temperatur intervalında aparılmışdır. Bu sistemin istilikkeçirmə əmsalının temperatur, təzyiq və konsentrasiyadan asılılıqları öyrənilmişdir.

Bu tədqiqatlar yuxarıda qeyd olunan sistemlərin istilikkeçirmə əmsalı üzrə mövcud məlumat bazasını əhəmiyyətli dərəcədə genişləndirir (ABŞ-ın NIST İstilik-fizikası Mərkəzinin direktoru professor Frenkel tərəfindən. Məlumatların tətbiqi haqqında şəhadətnamə). Falkenhagen-Onsager-Fuoss¹, Onsager və Fuoss², Debye-Hückel-Onsager³, Debye – Hückel⁴ işlərində verilmiş ionlu məhlullarının özlülük və elektrik keçiriciliyi kimi köçürmə xassələrinin konsentrasiyadan asılılığını təsvir edən mövcud nəzəri nəticələr sonsuz zəif məhlullarda ($c \rightarrow 0$) nisbi xassələrin konsentrasiyadan asılılığını təyin edə bilər. Bu nəzəriyyələr çox aşağı konsentrasiyalar (sonsuz zəif məhlullar, $c < 0,05 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$) həddində köçürmə xassələrinin konsentrasiyadan asılılıqlarını düzgün izah edir. Bu nəzəriyyələr məhdud konsentrasiya diapazonuna görə çox praktik deyil. Gətirilmiş istilikkeçirmə əmsalının müxtəlif qiymətləri üçün (4) tənliyi ilə temperaturdan asılı olaraq hər bir ölçmə üçün hesablanmış A_λ və B_λ qiymətləri şəkil 7-də göstərilmişdir. Burada müşahidə olunur ki, aşağı temperaturlarda (340 K-dən aşağı) B_λ parametrinin qiyməti həmişə mənfidir. Özlü məhlulların istilikkeçirmə əmsalının konsentrasiyadan asılılığı məhlulun ionlarından asılıdır. Şəkil 7 müxtəlif anionların su -

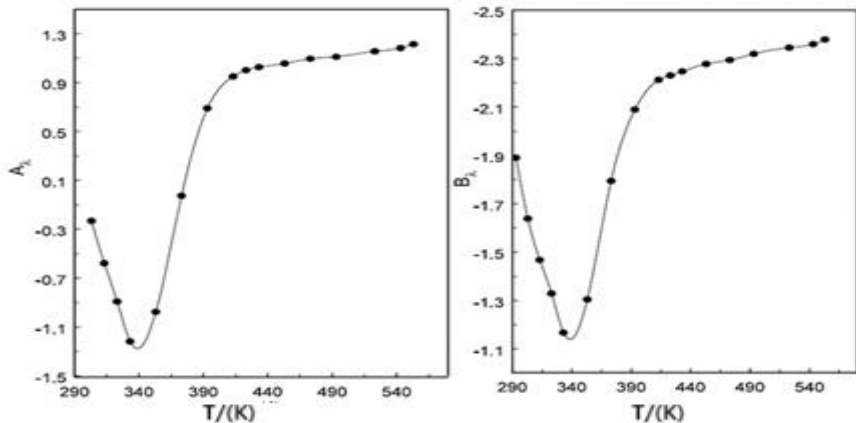
¹ H. Falkenhagen, M. Dole. Die innere reibung von elektrolytischen losungen und ihre deutung nach der debyeschen theorie // –Berlin: Z. Phys., -1929. №30, -p.611

² L. Onsager, R. Fuoss. Irreversible processes in electrolytes. Diffusion, conductance, and viscous flow in arbitrary mixtures of strong electrolytes // -Washington: J. Phys. Chem., -1932. №36, -p. 2689-2778

³ L. Onsager. The theory of electrolytes// - Berlin: Z. Phys., 1926. № 27, -p. 388-392

⁴ P. Debye, H. Hückel. Bemerkungen zu einem satze über die kataphoretische wanderungsgeschwindigkeit suspendierter teilchen // - Berlin: Z. Phys., - 1924. № 25, -p. 49-52.

duz məhlullarının istilikkeçirmə əmsalının qiymətlərinə və temperatur asılılığına təsirini nümayiş etdirir. Beləliklə, əmsalların və elektrolit məhlullarının qiymətləri strukturun təsviri və qurulması üçün bir vasitə kimi istifadə olunur (ion-ion, ion-məhlul, məhlul-məhlul).



Şəkil 7. H₂O+K₂CO₃ üçün A_{λ} (sol) və B_{λ} (sağ) əmsallarının temperaturdan asılı olaraq qiymətləri.

İkinci fəsildə süni çoxkomponentli qarışıqların su məhlullarının həcmi xassələrinin (PVT qiymətləri) ABŞ TRC/NIST Qiymətlər bazasında aparılmış tədqiqi üzrə elmi ədəbiyyat xülasəsi verilmişdir. Əvvəl qeyd edildiyi kimi, sulu məhlulların həcmi xassələri çoxlu sənaye və təbii proseslərdə əsas rol oynayır, bir çox hallarda bu proseslər yüksək temperatur və təzyiqlərdə baş verir.

Beləliklə, sulu məhlulların anomal xassələrini təyin edən fiziki-kimyəvi təbiəti və mexanizmi mikroskopik səviyyədə dərinlən başa düşmək üçün onların həcmi xassələri haqqında dəqiq eksperimental qiymətlər lazımdır. Sıxlığın təzyiqə, temperatura və konsentrasiyaya görə xüsusi törəməsi entalpiya, entropiya, daxili enerji, Gibbs sərbəst enerjisi və s. kimi kalorik xassələri hesablamaq üçün istifadə olunan mühüm kəmiyyətdir. Tam (ikinci törəmə sabit təzyiq və sabit həcmdə molyar istilik tutumunun xarakterini müəyyən edir.

Spirtlərin su məhlullarının sıxlığının (PVT qiymətləri) və digər həcmi xassələrinin müxtəlif təzyiq və yüksək temperaturlarda ölçülməsinin nəticələri ilə bağlı verilən nəşrlərin sayı çox məhduddur. Su, duz və spirtlər mürəkkəb təbiətli molekullararası qarşılıqlı təsirlərə malik mürəkkəb birləşmələrdir və bu da onların eksperimental və nəzəri tədqiqat məsələlərini çətinləşdirir. Digər əhəmiyyətli bir məsələ də su-spirt məhlulları üçün yüksək temperatur və təzyiqlərdə etibarlı hal tənliyinin işlənməsidir. Spirt assosiyasiya olunan mayelər sırasına daxil olan standart mayedir. Spirt molekulları suyun strukturuna güclü təsir göstərir, bu da spirtlərin su məhlullarının bir çox termodinamik və köçürmə xassələrində anomaliyalara səbəb olur. Spirt molekulları qarışıqda suyun quruluşunu yenidən təşkil edir. Su məhlulların izafi, xəyali və parsial molyar həcmələrinin tədqiqi həlledici - həll olunan maddə, həlledici - həlledici, həll olunan maddə - həll olunan maddə molekullararası (struktur) qarşılıqlı təsirlərin təbiətini yoxlamaq və öyrənmək üçün vacibdir və molekulların formasından, strukturundan, kimyəvi tərkibindən asılıdır.

Binar və üçlü sistemlərin su-spirtli məhlulları $\text{H}_2\text{O}+\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}+\text{LiNO}_3$, $\text{H}_2\text{O}+\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}+\text{KNO}_3$, $\text{H}_2\text{O}+\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}+\text{Li}_2\text{SO}_4$ üçün eksperimental (P, V_m, T, x) qiymətləri maye termostata yerləşdirilmiş sabit həcmli pyezometr metodu ilə alınmışdır. Termostat temperaturun sabitliyinə yüksək dəqiqliklə (± 0.02 K) nəzarət edir. Sıxlıq, təzyiq, temperatur və konsentrasiyanın ölçmə xətası 95% ehtimal səviyyəsində ($k = 2$) müvafiq olaraq 0.06%, 0.05%, 15 mK, və 0.015% təşkil edir. Təcrübə qurğusunun tam təsviri və iş prinsipi işdə verilmişdir.

Bu metodda sıxlığın ölçülmə xətası verilmiş T temperaturda və P təzyiqdə pyezometrin kütləsinin (δM) və həcmnin (δV_{pT}) ölçmə xətələrindən asılıdır.

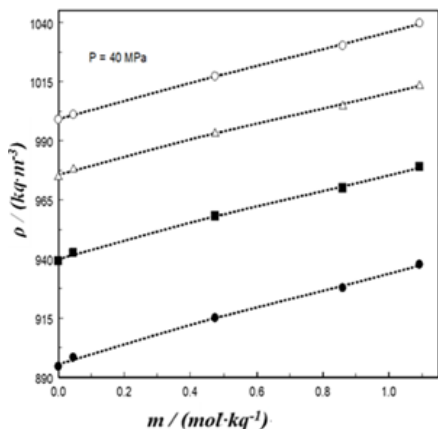
Sabit həcmli pyezometrdən istifadə etməklə binar $\text{H}_2\text{O}+\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ və üçlü $\text{H}_2\text{O}+\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}+\text{LiNO}_3$ qarışıqları üçün etalonun 0.0168, 0.0368, 0.085 və 0.1166 mol nisbətlərində (298-

448) K temperatur intervalında və 40 MPa-a qədər təzyiqlərdə sıxlıq, (PVTx) və digər həcmi xassələr (izafi, xəyali və parsial molyar həcmələr) eksperimental və nəzəri tədqiq edilmişdir. $\text{H}_2\text{O}+\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}+\text{LiNO}_3$ üçlü sistem üçün ölçmələr 12 konsentrasiyada həmin temperatur və təzyiq intervallarında aparılmışdır. Bu işdə alınmış su+etanol binar sistemin sıxlığının eksperimental qiymətləri, təmiz su üçün ən dəqiq (beynəlxalq tanınmış) məlumatlar (IAPWS standartı) ilə birlikdə hər bir komponentin xəyali parsial molyar həcmələrini hesablamaq üçün istifadə edilmişdir. Xəyali və parsial molyar həcmələrin qiymətlərinin hesablanması məhlulların sıxlığı üzrə ρ_{mix} alınan qiymətlər və yaxşı məlum olan termodinamik tənliklərdən istifadə edərək təmiz suyun sıxlığı üzrə ρ_w qiymətləri əsasında aparılmışdır. Alınan su+etanol sisteminin xəyali molyar həcmələri V_Φ temperatur və təzyiqin müxtəlif qiymətlərində sonsuz durulaşdırılmada V_Φ^0 (sonsuz durulaşdırılmış parsial molyar həcm, $V_\Phi^0 = \bar{V}_2^\infty$) xəyali molyar həcmi qiymətlərini hesablamaq üçün istifadə edilmişdir. V_Φ^0 -in hesablanması üçün V_Φ -in sıfır konsentrasiyaya ($m \rightarrow 0$) ekstrapolyasiyasının standart prosedurundan istifadə edilmişdir. (V_Φ^0) sonsuz durulaşdırılmada V_Φ -in qiyməti sıfır konsentrasiyaya ($m \rightarrow 0$) qədər qrafik-analitik ekstrapolyasiya yolu ilə təyin edilmişdir.

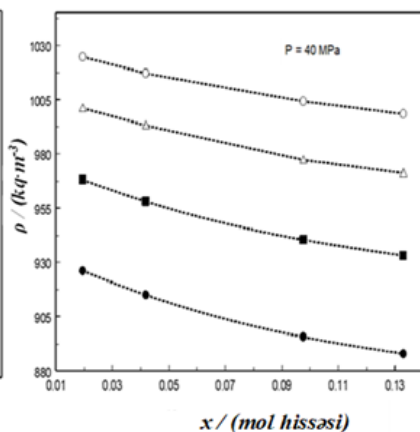
Durulaşdırılmış binar qarışıqların termodinamikası geniş elmi maraq doğuran mövzudur, belə ki durulaşdırılma zamanı onların xassələrinin təyin edilməsində dominant rol həlledici və həll olunan maddənin molekulları arasındakı qarşılıqlı təsir oynayır, bu zaman həll edən maddənin aşağı konsentrasiyası səbəbindən həll olunan maddə - həll olunan maddə molekulları arasındakı qarşılıqlı təsiri

nəzərə almamaq olar. Durulaşdırılmış məhlullar təkcə elmi deyil, həm də kiçik qarışıqların sistemin termodinamik davranışına təsiri kimi mühüm tətbiqi (texnoloji) əhəmiyyətə malikdir. Durulaşdırılmış məhlullar üçün qarışıqların təsiri (burada həll olunan maddədə qarışıq kimi deyil, həll olunan maddəyə qarışıq kimi baxırıq) təmiz həlledicinin sıxılma qabiliyyətinə mütənasibdir.

Su+etanol+LiNO₃ üçlü sistemin konsentrasiyadan (etanolun molyar hissəsi) asılılığı şəkil 8, 9-da verilmişdi. Bu şəkillər LiNO₃ elektrolitinin əlavə edilməsinin su+etanol binar sisteminin sıxlığına necə təsir etdiyini nümayiş etdirir. Etanolun əlavə edilməsi üçlü sistemin sıxlığını azaldır, LiNO₃ əlavə edilməsi isə onu artırır.



