

UOT 532.13:536.22

GÜNƏŞ QIZDIRICI VƏ SOUYTMA SİSTEMLƏRİNİN İSTİLİK DAŞIYICILARININ TERMODİNAMİK XASSƏLƏRİNİN TƏZYİQDƏN ASILILIĞI

SƏFƏROV C. T.^{1,2}, NƏCƏFOV Q.N.¹, ŞAHVERDİYEV A. N.¹

¹ Azərbaycan Texniki Universiteti

² Rostok Universiteti, Rostok, Almaniya

Müasir dövrdə bərpa olunan enerji mənbələri böyük energetikanın ən mühüm və perspektiv istiqamətlərindən biri hesab olunur və Yer kürəsinin əhalisinin enerji təminatının ödənilməsi üçün mühüm amildir.

Ekoloji təmiz enerji mənbələri (günəş, külək, qeotermal suların, kiçik çayların və biokütlənin enerjisi) Birləşmiş Millətlər Təşkilatının dayanıqlı inkişaf konsepsiyasının 1992 Rio-de-Janeyro və 2002 Yohansburq Sammitlərinin tələbatlarına uyğundur. Bərpa olunan enerji mənbələrindən ən əsası Günəş enerjisidir. Günəş enerjisi həm elektrik enerjisinin istehsalında, istiləşdirmə-qızdırıcı sistemlərin yaradılmasında mühüm rol oynayır.

Günəş enerjisindən səmərəli istifadə etmək üçün tətbiq olunan cihaz və avadanlıqların effektiv hesabı və konstruksiya olunması işçi agentlərin termodinamik xassələrinin tədqiq səviyyəsindən əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır.

Qeyd olunanları nəzərə alaraq təqdim olunan məqalə energetikanın müasir problemlərindən birinə həsr olunur.

Təqdim olunan məqalədə Günəş kollektorlarının işçi agentləri kimi istifadə olunan $\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ qarışığının müxtəlif molyar konsentrasiyalarda sıxlığının təzyiqdən asılılığı analiz edilmişdir. Alınmış təcrübə nəticələri hal tənliyinin vasitəsilə yazılmış və ədəbiyyat qiymətləri ilə müqayisə edilmişdir.

Elektrolitlərin sulu məhlulları energetikanın və kimya sənayesinin müxtəlif sahələrində, absorpsion soyuducu və istilik qurğularında işçi agentləri kimi istifadə olunur. Eyni zamanda ion-ion, ion-həlləddici, həlləddici-həlləddici təsirinin analizi üçün bu qarışıqların termodinamik xassələrinin öyrənilməsi həmişə diqqət mərkəzində olmuşdur. $\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ qarışığı həm də geotermal duz qarışıqlarının əsas komponentlərindən biridir.

Bu qarışığın termodinamik xassələrinin analizinə nəzər yetirsək (cədvəl 1) görürük ki, bu sahədə zoxlu ədəbiyyat mövcuddur. Amma əksər araşdırmalar kəskin hal parametrləri intervalında aparılmışdır. Xüsusilə də yüksək təzyiqlərdə təcrübə qiymətləri azdır.

Təqdim olunan məqalədə $\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ qarışığının $T=298.15$ ç 398.15 K temperatur, $p=0.1$ ç 60 MPa təzyiq və $m=0.18388$ ç 6.00687 molyar konsentrasiya intervalında (p, ρ, T) xassələri tədqiq olunmuşdur. Təcrübələr sabit həcmli pyezometr qurğusunun küməyi ilə yerinə yetirilmişdir. Təcrübə qurğusunun quruluşu və iş prinsipi [1]-də verilmişdir. Təcrübə qurğusunun əsas elementi daxili diametri 0.06 m və divarının qalınlığı 0.03 m olan, sferik formalı pyezometrdir. $T=293.15$ K və $p=0.1$ MPa hal parametrlərində pyezometrin həcmi $350.13 \cdot 10^{-6}$ m³-dir. Qurğunun dəqiqliyi suyun sıxlığının təcrübə olaraq tədqiq edilməsi ilə yoxlanılmışdır. Alınmış nəticələr ədəbiyyat qiymətləri ilə [2] müqayisə edilmiş və 0.03 %-ə qədər xəta vermişdir. Bu da qurğunun yüksək dəqiqliyini bir daha təsdiq etmişdir. Qurğunun hal parametrlərini ölçmə xətaləri: $\Delta T=\pm 3$ mK temperatur üçün, $\Delta p=\pm 5 \cdot 10^{-2}$ MPa yüksək təzyiqlər üçün, $\Delta p=\pm 5 \cdot 10^{-4}$ MPa atmosfer təzyiqi üçün və $\Delta \rho=\pm 3 \cdot 10^{-2}$ kg·m⁻³ sıxlıq üçün.

Qarışıqların hazırlanması zamanı Almaniyanın „Merk“ firmasının istehsalı olan CaCl_2 istifadə edilmişdir. CaCl_2 -un texniki xarakteristikaları:

- tərkibi $x_{\text{CaCl}_2} > 98\%$,
- 24 saat ərzində su yığıması 20%,
- sərbəst maddələr $\text{Ca}(\text{OH})_2 < 0.2 \%$,
- istehsal nömrəsi 102378.

Qarışığı hazırlamadan əvvəl CaCl_2 vakuum nasos və qızdırıcı vasitəsi ilə 418.15 K temperatürə qədər 1 gğn ərzində qızdırılaraq qurudulmuşdur. Daha sonra xüsusi deqazasiya olunmuş və iki dəfə distillə edilmiş sudan istifadə edərək VLA-200 tərəzisdən istifadə edərək qarışıq hazırlanmışdır.

