

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

**ÇOXKOMPONENTLİ ELEKTROLİT SİSTEMLƏRİNİN
SULU 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 məsləhətçilər: texnika elmləri doktoru, professor
İlmutdin Maqomedoviç Abdulaqatov

Rəsmi opponətlər:

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.09 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
_____ **Qeylani Minhac oğlu Pənahov**

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

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

Maye (bütöv) mühitin əsas mexaniki xassələri öz növbəsində temperatur və təzyiqdən asılı olaraq dəyişən özlülük və sıxlıqdır. 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 stimuldur. Məhlul-həlləddici, məhlul-həll olunan maddə kimi mürəkkəb mexaniki sistemlərdə baş verən proseslər və onların maddənin istilik-fiziki xassələri mühitin çoxlu parametrlərindən asılıdır.

Hal parametrlərinin, temperaturun paylanması və qarışığın komponentlərinin konsentrasiyalarının təsiri bütöv mühitlərdə baş verən prosesləri müəyyən etməyə və onların tam hesabətini verməyə imkan verir. 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.

Termodinamikada və xüsusən də hidrodinamikada yüzlərlə həll edilməmiş məsələ var ki, bunları mayələrin termodinamik xarakteristikalarının analitik təhlilindən istifadə etməklə həll etmək mümkündür. Bütöv mühitlərin bir çox modelləri anomal xassələrə malikdir: sıxlıq, güc gərginliyi, deformasiya, özlülük, istilik- və elektrikkeçirmə, maqnitləşmə və s., bu xassələrin mahiyyətinə molekulyar səviyyədə baxılmır. Bütövlükdə mühitə və onun ayrı-ayrı hissələrinə maddi nöqtələrin diskret sisteminin mexanikasının ümumi qanunlarının tətbiqi ehtimalı irəli sürülür: kütlənin, impulsun, hərəkət miqdarının momentinin, mexaniki və ümumi termodinamik enerjinin

saxlanması.

Sulu məhlulların köçürmə (istilikkeçirmə), həcmi (sıxlıq, özlülük, izafi molyar həcm, xəyalı molyar həcm və parsial molyar həcm) və akustik xassələri haqqında dəqiq qiymətlər bir çox təbiət və texnoloji prosesləri dərinlən 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.

Sulu məhlullar 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 sulu məhlullara isə dərin geoloji birləşmələrdə rast gəlinir. Sulu sistemlər 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. Yüksək temperaturda və təzyiqdə sulu məhlullar geologiya və mineralogiyada (hidrotermal sintez üçün), kimyada, neft və qaz sənayesində (məsələn, karbohidrogenlərin çıxarılmasında), geotermal sistemlərdə və canlı orqanizmlərdə bioloji proseslərdə fundamental əhəmiyyət kəsb edir. bəzi yeni ayırma üsulları. Yerüstü (çaylar, göllər) və okean sularının temperaturu otaq temperaturuna yaxındır, dərin geoloji birləşmələrdə isə yüksək temperatur və hidrostatik təzyiqi 10-60 MPa olan sulu məhlullara rast gəlinir. Sulu sistemlər geotermal elektrik stansiyalarının buxar generatorlarında, hidrotermal sintezdə, dəniz suyunun duzsuzlaşdırılması proseslərində və yüksək temperaturda və yüksək təzyiqdə baş verən digər sənaye əməliyyatlarında geniş istifadə olunur.

Elektrolitlərin sulu 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 qrunut 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 sulu 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 həcm xassələrinə təsiri problemlərinin müzakirəsi mühüm yer tutur. Eyni dərəcədə vacib bir problem, yüksək temperatur və təzyiqlərdə sulu məhlullar üçün etibarlı hal tənliyinin işlənilib hazırlanmasıdır. Su, duz, spirtlər və onların qarışıqları molekullararası qarşılıqlı təsirlərin mürəkkəb xarakterinə malik mürəkkəb birləşmələrdir və buna görə də eksperimental və nəzəri tədqiqatları çətinləşdirir. Bu sahələr üzrə mövcud ədəbiyyat məlumatlarının təhlili tədqiqat mövzusunun aktuallığını əsaslandırmağa imkan verdi. Bu iş çoxkomponentli sistemlərin sulu məhlullarının istilik-fiziki xassələrinin hal parametrlərinin geniş diapazonunda fundamental empirik və analitik tədqiqatlarına mühüm töhfə verir.

Təqdim olunmuş dissertasiya işi elektrolitlərin çoxkomponentli sistemlərinin sulu məhlullarının yüksək temperatur və təzyiqlərdə istilik-fiziki xassələrinin tədqiqinin aktual probleminə həsr olunmuşdur, bu da 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 məhv edilməsi proseslərinin öyrənilməsi, qarışdırma və həllolma problemlərinin həll olunması, qarışdırma zamanı komponentlərin assosiasiya dərəcəsinin dəyişməsinin öyrənilməsi və s. baxımından texnikada praktiki əhəmiyyətə malikdir, o cümlədən məlumat cədvəllərinin tərtibi üçün zəruri məsələdir. Eləcə də sulu məhlullar üçün yüksək temperatur və təzyiqlərdə etibarlı hal tənliyinin işlənilib hazırlanması eyni dərəcədə aktual problemdir.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Tədqiqatın obyektı

çoxkomponentli elektrolit sistemlərinin sulu məhlulları, yüksək temperatur və təzyiqlərdə su+spirt+elektrolit binar və üçlü sistemləri, Rusiyanın cənubundakı yataqların geotermal sistemləridir.

Tədqiqatın predmeti çoxkomponentli elektrolit sistemlərinin sulu məhlullarının, o cümlədən Rusiyanın Cənub (Dağıstan) yataqlarının təbii geotermal mayelərinin köçürmə (istilikkeçirmə), həcmi (sıxlıq, özlülük, genişlənmə və sıxılma əmsalları), akustik (səs sürəti) və energetik xassələri, eləcə də maye çoxlaylı mühitdə struktur dəyişikliklərinin mexanizmidir.

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.

Mayelərin mühüm istilik-fiziki xassələri kimi istilikkeçirmə və sıxlığı göstərmək olar, bu parametrlər istilik mübadiləsinin kriterial tənliliklərinə daxil olur və termodinamik səthin xüsusiyyətlərini əks etdirir. Statik mexanikanın əsas müddəalarına əsasən, zərrəciklərin strukturu, daxili hərəkətləri və onlar arasında qarşılıqlı təsir qanunu məlum olduqda sistemin termodinamik funksiyalarını, xüsusilə hal tənliliyini təyin etmək olar. Məhlulların itilik-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 işlənilib hazırlanması və təkmilləşdirilməsi həmişə dəqiq təcrübələrlə müşayiət olunur və müasir maye hal nəzəriyyəsinin inkişafına və təkmilləşdirilməsinə töhfə verir. Mayələrdə molekullarası 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 parametrlərinin geniş intervalında istifadə edilmişdir.

Qarşıya qoyulan məqsədin yerinə yetirilməsinə aşağıdakı eksperimental və analitik tədqiqatların aparılması daxildir:

1. Çoxkomponentli sistemlərin sulu məhlullarının (Su+elektrolit, su+spirt+elektrolit), həmçinin geotermal sistemlərin köçürmə (istilikkeçirmə), həcmi (sıxlıq, özlülük, izafi molyar həcm, xəyali molyar həcm və parsial molyar həcm), akustik xassələri haqqında dəqiq eksperimental qiymətlərin alınması. Sistemlərdə molekullarası qarşılıqlı təsir proseslərinin təsviri.

2. Tədqiq olunan geotermal sistemlərin hal parametrlərinin geniş intervalında sıxlıq, özlülük və səs sürətinin təzyiq, temperatur və konsentrasiyadan asılılıqlarının tapılması.

3. Sulu məhlulların binar və çoxkomponentli sistemlərinin yüksək temperatur və təzyiqlərdə istilikkeçirməsi üçün konsentrasiya, temperatur və təzyiqdən asılı olaraq etibarlı geniş diapazonlu hal tənliyinin işlənib hazırlanması.

4. Sistemlərin həcmi xassələri üzrə eksperimental qiymətlərini ifadə etmək üçün hal parametrlərindən asılı olaraq korrelyasiya modelinin işlənib hazırlanması.

İşdə aparılan tədqiqatlar aşağıdakı məsələlərin həllinə yönəlmişdir:

1. Mayelərin istilikkeçirməsinin eksperimental tədqiqi üçün etibarlı qurğunun yaradılması.

2. Tədqiq olunan təbii və süni məhlulların istilikkeçirməsi, özlülüüyü, sıxlığı, səs sürəti üzrə dəqiq eksperimental qiymətlərin alınması.

3. Məhlulların molekullarası qarşılıqlı təsir prosesləri və mexanizminin, struktur modellərinin, molekulyar komplekslərin əmələ gəlməsi və dağılması proseslərinin təsviri.

4. Qiymətlərin analitik işlənməsinin statik tədqiqat metodu əsasında təmiz suyun məlum xassələri nəzərə alınmaqla, həcm və köçürmə xassələri üzrə eksperimental qiymətləri ifadə etmək üçün hal parametrlərindən asılı olaraq korrelyasiya modelinin işlənib hazırlanması.

5. Bütöv mühit mexanikası nöqtəyi-nəzərindən mühitdə proseslərin

inkişaf dinamikasının tədqimatı.

Tədqiqat metodları

Eksperimental tədqiqatlar, müqayisəli və nəzəri analiz, statik metodlar, nəzəri mexanika metodları, reqressiv analiz üsulları (ən kiçik kvadratlar üsulu), riyazi və kompüter modelləşdirmə üsulları.