Şəkil 8. Su+etanol+LiNO₃ üçlü sistemin konsentrasiyadan (LiNO₃ molyarlığı) asılı olaraq seçilmiş 40 MPa izobar və müxtəlif izotermələr üçün etanolun fiksasiya olunmuş konsentrasiyasında (9,32 kütlə%) sıxlığının ölçülmüş qiymətləri. ● - 448.15 K; ■ - 398.15 K; △ - 348.15 K; ○ - 298.15 K; s



Şəkil 9. Su+etanol+LiNO₃ üçlü sistemin konsentrasiyadan (etanolun molyar hissəsi) asılı olaraq seçilmiş 40 MPa izobar və müxtəlif izotermələr üçün LiNO₃ fiksasiya olunmuş konsentrasiyasında (0.4387 mol·kq⁻¹) sıxlığının ölçülmüş qiymətləri. ●, 448.15 K; ■, 398.15 K; △, 348.15 K; ○, 298.15 K;

İzafi (V_m^E), xəyali (V_ϕ) və parsial ($\bar{V}_2^\infty$) molyar həcmələr binar su+etanol qarışıqları və təmiz komponentlər (su və etanol) üçün ölçülmüş sıxlıqların qiymətləri əsasında hesablanmışdır. Xəyali (V_ϕ) molyar həcmə konsentrasiya asılılığı sonsuz durulaşdırılmada (sonsuz zəif məhlul) etanolun parsial molyar həcmələrinin ($\bar{V}_2^\infty$) hesablanması üçün sıfıra ekstrapolyasiya ($x \rightarrow 0$) edilmişdir. Sıxlığın temperatur, təzyiq və konsentrasiyadan asılılıqları araşdırılmış və bunun əsasında tədqiq olunan məhlulların həcmi xassələri ($V_m^E, V_\phi, \bar{V}_2^\infty$) hesablanmışdır. Ölçülmüş və hesablanmış verilənlərin dəqiqliyini göstərmək, həmçinin dissertasiyada verilmiş və elmi ədəbiyyatda dərc olunmuş məlumatların etibarlılığını qiymətləndirmək məqsədilə su+etanol binar sistemi üzrə bütün ölçülmüş və hesablanmış xassələr ($V_m^E, V_\phi, \bar{V}_2^\infty$) ədəbiyyatda mövcud olan qiymətlərlə ətraflı müqayisə edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, su+etanol binar sisteminin izafi molyar həcmi çox kiçikdir və bütün tədqiq edilmiş konsentrasiya, temperatur və təzyiqlər üçün mənfi qiymətlər alır. Həmçinin su+etanol binar sisteminin izafi molyar həcmə etanolun 0,4 mol konsentrasiyasında minimuma malik olduğu müəyyən edilmişdir. Xəyali V_ϕ molyar həcmə minimumu 2 mol·kg⁻¹ konsentrasiyası yaxınlığında (sonsuz zəif məhlul) aşkar edilmişdir.

Su+1-propanol+KNO₃ üçlü sistemin sıxlığı üzrə (298-dən 448-dək) K temperatur və 40 MPa-a qədər təzyiqlərdə altı konsentrasiya, yəni: KNO₃ (0.261 mol·kg⁻¹ N₂O)-C₃N₇ON (5 kütlə%); KNO₃ (0.261 mol·kg⁻¹ N₂O)-C₃N₇ON (20 kütlə%); KNO₃ (0.261 mol·kg⁻¹ N₂O)-C₃N₇ON (15 kütlə%); KNO₃ (0.435 mol·kg⁻¹ N₂O)-C₃N₇ON (15 kütlə%); KNO₃ (1.130 mol·kg⁻¹ N₂O)-C₃N₇ON (15 kütlə%) və KNO₃ (0.261 mol·kg⁻¹ N₂O)-C₃N₇ON (25 kütlə%) üçün yeni qiymətlər eksperimental olaraq alınmışdır. Su+1-propanol+KNO₃ üçlü sistemin sıxlığının ölçülmüş qiymətləri sonsuz durulaşdırmada (sonsuz zəif məhlul) elektrolitin (KNO₃) və spirtin (1-propanol) parsial molyar həcmələrinin temperatur, təzyiq və komponentlərin konsentrasiyasından asılı olaraq hesablanması üçün istifadə edilmişdir. Parsial molyar həcmə maksimumu elektrolitin aşağı (durulaşdırılmış)

konsentrasiyalarında təxminən 323 K temperaturda müəyyən edilmişdir və elektrolitin yüksək konsentrasiyalarında ($1.13 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$) əhəmiyyətli dərəcədə yüksək temperaturalara (373 K-ə qədər) doğru sürüşür. Parsial molyar həcmnin maksimumu elektrolitin aşağı (durulaşdırılmış) konsentrasiyalarında təxminən 323 K temperaturda müəyyən edilmişdir və elektrolitin yüksək konsentrasiyalarında ($1.13 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$) əhəmiyyətli dərəcədə yüksək temperaturalara (373 K-ə qədər) doğru sürüşür. Molyar $\bar{V}_2^0$ həcmnin temperatur maksimumuna təzyiqin təsiri 350 K -dən aşağı temperaturda çox zəifdir, yüksək temperaturalarda isə $\bar{V}_2^0 - p$ izotermələri mailliyi kəskin dəyişir.

Su+KNO₃ binar sistemində temperatur (T) və təzyiqin (P) eyni şərtləri daxilində spirt olduqda elektrolitin (KNO₃) parsial molyar həcmi spirt olmayan su+KNO₃ qarışığındakı qiymətlə müqayisədə artır. Su+KNO₃ binar qarışığına 15 kütlə% spirtin (1-propanol) əlavə edilməsi elektrolitin (KNO₃) parsial molyar həcmi 7,5% artırır. Elektrolitin (KNO₃) parsial molyar həcmnin termiki genişlənmə əmsalları $(\partial \bar{V}_2 / \partial T)_{p,Tx}$ üçlü qarışığın molyar həcmnin ölçmələri əsasında hesablanmışdır.

Su+1-propanol+Li₂SO₄ mürəkkəb üçlü maye qarışığının səkkiz tərkibi (dörd tərkib 1-propanolun mol hissəsində 0.0155, 0.0254, 0.0322 və 0.0502 və dörd duz tərkibi 0.0062, 0.0124, 0.0199 və 0.0274) üçün 303-dən 448 K-ə qədər temperatur intervalında və 40 MPa-a qədər təzyiqlərdə sabit həcmli pyezometr metodu ilə həcmi xassələri (özlülük, PVT xassələri) üzrə yeni qiymətlər alınmışdır. Duzun (Li₂SO₄) $\bar{V}_2$ və spirtin (1-propanol) $\bar{V}_1$ parsial molyar həcmələri su+1-propanol+Li₂SO₄ üçlü qarışığının sıxlığının ölçülmüş qiymətləri əsasında temperatur, təzyiq və hər iki məhlulun konsentrasiyasından asılı olaraq hesablanmışdır. Duzun parsial molyar həcmnin $\bar{V}_2$ maksimumu aşağı temperatur diapazonunda (otaq temperaturuna yaxın) aşkar edilmişdir.

Duzun temperatur maksimumunun $\bar{V}_2$ yerləşməsinə təzyiqin təsiri əhəmiyyətsizdir. Eləcə də müəyyən edilmişdir ki, bütün ölçülmüş izotermələri üçün $\bar{V}_1 - x_2$ asılılığı duzun təxminən $x_2=0,017$ mol hissəli

konsentrasiyalarında minimuma çatır. Temperatur artdıqda konsentrasiyanın minimumu ($\bar{V}_1$) yüksək konsentrasiyalar mövqeyinə doğru bir qədər yerini dəyişir. Duzun xəyali molyar həcmi ($\bar{V}_2$) bütün ölçülmüş izotermələr üçün demək olar ki, eyni bucaq əmsallarına malik olmaqla x_2 -dən asılı xətti funksiyadır.

Duz və spirtin alınmış parsial molyar həcmlərinin konsentrasiyadan asılılıqları duzun sonsuz durulaşdırılmada (sonsuz zəif məhlul) parsial molyar həcmələrini spirt ($\bar{V}_1^0$) və duz ($\bar{V}_2^0$) almaq üçün sıfır konsentrasiyaya ($x_1=0$ və $x_2=0$) ekstrapolyasiya edilmişdir.

Üçlü qarışıqın sıxlığının və alınan parsial molyar həcmlərin temperatur, təzyiq və konsentrasiyadan asılılıqları ətraflı tədqiq olunmuşdur. Duzun parsial molyar həcmləri ($\bar{V}_2^0$) sonsuz durulaşdırılmada (sonsuz zəif məhlul) aşağı temperaturlar (350 K-dən aşağı) sahəsində temperaturdan çox az asılıdır və yüksək temperaturlarda bu asılılıq (350 K-dən yuxarı) sürətlə azalır. Parsial molyar həcmlərin ($\bar{V}_2^0$) təzyiqdən asılılığı 350 K-dən aşağı temperaturlarda çox zəifdir, yüksək temperaturlarda isə $\bar{V}_2^0 - P$ izotermələrinin bucaq əmsalı əhəmiyyətli şəkildə dəyişir. Temperatur (T) və təzyiqin (P) eyni şərtləri daxilində su+Li₂SO₄ binar məhlulunda spirt olduqda duzun (Li₂SO₄) parsial molyar həcmi susuz binar məhlulların qiymətləri ilə müqayisədə artır.

Üçlü qarışıqda hər iki həll olunan maddənin (eyni zamanda duzun və spirtin) sonsuz durulaşdırılmada ($x_1 = x_2 = 0$) spirtin ($\bar{V}_1^0$) və duzun ($\bar{V}_2^0$) parsial molyar həcmələrinin qiymətləri hesablanmışdır. Aydın ifadə olunan temperatur maksimumu ($\bar{V}_2^0$) 325 K ətrafında (xüsusilə yüksək təzyiqlərdə) müəyyən edilmişdir ki, bu zaman ($\bar{V}_1^0$) temperaturun artması ilə monoton olaraq artır.

$P=5$ MPa təzyiqdə alınmış $\bar{V}_1^0$ və $\bar{V}_2^0$ qiymətləri cədvəl 1-də göstərilmişdir.

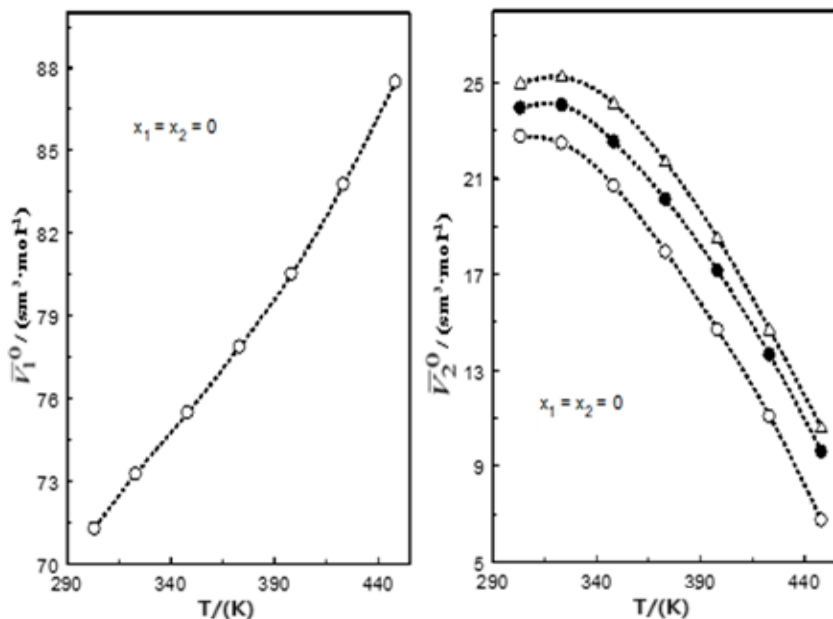
Cədvəl 1.

Su+1-propanol+Li₂SO₄ üçlü sistemdə sonsuz durulaşdırılmada $x_1 \rightarrow 0$, duzun müxtəlif konsentrasiyaları üçün 1-propanol ($\bar{V}_1^0$) və Li₂SO₄ ($\bar{V}_2^0$) parsial molyar həcmələrinin temperatur və təzyiqdən asılı olaraq hesablanmış qiymətləri (sm³·mol⁻¹).

P=5 MPa, x ₂ =0.00623 m.h.			P=5 MPa, x ₂ =0.0124 m.h.	P=5 MPa, x ₂ =0.0274 m.h.	P=5 MPa, x ₂ =0.0199 m.h.
T, K	$\bar{V}_1^0$	$\bar{V}_2^0$	$\bar{V}_1^0$	$\bar{V}_1^0$	$\bar{V}_1^0$
303.15	67.29	22.77	65.29	68.51	65.48
323.15	69.09	22.49	66.87	69.40	66.73
348.15	71.22	20.70	68.85	70.84	68.47
373.15	73.49	17.95	70.99	72.57	70.42
398.15	75.98	14.70	73.32	74.40	72.52
423.15	78.85	11.09	75.86	76.33	74.71
448.15	82.10	6.760	78.69	78.43	77.13

Ölçmələrin mütləq və nisbi standart xətalrı: $u(p)=0.025\%$; $u(\rho)=0.03\%$; $u(T)=0.02$ K; $u(x)=5 \times 10^{-5}$; $u(\bar{V}_2^0)=0.2\% - 0.3\%$.

Su+1-propanol+Li₂SO₄ üçlü sistemin molyar həcmələrinin eksperimental qiymətləri əsasında seçilmiş 5, 20 və 40 MPa izobarlar üçün hər iki həll olunan maddənin sonsuz durulaşdırılmasında (spirt $x_1 \rightarrow 0$ və duz $x_2 \rightarrow 0$) spirtin (1-propanol, $\bar{V}_1^0$) və duzun (Li₂SO₄, $\bar{V}_2^0$) parsial molyar həcmələrinin temperaturdan asılı olaraq hesablanmış qiymətləri şəkil 10-də göstərilmişdir. Şəkil 10–dan göründüyü kimi, $\bar{V}_2^0$ qiyməti temperatur artdıqca qeyri-xətti azalır, bu zaman $\bar{V}_1^0$ temperatur artdıqca monoton artır və spirtin konsentrasiyasından demək olar ki, asılı deyil.

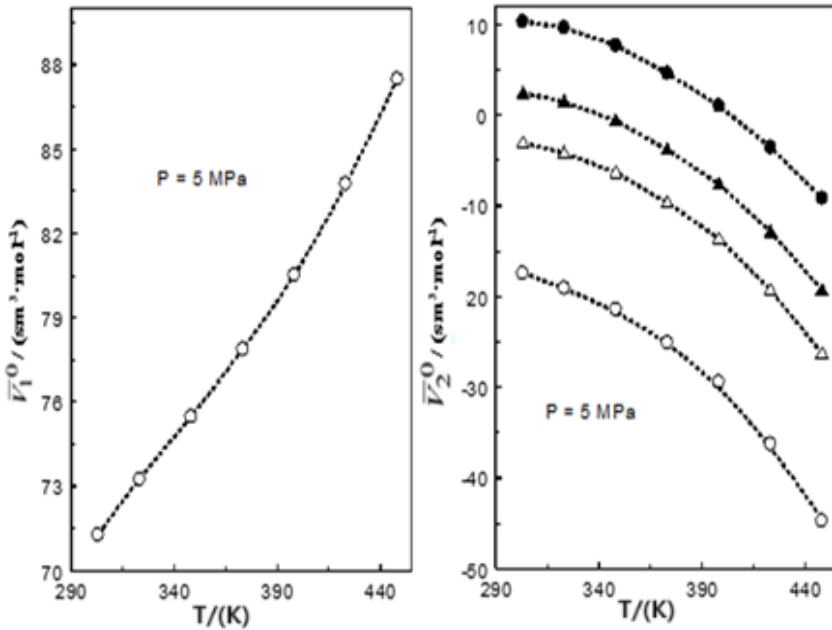


Şəkil 10. Su+1-propanol+ Li_2SO_4 üçlü sistemin molyar həcmələrinin eksperimental qiymətləri əsasında seçilmiş izobarlar üç hər iki həll olunan maddənin sonsuz durulaşdırılmasında (spirt $x_1 \rightarrow 0$ və duz $x_2 \rightarrow 0$) spirtin (1-propanol, $\bar{V}_1^0$) və duzun (Li_2SO_4 , $\bar{V}_2^0$) parsial molyar həcmələrinin temperaturdan asılı olaraq hesablanmış qiymətləri. Solda: $\circ$, 5 MPa; Sağda: $\circ$, 5 MPa; $\bullet$, 20 MPa; və $\triangle$, 40 MPa.

Su+1-propanol+ Li_2SO_4 üçlü sistemin molyar həcmələrinin eksperimental qiymətləri əsasında seçilmiş 5 MPa izobarda spirtin (1-propanol) sabit konsentrasiyası üçün temperatur asılı olaraq sonsuz durulaşdırılmada ($x_1 \rightarrow 0$) spirtin (1-propanol, $\bar{V}_1^0$) və duzun (Li_2SO_4 , $\bar{V}_2^0$) parsial molyar həcmələrinin hesablanmış qiymətləri göstərilmişdir. Göründüyü kimi, su+ Li_2SO_4 məhluluna spirtin əlavə edilməsi $\bar{V}_2^0$ -nin qiymətlərini artırır və su+ Li_2SO_4 spirtsiz məhlulunda aşağı temperaturlu sahədə tam aydın ifadə olunan $\bar{V}_2^0$

temperatur maksimumunu bir qədər hamarlayır.

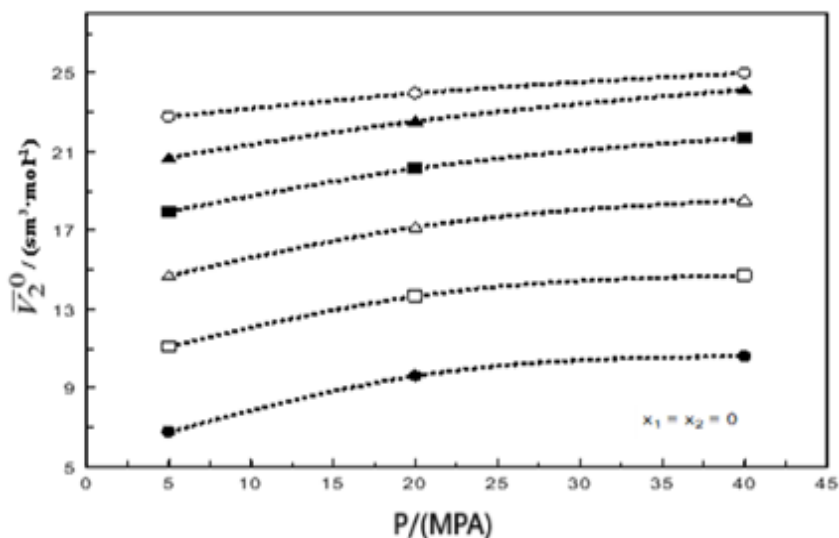
Su+1-propanol+Li₂SO₄ üçlü sistemin molyar həcmələrinin eksperimental qiymətləri əsasında seçilmiş 5 MPa izobarda 1-propanol spirtinin sabit konsentrasiyası üçün sonsuz durulaşdırılmada ($x_2 \rightarrow 0$) spirtin (1-propanol, $\bar{V}_1^0$) və duzun (Li₂SO₄, $\bar{V}_2^0$) parsial molyar həcmələrinin temperatur və təzyiqdən asılı olaraq hesablanmış qiymətləri şəkil 11-də göstərilmişdir.



Şəkil 11. Su+1-propanol+Li₂SO₄ üçlü sistemin molyar həcmələrinin eksperimental qiymətləri əsasında seçilmiş 5 MPa izobarda spirtin (1-propanol) sabit konsentrasiyası üçün sonsuz durulaşdırılmada ($x_2 \rightarrow 0$) spirtin (1-propanol, $\bar{V}_1^0$) və duzun (Li₂SO₄, $\bar{V}_2^0$) parsial molyar həcmələrinin temperatur və təzyiqdən asılı olaraq hesablanmış qiymətləri.

●, $x_1=0.0155$; ○, $x_1=0.0502$; ▲, $x_1=0.0254$; △, $x_1=0.0322$.

Şəkil 12-də su+1-propanol+Li₂SO₄ üçlü sistemin molyar həcmələrinin eksperimental qiymətləri əsasında eksperimental izotermələr üçün hər iki həll olunan komponentin sonsuz durulaşdırılmasında (spirt $x_1 \rightarrow 0$ və duz $x_2 \rightarrow 0$) duzun (Li₂SO₄, $\bar{V}_2^0$) parsial molyar həcmələrinin təzyiqdən asılı olaraq hesablanmış qiymətləri göstərilmişdir. Üçlü qarışıq üçün ölçülmüş qiymətlərdən alınmış $\bar{V}_2^0$ -in qiymətlərinə təzyiqin təsiri şəkil 12-də göstərilir.



Şəkil 12. Su+1-propanol+Li₂SO₄ üçlü sistemin molyar həcmələrinin eksperimental qiymətləri əsasında eksperimental izotermələr üçün hər iki həll olunan komponentin sonsuz durulaşdırılmasında (spirt $x_1 \rightarrow 0$ və $x_2 \rightarrow 0$) duzun (Li₂SO₄, $\bar{V}_2^0$) parsial molyar həcmələrinin təzyiqdən asılı olaraq hesablanmış qiymətləri. ○, 303 K; ▲, 348 K; ■ 373 K; △, 398 K; □, 423 K; ●, 448 K.

Termiki genişlənmə əmsalı (parsial molyar genişlənmə) entropiya və istilik tutumu ilə termodinamik əlaqələrlə bağlıdır və sistemdə termiki genişlənmə zamanı struktur dəyişiklikləri haqqında

məlumatı təşkil edir.

Su+1-propanol+Li₂SO₄ üçlü sistemdə 5 MPa izobarda duz və spirtin sabit konsentrasiyası üçün sonsuz durulaşdırılmada duzun Li₂SO₄ $\left(\partial \bar{V}_2^0 / \partial T\right)_{P_x}$ və spirtin 1-propanol $\left(\partial \bar{V}_1^0 / \partial T\right)_{P_x}$ parsial

molyar həcmələrinin termiki genişlənmə əmsalının temperaturdan asılı olaraq hesablanmış qiymətləri şəkil 13-də göstərilmişdir.

Şəkil 13-dan göründüyü kimi duzun parsial molyar genişlənməsi mənfidir $\left(\partial \bar{V}_2^0 / \partial T\right)_{P_x} < 0$ və temperatur artdıqca azalır, spirtinki isə müsbətdir $\left(\partial \bar{V}_1^0 / \partial T\right)_{P_x} > 0$ və temperaturun artması ilə artır, yəni hər iki həll olunan maddənin parsial molyar genişlənməsi əks işarəli olub, temperatura nəzərən əks xarakterə malikdir.

Eyni nəticələr su+1-propanol+KNO₃ üçlü məhlul üçün də müəyyən edilmişdir.

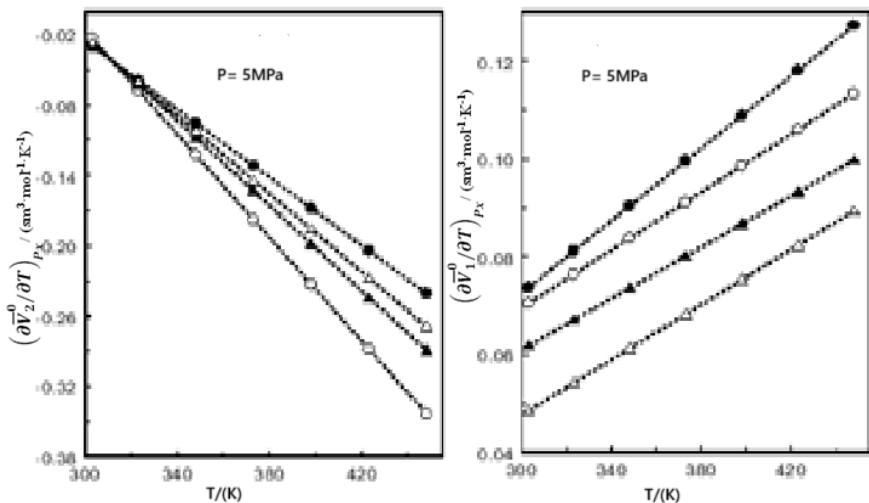
Duz və spirtin parsial molyar həcmələrinin temperatura görə ikinci tərtib törəmələri (yəni əyrilər) mənfi olduqda $\left(\partial^2 \bar{V}_2^0 / \partial T^2\right)_{P_x} < 0$ həll olunan maddə məhlulun strukturunu dağıdır, müsbət olduqda isə $\left(\partial^2 \bar{V}_1^0 / \partial T^2\right)_{P_x} > 0$ həll olunan maddə məhlulun strukturunu yaradır.

Təmiz suyun $\left(\partial V_w / \partial T\right)_p$ və təmiz 1-propanolun $\left(\partial V_m / \partial T\right)_p$ eyni temperatur (T) və təzyiq (P) üçün molyar genişlənməsi müsbətdir və təxminən düz xətt üzərində yerləşir. Təmiz suyun $\left(\partial^2 V_w / \partial T^2\right)_p$ və 1-propanolun $\left(\partial^2 V_m / \partial T^2\right)_p$ molyar həcmələrinin asılılıqlarının temperatura görə ikinci tərtib törəmələri müsbətdir.

Araşdırmalara əsasən, duz (Li₂SO₄) ona bitişik su molekulalarının strukturunu dağıdır (suyun strukturunu azaltmaq tendensiyasına malikdir), spirt (1-propanol) molekulaları isə duzdan fərqli olaraq suyun strukturunu yaradır (yüksək struktur layı ilə əhatə edir). Beləliklə, iki əks rəqabətli effekt su+1-propanol+Li₂SO₄ kimi mürəkkəb qarışığın həcmi xassələrini müəyyənləşdirir.

Sonsuz durulaşdırmada parsial molyar həcmələr və onun temperatura görə $\left(\partial \bar{V}_i^0 / \partial T\right)_{P_x}$ və $\left(\partial^2 \bar{V}_i^0 / \partial T^2\right)_{P_x}$ törəmələri qarışığın strukturunun dəyişməsinin ölçüsü kimi çıxış edir, $\left(\partial^2 \bar{V}_i^0 / \partial T^2\right)_{P_x} > 0$

əyrisi hidrofob həll olunan maddələr üçün müsbət (struktur əmələ gətirən), $(\partial^2 \bar{V}_i^0 / \partial T^2)_{P_x} < 0$ isə hidrofil həll olunan maddələr üçün mənfidir (strukturunu dağıdan). Qeyd edək ki, $(\partial \bar{V}_2^0 / \partial T)_{P_x}$ və $(\partial^2 \bar{V}_2^0 / \partial T^2)_{P_x}$ qiymətləri də mənfidir və temperaturun artması ilə azalır. Duzun (Li_2SO_4) parsial molyar həcmnin termiki genişlənmə əmsalının $(\partial \bar{V}_2 / \partial T)_{P_x}$ və təmiz suyun (həlledicinin) həcmi genişlənmə əmsalının $(\partial V_w / \partial T)_P$ məhdud qiymətləri əks işarələrə və əks temperatur xarakteristikalarına malikdir.



Şəkil 13. Su+1-propanol+ Li_2SO_4 üçlü sistemdə 5 MPa izobarda duz və spirtin sabit konsentrasiyası üçün sonsuz durulaşdırılmada (solda $x_2=0$ və sağda $x_1=0$) duzun Li_2SO_4 $(\partial \bar{V}_2^0 / \partial T)_{P_x}$ və spirtin 1-propanol

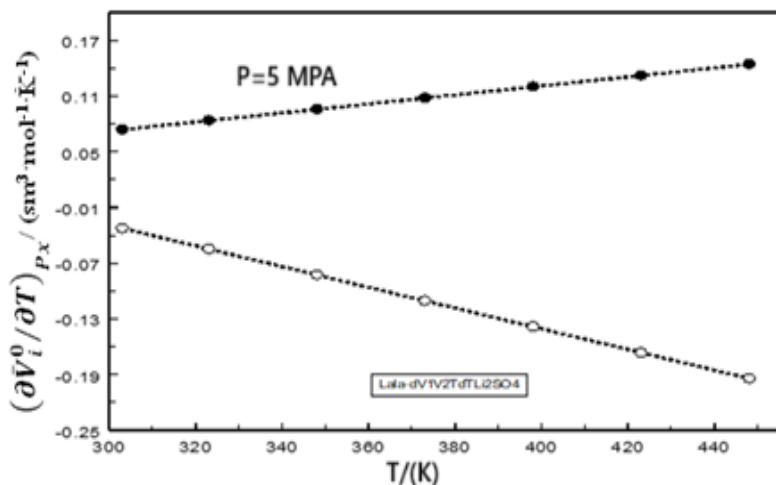
$(\partial \bar{V}_1^0 / \partial T)_{P_x}$ parsial molyar həcmələrinin termiki genişlənmə əmsalının temperaturdan asılı olaraq hesablanmış qiymətləri.

Solda: ($x_2=0$): ○, $x_1=0.0155$; ▲, $x_1=0.0502$; ●, $x_1=0.0254$; △, $x_1=0.0322$.

Sağda: ($x_1=0$): ○, $x_2=0.00623$; ▲, $x_2=0.0124$; ●, $x_2=0.0274$; △, $x_2=0.0199$.

Su+1-propanol+Li₂SO₄ üçlü sistemdə 5 MPa izobarda duz və spirtin sabit konsentrasiyası üçün sonsuz durulaşdırılmada ($x_2=0$ və $x_1=0$) duzun Li₂SO₄ $\left(\partial\bar{V}_2^0/\partial T\right)_{Px}$ və spirtin 1-propanol $\left(\partial\bar{V}_1^0/\partial T\right)_{Px}$ parsial molyar həcmələrinin termiki genişlənmə əmsalının temperaturdan asılı olaraq hesablanmış qiymətlərinin müqayisəsi şəkil 14-də göstərilmişdir.