Müdafiyyə 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 istilikkeçirməsi üçün konsentrasiya, temperatur və təzyiqdən asılı olaraq geniş diapazonlu korrelyasiya tənliyi (hal tənliyi).
3. Sulu məhlulların gətirilmiş istilikkeçirməsinin konsentrasiyadan asılılığı.
4. Sulu məhlulların gətirilmiş istilikkeçirməsinə temperatur, təzyiq və konsentrasiyanın kombinə edilmiş effektinin ifadə olunması üçün model.
5. Xüsusi həcmə hal parametrlərindən (p, V, T, m) asılılığını ifadə edən hal tənliyi, hansı ki, bu tənlik digər sulu məhlullar üçün sıxlığı, özlülüyü, parsial və xəyali molyar həcmələri, həmçinin digər termodinamik xassələri hal parametrlərinin geniş intervalında proqnozlaşdırma üçün tətbiq oluna bilər.
6. Hər bir izobar-izoterm (sabit p və T -də) üçün üçlü qarışıqın molyar həcmənin dəyişməsi komponentlərin konsentrasiyalarının polinom funksiyası ilə ifadə olunmuşdur.
7. Geotermal sistemlərin sıxlıq üzrə qiymətlərinin temperaturdan asılılığını ifadə edən reqressiya tənliyi.
8. Təmiz su üçün atmosfer təzyiqində məlum istinad qiymətində sıxlıq, özlülük və səs sürəti üzrə eksperimental qiymətlərin temperatur və təzyiqdən asılılığı ifadə edən korrelyasiya tənliyi.
9. Geotermal sistemlər üçün atmosfer təzyiqində məlum istinad qiymətində eksperimental qiymətləri ifadə edən korrelyasiya modeli. Model yüksək təzyiq və temperaturlar üçün qiymətləri proqnozlaşdırır.
10. Bütöv mühit mexanikası üçün vacib olan termodinamik xarakteristikalar: adiabatik sıxılma əmsalı; izotermik sıxılma əmsalı;

istilik genişlənmə əmsalı; təzyiq termiki əmsalı; entalpiya; izoxor və izobar istilik tutumu; təzyiqə görə entalpiyanın xüsusi törəməsi; daxili enerjinin xüsusi törəməsi.

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 sulu 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 geniş diapazonlu empirik tənlik təklif edilmişdir.
4. Tədqiq olunan sulu məhlulların gətirilmiş istilikkeçirməsinə temperatur, təzyiq və konsentrasiyanın kombinə edilmiş effektinin ifadə olunması üçün model işlənilib hazırlanmışdır.
5. 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.
6. Sonsuz zəif məhlulların həcmi xassələrinə temperatur və təzyiqin təsiri və onların verilmiş sistemlər üçün dəyişmə xüsusiyyətləri aşkar edilmişdir.
7. Elektrolitlərin binar sulu məhlullarının (p, V_m, T, m) xassələri üçün ölçülmüş qiymətlər l əsasında, xüsusi həcmə hal parametrlərindən asılılığını ifadə edən polinom tipli hal tənliyi işlənilib hazırlanmışdır. Tənlik digər sulu məhlulların sıxlığının, özlülüyünün, parsial və xəyali molyar həcmələrinin, həmçinin digər termodinamik xassələrinin hal parametrlərinin geniş temperatur (600 K-ə qədər), təzyiq (40 MPa-a qədər) intervalında və konsentrasiyalarda ($5 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ qiymətinə qədər) hesablanması üçün tətbiq oluna bilər.
8. İlk dəfə olaraq Rusiyanın cənub (Dağıstan) yataqlarından 8 təbii geotermal mayenin (flyuid) kimyəvi analiz (kation və anionların analizi) aparılmışdır.
9. İlk dəfə olaraq Rusiyanın cənub (Dağıstan) yataqlarından 8 təbii

geotermal mayenin həcmi (sıxlıq), akustik (səs sürəti) və köçürmə (özlülük) xassələrinin atmosfer təzyiqində tədqiqatları aparılmışdır.

10. Təmiz suyun atmosfer təzyiqində məlum istinad qiyməti və məlum xassələri nəzərə alınmaqla sıxlıq, özlülük və səs sürəti üzrə eksperimental qiymətləri ifadə edən korrelyasiya tənliyi işlənilib hazırlanmışdır. Model sıxlıq, özlülük və səs sürətinin ölçülmüş qiymətlərini uyğun olaraq 0,03%, 2,55% və 0,06% xəta ilə ifadə edir.

11. Geotermal sistemlərin sıxlıq, özlülük və səs sürətinin ölçülmüş qiymətləri bütöv mühitin mexanikası üçün vacib olan adiabatik sıxılma əmsalı, izotermik sıxılma əmsalı, istilik genişlənmə əmsalı, təzyiqin termiki əmsalı, entalpiya, izoxor və izobar istilik tutumları, entalpiyanın təzyiqə görə xüsusi törəməsi, daxili enerjinin xüsusi törəməsi kimi xarakteristikaların hesablanması üçün istifadə edilmişdir. Geotermal mayelərin atmosfer təzyiqində ölçülmüş xassələri yüksək təzyiqlərdə xassələri proqnozlaşdırmaq üçün etalon qiymətlər kimi istifadə edilə bilər.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.

Müəllifin eksperimental qurğusu digər binar və çoxkomponentli sulu və sulu-spirтли sistemlərin istilikkeçirməsini tədqiq etmək üçün uğurla istifadə edilə bilər.

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

Sulu 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 sulu məhlullar energetikada, geologiya və mineralogiyada, kimyada, neft və qaz sənayesində (məsələn, karbohidrogenlərin çıxarılmasında), separasiyanın yeni üsulları üçün, geotermal elektrik stansiyaların buxar generatorlarında, hidrotermal sintezdə, soyuducu texnikada, dəniz suyunun duzsuzlaşdırılması proseslərində, kristalların modelləşdirmə proseslərində, yüksək temperatur və təzyiqlərdə baş verən digər

sənaye əməliyyatlarında, bioloji proseslərdə fundamental əhəmiyyət kəsb edir.

Bu işdə sulu sistemlərin (binar və üçlü sulu məhlulların) 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.

Binar və üçlü sistemlərin istilik-fiziki xassələri üzrə alınmış eksperimental nəticələr yüksək reytingli jurnallarda 12 məqalə ilə nəşr olunaraq Məlumat Bankına daxil edilmişdir.

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-i beynəlxalq və respublika elmi konfranslarının materiallarıdır.

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.
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 “Теоэкоппом” ООО (RF) tərəfindən qəbul olunmuşdur (Tətbiq haqqında sertifikat).

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.

Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlər Neft və Sənaye Universitetində və Azərbaycan Texniki Universitetinin “Enerji effektivliyi və yaşıllıq enerji texnologiyaları” kafedrasında yerinə yetirilmişdir. Tədqiq olunan

obyektlərin kimyəvi analizi, sıxlığı, özlülüyü, səs sürəti üzrə təcrübələr Almanyanın Rostok Universitetinin "Texniki termodinamika" kafedrasında aparılmışdır.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işi giriş, üç fəsil, xülasə və nəticələr, 328 adda ədəbiyyat siyahısı və əlavələrdən ibarət olmaqla 369 səhifədə şərh olunmuşdur. İşə 124 şəkil və 52 cədvəl daxil edilmişdir. Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi: giriş hissəsi 28376 işarə; I fəsil 117052 işarə; II fəsil 146609 işarə; III fəsil 34637 işarə; əsas nəticələr 24667 işarədən və dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi: 446769 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 aporasiyası və tətbiqi, eləcə də dissertasiya işinin qısa məzmunu verilmişdir.

Birinci fəsildə çoxkomponentli qarışıqların sulu məhlullarının istilikkeçirməsinin öyrənilməsi üçün ədəbiyyatda istilikkeçirmə, tədqiqat metodları, nəzəriyyələr və korrelyasiya tənlikləri haqqında mövcud olan məlumatların təhlili verilmişdir. Süni çoxkomponentli qarışıqların sulu 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).

Bütün düzəlişlər nəzərə alındıqdan sonra işçi tənliyi aşağıdakı kimi yazmaq olar:

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

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

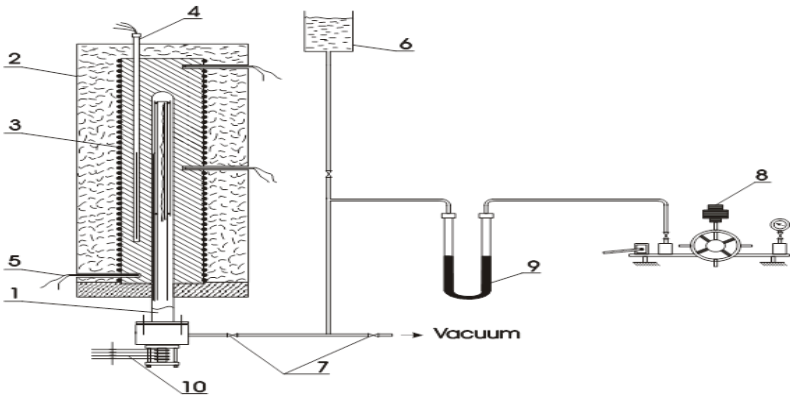
həndəsi xarakteristikaları ilə müəyyən edilir.

Ölçmə xanasının sabitinin həndəsi xarakteristikalara görə və su üzrə 293,15-750,15 K temperatur, 0,101 və 60 MPa təzyiqlərdə kalibrəlmə yolu ilə təyin olunan qiyməti uyğun olaraq 0,1727 m⁻¹ və 0,1752 m⁻¹ təşkil edir.

Eksperimental qurğunun tam təsviri və iş prinsipi müəllifin əsərlərində verilmişdir.

H₂O+Sr(NO₃)₂, H₂O+LiNO₃, H₂O+Na₂CO₃, H₂O+K₂CO₃, H₂O+CaCl₂, H₂O+NaBr, H₂O+KBr binar sistemlərin və H₂O+NaBr+KBr üçlü sistemlərin istilikkeçirməsi hal parametrlərinin geniş intervalında eksperimental olaraq tədqiq edilmişdir.

Eksperimental qurğu sxematik olaraq şəkil 1-də göstərilmişdir.



Şəkil 1. Duzların sulu məhlullarının istilikkeçirməsinin koaksial silindrlər metodu ilə yüksək temperatur və təzyiqlərdə ölçülməsi üçün eksperimental qurğunun sxematik təsviri. 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 kapilyar boru (ayırıcı); 10-elektrik naqilləri.