Hər iki həll olunan maddənin parsial molyar həcmələrinin termiki genişlənmə əmsalları fərqli işarələrə və əks temperatur asılılığına malikdir.



Şəkil 14. Su+1-propanol+Li₂SO₄ üçlü sistemdə 5 MPa izobarda duz və spirtin sabit konsentrasiyası üçün sonsuz durulaşdırılmada ($x_2=0$ və $x_1=0$) duzun Li₂SO₄ $\left(\partial\bar{V}_2^0/\partial T\right)_{Px}$ və spirtin 1-propanol

$\left(\partial\bar{V}_1^0/\partial T\right)_{Px}$ parsial molyar həcmələrinin termiki genişlənmə əmsalının

temperaturdan asılı olaraq hesablanmış qiymətlərinin müqayisəsi.

○, $x_1=0.0155$ и $x_2=0$; ●, $x_2=0.00623$ və $x_1=0$.

Üçlü qarışıqın molyar həcmələrinin qiymətləri hər bir izobar-izoterm (sabit P və T qiymətlərində) üçün konsentrasiyadan asılılığı polinom funksiyaları (x_1 и x_2) ilə ayrıca ifadə edilmişdir:

$$V_m(P, T, x_1, x_2) = V_{m0}(P, T, x_1 = x_2 = 0) + A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_3 x_1 x_2 + A_4 x_1 x_2^2 \quad (9)$$

burada $V_{m0}(P, T, x_1 = x_2 = 0)$ - təmiz suyun molyar həcmi ; x_1 - 1-propanolun mol hissəsi; x_2 - KNO_3 mol hissəsi; A_i ($i=1;4$)- temperatur və təzyiq funksiyası olan tənzimləmə parametrləridir.

Mayələr molekulyar quruluşuna və istilik hərəkətinə görə bərk və qaz halında olan cisimlər arasında aralıq mövqe tuturlar. Molekulyar quruluş və istilik hərəkəti modeli haqqında mövcud anlayış belədir ki, mərkəzi rolu öz üzərinə alan müəyyən molekullar ətrafında qəfəsdə bərk cismin titrəmələri üçün molekullar arasındakı orta məsafə həddində amplitudaya uyğun göstərilən tezliyə yaxın kiçik titrəmələr həyata keçirən qonşu molekullar qruplaşdırılır. Mərkəzi molekul ya (maye tarazlıqda olduqda) hərəkətsiz qalır, ya da mayenin makroskopik hərəkətinin yerli orta sürəti ilə üst-üstə düşən istiqamətdə yerini dəyişir. Mayenin molekulyar strukturunda molekullar arasında qarşılıqlı təsirin potensial enerjisi onların istilik hərəkətinin kinetik enerjisi ilə müqayisə edilə bilər ki, bu zaman qısa nizamlanma aşkar edilir. Bərk, maye və qaz halında olan cisimlərin molekulyar quruluşunda və istilik hərəkətlərindəki fərq bir maddənin (daxiletmə) digərinə (daşıyıcıya) yayılmasından ibarət olan diffuziya hadisəsində aydın şəkildə aşkar edilir. Spirt molekulları qarışığa daxil edildikdə, hidrogen əlaqə şəbəkəsi yenidən qurulur, yəni hidrogen əlaqələrinə xas olan hal kimi spirt molekulları hidrogen şəbəkəsinin boşluqlarına artıq yerləşə bilmir. Onda etanolun polyar OH qrupları su molekullarını əvəz edir və etanolun daha uzun hidrofob qrupları su molekullarının yaratdığı boşluğa daxil olur. Bu zaman yeni birləşmələr əmələ gəlir - birinci növ hidratlar. 25 kütlə%-dən yüksək konsentrasiyalarda temperaturun artması ilə ikinci növ hidratlar əmələ gəlir - su molekulları iki və ya üç hidrogen əlaqəsi əmələ gətirir. İkinci növ hidratlarda hidrogen əlaqələri təmiz su ilə müqayisədə zəifləyir. Həmçinin, temperaturun artması ilə hidrogen əlaqələrinin zəifləməsi müşahidə olunur. Bu, su-spirtli məhlulların

bütün tədqiq edilmiş konsentrasiyalarına aiddir. Zəif və ya pozulmuş hidrogen əlaqələri müşahidə olunur və nəticədə hidrogen əlaqəsinin orta enerjisi azalır, temperaturun azalması ilə güclü hidrogen əlaqələri olan OH qrupları artır. Mayenin sıxılma əmsalı molekullararası cazibə və itələmə enerjilərinin balansını əks etdirir. Mayenin bu xassəsi əsasən müxtəlif mühitlərdə birləşmələrin parsial molyar həcmnin dəyişməsinə, yüksək təzyiqdə özlülüyün dəyişməsinə təyin edir, həmçinin aktivləşmə həcmnin, reaksiya həcmnin və təzyiq altında reaksiyanın sürətləndirilməsi effektinin dəyişməsinin səbəblərini aydınlaşdırmağa imkan verir. Maddələrin sıxılma əmsalının təzyiqin geniş intervalında qiymətləndirilməsi üçün P , V və T arasındakı əlaqəni ifadə edən hal tənliklərindən istifadə olunur.

Mühəndislik və termodinamik hesablamalarda şərtlərin dəyişməsi zamanı mayələrin davranışını proqnozlaşdırmaq üçün ən çox xüsusi həcm istifadə olunur. Elektrolitlərin binar qarışıqlarının (p, V_m, T, m) xassələrinin ölçülmüş qiymətləri əsasında məhlulun xüsusi həcmnin temperatur, təzyiq və konsentrasiyadan asılılığını ifadə edən polinom tipli hal tənliyi işlənilib hazırlanmışdır (10):

$$v_{sol} = A + Bt + Ct^2 + Dt^7, \quad (10)$$

burada v_{sol} – məhlulun xüsusi həcmi, $\text{sm}^3 \cdot \text{q}^{-1}$ (məhlulun sıxlığı $\rho_{sol} = 1/v_{sol}$ kimi təyin edilir), t – temperaturdur, $^{\circ}\text{C}$.

Xüsusi həcm (v_{sol}) təzyiq (p) və konsentrasiyadan (m) asılılığı A , B , C və D əmsalları ilə təyin olunur ki, bu əmsallar p təzyiqin (p, MPa) və konsentrasiyanın $(m, \text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \text{H}_2\text{O})$ kvadratik funksiyası şəklində ifadə olunurlar:

$$A = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 a_{ij} P^i m^j, \quad B = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 b_{ij} P^i m^j, \quad C = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 c_{ij} P^i m^j, \\ D = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 d_{ij} P^i m^j \quad (11)$$

(11) tənliyindəki gətirilmiş parametrlərin qiymətləri a_{ij} , b_{ij} , c_{ij} və d_{ij} (p, V_m, T, m) xassələrin ölçülməsi əsasında hesablanmışdır. (10) hal tənliyi xüsusi həcm üçün eksperimental qiymətləri $v_{sol}(p, T, m)$ 0.02% ətrafında ifadə edir ki, bu da eksperimentin xətasından

əhəmiyyətli dərəcədə azdır. 195 eksperimental nöqtə üçün xəta statistikasısı belədir: AAD=0.02%, Bias=0.011%, St.Dev=0.028%, St.Error=0.002% və MaxDev.= 0.105%.

Verilmiş hal tənliyi digər elektrolitlərin su məhlullarının termodinamik xassələrinin, eləcə də parsial və xəyali molyar həcmələrinin geniş temperatur (600 K-dək), təzyiq (40 MPa-dək) və konsentrasiya (5 mol·kq⁻¹H₂O-dək) intervallarında hesablanmasında istifadə oluna bilər.

Üçüncü fəsildə Rusiyanın cənub yataqlarından 8 təbii geotermal mayenin (İzberbaş №68 və №129, Ternair №7T və №38T, Qayakənd №4 və №5, Kizlyar №4 və №17) həcmi (sıxlıq), akustik (səs sürəti) və köçürmə (özlülük) xassələrinin atmosfer təzyiqində və (278-353) K temperatur intervalında tədqiqatının nəticələri təqdim olunmuşdur.

Geotermal məhlullarda element tərkibinin (kation və anionların) kəmiyyətə təyin edilməsi üçün optik emissiya spektrometri (IRIS Intrepid II) və ion xromatoqrafından (Almaniya, Rostok) istifadə edilmişdir. Kimyəvi tərkibin ölçülmə dəqiqliyi 0,2%-dən 1,0%-dək təşkil etmişdir. Geotermal nümunələrdə kimyəvi tərkib və əsas ionların faizlə tərkibi ətraflı olaraq cədvəl formasında təqdim olunmuşdur.

Geotermal resursların istismarının planlaşdırılmasında əsas amillərdən biri geotermal duzların termodinamik xassələri üzrə etibarlı qiymətlərin olmasıdır. Nisbətən yüksək minerallaşmaya və şorluluğa malik olan geotermal suların istilik xassələri haqqında dəqiq biliklər geotermal suların modelləşdirilməsi üçün ilkin şərt və təbii mühitdə baş verən müxtəlif fiziki - kimyəvi prosesləri başa düşmək üçün əsasdır. Geotermal sular karbohidrogen tərkibli qazların və qiymətli mineralların mənbəyidir.

Geotermal sularda baş verən prosesləri başa düşmək və idarə etmək üçün onların istilik-fiziki, fiziki-kimyəvi və energetik xassələrini bilmək vacibdir. Geotermal mayələr kimi mürəkkəb məhlulların termodinamik parametrləri haqqında mövcud məlumatlar geotermal istehsalın ehtiyacları üçün kifayət deyil.

Özlülük uzun konsentrasiyasına digər termodinamik xassələrə (səs sürəti və sıxlıq) nisbətən daha həssasdır. Bununla belə,

bu effekt təkcə ionların konsentrasiyasından deyil, həm də onların kimyəvi təbiətindən, yəni ionların kimyəvi növündən asılıdır. Məsələn, müxtəlif geotermal yataqlardan alınan nümunələr eyni minerallaşmaya, lakin müxtəlif ion konsentrasiyalarına malik ola bilər. Eyni zamanda, onlarda müxtəlif xassələr müşahidə olunur. Bu, geotermal məhlullarda ionların kimyəvi təbiətinin onların xassələrinə necə təsir etdiyini nümayiş etdirir. Çoxkomponentli geotermal məhlullarda ion növlərinin onların xassələrinə təsirini qiymətləndirmək çətinidir, belə ki, xassələr təkcə su molekulları və ayrı ayrı ionlar arasındakı qarşılıqlı təsir ilə deyil, həm də bu problemi çətinləşdirən ion-ion qarşılıqlı təsirləri ilə müəyyən edilir. Məhlulda müxtəlif növ ionların olması ionların konkret növünün onların xassələrinə təsirini əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir.

Mayenin geoloji formalaşmasında geotermal məhlulun tərkibi, temperaturu və təzyiqi dəyişdikdə (layın təkamülü, hasilat, enerjinin ayrılması və ya vurulma proseslərində) ilkin lay şəraitində yerləşən hal şərtləri yeni P , T , x şərtlərinə keçir. Bunun nəticəsində, bəzi bərk minerallar çöküntü yaradır, həll olunmuş qazlar mövcud olur, beləliklə istilik itkisi baş verir. Demək olar ki, bütün geotermal energetik əməliyyatlarda bu hadisələr müşahidə olunur. Məhlulda müxtəlif növ ionların olması ionların konkret növünün onların xassələrinə təsirini əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir. Geotermal mayelərdə həll olunmuş qazların olması termodinamik xassələrə və nəticədə enerjinin ayrılması proseslərinə əhəmiyyətli təsir göstərir. Müxtəlif dərinliklərdə təzyiq fərqinə görə (səthin yaxınlığında təzyiq 0,101 MPa-dır) istehsal prosesində deqazasiya baş verir.

İşdə statik mühitdə molekulların qarşılıqlı təsir mexanizmi müəyyən edilmiş, həmçinin həlledici-həll olunan maddə sistemində molekullararası qarşılıqlı təsir prosesi öyrənilmiş, bütöv sistemlərin mühüm mexaniki xassələri təyin edilmişdir.

Təbii məhlulların sıxlığı, səs sürəti və özlülüyü üzrə ölçmələr Anton Paar DMA 4500, DSA 5000 densimetri və SVM 3000 Ştabinger viskozimetri istifadə olunmaqla aparılmışdır. Sıxlıq, özlülük və səs sürətinin kombinə olunmuş ölçmə xətası 95% etibarlılıq səviyyəsində və $k=2$ olduqda sıxlıq üçün 0,0005% (DMA

4500), 0,02% və ya $0,5 \text{ kq}\cdot\text{m}^{-3}$ (DSA 5000M), özlülük üçün 0,35% (SVM 3000) və səs sürəti üçün 0,01% (DSA 5000M) təşkil etmişdir.

Eksperimental qurğu və təcrübələrin aparılma qaydası müəllifin məqalələrində ətraflı təqdim olunmuşdur. Geotermal məhlulların atmosfer təzyiqində səs sürəti və sıxlığı Anton Paar firmasının DSA 5000 M cihazı ilə ölçülmüşdür. Cihaz eyni vaxtda nümunənin sıxlığını da təyin edir. Sıxlıq və səs sürətinin qiymətlərinin ölçmə diapazonları müvafiq olaraq $0\text{-}3000 \text{ kq}/\text{m}^3$ və $1000\text{-}2000 \text{ m/s}$ təşkil edir. Cihaz sıxlıq və səs sürətinin ölçmə xanaları ilə təchiz olunub və beləliklə, vibrasiyaedici U- formalı boru metodunu səs sürətinin yüksək dəqiqlikli ölçülməsi ilə kombinə edir. Hər iki xananın temperaturuna daxili Peltier termostadı ilə nəzarət olunur. Nümunə bir tərəfdən ultrasəs mənbəyi və digər tərəfdən qəbuledici ilə məhdudlaşan ölçmə xanasına daxil edilir. Ötürücü nümunə vasitəsilə periodik olaraq səs dalğaları göndərir. Geotermal qarışığın nümunələri təxminən 59°C temperaturda götürülmüş və bərk maddələri çıxarmaq üçün süzgəcdən keçirilmişdir.

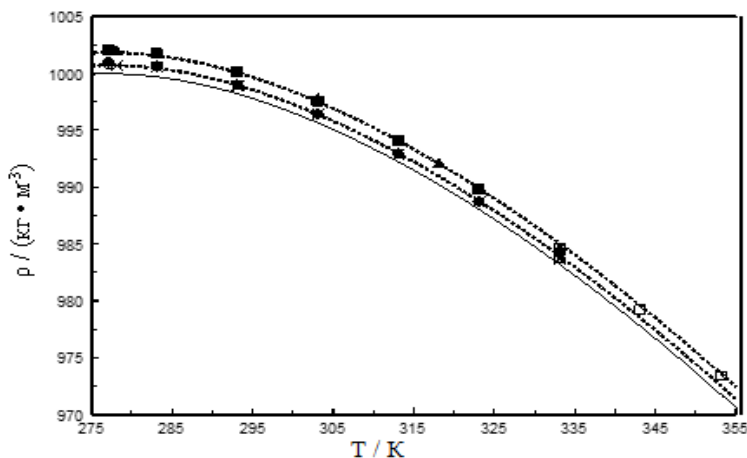
Densimetrdə U-formalı boru sınaq nümunəsi ilə tamamilə doldurulur və elektromaqnit qüvvələrinin təsirinə məruz qalır, beləliklə vibrasiyaedici densimetrin iş prinsipi harmonik rəqs qanununa əsaslanır. Nümunə ilə doldurulmuş borunun vibrasiyasının tezliyini və müddətini ölçmək onun sıxlığını təyin etməyə imkan verir. Ölçmə xanası boş U-formalı şüşə və ya metal borudan ibarət ossilyatordan ibarətdir. Bu tip vibrasiyaedici borulu densimetr müxtəlif mayelərin (ionlu mayelər, hidrokarbonatlar və onların spirtli məhlulları) sıxlığını dəqiq ölçmək üçün əvvəlki işlərimizdə uğurla istifadə edilmişdir. Dörd quyudan götürülmüş geotermal maye üçün sıxlıq, özlülük və səs sürəti üzrə temperaturdan asılı olaraq eksperimental nəticələri cədvəl 2-də, şəkil 15-də verilmişdir

Cədvəl 2.

Geotermal məhlulların atmosfer təzyiqində sıxlıq, səs sürəti və özlülüyü üzrə eksperimental qiymətləri

(№ 68) İzberbaş (Dağıstan)							
T, K	$\rho^a, \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	T, K	$\rho^b, \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\eta^b, \text{MPa}\cdot\text{s}$	T, K	$\rho^c, \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$W^c, \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
277.16	1000.97	277.15	1000.78	1.588	278.15	1000.72	1429.79
283.16	1000.65	283.15	1000.55	1.328	283.15	1000.51	1450.32
293.17	999.00	293.15	999.01	1.032	293.15	998.91	1484.84
303.13	996.42	303.15	996.40	0.835	303.15	996.43	1511.31
313.13	992.94	313.15	992.92	0.700	313.15	992.91	1530.94
323.13	988.73	323.15	988.70	0.603	323.15	988.72	1544.64
		333.15	983.69	0.536	333.15	983.72	1553.12
(№ 129)) İzberbaş (Dağıstan)							
T, K	$\rho, \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	T, K	$\rho, \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\eta, \text{MPa}\cdot\text{s}$	T, K	$\rho, \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$W, \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
277.17	1002.02	277.15	1002.04	1.576	278.13	1002.01	1430.42
283.15	1001.71	283.15	1001.69	1.339	283.15	1001.74	1451.31
293.16	1000.13	293.15	1000.17	1.048	293.15	1000.10	1486.27
303.13	997.56	303.15	997.55	0.816	303.15	997.79	1512.68
313.13	994.10	313.15	994.05	0.676	313.15	994.02	1532.20
323.13	989.83	323.15	989.80	0.568	318.15	992.07	1539.74
		333.15	984.60	0.488	323.15	989.76	1545.85
		343.15	979.17	0.421	333.15	984.64	1553.97
		353.15	973.39	0.372			
(№ 27T) Ternair (Dağıstan)							
T, K	$\rho, \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	T, K	$\rho, \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\eta, \text{MPa}\cdot\text{s}$	T, K	$\rho, \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$W, \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
277.17	1016.60	277.15	1016.4	1.660	278.14	1016.50	1456.68
283.17	1015.82	283.15	1015.87	1.420	283.15	1015.89	1476.34
293.17	1013.75	293.15	1013.73	1.119	293.14	1013.70	1508.65
303.13	1010.80	303.15	1010.78	0.917	303.15	1010.76	1533.06
313.13	1007.06	313.15	1007.03	0.785	313.15	1007.01	1551.46
323.13	1002.84	323.15	1002.81	0.679	323.10	1002.70	1564.20
					333.15	997.98	1571.92
(№ 38T) Ternair (Dağıstan)							
T, K	$\rho, \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	T, K	$\rho, \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\eta, \text{MPa}\cdot\text{s}$	T, K	$\rho, \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$W, \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
277.16	1017.00	277.15	1017.08	1.618	278.14	1016.82	1455.79
283.17	1016.03	283.15	1016.05	1.373	283.15	1016.03	1475.53
293.16	1014.34	293.14	1014.38	1.089	293.15	1014.36	1507.58
303.13	1011.45	303.15	1011.43	0.885	303.15	1011.47	1532.40
313.13	1007.77	313.15	1007.73	0.756	313.15	1007.80	1550.72
		323.15	1003.45	0.648	318.15	1005.85	1558.02
		333.15	998.65	0.570	323.15	1003.50	1563.40
		343.15	993.47	0.516			

aDMA4500. bSVM3000. cD5A 5000M.



Şəkil 15. IAPWS düsturlarından istifadə edərək hesablanmış təmiz su dəyərləri ilə birlikdə ölçülmüş geotermal maye sıxlıqları. Qatı xətt - təmiz su üçün, IAPWS vəziyyətinin əsas tənliyindən istifadə etməklə hesablanır. Kəsik xətlər № 68 və № 129 nömrəli nümunələr üçün korrelyasiya tənliyindən (12) hesablanır. ×- № 68 (DSA); ○-№ 68 (SVM); ●- № 68 (DMA); ■- № 129 (DMA); □- № 129 (DSA); ▲- №129 (DSA).

Geotermal mayelərdə həll olunmuş qazların olması termodinamik xassələrə və deməli enerjinin ayrılması proseslərinə əhəmiyyətli təsir göstərir. Müxtəlif dərinliklərdə təzyiq fərqinə görə (səthin yaxınlığında təzyiq 0,101 MPa-dır) istehsal prosesində dəqazasiya baş verir. Geotermal nümunələrdə həll olunmuş qazların orta miqdarı (səthə yaxın, quyuların yuxarı hissəsində): №27T üçün 2,5 m³ (qaz) / m³ (məhlul) və №38T üçün 4,2 m³ (qaz) / m³ (məhlul). №27T və №38T nümunələrində ümumi qazın həcmi təqribən 90-92%-ni karbohidrogen qazları təşkil etdiyi halda, №68 və №129 quyularından götürülmüş nümunələrdə onların tərkibi 95 faizdən 98 faizədək dəyişir. №68 və №129 nümunələrində karbon qazının miqdarı 4%-dən 5%-ə qədər, №27T və №38T nümunələrində isə 4,6%-6,8% ətrafında təşkil edir. Azotun və digər

təsirsiz qazların tərkibi 2,6%-dən 3,3%-ə qədərdir. Geoloji formalaşmada mayenin tərkibi, temperaturu və təzyiqi dəyişdikdə (layn təkamülü, hasilat, enerjinin ayrılması və ya vurulma proseslərində), ilkin olaraq lay şəraitində yerləşən hal şərtləri yeni P, T, x şərtlərinə keçir. Bunun nəticəsində bəzi bərk minerallar çöküntü yaradır, orada həll olunmuş qazlar olur və beləliklə, istilik itkisi baş verir. Demək olar ki, bütün geotermal enerji əməliyyatlarında bu hadisələr müşahidə olunur. Özlülük digər termodinamik xassələrə (səs sürəti və sıxlıq) nisbətən duz konsentrasiyasına daha həssasdır. Aydındır ki, geotermal mayələrin ölçülmüş xassələri, məsələn, №27T və №38T, (sıxlıq üçün 1,77%-ə qədər, özlülük üçün 21% və səs sürəti üçün 2,04%) digər geotermal nümunələrə nisbətən (№68 və №129) təmiz su üçün qiymətlərdən əhəmiyyətli dərəcədə kənara çıxır. Bu, №27T və №38T (minerallaşma təxminən 15,5 q/l) və digər №68 və №129 (minerallaşma 1,8 q/l) nümunələr arasında tərkiblərindəki böyük fərqi nəticəsidir. Bununla belə, bu təsir təkcə ionların konsentrasiyasından deyil, həm də onların kimyəvi təbiətindən, yəni ionların kimyəvi növündən asılıdır. Məsələn, müxtəlif geotermal yataqlardan alınan nümunələr eyni minerallaşmaya və müxtəlif ion konsentrasiyalarına malik ola bilər. Bu zaman onlarda müxtəlif xassələr müşahidə olunur. Bu, geotermal məhlulda ionların kimyəvi təbiətinin onların xassələrinə necə təsir etdiyini nümayiş etdirir. Çoxkomponentli geotermal məhlullarda müəyyən bir ion növünün onların xassələrinə təsirini qiymətləndirmək çətinidir, belə ki, xassələr təkcə su molekulları və müxtəlif ionlar arasındakı qarşılıqlı təsir ilə deyil, həm də ion-ion qarşılıqlı təsirləri ilə müəyyən edilir ki, bu da problemi çətinləşdirir. Məhlulda müxtəlif növ ionların olması ionun konkret bir növünün onların xassələrinə təsirini əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir.

Tədqiq olunan məhlulların sıxlığı üzrə temperaturdan asılı olaraq alınmış eksperimental qiymətləri repressiya tənliyi ilə ifadə edilmişdir:

$$\rho_b(T) = a_0 + a_1 / T_r + a_2 / T_r^2, \quad (12)$$

burada No.68 nümunəsi üçün $T_r = T/1000$, $a_0 = 296.621299$,

$a_1 = 393.834401$, $a_2 = -55.042651$, No.129 nümunəsi üçün

$a_0 = 410.721591$, $a_1 = 327.278915$, $a_2 = -45.315956$.

(12) tənliyi geotermal məhlullar üçün alınmış qiymətləri 0,015 - 0,0009% nisbi xəta ilə ifadə edir. İzberbaş, Ternair, Kizlyar və Qayakənd geotermal mayelərin nümunələri əsasında çoxkomponentli sistemlərin sıxlığı, səs sürəti, həmçinin özlülüyü üzrə alınmış eksperimental qiymətləri (cədvəl 2) korrelyasiya tənlikləri ilə ifadə edilmişdir. Bu tənliklər suyun sıxlığı, səs sürəti və özlülüyünün məlum qiymətlərində (atmosfer təzyiqdə) alınmış eksperimental qiymətləri temperatur və konsentrasiyadan asılı olaraq ifadə edir:

$$\rho(T, x_i) = \rho_{H_2O}(t) \left(1 + \sum_{i=1}^n a_i x_i \right) \quad (13)$$

$$W(T, x_i) = W_{H_2O}(t) \left(1 + \sum_{i=1}^n c_i x_i \right) \quad (14)$$

$$\eta(T, x_i) = \eta_{H_2O}(t) \left(1 + \sum_{i=1}^n b_i x_i \right) \quad (15)$$

Burada $\rho_{H_2O}(T)$, $W_{H_2O}(T)$ və $\eta_{H_2O}(T)$ - təmiz suyun T temperaturda və atmosfer təzyiqində müvafiq olaraq sıxlığı, səs sürəti və özlülüyü; x_i - ionların konsentrasiyası, q/l ; n - komponentlərin sayı; a_i, b_i, c_i - hər bir ion növü üçün xarakterik ion sabitidir (sıxlıq, səs sürəti və özlülük).

(13-15) tənlikləri çoxlu duzların su məhlulları üçün eksperimental qiymətlərlə yaxşı uyğunlaşma verir. Bir çox müəlliflər Riedel⁵ modelinin dəqiqliyini və proqnozlaşdırma imkanlarını sınaqdan keçirmişdir. Korrelyasiya tənlikləri geotermal məhlullar üçün sıxlıq, səs sürəti və özlülüyün ölçülmüş qiymətlərini müvafiq

⁵ Riedel, L. The heat conductivity of aqueous solutions of strong electrolytes// Chem. Ing. Tech. Wiley, -1951. N23, p.59-64.

olaraq AAD=0,03%, 0,06% və 2,55% hədlərində ifadə edir.

Əgər duz məhlulunun (və ya geotermal mayələrin) özlülüyü və ya digər istilik-fiziki xassələri (sıxlıq, səs sürəti, istilikkeçirmə və s.) istinad təzyiqində (məsələn, $P_0 = 0,101$ MPa) məlumdursa, onda xassələr istənilən təzyiqlərdə (təmiz suyun xassələri məlum olduqda) aşağıdakı düsturlarla hesablanı bilər:

$$\rho(P, T, x_i) = \rho(P_0, T, x_i) \left(\frac{\rho_{H_2O}(P, T)}{\rho_{H_2O}(P_0, T)} \right)_{H_2O}, \quad (16)$$

$$\eta(P, T, x_i) = \eta(P_0, T, x_i) \left(\frac{\eta_{H_2O}(P, T)}{\eta_{H_2O}(P_0, T)} \right)_{H_2O}, \quad (17)$$

$$W(P, T, x_i) = W(P_0, T, x_i) \left(\frac{W_{H_2O}(P, T)}{W_{H_2O}(P_0, T)} \right)_{H_2O}, \quad (18)$$

burada $\rho(P_0, T, x_i)$, $\eta(P_0, T, x_i)$, $W(P_0, T, x_i)$ atmosfer təzyiqində ($P_0=0,101$ MPa) (16-18) tənlikləri ilə hesablanı bilər.

Mayenin sıxılma əmsalı cəzbedici və itələyici enerjilərin balansını əks etdirdiyindən, müxtəlif yanaşmalarla hesablanmış qiymətləri müqayisə etmək faydalıdır. Sistemdə sıxlığı, səsin sürətini özlülüyü bilməklə, həmçinin adiabatik sıxılma əmsalını, termiki (istilik) genişlənməni, təzyiqin termiki əmsalını hesablamaqla tədqiq olunan sistemdə molekullararası əlaqələrin mexanizmini müəyyən etmək, mühitin energetik xassələrini - aktivləşmə entalpiyasını, izoxor kütlə istilik tutumunu, izobar istilik tutumunu, entalpiyalar fərqi, entalpiyanın təzyiqə görə xüsusi törəməsini və daxili enerjinin həcmə görə xüsusi törəmələrini tapmaq mümkündür.