Uzunluğun daxili silindrin diametrinə nisbəti $l/d_2 > 15$ olduqda daxili silindrin uzunluğu boyunca temperatur bircinsli paylanmasını həyata keçirmək çox çətindir. Əgər $l/d_2 < 10$ olarsa, onda kənar effektlərin təsiri artır. Birinci fəsildə 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 sulu məhlullar və üçlü sistemlər üçün (λ, P, T, m) şəklində tənlik aşağıdakı kimi təqdim olunmuşdur:

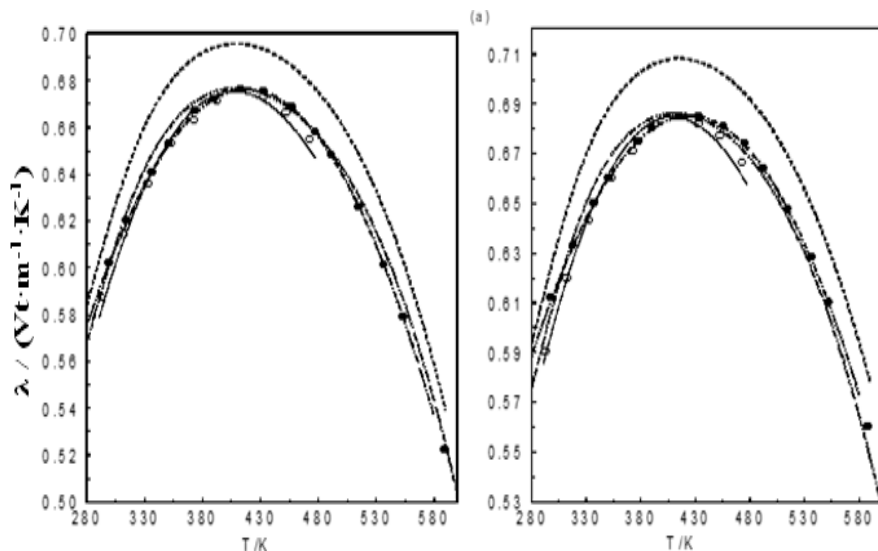
$$\lambda = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 \sum_{k=0}^2 a_{ijk} m^i P^j t^k \quad (3)$$

burada λ - məhlulun istilikkeçirmə əmsalı; t -temperatur, °S; P -təzyiq, MPa.

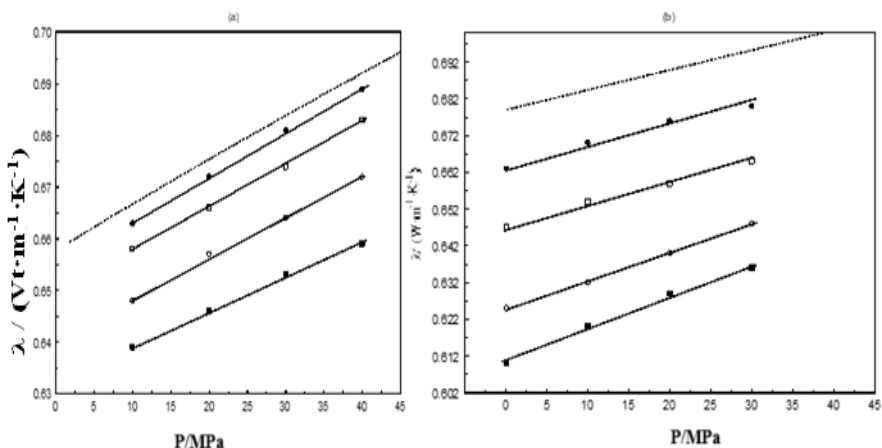
İstilikkeçirmə əmsalının eksperimental və hesablanmış

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 mol·kg⁻¹-ə qədər konsentrasiyalarda etibarlıdır.

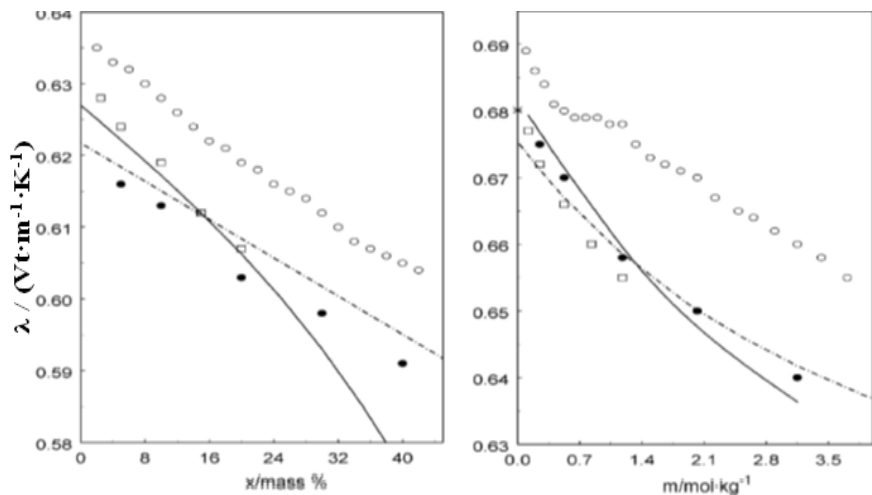
İstilikkeçirmə əmsalının temperatur, təzyiq və konsentrasiyadan asılılıqları ətraflı öyrənilmişdir (Şəkil 2-4). Sr(NO₃)₂ -nin sulu məhlullarının istilikkeçirmə əmsalının ölçülməsi 5 izobar (0.1, 10, 20, 30, 40) MPa üzrə, 294.11-dən 591.06 K-dək temperatur intervalında, beş konsentrasiya üçün (0.249, 0.525, 1.181, 2.025, 3.150) mol·kg⁻¹ aparılmışdır. LiNO₃ -ün sulu məhlulları üçün ölçmələr dörd izobar (0.1, 10, 20, 30) MPa üzrə, dörd konsentrasiya (1.0, 1.7, 2.8, 3.9) mol·kg⁻¹ üçün və 293.15-dən 573.15 K-ə qədər temperatur intervalında aparılmışdır.



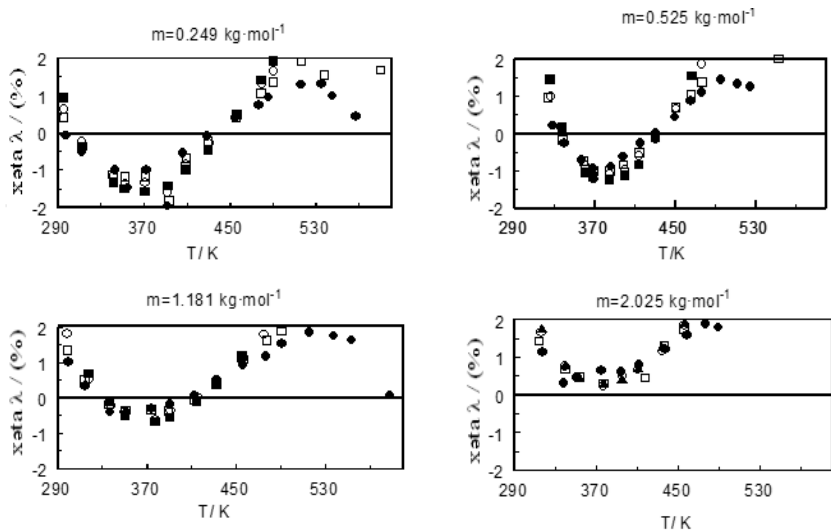
Şəkil 2. H₂O+LiNO₃ məhlullarının istilikkeçirmə əmsalının müxtəlif təzyiq və konsentrasiyalarda temperaturdan asılı olaraq ölçülən qiymətləri ilə birlikdə təmiz su üçün IAPWS tənliyi ilə hesablanmış və ədəbiyyatdan digər müəlliflərin qiymətləri.



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) $\text{H}_2\text{O}+\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, $T=479.55\text{ K}$: ●, $0.249\text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$; □, $0.525\text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$; ○, $1.181\text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$; ■, $2.015\text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$; (b) $\text{H}_2\text{O}+\text{LiNO}_3$; $T=373.15\text{ K}$: ●, $1.0\text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$; □, $1.7\text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$; ○, $2.8\text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$; ■, $3.9\text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$; —, (2) tənliyi ilə hesablanmış, - - -, təmiz su üçün IAPWS tənliyi ilə hesablanmış.



Şəkil 4. $\text{H}_2\text{O}+\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ sulu 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; □, Abdulagatov и Magomedov, ○, Aseyev ; —, (3) tənliyi ilə hesablanmışdır.



Şəkil 5. $\text{H}_2\text{O}+\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ sulu 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 kənarçıxmanın statistikasını hər ölçülmüş konsentrasiya üçün şəkil 5-də göstərilmişdir.

CaCl_2 sulu 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 sulu 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 sulu məhlulları üçün istilikkeçirmənin maksimumu aşağı konsentrasiyalarda (5 kütlə% konsentrasiya ətrafında zəif məhlul) aşkar edilmişdir.

Sulu məhlulların gətirilmiş istilikkeçirmə əmsalının konsentrasiyadan asılılığı (4) tənliyi şəklində verilmişdir. Sulu 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 $\lambda_r = \lambda_{sol} / \lambda_{H_2O}$ - sulu məhlulların 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, həllədicinin strukturunun təhrif edilməsi.

Bu işdə CaCl_2 sulu məhlullarının gətirilmiş istilikkeçirmə əmsalına temperatur təzyiq və konsentrasiyanın kombinə edilməsi

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

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 dəyişməsini göstərir.