Cədvəl 3-də iki geotermal mayenin sıxlıq və səs sürətinin ölçülmüş qiymətləri əsasında hesablanmış termodinamik xassələri təqdim olunmuşdur.

Cədvəl 3.

Sıxlıq və səs sürətinin ölçülmüş qiymətləri əsasında hesablanmış adiabatik sıxılma əmsalı (β_S), izotermik sıxılma əmsalı (β_T), termiki genişlənmə əmsalı (α_P), təzyiqin termiki əmsalı (γ_V), entalpiya (ΔH), izoxor kütlə istilik tutumu (C_V), izobar kütlə istilik tutumu (C_P)

T, K	$\beta_S \times 10^3,$ MPa ⁻¹	$\alpha_P \times 10^3,$ K ⁻¹	$\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T,$ sm ³ ·q ⁻¹	$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T,$ MPa	$\beta_T \times 10^3,$ MPa ⁻¹	γ_V MPa·K ⁻¹)	$C_V,$ $\frac{kJ}{kg \cdot K}$	$C_P,$ $\frac{kJ}{kg \cdot K}$
(№ 68) İzberbaş (Dağıstan)								
278.15	0.4888	0.0637	0.9816	36.12	0.4891	0.1302	4.259	4.262
283.15	0.4752	0.1089	0.9687	64.68	0.4760	0.2287	4.217	4.224
293.15	0.4541	0.1996	0.9425	127.95	0.4569	0.4368	4.163	4.188
303.15	0.4394	0.2908	0.9151	197.73	0.4455	0.6525	4.121	4.179
313.15	0.4297	0.3828	0.8864	271.85	0.4408	0.8684	4.080	4.185
323.15	0.4239	0.4758	0.8559	348.14	0.4415	1.0776	4.031	4.198
333.15	0.4214	0.5702	0.8235	424.47	0.4474	1.2744	3.990	4.236
(№ 129) İzberbaş (Dağıstan)								
278.13	0.4878	0.0964	0.9712	54.82	0.4884	0.1974	4.282	4.288
283.15	0.4739	0.1356	0.9600	80.73	0.4752	0.2854	4.257	4.268
293.15	0.4526	0.2140	0.9372	137.52	0.4558	0.4694	4.209	4.238
303.15	0.4380	0.2929	0.9132	199.77	0.4442	0.6593	4.163	4.222
313.15	0.4285	0.3724	0.8887	265.60	0.4389	0.8484	4.110	4.209
318.15	0.4252	0.4125	0.8757	299.44	0.4381	0.9415	4.092	4.217
323.15	0.4228	0.4528	0.8625	333.50	0.4387	1.0323	4.070	4.223
333.15	0.4206	0.5344	0.8348	401.43	0.4434	1.2052	4.020	4.238

Alınmış qiymətlərin standart xətası: $u(T) = 0.01K$; $u(\beta_S) = 0.008\%$;

$u(\alpha_P) = (0.05-0.10)\%$; $u(\beta_T) = (0.2-0.4)\%$; $u(C_V) = (2-3)\%$ $u(C_P) = (3-4)\%$.

Bütün tədqiq olunan təbii geotermal qarışıqlar üçün alınmış termodinamik xassələr (β_S), (β_T), (α_P), (γ_V), (ΔH), (C_V), (C_P), $\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T$ işdə cədvəllərdə ətraflı olaraq verilmişdir.

Bütün bu termodinamik xassələr yaxşı məlum olan termodinamik əlaqələrdən (hal funksiyaları) istifadə etməklə hesablanmışdır. Geotermal mayelərin atmosfer təzyiqində ölçülmüş xassələri yüksək təzyiqlərdə xassələri proqnozlaşdırmaq üçün etalon qiymətlər kimi istifadə edilə bilər.

DİSSERTASIYA İŞİNİN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ

Dissertasiya işi çoxkomponentli elektrolit sistemlərinin su məhlullarının yüksək temperatur və təzyiqlərdə istilik-fiziki xassələrinin tədqiqinə həsr edilmişdir. Elektrolitlərin su məhlullarının xassələrində baş verən anomaliyanın təbiətini və fiziki-kimyəvi mexanizmini mikroskopik səviyyədə dərinlən başa düşmək üçün istilik-fiziki xassələr üzrə dəqiq eksperimental qiymətlər çox zəruridir. Fizika, kimya və texnologiyanın müxtəlif məsələlərinin həlli üçün geniş istifadə olunan bütöv mühitlərin riyazi modelləri adətən sadələşmiş fərziyyələri və empirik parametrləri təşkil edir. Heterogen çoxkomponentli qarışıqlar üçün ümumi tənliklər əsasında tarazlıq halı üçün qarışıqın riyazi modeli qurula bilər. Çoxkomponentli qarışıqın tarazlıq halı üçün riyazi modelində saxlanma qanunları sistemi o halda qarışıq üçün saxlanma qanunları sisteminə keçirilə bilər ki, heterojen qarışıqlarda fazaların xüsusi daxili enerjisi və təzyiqi üçün hal tənlikləri əlaqə tənlikləri hesab olunur.

Bu işdə çoxkomponentli məhlulların termodinamik xassələri eksperimental və analitik olaraq tədqiq edilmişdir ki, bu da öz növbəsində mühitin mexaniki xassələrini xarakterizə edir.

Qoyulan problemin həlli zamanı aşağıdakı nəticələr alınmışdır:

1. Elektrolitlərin su məhlullarının istilikkeçirmə əmsalının yüksək təzyiq və temperaturalarda tədqiqi üçün konveksiya və radiasiyanın təsirini minimuma endirməyə imkan verən koaksial silindr metodu istifadə etməklə eksperimental qurğunun modifikasiyası yaradılmışdır.

2. Koaksial silindrlər metodundan (stasionar metod) istifadə etməklə hal parametrlərinin geniş dəyişmə intervalında

$\text{H}_2\text{O}+\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, $\text{H}_2\text{O}+\text{LiNO}_3$, $\text{H}_2\text{O}+\text{CaCl}_2$, $\text{H}_2\text{O}+\text{NaBr}$, $\text{H}_2\text{O}+\text{KBr}$ su məhlulları və $\text{H}_2\text{O}+\text{NaBr}+\text{KBr}$, $\text{H}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{CO}_3$, $\text{H}_2\text{O}+\text{K}_2\text{CO}_3$ üçlü sistemlərin istilikkeçirmə əmsalı üzrə yeni etibarlı eksperimental qiymətlər alınmışdır.

a) $\text{H}_2\text{O}+\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ – 5 izobar üzrə (0.1, 10, 20, 30, 40) MPa, beş konsentrasiya üçün (0.249, 0.525, 1.181, 2.025, 3.150) mol·kq⁻¹, 294.11 K-dən 591.06 K-ə qədər temperatur intervalında;

b) $\text{H}_2\text{O}+\text{LiNO}_3$ – 5 izobar üzrə (0.1, 10, 20, 30) MPa, dörd konsentrasiya üçün (1.0, 1.7, 2.8, 3.9) mol·kq⁻¹, 293.13 K-dən 591.06 K-ə qədər temperatur intervalında;

c) $\text{H}_2\text{O} + \text{K}_2\text{CO}_3$ –doyma xətti üzrə (0-1 MPa), dörd konsentrasiya üçün (5, 10, 15, 20, 25) kütlə%, müxtəlif izotermələr üçün (293-573) K,

d) $\text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{CO}_3$ – 3 izobar üzrə (0,1, 10 və 30) MPa, üç konsentrasiya üçün (0,4966, 1,0483, 1,6650) mol·kq⁻¹, 293,15 - 627,06 K -ə qədər temperatur intervalında;

e) $\text{H}_2\text{O} + \text{CaCl}_2$ – təzyiq üzrə 40 MPa-a qədər, üç konsentrasiya üçün (5, 10, 15, 20) kütlə%, 293- 573 K-ə qədər temperatur intervalında;

f) $\text{H}_2\text{O}+\text{NaBr}$, $\text{H}_2\text{O}+\text{KBr}$, $\text{H}_2\text{O} + \text{NaBr} + \text{KBr}$ –NaBr üçün (10, 20, 30, 38) kütlə%, KBr üçün (10, 20, 30) kütlə% konsentrasiyalarda, yüksək temperaturlarda (otaq temperaturundan 593 K-ə qədər), 40 MPa-a qədər təzyiqlərdə və məhlulların üçlü sistemləri $\text{H}_2\text{O}+\text{NaBr}+\text{KBr}$ üçün (10NaBr+5KBr, 10NaBr+10KBr və 10NaBr+20KBr) kütlə% konsentrasiyalarda, doyma xətti yaxınlığında (0.1 – 2) MPa и iki izobar üzrə (10 və 40) MPa, 294 - 577 K-ə qədər temperaturlarda ölçmələr aparılmışdır.

3. Binar və çoxkomponentli sistemlərin istilikkeçirmə əmsalı üçün konsentrasiya, temperatur və təzyiqdən asılı olaraq geniş diapazonlu empirik hal tənliyi alınmışdır. Su məhlulların istilikkeçirmə əmsalının həll olunan maddələrin ionlarının təbiətindən konsentrasiya asılılığının qanunauyğunluğu təsdiq edilmişdir.

4. Tədqiq olunan binar su məhlulların gətirilmiş istilikkeçirmə əmsalının konsentrasiyadan asılılığını göstərən tənlik işlənilib hazırlanmışdır. Bu tənlik universaldır və hal parametrlərinin qeyd

olunan dəyişmə intervalında digər su sistemləri üçün də etibarlıdır. İstilikkeçirmə əmsalının ölçülən qiymətlərindən A_λ və B_λ əmsallarının tapılması üçün istifadə edilmişdir ki, bunların köməyi ilə məhlulun strukturunda baş verən dəyişiklikləri öyrənmək olar.

5. Tədqiq olunan binar su məhlulların gətirilmiş istilikkeçirmə əmsalı üçün hal parametrlərinin geniş intervalında tənlik işlənib hazırlanmışdır. Binar çoxkomponentli sistemlərin təzyiq, konsentrasiya və temperatur asılılıqları ətraflı tədqiq edilmişdir. Su məhlulların temperaturdan asılı olaraq istilikkeçirmə əmsalının maksimumları müəyyən edilmişdir. Təmiz su üçün istilikkeçirmə əmsalının bu maksimumu (409 - 421) K temperaturlarda və 20 ilə 60 MPa arasında təzyiqlərdə əldə edilir. İstilikkeçirmə əmsalının maksimumunun yerləşməsi təzyiq və konsentrasiyadan çox asılıdır. Deməli, düzun əlavə edilməsi istilikkeçirmə əmsalının maksimuma çatdığı temperaturun mövqeyini daha yüksək temperaturlara doğru bir qədər dəyişdirir. Məhlullar üçün istilikkeçirmə əmsalı 627,15 K-ə qədər temperaturlarda və 30 MPa-a qədər təzyiqlərdə təzyiq artdıqca demək olar ki, xətti artır. Bütün izoterm və izobarlar üçün ölçülmüş istilikkeçirmə əmsalının asılılıqları göstərir ki, məhlulun istilikkeçirmə əmsalı konsentrasiya ilə monoton olaraq azalır. İstilikkeçirmə əmsalı konsentrasiyadan asılılığı yüksək konsentrasiyalarda ($m > 1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$) kiçik əyrilik ilə ifadə edilir. Durulaşdırılmış məhlullar üçün 40 MPa təzyiqdə və 373 K temperaturda istilikkeçirmə əmsalının artması 2 ilə 2,5% arasında dəyişir. Təmiz su üçün izoterm mailliyi, xüsusilə yüksək konsentrasiyalarda məhlul, uyğun izoterm mailliyindən yüksəkdir, yəni bu o deməkdir ki, təmiz suyun istilikkeçirmə əmsalı təzyiqə mütənasib olaraq məhlula nisbətən daha sürətli artır. Yüksək təzyiqlərdə (40 MPa) və yüksək konsentrasiyalarda (20 kütlə%) təmiz suyun istilikkeçirmə əmsalının mütləq qiyməti məhlula nisbətən təxminən 8-12% yüksəkdir. Aşağı təzyiqlər (10 MPa) və aşağı konsentrasiyalarda (10 kütlə%) təmiz su və məhlulun istilikkeçirmə əmsalları arasındakı fərq 5-8% arasında dəyişir.

6. Maye termostata yerləşdirilmiş sabit həcmli pyezometr metodu ilə $\text{H}_2\text{O} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, $\text{H}_2\text{O} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{LiNO}_3$, $\text{H}_2\text{O} + \text{C}_3\text{H}_7\text{OH} + \text{KNO}_3$, $\text{H}_2\text{O} + \text{C}_3\text{H}_7\text{OH} + \text{Li}_2\text{SO}_4$ binar və üçlü

sistemlərin su-spirтли məhlulları üçün yeni eksperimental (P,V,T,x) qiymətləri alınmışdır:

a) Su + etanol sistemi üçün etanolun molyar hissələrinin 0.0168, 0.0368, 0.0855 və 0.1166 dörd tərkibi üçün (298 – 448) K temperatur intervalında və 40 MPa-a qədər təzyiqlərdə PVT xassələrinin ölçmələri aparılmışdır.

b) Su+etanol+LiNO₃ sistemi üçün (298.15-448.15) K temperatur intervalında və (5, 10, 20, 30, 40) MPa təzyiqlərdə PVT xassələri üzrə qiymətlər aşağıdakı 12 konsentrasiyalarda alınmışdır: LiNO₃ (0.520 mol·kq⁻¹ H₂O)-C₂H₅OH (4.67 kütlə%); LiNO₃ (0.940 mol·kq⁻¹ H₂O) – C₂H₅OH (4.67 kütlə%); LiNO₃ (0.0457 mol·kq⁻¹ H₂O) – C₂H₅OH (9.32 kütlə%); LiNO₃ (0.4757 mol·kq⁻¹ H₂O) – C₂H₅OH (9.32 kütlə%); LiNO₃ (0.8599 mol·kq⁻¹ H₂O)- C₂H₅OH (9.32 kütlə%); LiNO₃ (1.0931 mol·kq⁻¹ H₂O) – C₂H₅OH (9.32 kütlə%); LiNO₃ (0.0422 mol·kq⁻¹ H₂O)- C₂H₅OH (18.53 kütlə%); LiNO₃(0.4387 mol·kq⁻¹ H₂O)- C₂H₅OH (18.53 kütlə%); LiNO₃ (0.7930 mol·kq⁻¹ H₂O)- C₂H₅OH (18.53 kütlə%); LiNO₃ (1.1870 mol·kq⁻¹ H₂O)- C₂H₅OH (18.53 kütlə%); LiNO₃ (0.5200 mol·kq⁻¹ H₂O)- C₂H₅OH (23.09 kütlə%); LiNO₃ (0.9400 mol·kq⁻¹ H₂O)- C₂H₅OH (23.09 kütlə%).

c) H₂O+C₃H₇OH+KNO₃ sistemi üçün (303.15-448.15) K temperatur və (5-35) MPa təzyiq intervallarında PVT xassələri üzrə qiymətlər KNO₃ aşağıdakı konsentrasiyalarında alınmışdır: (0.261 mol·kq⁻¹ H₂O)-C₃H₇OH (5 kütlə%); KNO₃ (0.261 mol·kq⁻¹ H₂O) – C₃H₇OH (20 kütlə%); KNO₃ (0.261 mol·kq⁻¹ H₂O) – C₃H₇OH (15 kütlə%); KNO₃ (0.435 mol·kq⁻¹ H₂O) – C₃H₇OH (15 kütlə%); KNO₃ (1.130 mol·kq⁻¹ H₂O)- C₃H₇OH (15 kütlə%); и KNO₃ (0.261 mol·kq⁻¹ H₂O) – C₃H₇OH (20 kütlə%).

d) H₂O+C₃H₇OH+Li₂SO₄ sistemi üçün (303.15 - 448.15) K temperaturlarda və (5-40) MPa təzyiqlərdə, 1-propanolun molyar hissələrinin 0.0155, 0.0254, 0.0322 və 0.0502 dörd tərkibi üçün, duzun 0.0062, 0.0124, 0.0199 və 0.0274 dörd tərkibi üçün PVT xassələri üzrə qiymətlər alınmışdır.

7. Xüsusi həcmnin temperatur, təzyiq və konsentrasiyadan asılılığını ifadə edən polinom tipli hal tənliyi işlənib hazırlanmışdır.

Bu tənlik digər su məhlullarının sıxlığının, özlülüyünün, parsial və xəyali molyar həcmlərinin, həmçinin digər termodinamik xassələrinin geniş temperatur intervalında (600 K-ə qədər), təzyiqlərdə (40 MPa-a qədər) və konsentrasiyalarda (5-ə qədər mol·kq⁻¹ H₂O) hesablanması üçün istifadə edilə bilər.

8. Su-duz-spirt üçlü qarışığının molyar həcmələrinin hər bir izobar-izoterm üçün alınmış qiymətləri təmiz suyun molyar həcmələri nəzərə alınmaqla komponentlərin konsentrasiyalarının polinom funksiyaları ilə ifadə edilmişdir. Onlar binar sistemlərin komponentlərinin parsial molyar həcmələrini hesablanması üçün istifadə edilə bilər.

9. Çoxkomponentli qarışıqların eksperimental qiymətlər əsasında, eləcə də sonsuz durulaşma zamanı temperatur, təzyiq və konsentrasiyadan asılı olaraq izafi, xəyali və parsial molyar həcmələri hesablanmış və onların əlaqə xüsusiyyətləri müəyyən edilmişdir. Məhlulların qarışdırılması zamanı vahid çoxkomponentli sistemdə baş verən proseslər molekulyar səviyyədə tədqiq edilmişdir. Hal parametrlərinin kombinə edilmiş sistemlərin termodinamik xassələrinə təsiri aşkar edilmişdir.

Su-duz-spirt üçlü sistemlər üçün sonsuz durulaşma zamanı parsial molyar həcmələrinin termiki genişlənmə əmsalının qiymətləri hesablanmışdır. Molyar genişlənmə və termiki genişlənmə əmsalı entropiya və istilik tutumu ilə termodinamik ifadələrlə əlaqəlidir və sistemdə termiki genişlənmə zamanı struktur dəyişiklikləri haqqında məlumat verir. Duz bitişik su molekullarının strukturunu dağdır (suyun strukturunu azaldır), spirt molekulları isə, duzdan fərqli olaraq suyu strukturlaşdırır (struktur təbəqəsi ilə əhatə edir). İki əks rəqabət effekti su+spirt+duz kimi mürəkkəb qarışıqın həcm xassələrini təyin edir.

Parsial molyar həcmələrin temperatur əmsalı (parsial molyar genişlənmə) $(\partial \bar{V}_i / \partial T)_{P, x_j}$ həll olunan maddələrin su ilə struktur qarşılıqlı təsirinin həssas ölçüsüdür və mürəkkəb məhlulların struktur və termodinamik xassələrinin fundamental tədqiqatları üçün yaxşı alət ola bilər.

10. İlk dəfə olaraq Rusiyanın cənubunda İzberbaş, Ternair,

Kizlyar, Qayakənd yataqlarından götürülmüş 8 təbii geotermal mayenin kimyəvi analizi (kation və anionların analizi) verilir, eləcə də həcmi (sıxlıq), akustik (səs sürəti) və köçürmə (özlülük) xassələri üzrə eksperimental məlumatlar alınmışdır.

11. Tədqiq olunan məhlulların sıxlığı üzrə temperaturdan asılı olaraq alınmış eksperimental qiymətləri regressiya tənliyi ilə ifadə edilmişdir. Model ölçülmüş qiymətləri 0.015 - 0.0009 % hədlərində ifadə edir.

12. Məhlulun temperatur və konsentrasiyasından asılı olaraq (verilən temperaturda) sıxlığı, özlülüüyü və səs sürəti üzrə eksperimental qiymətləri ifadə edən təmiz suyun məlum xassələri nəzərə alınmaqla korrelyasiya modeli işlənib hazırlanmışdır. Model sıxlıq, özlülük və səs sürətinin ölçülmüş qiymətlərini müvafiq olaraq 0,03%, 2,55% və 0,06% hədlərində ifadə edir. Tədqiq olunan geotermal mayelərin əsas ionlarının (Riedel xarakterik sabitlərinin) töhfəsi müəyyən edilmişdir. Mayenin geoloji formalaşmasında geotermal məhlulun tərkibi, temperaturu və təzyiqi dəyişdikdə (layın formalaşması, hasilat, enerjinin alınması və ya vurulma proseslərində), ilkin olaraq lay şəraitində yerləşən hal şərtləri yeni P , T , x şərtlərinə keçir. Bunun nəticəsində bəzi bərk minerallar çöküntü yaradır, orada həll olunmuş qazlar olur və beləliklə, istilik itkisi baş verir. Demək olar ki, bütün geotermal energetik əməliyyatlarda bu hadisələr müşahidə olunur. Məhlulda müxtəlif növ ionların olması ionun konkret növünün onun xassələrinə təsirini əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir. Geotermal mayelərdə həll olunmuş qazların olması termodinamik xassələrə, beləliklə enerjinin alınması proseslərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Müxtəlif dərinliklərdə təzyiq fərqinə görə (səthin yaxınlığında təzyiq 0,101 MPa-dır) istehsal prosesində deqazasiya baş verir.

13. Su-duz məhlullarının, geotermal mayelərin yüksək təzyiqlərdə özlülüyünü, sıxlığını, səs sürətini tapmaq üçün istinad təzyiqinin ($P_0 = 0,101$ MPa) və təmiz suyun xassələrinin məlum qiymətlərində tənlik işlənib hazırlanmışdır. Sıxlıq və səs sürətinin ölçülmüş qiymətləri geotermal mayelərin geotermal energetika üçün vacib olan digər termodinamik xassələrinin hesablanması üçün istifadə edilmişdir: adiabatik sıxılma əmsalı, izotermik sıxılma

əmsalı, termiki genişlənmə əmsalı, təzyiqin termiki əmsalı, entalpiya, izoxor kütlə istilik tutumu, izobar kütlə istilik tutumu, entalpiyanın təzyiqə görə xüsusi törəməsi, daxili enerjinin xüsusi törəməsi.

14. İşdə ilk dəfə tətqiq olunan statik mühitdə “həlledici - həll olunan maddə” sistemi üçün molekulaların qarşılıqlı təsir prosesinin mexanizmi öyrənilmiş, bütöv sistem üçün mühüm energetik xassələr təyin edilmişdir.

Alınmış qiymətlərin emalı üçün riyazi və kompüter modelləşdirmə metodlarından istifadə edilmişdir. Ədədi verilənlərin emalının aşağıdakı üsullarından istifadə edilmişdir: approksimasiya, interpolasiya, verilənlərin ekstrapolyasiyası (məlumatların yaxınlaşması üsulları), Laplas üsulu, əyrilərdən istifadə edərək hamarlaşdırma, ən kiçik kvadratlar üsulu, vahid və orta kvadratlara yaxınlaşma və s. Əksər hallarda duzların su məhlullarının istilik-fiziki xassələri temperatur, təzyiq və konsentrasianın dərəcəli və loqarifmik funksiyalarının və polinomların müxtəlif birləşmələri şəklində təqdim olunmuşdur. Su məhlullarının istilikkeçirmə əmsalının təzyiq və temperaturdan asılılığını ifadə etmək üçün “Tait type equation” tənliyi uğurla istifadə edilmişdir. Empirik tənliklərdə eksperimental qiymətlərin parametrlərdən asılılığının müəyyən edilməsi və tənliyin modelinin yaradılması “Eureqa” intellektual sistemin istifadəsi vəsiti ilə həyata keçirilmişdir. Empirik tənliklərdə eksperimental qiymətlər və model arasındakı kənarlaşmaların kvadratlarının cəmini minimuma endirməklə polinomun əmsallarını seçmək üçün ən kiçik kvadratlar metodu istifadə olunmuşdur. Ən kiçik kvadratlar metodu polinom üçün optimal əmsalları tapmağa imkan verir, bu əmsallar elə formada seçilir ki, model (korelyasiya, reqressiya) və eksperimental qiymətlər arasındakı səhv minimum olsun.

DİSSERTASIYA İŞİNİN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ AŞAĞIDAKI DƏRC OLUNMUŞ ELMİ ƏSƏRLƏRDƏ ÖZ ƏKSİNİ TAPMIŞDIR:

1. Азизов, Н.Д, Ахундов, Т.С., Азизова, Л.А. Плотность водных растворов нитрата цинка при высоких температурах// Теплофизика высоких температур, 1996, том 34, выпуск 6, -с. 973–977.
2. Ахмедова, Л.А., Азизов, Н.Д, Гасанова, Н.Э. Парциальные молярные объемы спирта в системе $\text{LiNO}_3\text{--CH}_2\text{OH--H}_2\text{O}$ // “Kimya və Neftkimyası”, Elm, Bakı: -2002, №2, -с.46-51.
3. Ахмедова, Л. А., Азизов, Н. Д., Гасанова, Н.Э. Дифференциальные функции объемных свойств водных растворов MgCl_2 при высоких параметрах состояния// “Kimya və Neftkimyası”, Elm, Bakı: -2002, №2, -с.58-64.
4. Ахмедова, Л.А., Ахундов, А.М., Бабаев, А.М. Теплопроводность водных растворов сульфата цинка при температурах 293-448 К и давлениях 10-40 МПа// “Kimya və Neftkimyası”, Elm, Bakı: -2003, №2, -с.56-60.
5. Ахмедова, Л.А., Ахундов, Р.Т., Азизов, Н.Д. Вязкость водных растворов нитрата натрия// “Kimya və Neftkimyası”, Elm. Bakı: -2003, №2, -с.66-69.
6. Ахмедова, Л.А., Бабаев, А.М. Теплопроводность системы $\text{LiSO}_2\text{--Zn(NO}_3)_2\text{--H}_2\text{O}$ при 293-573 К // «Проблемы энергетики», Elm, Bakı: -2003, №5, -с. 67-69.
7. Abdulagatov, I. M., Akhmedova-Azizova, L.A., Azizov, N.D., Thermal Conductivity of Aqueous $\text{Sr (NO}_3)_2$ and LiNO_3 solutions at High Temperatures and High Pressures // Journal of Chemical and Engineering Data. American Chemical Society: -2004, Vol. 49, -p. 688-703,
8. Abdulagatov, I. M., Akhmedova-Azizova, L.A., Azizov, N.D., Thermal Conductivity of Binary Aqueous NaBr and KBr and Ternary $\text{H}_2\text{O+NaBr}$ solutions at temperatures from (294 to 577) K and pressures up to 40 MPa // Journal of Chemical and Engineering Data. American Chemical Society. -2004, Vol. 49, -p.1727-1737.

9. Азизова, Л.А. К вопросу создания банка данных по водно-солевым системам, используемым в геотермальной энергетике// «Проблемы энергетики», Elm, Bakı: -2005, №5, -с.58-61.

10. Akhmedova-Azizova, L.A. Thermal conductivity and viscosity of aqueous of $Mg(NO_3)_2$, $Sr(NO_3)_2$, $Ca(NO_3)_2$, and $Ba(NO_3)_2$ solutions // Journal of Chemical and Engineering Data. - 2006, Vol. 51(6), -p. 2088-2090.

11. Akhmedova-Azizova, L.A., Eldarov, V.S. Heat Conductivity of Aqueous systems as a main transport of working fluids of the thermal power industry ICTPE. // The 3rd International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, Ankara: 2006. processing journal, p. 995-997

12. Азизова, Л. А., Эльдаров, В. С. Исследование теплопроводности теплоносителей, используемых в энергетической промышленности// НАНА. Экоэнергетика, Баку: -2006, №1, -с. 25-27.

13. Akhmedova-Azizova, L.A., “Thermal Conductivity of Aqueous $Mg(NO_3)_2$, $Ca(NO_3)_2$ and $Ba(NO_3)_2$ solutions at High Temperatures and High Pressures”//, Journal of Chemical and Engineering Data. American Chemical Society. 2006, Vol. 51(2), -p. 510-517.

14. Абдуллаев, К.М., Эльдаров, В.С., Азизова, Л.А. К механизму переноса тепла в водных растворах электролитов//АМЕА, 2007, Fizika, Bakı: 2007, Cild 13 (1-2), -s. 127-129.