CaCl_2 sulu məhlullarının gətirilmiş istilikkeçirmə əmsalı (λ_r) təxminən təzyiqin xətti funksiyasıdır. Nəticə etibarilə, CaCl_2 sulu 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. Biz (5) tənliyində $\Phi_i(T, P)$ üçün müxtəlif funksional formaları yoxladıq. Təəssüf ki, $\Phi_i(T, P)$ funksiyasının temperatur və təzyiqdən asılılığını açıq şəkildə düzgün proqnozlaşdırma biləcək heç bir nəzəriyyə yoxdur. (5) tənliyinin modelində $\Phi_i(T, P)$ funksiyalarının açıq forması “Evrqa” proqramını bərpa edən empirik funksiyalardan istifadə etməklə təyin edilmişdir.

CaCl_2 sulu 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 qiymətləri bərabərdir:

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

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

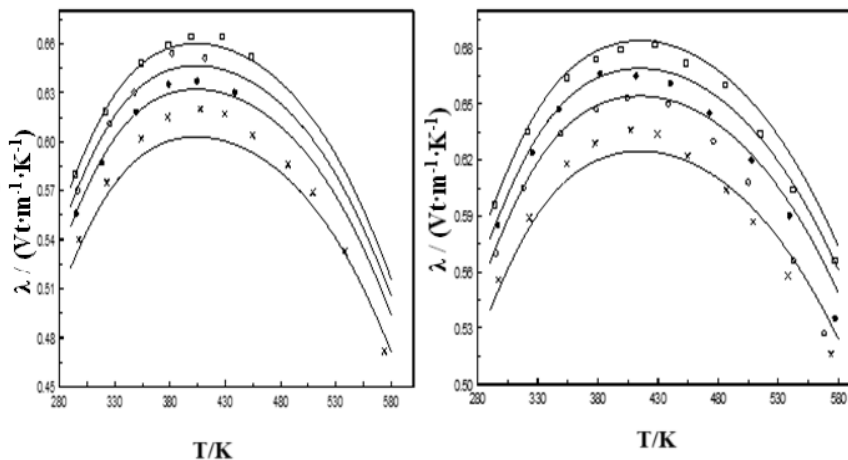
Gətirilmiş istilikkeçirmə əmsalının (λ_r) təzyiqdən (P) asılılığı çox zəifdir (λ_r təzyiqə P görə zəif dəyişir). Buna görə də, birinci yaxınlaşmada (4) tənliyi modelində $\Phi_i(T, P)$ funksiyasına temperatur funksiyası kimi baxmaq olar, yalnız bu zaman eksperimental qiymətlərin ifadə olunması dəqiqliyi (AAD=0.23%) qəbul edilir.

Tədqiq olunan sulu 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 sulu məhlulunun (10, 20, 30, и 38) kütlə%, üç KBr sulu 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 sulu 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. Eyni kationa (müsbət K^+ ionu ilə) və müxtəlif anionlara (mənfi Br^- , Cl^- , I^- , F^- , NO_2^- , OH^- , CO_3^- , CrO_4^- , PO_4^- , Br^- ionları ilə) malik olan bir sıra sulu məhlulların istilikkeçirmə əmsalı üzrə qiymətləri konsentrasiyanın funksiyası kimi verilmişdir.

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



Şəkil 6. $\text{H}_2\text{O}+\text{NaBr}+\text{KBr}$ üçlü sulu 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 sulu 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) $\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$ mol konsentrasiyalarda 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 sulu məhlulu (5, 10, 15, 20, 25) kütlə% üçün doyma xəttinə yaxın (0-1) MPa təzyiqdə istilikkeçmə üzrə yeni qiymətlər alınmışdır. Bu qiymətlər doyma təzyiqinə xətti olaraq ekstrapolyasiya edilmişdir. Ölçmələr (293-573) K temperatur intervalında aparılmışdır. Bu sistemin istilikkeçmə əmsalının

temperatur və konsentrasiyadan asılılıqları öyrənilmişdir.

Bu tədqiqatlar yuxarıda qeyd olunan sistemlərin istilikkeçirmə əmsalı üzrə mövcud məlumat bazasını əhəmiyyətli dərəcədə genişləndirir (NIST USA, ABŞ-ın NIST İstilik-fizikası Mərkəzinin direktoru professor Frenkel tərəfindən verilmiş sertifikat var) istilik keçiriciliyinə dair.

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 $c < 0,05$ mol) 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 sulu 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-

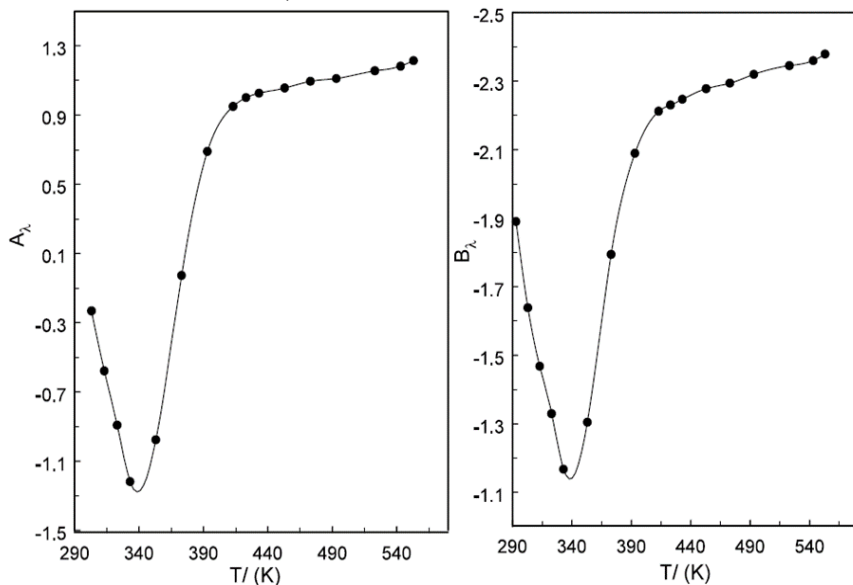
¹ H. Falkenhagen, M. Dole. Die innere reibung von elektrolytischen losungen und ihre deutung nach der debyeschen theorie // –Berlin: Z. Phys., -1929. №30, -p.611-622.

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, 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.

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

məhlul, məhlul-məhlul).



Şəkil 7. $H_2O+K_2CO_3$ üçün A_λ (sol) və B_λ (sağ) əmsallarının temperaturdan asılı olaraq qiymətləri

İkinci fəsildə süni çoxkomponentli qarışıqların sulu məhlullarının həcmi xassələrinin (PVT qiymətləri) ABŞ TRC/NIST Qiymətlər bazasında aparılmış tədqiqi üzrə ədəbiyyat xülasəsi verilmişdir. spirtlərin Sulu məhlullarının sıxlığının (PVT qiymətləri) və digər həcmi xassələrinin müxtəlif təzyiq və yüksək temperaturlarda ölçülməsinin nəticələri 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 məhlullar üçün yüksək temperatur və təzyiqlərdə etibarlı hal tənliyinin işlənməsidir. Spirt assosiasiyasiya olunan mayelər sırasına daxil olan standart mayedir. Spirt molekulları suyun strukturuna güclü təsir göstərir, bu da spirtlərin sulu məhlullarının bir çox termodinamik və köçürmə xassələrində anomalionalara səbəb olur. Spirt molekulları qarışıqda suyun quruluşunu yenidən təşkil edir. Sulu məhlulların izafi, xəyali və parsial molyar həcmələrinin tədqiqi həlledici - həll olunan maddə, həlledici - həlledici, həll olunan maddə - həll olunan maddə

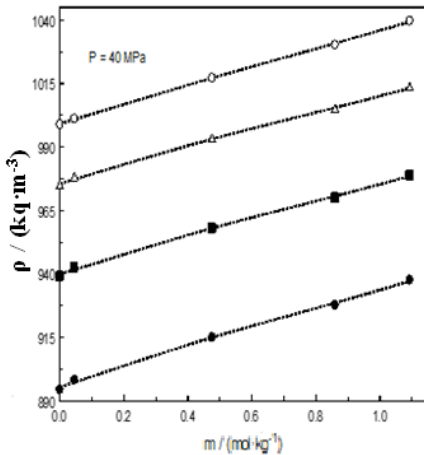
molekullarası (struktur) qarşılıqlı təsirlərin təbiətini yoxlamaq və öyrənmək üçün vacibdir.

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.

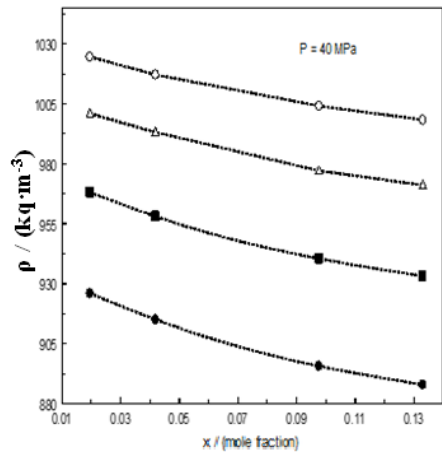
Sabit həcmli pyezometrdən istifadə etməklə binar $\text{H}_2\text{O}+\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ və üçlü $\text{H}_2\text{O}+\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}+\text{LiNO}_3$ qarışıqları üçün etalonun 0.0168, 0.0368, 0.085 və 0,1166 mol nisbətlərində (298-448) K temperatur intervalında və 40 MPa-a qədər 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.

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 (Şəkil 8-9). Xəyali (V_ϕ) molyar həcmənin 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 bizim və dərc olunmuş qiymətlərin etibarlılığını qiymətləndirmək məqsədilə su+etanol binar sistemi üçün 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 molar həcmnin etanolun 0,4 mol konsentrasiyasında minimuma malik olduğu müəyyən edilmişdir. Xəyali V_ϕ molar həcm minimumu 2 mol·kg⁻¹ konsentrasiyası yaxınlığında (sonsuz zəif məhlul) aşkar edilmişdir.



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;



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·kg⁻¹) sıxlığının ölçülmüş qiymətləri. ●, 448.15 K; ■, 398.15 K; △, 348.15 K; ○, 298.15 K;

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·kq⁻¹N₂O)-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 həcmnin maksimumu elektrolitin aşağı (durulaşdırılmış) konsentrasiyalarında təxminən 323 K temperaturda müəyyən edilmişdir və elektrolitin yüksək konsentrasiyalarında (1.13 mol·kq⁻¹) əhəmiyyətli dərəcədə yüksək temperaturlara (373 K-ə qədər) doğru sürüşür. Molyar $\bar{V}_2$ həcmnin temperatur maksimumuna təzyiqin təsiri əhəmiyyətli deyil. Elektrolitin parsial molyar həcmində $\bar{V}_2^0$ təzyiqin təsiri 350 K aşağı temperaturda çox zəifdir, yüksək temperaturlarda 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) hüsrə 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 molar həcmnin $\bar{V}_2$ maksimumu aşağı temperatur diapazonunda (otaq temperaturuna

yaxın) aşkar edilmişdir. Duzun temperatur maksimumunun $\bar{V}_2$ yerləşməsinə təzyiqin təsiri əhəmiyyətsizdir. Duz və spirtin alınmış parsial molar həcmələrinin konsentrasiyadan asılılıqları duzun sonsuz durulaşdırılmada (sonsuz zəif məhlul) parsial molyar həcmələrini ($\bar{V}_2$ və $\bar{V}_2^0$) almaq üçün sıfır konsentrasiyaya ($x_1=0$ və $x_2=0$) ekstrapolyasiya edilmişdir. Üçlü qarışığın sıxlığının və alınan parsial molyar həcmələrin temperatur, təzyiq və konsentrasiyadan asılılıqları ətraflı tədqiq olunmuşdur. Duzun parsial molyar həcmələri ($\bar{V}_2^0$) sonsuz durulaşdırılmada (sonsuz zəif məhlul) aşağı temperaturlarda (350 K-dən aşağı) sahəsində temperaturdan çox az asılıdır və yüksək temperaturlarda (350 K-dən yuxarı) sürətlə azalır.

Parsial molyar həcmələrin ($\bar{V}_2^0$) təzyiqlən 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 ($\bar{V}_1^{00}$) və duzun ($\bar{V}_2^{00}$) parsial molyar həcmələrinin qiymətləri hesablanmışdır. Aydın ifadə olunan temperatur maksimumu ($\bar{V}_2^{00}$) 325 K ətrafında (xüsusilə yüksək təzyiqlərdə) müəyyən edilmişdir ki, bu zaman ($\bar{V}_1^{00}$) temperaturun artması ilə monoton olaraq artır. Eləcə də müəyyən edilmişdir ki, bütün ölçülmüş izotermələr 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 molar həcmi ($\bar{V}_2$) bütün ölçülmüş izotermələr üçün demək olar ki, eyni bucaq əmsallarına malik olmaqla x_2 -dən asılı xətti funksiyadır. $P=5$ MPa təzyiqdə alınmış $\bar{V}_1^0$ və $\bar{V}_2^0$ qiymətləri cədvəl 1-də göstərilmişdir.

Cədvəl 1.

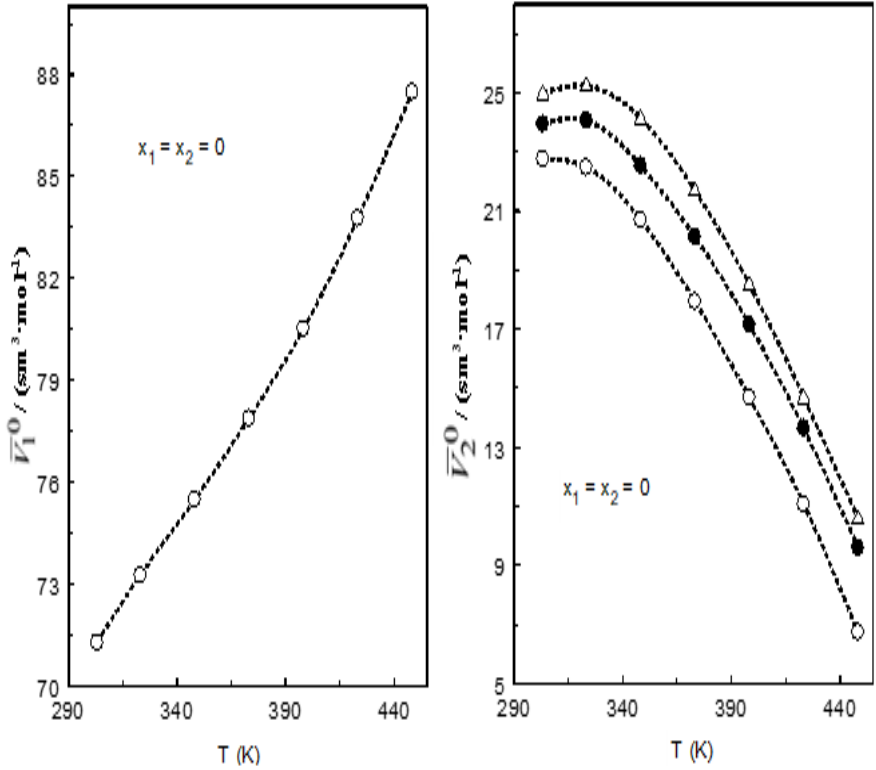
Su+1-propanol+Li₂SO₄ üçlü sistemdə sonsuz durulaşdırılmada $x_1 \rightarrow 0$, duzun müxtəlif konsentrasiyaları üçün 1-propanol ($\bar{V}_1^0$) və Li₂SO₄ ($\bar{V}_2^0$) parsial molyar həcmələrinin temperatur və təzyiqdən asılı olaraq hesablanmış qiymətləri

P=5 MPa, x ₂ =0.00623			P=5 MPa, x ₂ =0.0124	P=5 MPa, x ₂ =0.0274	P=5 MPa, x ₂ =0.0199
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; $u(x)=5 \times 10^{-5}$; $u(\bar{V}_2^0)=0.2\% - 0.3\%$.

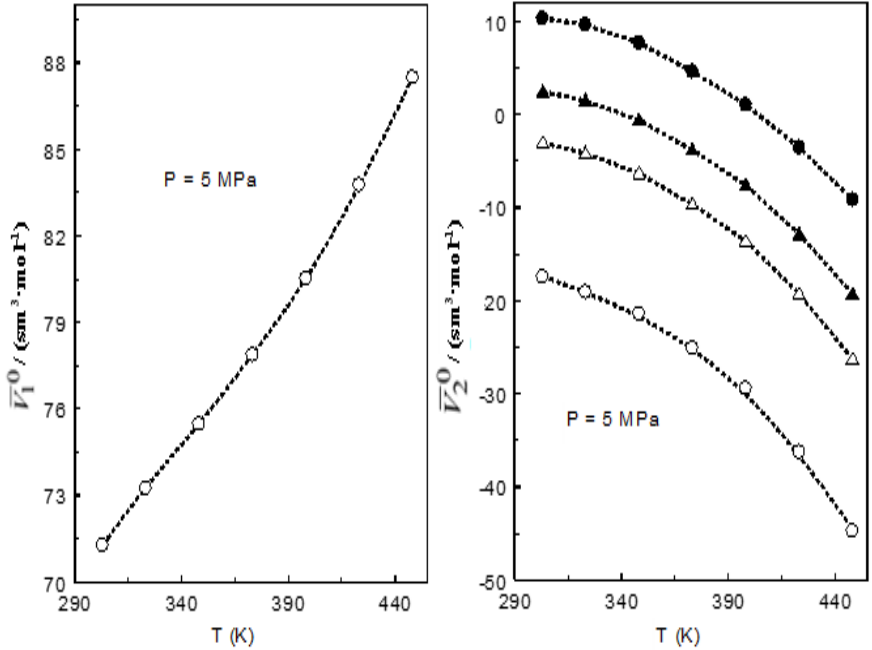
Su+1-propanol+Li₂SO₄ üçlü sistemin molyar həcmələrinin eksperimental qiymətləri əsasında seçilmiş 5, 20 və 40 MPa izobarlar üçün hər iki həll olunan maddənin sonsuz durulaşdırılmasında (spirt $x_1 \rightarrow 0$ və duz $x_2 \rightarrow 0$) spirtin (1-propanol, $\bar{V}_1^0$) və duzun (Li₂SO₄, $\bar{V}_2^0$) parsial molyar həcmələrinin temperatur və təzyiqdən asılı olaraq hesablanmış qiymətləri şəkil 11-də göstərilmişdir.

$\bar{V}_2^0$ üçün temperatur maksimumu 325 K dərəcədə müşahidə olunur və temperaturun artası ilə monoton olaraq artıq.



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 həcmələrininün temperatur və təzyiqdən asılı olaraq hesablanmış qiymətləri. Solda: $\circ$, 5 MPa; Sağda: $\circ$, 5 MPa; $\bullet$, 20 MPa; və $\triangle$, 40 MPa.



Şəkil 11. Su+1-propanol+ Li_2SO_4 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 (Li_2SO_4 , $\bar{V}_2^0$) parsial molyar həcmələrinin temperatur və təzyiqdən asılı olaraq hesablanmış qiymətləri.