15. Akhmedova-Azizova, L.A., Babaeva, S. “Thermal Conductivity of Aqueous Na_2CO_3 at High Temperatures and High Pressures”// Journal of Chemical and Engineering Data. American Chemical Society. -2008, Vol. 53, -p. 462-465.

16. Akhmedova-Azizova, L.A., Abdulagatov, I.M., Thermal Conductivity of Aqueous K_2CO_3 Solutions at High Temperatures // Journal of Solution Chemistry, -2009, Vol. 38(8), -p.1015-1028.

17. Akhmedova-Azizova, L.A., I.M. Abdulagatov, T.J. Bruno. Effect of RP-1 Compositional Variability on Thermal Conductivity

at High Temperatures and High Pressures // Energy Fuels. -2009, V.23(9), -p.4522-4528.

18. Azizova, L.A. Thermophysical properties of aqueous salt solutions containing in sea and industrial waste water at High Temperatures and High Pressures// NATO Security of Industrial Water Supply and Management. Ankara, Turkey. -2010, -p. 12–35.

19. Əzizova, L.Ə. İES-in çirkab suları və problemlərinin bəzi həlli yolları “Qloballaşma ilə əlaqədar fəvqəladə hallara qarşı mübarizənin müasir problemləri” // Beynəlxalq elmi texniki konfrans. Bakı: 2012.

20. Akhmedova-Azizova, L., Abdulagatov, I., Azizov, N. Experimental study of the density and derived partial molar volumes of ternary water+1-propanol+potassium nitrate mixtures at temperatures from (298 to 448) K and pressures up to 40MPa. //Journal of Solution Chemistry. March 2014, Volume 43, Issue 3, -p. 421-444.

21. Akhmedova-Azizova, L.A., Abdulagatov, I.M., Badavov G. Measurement of the density, speed of sound, viscosity and derived thermodynamic properties of geothermal fluids from South Russia geothermal field // 3rd conference. Renewable energy sources. Problems and prospects, Russia: -2014.

22. Akhmedova-Azizova, L.A., Abdulagatov, I.M. Thermal Conductivity of Aqueous CaCl_2 Solutions at High Temperatures and High Pressures // Journal of Solution Chemistry. March 2014, Volume 43, Issue 3, -p. 421-444.

23. Akhmedova-Azizova, L.A., Abdulagatov, I.M., Azizov, N.D. Experimental study of the density and derived partial molar volumes of complex ternary water + 1-propanol + Li_2SO_4 mixtures at temperatures from (303 to 448) K and pressures up to 40 MPa // Fluid Phase Equilibria, Volume 383, -2014, -p. 78-93.

24. Akhmedova-Azizova, L.A., Abdulagatov, I.M., Azizov, N.D. Experimental study of the density and derived (excess, apparent, and partial molar volumes) properties of binary water + ethanol and ternary water + ethanol + lithium nitrate mixtures at temperatures from 298 K to 448 K and pressures up to 40 MPa //Fluid Phase Equilibria, Vol.376, 2014, -p.1-21.

25. Abdulagatov, I.M., Akhmedova-Azizova, L.A., Azizov N.D. Experimental study of the density and derived partial molar volumes of complex ternary water+1-propanol+Li₂SO₄ mixtures at temperatures from (303 to 448) K and pressures up to 40 MPa // 14 Российская конференция по теплофизическим свойствам веществ. Казань, Российская Федерация, -15-17 октября 2014 г. p. 199-201

26. Experimental study of density and derived (excess, apparent and partial molar volumes) properties of binary water + ethanol and ternary water+ ethanol+ lithium nitrates at temperatures from 298 K to 448 K and pressures up to 40MPa // 14 Российская конференция по теплофизическим свойствам веществ. Казань, Российская Федерация. -15-17 октября 2014 г., p.202-203.

27. Abdulagatov, L. Akhmedova-Azizova, Azizov, N. Experimental study of density and derived (excess, apparent and partial molar volumes) properties of binary water+ethanol and ternary water+ethanol+lithium nitrate mixtures at temperatures from 298 K to 448 K and pressures up to 40 MPa// 14 Российская конференция по теплофизическим свойствам веществ. Казань, РФ, -2014 г. p. 193-196.

28. Akhmedova-Azizova, L., Abdulagatov, I., Aliyev, R., Badavov, G. Measurements of the density, speed of sound and viscosity of geothermal fluids from south Russia (Dagestan)// 14 Российская конференция по теплофизическим свойствам веществ. Казань, Российская Федерация, -2014 г., p. 196-199.

29. Talibov, M., Azizova, L., Babayeva, S., Shahverdiev, A. and others. Thermophysical Properties of Azerbaijan and Turkish Water Resources // THERMAM. 2014 and 3rd Rostocker symposium on Thermophysical properties for Technical Thermodynamics. Izmir. Turkey. 12-15 June 2014. p.62.

30. Akhmedova-Azizova, L. Thermophysical properties data of the the geothermal systems. // THERMAM 2015. International conference. AzTU, Baku: -2015, -p. 62.

31. Abdulagatov, I., Akhmedova-Azizova, L., Aliev, R., Badavov, G. Measurements of the Density, Speed of Sound, Viscosity and Derived Thermodynamic Properties of Geothermal

Fluids" //Journal of Chemical & Engineering Data, -2016, 61 (1), -p. 234–246.

32. Абдулагатов, И. М., Ахмедова-Азизова, Л.А., Алиев, Р. М., Бадавов, Г.Б. Плотность, скорость звука и вязкость геотермальных флюидов юга России. Часть 2. Избербашские и Тернаирские термы. // International symposium, Geoenergy, Грозный. РФ.- 2016., p.62

33. Abdulagatov, I., Akhmedova-Azizova, L., Aliev, R., Badavov, G. Measurements of the density, speed of sound, viscosity and derived thermodynamic properties of geothermal fluids from south Russia Geothermal Field // Part II. Applied Geochemistry, - 2016. 69, -p.8-41.

34. Abdulagatov, I., Akhmedova-Azizova, L., Aliev, R., Badavov, G. Measurements of the Density, Speed of Sound, Viscosity and Derived Thermodynamic Properties of Geothermal Fluids from south Russia geothermal field. Thermam 2017, 6th Rostocker International Conference on Thermophysical Properties for Technical Thermodynamics, Germany: -2017., p.50

35. Азизова, Л. Экологические преимущества и недостатки геотермальной энергетики// 2-ci beynəlxalq elmi-texniki konfrans «Metallurgiya və materialşünaslığın problemləri», Bakı:-2017. -s. 487-489.

36. Абдулагатов, И., Ахмедова-Азизова, Л., Алиев, Р., Бадавов, Г. Плотность, скорость звука и вязкость геотермальных флюидов Юга России. Часть 1. Кизлярские и Каякентские термы. Грозненский естественнонаучный бюллетень. Российская Федерация. -2017, Том 2 № 4. с. 6-10.

37. Əzizova, L.Ə., Bəşirov, M.M. Geotermal energetikasının ekoloji cəhətdən müsbət və mənfi tərəfləri // Elmi əsərlər-ученые записки, AzTU, Bakı:- 2018, № 2, -s.101-105..

38. Азизова, Л., Наджафов, Г., Талыбов, М. Теплофизические свойства водных растворов электролитов// Материалы XI Школы молодых ученых. Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов» Э.Э. Шпильрайна, Российская Федерация: -2018, Вып. 7, -с. 378.

39. Азизова, Л.А., Талыбов, М.А. Изобарная теплоемкость геотермальных и минеральных вод южных районов Азербайджана и Ставропольского края Российской Федерации./ Материалы XI Школы молодых ученых. Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов» имени Э.Э. Шпильрайна, Российская Федерация: -2018, Вып. 7, -с. 303-307.

40. Akhmedova-Azizova, L. A. Measurements of the density and viscosity of geothermal fluids from Dagestan (South Russia) Geothermal Field// Thermam 7th Rostocker international Conference on Thermophysical Properties for Technical Thermodynamics. Germany: -2018, -p.56.

41. Talıbov, M., Əzizova, L., Məmmədova, M., Ağayev, T., Şükürov, O. Absorbsion soyutma sisteminin komponentləri. «Ölçmə və keyfiyyət: problemlər, perspektivlər» mövzusunda Beynəlxalq Elmi-texniki konfrans. AzTU, Bakı: -2018, -s.502-505.

42. Азизова, Л. Приборы для измерения плотности, вязкости, скорости звука геотермальных вод юга России. «Ölçmə və keyfiyyət: problemlər, perspektivlər» mövzusunda Beynəlxalq Elmi-texniki konfrans, AzTU, Bakı: -2018, -s. 509-512.

43. Abdulagatov, I.M., Akhmedova-Azizova, L.A. Viscosity of rocket propellant (RP-1) at high temperatures and high pressures //Fuel. -2019, 235,-p.703-714.

44. Азизова, Л.А. Теплопроводность водных растворов $H_2O+K_2CO_3$ при высоких температурах на линии насыщения// Elmi əsərlər. AzTU, Bakı: -2019, № 3.

45. Talybov, M.A., Abdulagatov, I.M., Akhmedova-Azizova, L.A. Experimental Vapor-Pressures and Derived Thermodynamic Properties of Geothermal Fluids from Baden-Baden Geothermal Field (Southeastern Germany) //Journal of Energy and Power Technology, -p.1-27, 2019.

46. Talıbov, M., Əzizova, L., Şükürov, O. Şərqi Türkiyənin geotermal sularının sıxlığının tədqiqi// Azərbaycan və Türkiyə Universitetləri: təhsil, elm, texnologiya”. I Beynəlxalq elmi-praktiki konfransın materialları, Bakı: -2019, 3-cü hissə, -s.347-348.

47. Məmmədova, M., Talıbov, M., Əzizova, L. Stearin turşusunun metil efirinin sıxlığı və səş sürəti. Azərbaycan və Türkiyə

Universitetləri: təhsil, elm, texnologiya”. I Beynəlxalq elmi-praktiki konfransın materialları. Bakı: -2019, 3 hissə, -s. 355-357.

48. Əhmədova-Əzizova, L. Measurements of the density of geothermal fluids from Dagestan// Azərbaycan və Türkiyə Universitetləri: təhsil, elm, texnologiya”. I Beynəlxalq elmi-praktiki konfransın materialları. Bakı: -2019, 3 hissə, -s. 330-344.

49. Азизова, Л. Экспериментальные и теоретические исследования плотности, (PVTx) свойств бинарной системы $H_2O+LiNO_3$ // Elmi əsərlər, AzTU, Bakı: -2019, № 3, -s. 198-202.

50. Abdulagatov, İ.M., Talibov, M.A., Akhmedova-Azizova, L.A. Measurements of the density, speed of sound, viscosity and derived key thermodynamic properties of geothermal waters from East Turkey // Geothermics V. 88, November 2020, -p.101-114.

51. Abdulagatov, I., Akhmedova-Azizova, L., Badavov, G., Aliev, R. Thermodynamic Properties of Geothermal Fluids from South Russia: Kayakent and Kizlyar Hot Sources Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere /V. Svalova ed., Springer, - 2021, - p. 275-301.

52. Abdulagatov, I., Akhmedova-Azizova, L., Badavov, G., Aliev, R., Thermodynamic Properties of Geothermal Fluids from South Russia: Izberbash and Ternair Hot Sources//- Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere / V. Svalova ed., Springer, - 2021, - p. 303-333.53.

53. Талыбов, М., Абдулагатов, И., Азизова, Л., Маммедова, М. Исследование изобарной теплоемкости геотермальной воды «кеклик магара» Турции при высоких «температурах и давлениях»// II Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Фундаментальные проблемы и прикладные аспекты химической науки и образования» РФ: - 2022, р. 154-160. (SCOPUS).

54. Akhmedova-Azizova, L., Mammedova, M., Nazhafov, G., Talybov, M., Abdulagatov, I. Measurements and reference correlation of the density and speed of sound and derived thermodynamic properties of methyl laurate and methyl stearate// Journal of Chemical and Engineering Data. -2022, -p. 580-593.

55. Azizova, L., Mammedova, M. Measurements and reference correlation of the density and speed of sound and derived thermodynamic properties of methyl stearate// “Gənclər və elmi innovasiyalar mövzusunda Respublika elmi-texniki konfransı”. AzTU, Bakı, 2022, p.532-537.

56. Əzizova, L., Zamanlı İ., Əkbərova Ü. Kəlbəcər rayonunun İstisu bulaqları - alternativ yerli istilik təcrizəti mənbəyi// Energy efficiency and green energy technologies. Beynəlxalq konfrans. AzTU, Bakı: -2022, s. 119-122

57. Abdulagatov, I., Akhmedova-Azizova, L. Thermal Conductivity of Ternary Aqueous $H_2O + Li_2SO_4 + Zn(NO_3)_2$ Solutions at High Temperatures and Pressures //Journal of Chemical and Engineering Data. American Chemical Society, -2023, Vol. 68, 6, -p.1279-1290.

58. Azizova, L. Ultrasonic sound velocities, density, adiabatic compressibility, coefficient of thermal expansion of aqueous ethanol at various temperatures (atmospheric pressure)// ANAS Transactions, issue Mechanics, Baku: -2023, Vol. 43, №8, p.3-18.

59. Akhmedova-Azizova, L., Mammedova, M., Abdulagatov, I. Najafov, G., Talibov, M. Experimental study of thermodynamic properties of biofuel components// Energy sustainability: risks and decision making, -2024, Vol. 2, No. 1, -s.85-89.

60. Akhmedova-Azizova, L., Abdulagatov, I., Mammedova, M. Najafov, N., Talybov, M. Thermodynamic properties of biofuel components. // AJP C, Fizika, Bakı: 2024, s. 85-89.

Müəllifin şəxsi iştirakı

[9,10,13,18,19,30,35,37,42,44,48,49,50,58] sayılı işləri müəllif şəxsən özü həmmüəllifsiz yerinə yetirmişdir.

Digər elmi əsərlərdə müəllif elmi problemin qoyuluşu, onun həlli yolları və üsulları, sınaq və eksperimental tədqiqatların yerinə yetirilməsi, nəticələrin təhlil edilməsi, hal tənzimləmələrinin alınması müəllifə məhsusdur. [45,46,50,53] sayılı işlər müəllifin aktiv iştirakı ilə yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın müdafiəsi 12 may 2025 il tarixində saat 10.00-da Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.09 Dissertasiya şurasının bazasında yaradılmış BED 2.09 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

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

Dissertasiya ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Texniki Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat _____ aprel 2025-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 01.04.2025

Kağızın formatı: A5

Həcm: 83704

Tiraj: 30