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

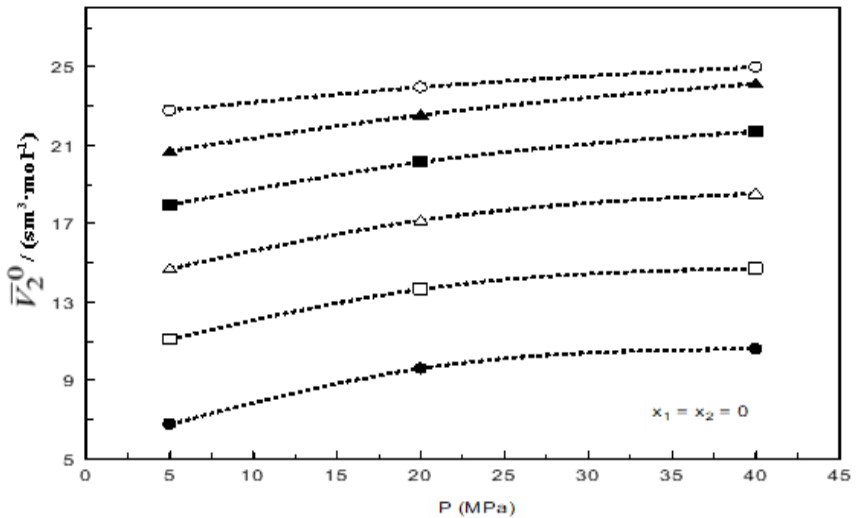
Molyar genişlənmə və termiki genişlənmə əmsalı entropiya və istilik tutumu ilə termodinamik əlaqələrlə bağlıdır və sistemdə termiki genişlənmə zamanı struktur dəyişiklikləri haqqında məlumatı təşkil edir. $\bar{V}_2^0$ qiyməti temperatur artdıqca qeyri-xətti azalır, bu zaman $\bar{V}_1^0$ temperatur artdıqca monoton artır və spirtin konsentrasiyasından demək olar ki, asılı deyil.

Su+1-propanol+ Li_2SO_4 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 (Li_2SO_4 , $\bar{V}_2^0$) parsial molyar həcmələrinin temperatur və təzyiqdən asılı olaraq hesablanmış qiymətləri şəkil 11-də göstərilmişdir.

Burada spirtin sonsuz durulaşdırılmasında spirtin konsentrasiyası kifayət qədər az olduqda ($x_1 \rightarrow 0$) duzun müxtəlif konsentrasiyaları üçün 5 MPa izobarı üzrə parsial molyar həcmələrin temperaturdan asılılıqları göstərilmiş, həmçinin binar su+ Li_2SO_4 məhlulu üçün spirtsiz məhlulda sonsuz durulaşdırmada ($x_2 \rightarrow 0$) $\bar{V}_2^0$ -nin qiymətləri verilmişdir. 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.

Temperaturun maksimumunu ($\bar{V}_2^{00}$) 325 K temperatur ətrafında (xüsusilə yüksək təzyiqlərdə) müəyyən etdik, su+duz binar məhlullarında olduğu kimi, temperatur artdıqca $\bar{V}_1^0$ monoton artır. Üçlü qarışıq üçün ölçülmüş qiymətlərdən alınmış $\bar{V}_1^0$ -in qiymətlərinə təzyiqin təsiri şəkil 12-də göstərilir. Alınmış $\bar{V}_2^{00}$ qiymətləri təzyiqə düz mütənəsib olaraq (xüsusilə aşağı temperaturlarda təxminən xətti olaraq) artır. Təzyiqin $\bar{V}_1^{00}$ qiymətlərinə təsiri çox kiçikdir. Parsial molyar həcmələrin temperatur əmsalı $(\partial \bar{V}_i / \partial T)_{P, x_j}$ (parsial molyar genişlənmə) həll olunan maddələrin su ilə struktur qarşılıqlı təsiri üçün həssas kəmiyyət olmaqla bərabər mürəkkəb məhlulların strukturlarının və termodinamiki xassələrinin fundamental tədqiqində yaxşı vasitə kimi istifadə edilə bilər.



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.

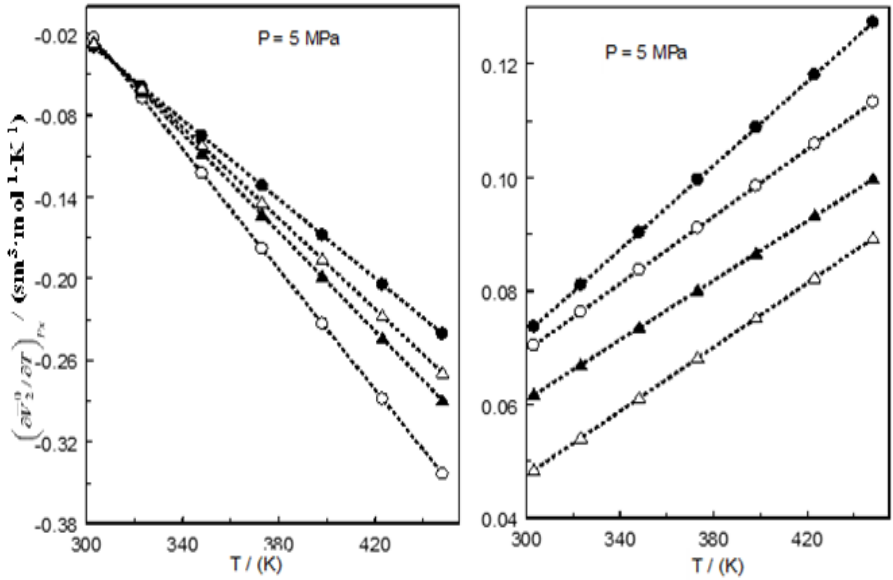
Su+1-propanol+Li₂SO₄ üçlü sistemdə 5 MPa izobarda duz və spirtin sabit konsentrasiyası üçün sonsuz durulaşdırılmada duzun Li₂SO₄ $\left(\partial \bar{V}_2^0 / \partial T\right)_{P_X}$ və spirtin 1-propanol $\left(\partial \bar{V}_1^0 / \partial T\right)_{P_X}$ parsial molyar həcmələrinin termiki genişlənmə əmsalının temperaturdan asılı olaraq hesablanmış qiymətləri şəkil 13-də göstərilmişdir.

Şəkil 13-dan göründüyü kimi duzun parsial molar genişlənmə mənfidir $\left(\partial \bar{V}_2^0 / \partial T\right)_{P_X} < 0$ və temperatur artdıqca azalır, spirtin 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 molar 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 molar həcmələrinin temperatura görə ikinci tərtib törəmələri (yəni əyrilər) mənfi olduqda $(\partial^2 \bar{V}_2^0 / \partial T^2)_{Px} < 0$ həll olunan maddə məhlulun strukturunu dağıdır, müsbət olduqda isə $(\partial^2 \bar{V}_1^0 / \partial T^2)_{Px} > 0$ həll olunan maddə məhlulun strukturunu yaradır.

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



Şəkil 13. Su+1-propanol+Li₂SO₄ üçlü sistemdə 5 MPa izobarda duz və spirtin sabit konsentrasiyası üçün sonsuz durulaşdırılmada (solda $x_2=0$ və sağda $x_1=0$) duzun Li₂SO₄ $(\partial^2 \bar{V}_2^0 / \partial T^2)_{Px}$ və spirtin 1-propanol $(\partial^2 \bar{V}_1^0 / \partial T^2)_{Px}$

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

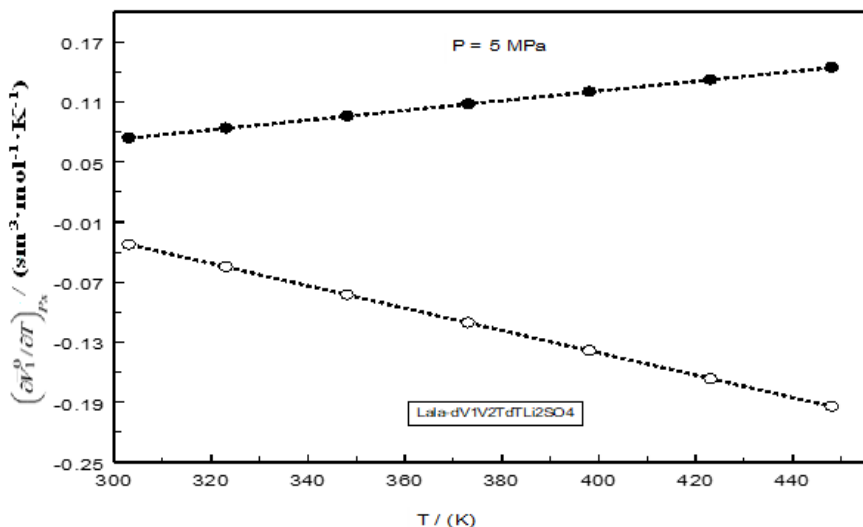
Araşdırmalara əsasən, duz (Li_2SO_4) ona bitişik su molekullarının strukturunu dağıdır (suyun strukturunu azaltmaq tendensiyasına malikdir), spirt (1-propanol) molekulları isə duzdan fərqli olaraq suyun strukturunu yaradır (yüksək struktur layı ilə əhatə edir).

Beləliklə, iki əks rəqabətli effekt su+1-propanol+ Li_2SO_4 kimi mürəkkəb qarışığın həcmi xassələrini müəyyənləşdirir.

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

Su+1-propanol+ Li_2SO_4 üçlü sistemdə 5 MPa izobarda duz və spirtin sabit konsentrasiyası üçün sonsuz durulaşdırılmada ($x_2=0$ və $x_1=0$) 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 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 $\left(\partial \bar{V}_2^0 / \partial T\right)_{P,x}$ 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 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 konsentrasiyaların 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 - KNO₃ mol hissəsi; A_i ($i=1;4$)- temperatur və təzyiq funksiyası olan tənzimləmə parametrləridir.

Mayelər 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 molekular ətrafında qəfəsdə bərk cismin titrəmələri üçün molekular arasındakı orta məsafə həddində amplitudaya uyğun göstərilən tezliyə yaxın kiçik titrəmələr həyata keçirən qonşu molekular 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 molekular 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 molekulaları qarışığa daxil edildikdə, hidrogen əlaqə şəbəkəsi yenidən qurulur, yəni hidrogen əlaqələrinə xas olan hal kimi spirt molekulaları hidrogen şəbəkəsinin boşluqlarına artıq yerləşə bilmir. Onda etanolun polyar OH qrupları su molekulalarını əvəz edir və etanolun daha uzun hidrofob qrupları su molekulalarının 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 molekulaları 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 dəyişməsini, yüksək təzyiqdə özlülüyün dəyişməsini 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 mayelərin 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 işlənib hazırlanmışdır:

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

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 $(m, \text{mol} \cdot \text{kq}^{-1} \text{H}_2\text{O})$ 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} bizim (p, V_m, T, m) ölçmələri əsasında hesablanmışdır. (10) hal tənliyi xüsusi həcm üçün bizim 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 statistikasına belədir: $\text{AAD}=0.02\%$, $\text{Bias}=0.011\%$, $\text{St.Dev}=0.028\%$, $\text{St.Error}=0.002\%$ və $\text{MaxDev.}=0.105\%$.

Verilmiş hal tənliyi digər elektrolitlərin sulu məhlullarının termodinamik xassələrinin, eləcə də parsial və xəyali molyar həcmələrinin geniş temperatur (600 K-dək), təzyiq (40 MPa-dək) və konsentrasiya (5 $\text{mol} \cdot \text{kq}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ -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 №17T) 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.

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 termostatu 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.

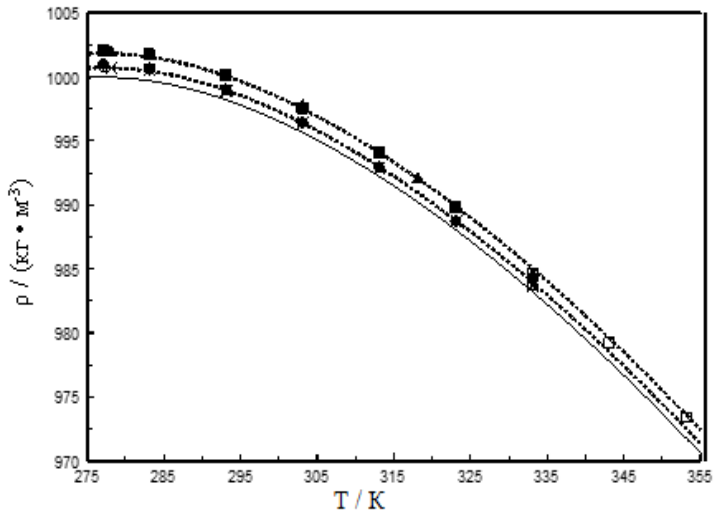
Cədvəl 2.

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

(№ 68) İzberbaş (Dağıstan)							
T, K	ρ^a , kg·m ⁻³	T, K	ρ^b , kg·m ⁻³	η^b , MPa·s	T, K	ρ^c , kg·m ⁻³	W^c , m·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	ρ , kg·m ⁻³	T, K	ρ , kg·m ⁻³	η , MPa·s	T, K	ρ , kg·m ⁻³	W, m·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	ρ , kg·m ⁻³	T, K	ρ , kg·m ⁻³	η , MPa·s	T, K	ρ , kg·m ⁻³	W, m·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. cDSA 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 deqazasiya baş verir. Geotermal nümunələrdə həll olunmuş qazların orta miqdarı (səthə yaxın, quyuların yuxarı hissəsində): №27t üçün $2,5 \text{ m}^3$ (qaz) / m^3 (məhlul) və №38t üçün $4,2 \text{ m}^3$ (qaz) / m^3 (məhlul). №27t və №38t nümunələrində ümumi qazın həcmnin 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 reqressiya 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 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 sulu 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 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,

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

izoxor istilik tutumunu, izobar istilik tutumunu, entalpiyalar fərqini, 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 istilik tutumu (C_V), izobar istilik tutumu (C_P)

T, K	$\beta_S \times 10^3, \text{MPa}^{-1}$	$\alpha_P \times 10^3, \text{K}^{-1}$	$\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T, \text{cm}^3 \cdot \text{T}^{-1}$	$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T, \text{Mпа}$	$\beta_T \times 10^3, \text{MPa}^{-1}$	$\gamma_V, \text{MPa} \cdot \text{K}^{-1}$	$C_V, \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	$C_P, \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
(№ 68) Избербаш (Дагестан)								
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) Избербаш (Дагестан)								
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 mayələrin atmosfer təzyiqində ölçülmüş xassələri yüksək təzyiqlərdə xassələri proqnozlaşdırmaq üçün etalon qiymətlər kimi istifadə edilə bilər.

DİSSERTASIYA İŞİNİN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ

Dissertasiya işi çoxkomponentli elektrolit sistemlərinin sulu məhlullarının yüksək temperatur və təzyiqlərdə istilik-fiziki xassələrinin tədqiqinə həsr edilmişdir. Elektrolitlərin sulu 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 qarışığın riyazi modeli qurula bilər. Çoxkomponentli qarışığın 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.

Bu problemin həlli zamanı aşağıdakı nəticələr alınmışdır:

1. Elektrolitlərin sulu məhlullarının istilikkeçirmə əmsalının yüksək təzyiq və temperaturlarda 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 $\text{N}_2\text{O}+\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, $\text{N}_2\text{O}+\text{LiNO}_3$, $\text{H}_2\text{O}+\text{CaCl}_2$, $\text{H}_2\text{O}+\text{NaBr}$, $\text{H}_2\text{O}+\text{KBr}$ sulu 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;

b) $\text{H}_2\text{O} + \text{K}_2\text{CO}_3$ –doyma xətti üzrə (0-1 MPa), dörd konsentrasiya üçün (5, 10, 15, 20, 25) kütlə%, müxtəlif izotermilər 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, в диапазоне температур 293,15 K-dən 627,06 -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 K-dən 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 K-dən 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. Sulu məhlulların istilikkeçirmə əmsalının həll olunan maddələrin ionlarının təbiətindən konsentrasiya asılılığının qanunauyğunluğu təsdiq edilmişdir.

4. Tədqiq olunan binar sulu məhlulların gətirilmiş istilikkeçirmə əmsalı üçün hal parametrlərinin geniş intervalında tənlik işlənilib hazırlanmışdır. Bu tənlik universaldır və hal parametrlərinin qeyd olunan dəyişmə intervalında digər sulu 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. Binar çoxkomponentli sistemlərin təzyiq, konsentrasiya və temperatur asılılıqları ətraflı tədqiq edilmişdir. Sulu 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, duzun 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 məhlul üçün uyğun izoterm mailliyindən yüksəkdir, xüsusilə yüksək konsentrasiyalarda, yəni bu o deməkdir ki, təmiz suyun istilikkeçirmə əmsalı təzyiqə mütənəssib 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 təzyiqlərdə (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-spirtli 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) $\text{H}_2\text{O}+\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}+\text{KNO}_3$ 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) $\text{H}_2\text{O}+\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}+\text{Li}_2\text{SO}_4$ 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 sulu məhlulların sıxlığının, özlülüyünün, parsial və xəyali molyar həcmələrinin, həmçinin digər termodinamik xassələrinin geniş temperatur intervalında (600 K-ə qədər), təzyiqlərdə (40 MPa-a qədər) və konsentrasiyalarda (5-ə qədər $\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$ H_2O) hesablanması üçün istifadə edilə bilər.

8. Su-duz-spirt üçlü qarışığının molar 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 molar 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 (Li_2SO_4) bitişik su molekullarının strukturunu dağıdır (suyun strukturunu azaldır), spirt molekulları (1-propanol) isə, duzdan fərqli olaraq suyu strukturlaşdırır (struktur təbəqəsi ilə əhatə edir). İki əks rəqabət effekti $\text{su} + 1\text{-propanol} + \text{Li}_2\text{SO}_4$ kimi mürəkkəb qarışığın 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. Sonsuz durulaşma zamanı parsial molyar həcmələr və onun

temperatura görə törəmələri $(\partial \bar{V}_i^0 / \partial T)_{P_x}$ və $(\partial^2 \bar{V}_i^0 / \partial T^2)_{P_x}$, qarışıqın struktur dəyişməsinin ölçüsüdür, $(\partial^2 \bar{V}_i^0 / \partial T^2)_{P_x} > 0$ əyrisi hidrofob həll olunan maddələr üçün müsbətdir (struktur əmələ gətirən), $(\partial^2 \bar{V}_i^0 / \partial T^2)_{P_x} < 0$ isə hidrofil həll olunan maddələr üçün mənfidir (struktur 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 (Li_2SO_4) termiki genişlənmə əmsalının və təmiz suyun (həlledicinin) həcmi genişlənmə əmsalının qiymətləri əks işarəlidir və əks temperatur davranışına malikdir.

10. İlk dəfə olaraq Rusiyanın cənubunda İzberbaş, Ternair, Kizlyar, Qayakənd yataqlarından götürülmüş 8 təbii geotermal mayenin kimyəvi analizi (kation və anionların analizi) aparılmış, eləcə də həcmi (sıxlıq), akustik (səs sürəti) və köçürmə (özlülük) xassələri üzrə eksperimental qiymətlər alınmışdır.

11. Məhlulun temperatur və konsentrasiyasından asılı olaraq 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 mayələrin əsas ionlarının (Riedel xarakterik sabitlərinin) töhfəsi müəyyən edilmişdir. Mayenin geoloji formalaşmasında geotermal məhlulun tərkibi, temperaturu və təzyiqi dəyişdikdə (layn 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 mayələrdə həll olunmuş qazların olması termodinamik xassələrə, beləliklə enerjinin alınması proseslərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Müxtəlif dərinliklərdə təzyiq fərqi görə (səthin yaxınlığında təzyiq 0,101 MPa-dır) istehsal prosesində deqazasiya baş verir.

12. Duz məhlullarının, geotermal mayələrin yüksək təzyiqlərdə

özlülüyünü, sıxlığını, səs sürətini tapmaq üçün istinad təzyiqinin ($P_0 = 0,101 \text{ MPa}$) 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 istilik tutumu, izobar istilik tutumu. entalpiyanın təzyiqə görə xüsusi törəməsi, daxili enerjinin xüsusi törəməsi.

13. İşdə statik mühitdə molekulların qarşılıqlı təsir mexanizmini aşkar edilmiş, həmçinin həlledici-həll olunan maddə sistemində molekullarası qarşılıqlı təsir prosesi öyrənilmiş, bütöv sistemlərin mühüm energetik xassələri təyin edilmişdir: sıxılma və genişlənmə əmsalları, təzyiq əmsalı, entalpiya, izoxor və izobar istilik tutumları, entalpiyanın təzyiqə görə xüsusi törəməsi, daxili enerjinin xüsusi törəməsi.

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. Азизова 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, №2, 2002, с.46-51.

3. Азизова 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, №2, 2002, с.58-64.

4. Азизова 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, №2, 2003, с.56-60.

5. Азизова Л.А., Ахундов Р.Т., Азизов Н.Д. Вязкость водных растворов нитрата натрия// “Kimya və Neftkimyası”, Elm. Bakı, №2, 2003, с.66-69.

6. Азизова 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», №5, Bakı, Elm, 2003., 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” // J.Chem Eng.Data, 2004, 49, pp. 688-703, American Chemical Society.

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”// J. Chem. Eng. Data, 2004, 49, pp.1727-1737.

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

10. Akhmedova-Azizova, L.A. Thermal conductivity and viscosity of aqueous of $\text{Mg(NO}_3)_2$, $\text{Sr(NO}_3)_2$, $\text{Ca(NO}_3)_2$, and $\text{Ba(NO}_3)_2$ solutions// Journal of Chemical & Engineering Data. 2006, V.51(6), p.p. 2088-2090.

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

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

13. Akhmedova-Azizova, L.A., “Thermal Conductivity of Aqueous $\text{Mg (NO}_3)_2$, $\text{Ca (NO}_3)_2$ and $\text{Ba (NO}_3)_2$ solutions at High

Temperatures and High Pressures”// J. Chem Eng.Data, 2006, 51(2), pp. 510-517.

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

15. Akhmedova-Azizova, L.A., Babaeva, S.Sh., “Thermal Conductivity of Aqueous Na₂CO₃ at High Temperatures and High Pressures”// J. Chem Eng.Data, 2008, V. 53, pp. 462-465.

16. Akhmedova-Azizova, L.A., Abdulagatov, I.M., Thermal Conductivity of Aqueous K₂CO₃ Solutions at High Temperatures //J. Sol. Chemistry, 2009, V.38(8), pp.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). pp.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, pp. 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. 2012.

20. L.Əzizova. Alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrinə butonolun termodinamik xassələri. H.Əliyev və Azərbaycan Təhsili, Respublika elmi-texniki konfransı.AzTU. 2013.s.403-404 .

21. 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.12-15 June 2014 Izmir. Turkey.

22. L.A. Akhmedova-Azizova, I.M. Abdulagatov, 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. Mahachkala.2014.

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

24. L.A. Akhmedova-Azizova, I.M. Abdulagatov, N.D.Azizov. 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, pp. 78-93.

25. L.A. Akhmedova-Azizova, I.M. Abdulagatov, N.D.Azizov 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 ,Volume 376, 2014., pp.1-21,

26. 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+ Li_2SO_4 mixtures at temperatures from (303 to 448) K and pressures up to 40 MPa //14 Российская конференция по теплофизическим свойствам веществ. октября 2014 г.Казань, Russia.

27. Abdulagatov, L. Akhmedova-Azizova, N. Azizov. Experimental study of density and derived partial molar volumes of ternary water+1-propanol+potassium nitrate mixtures at temperatures from (303 to 448) K and pressures up to 35 MPa // 14 Российская конференция по теплофизическим свойствам веществ. 15-17октября 2014 г.Казань, Russia.

28. Abdulagatov, L. Akhmedova-Azizova, N. Azizov. 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. 2014 г.Казань, Russia.

29. L. Akhmedova-Azizova, I. Abdulagatov, R. Aliyev, G.Badavov. Measurements of the density,speed of sound and viscosity

of geothermal fluids from south Russia (Dagestan)// 14 Российская конференция по теплофизическим свойствам веществ. 2014 г.Казань, Russia.

30. I. Abdulagatov, L. Akhmedova-Azizova, R. Aliev, G. Badavov. Measurements of the Density, Speed of Sound, Viscosity and Derived Thermodynamic Properties of Geothermal Fluids" //Journal of Chemical & Engineering Data, 2016, 61 (1), pp. 234–246

31. I.Abdulagatov I., L. Akhmedova-Azizova, R. Aliev, G. Badavov. Measurements of the Density, Speed of Sound, Viscosity and Derived Thermodynamic Properties of Geothermal Fluids of Russia (Izberbash and Ternair) "/" International symposium, Geoenergy. Russia, Grozniy. 2016

32. I. Abdulagatov, L. Akhmedova-Azizova, R. Aliev, G. Badavov. Measurements of the density, speed of sound, viscosity and derived thermodynamic properties of geothermal fluids from south Russia Geothermal Field // Part II. Applied Geochemistry, 69, pp.8-41.2016.

33. L.Azizova. Thermam 2017, 6th Rostocker International Conference on Thermophysical Properties for Technical Thermodynamics. Measurements of the Density, Speed of Sound, Viscosity and Derived Thermodynamic Properties of Geothermal Fluids from south Russia geothermal field // 17-18 July 2017.Germany.

34. 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. № 4. 2017. с. 6-10.

35. Азизова Л.А..Экологические преимущества и недостатки геотермальной энергетики// 2-ci beynəlxalq elmi-texniki konfrans «Metallurgiya və materialşünaslığın problemləri» 2017, с. 486-489.

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

37. 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. 2018г. Вып. 7 с. 303-307.

38. Əzizova L.Ə., Bəşirov M.M Geotermal energetikanın ekoloji cəhətdən müsbət və mənfi tərəfləri // Azərbaycan Texniki Universiteti, Elmi əsərlər, texnika elmləri, № 2, 2018.101-105.

39. Azizova L. A. Measurements of the density and viscosity of geothermal fluids from Dagestan (South Russia) Geothermal Field// Thermam 7thRostocker international Conferance on Thermophysical Properties for Technical Thermodynamics.2018, p.56.

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

41. Azizova L.A. Приборы для измерения плотности, вязкости, скорости звука геотермальных вод юга России. «Ölçmə və keyfiyyət: problemlər,perspektivlər» mövzusunda Beynəlxalq Elmi-texniki konfrans. AzTU. Baku 2018, s. 509-512.

42. I.M. Abdulagatov, L.A. Akhmedova-Azizova. Viscosity of rocket propellant (RP-1) at high temperatures and high pressures //Fuel. 235.2019. pp.703-714.

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

44. M.A.Talybov, I.M. Abdulagatov, L.A. Akhmedova-Azizova. 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.

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

46. L. Əzizova, M.Məmmədova, M.Talıbov. Stearin turşusunun metil efirinin sıxlığı və səs sürəti. Azərbaycan və Türkiyə Universitetləri: təhsil, elm, texnologiya". I Beynəlxalq elmi-praktiki konfransın materialları. Bakı.2019, 3 hissə, səh. 355-357.

47. L.Azizova. 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.

48. L.Azizova. Экспериментальные и теоретические исследования плотности, (PVTx) свойств бинарной системы $H_2O+LiNO_3$ // Elmi əsərlər. №3, 2019, səh.198-202.

49. İ.M. Abdulagatov, M.A. Talybov, L.A. Azizova. Measurements of the density, speed of sound, viscosity and derived key thermodynamic properties of geothermal waters from East Turkey // Geothermics V.88, November 2020, 101884.

50. L. Əzizova . Enerji səmərəliliyi. Бюэнерji. “Gənclər və elmi innovasiyalar” mövzusunda. Respublika elmi-texniki konfrans. AzTU 2021.

51. L. Akhmedova-Azizova, İ. Abdulagatov. Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. Thermodynamic Properties of Geothermal Fluids from South Russia: Kayakent and Kizlyar Hot Sources //, Springer, 2021, p. 275-301.

52. L. Akhmedova-Azizova, İ. Abdulagatov. Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere Thermodynamic Properties of Geothermal Fluids from South Russia: Izberbash and Ternair Hot Sources// Springer, 2021, p. 303-333.

53. Talybov M.A., Abdulagatov I.M., L.A. Azizova, Mammadova M.A. Study of isobaric heat capacity of geothermal water from «kaklik magara” well spring, Denizli (Turkey)// II Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Фундаментальные проблемы и прикладные аспекты химической науки и образования» Махачкала, 2022. (SCOPUS).

54 L. Akhmedova-Azizova., M. Talybov, I. Abdulagatov, M. Mammadova G. Nadjafov. Measurements and reference correlation of the density and speed of sound and derived thermodynamic properties

of methyl laurate and methyl stearate // Journal of Chemical & Engineering Data. 2022., p. 580-593.

55. L. Akhmedova-Azizova, M. Talybov, I. Abdulagatov, M. Mammedova, G. Nadjafov. Measurements and reference correlation of the density and speed of sound and derived thermodynamic properties of methyl laurate and methyl stearate// Thirteen International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications. Baku, Azerbaijan.2022.

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

57. L. Azizova, M. Mammadova. 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.

58. I. Abdulagatov, L. Akhmedova-Azizova. Thermal Conductivity of Ternary Aqueous $H_2O + Li_2SO_4 + Zn(NO_3)_2$ Solutions at High Temperatures and Pressures // J. Chem. Eng. Data 2023, V. 68, 6, pp.1279–1290.

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

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

Müəllifin şəxsi iştirakı

[9,10,13, 18,19, 20, 33, 35, 39, 41, 43, 47, 48, 50,59,60] sayılı işləri müəllif sərbəst yerinə yetirmişdir.

Digər elmi əsərlərdə müəllif elmi problemin qoyuluşu, onun həlli yolları və üsulları, sınaq və eksperimental tədqiqatların yerinə

yetirilməsi, nəticələrin təhlil edilməsi, hal tənliklərinin alınmasında iştirak etmişdir. 37,40, 45 sayılı işlər müəllifin aktiv iştirakı ilə yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın müdafiəsi _____ il tarixində saat _____
Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED
2.09 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Az.1073, Bakı şəhəri, Hüseyn Cavid prospekti, 25.
Dissertasiya ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında
taniş olmaq mümkündür.

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

Avtoreferat _____ il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: _____

Kağızın formatı: A5

Həcm: _____

Tiraj: 30