Alınmış təcrəbi (p, ρ, T) qiymətləri cədvəl 2-də verilmişdir.

Alınmış təcrəbələr əvvəlki məqalələrdə başqa məhlullar üçün tətbiq olunmuş hal tənliyi vasitəsilə [3] yazılmışdır:

$$p = A\rho^2 + B\rho^8 + C\rho^{12}. \quad (1)$$

Burada A, B və C hal tənliyinin əmsalları olub, temperatur və molyar konsentrasiyadan aşağıdakı kimi asılıdır:

$$A = \sum_{i=1}^2 T^i \sum_{j=0}^5 a_{ij} m^j; \quad B = \sum_{i=0}^1 T^i \sum_{j=0}^5 b_{ij} m^j; \quad C = \sum_{i=0}^1 T^i \sum_{j=0}^5 c_{ij} m^j. \quad (2)$$

a_{ij}, b_{ij} və c_{ij} polinomun əmsallarıdır və cədvəl 3-də verilmişdir. (1) tənliyi (2)-ni nəzərə almagla təcrəbi nəticələri 0.035 % maksimum xəta ilə yazmağa imkan verir.

Cədvəl 3

(2) tənliyindəki a_{ij}, b_{ij} və c_{ij} əmsallarının qiymətləri

a_{ij}	b_{ij}	c_{ij}
$a_{10} = -3.960277082914196$	$b_{00} = 465.2368895738778$	$c_{00} = -95.7543326012424$
$a_{11} = 2.364985439927896$	$b_{01} = -735.7659115078492$	$c_{01} = 219.3912124011633$
$a_{12} = -2.297192677926931$	$b_{02} = 804.9474471229078$	$c_{02} = -316.3342590148772$
$a_{13} = 1.084236677965811$	$b_{03} = -385.1567226335254$	$c_{03} = 161.5325338313048$
$a_{14} = -0.2082838032538078$	$b_{04} = 76.83567325060636$	$c_{04} = -32.58974065536027$
$a_{15} = 0.01384668960276268$	$b_{05} = -5.344471051003636$	$c_{05} = 2.255489178160482$
$a_{20} = 0.006718274915042545$	$b_{10} = 1.363639420626777$	$c_{10} = -0.6326628596841564$
$a_{21} = -0.004189310065700228$	$b_{11} = -1.045141211927259$	$c_{11} = 1.003477929300484$
$a_{22} = 0.004217855150521485$	$b_{12} = -0.1235977208379671$	$c_{12} = -0.3280357707923063$
$a_{23} = -0.002098175015168549$	$b_{13} = 0.2949787661294862$	$c_{13} = -0.01114564935627558$
$a_{24} = 0.4320396064279943 \cdot 10^{-3}$	$b_{14} = -0.08356911375713991$	$c_{14} = 0.01780576527138107$
$a_{25} = -0.3085736200827762 \cdot 10^{-4}$	$b_{15} = 0.006983695423140266$	$c_{15} = -0.001837093997577756$

CaCl₂ + H₂O qarışığının termodinamik xassələrinə üzrə təcrübi araşdırmalar

1-ci məğəllif	Ədəbiyyat	İl	Metod	Xassə	Xəta	Temperatur, T (K)	Təzyiq, p (MPa)	Konsentrasiya, m (mol·kq ⁻¹)
BKC ^a	[4]	1928		ρ		268.15 ç 413.15	0.1	2 ç 40 %
Pesce	[5]	1932	PM	ρ, n_D^{25}		298.15	0.1	$C_g=0$ ç 13.44
Lyons	[6]	1954	P	ρ, η		298.15	0.1	$c = 0.03$ ç 6
Polyakov	[7]	1965	IP	ρ	0.08 %	293.15 ç 573.15	100 ç 1500 at.	10 %
Dunn	[8]	1966	MD	ρ, V_{\square}	$1 \cdot 10^{-5}$ g·ml ⁻¹	298.15	0.1	0.001 ç 1
Ellis	[9]	1967		ρ, V_{\square}		323.15 ç 473.15	20 atm.	0.05 ç 1
Millero	[10]	1971	Xğlasə	ρ, V_{\square}				
Perron	[11]	1974	AD	V_{\square}, ρ, c_p	$\pm 3 \cdot 10^{-6}$ q·sm ⁻³	298.15	0.1	0.01256 ç 0.328
Spitzer	[12]	1978	AD	V_{\square}, c_p		298.15	0.1	0.0203 ç 0.406
Alexin	[13]	1980	PM	p, ρ, T	0.008 %	298.15	0.101 ç 103.097	0.1044 ç 4.3872
Emara	[14]	1981	P	V_{\square}, ρ, k, u		298.15	0.1	$c=0.02$ ç 0.5
Perron	[15]	1981	AK	ρ, c_p	0.05 %	298.15	0.1	0.05001 ç 6.4644
Tashima	[16]	1981	P	ρ	± 0.0004 q·sm ⁻³	293.15 ç 343.15	0.1	0 ç 5.988
Kumar	[17]	1982	VBD	ρ, u, k	± 3 ppm	298.15	0.1	0.0334 ç 7.4
Kumar	[18]	1983	VBD	$V_{\square}, \rho, k, \alpha$	± 3 ppm	278.15 ç 318.15	0.1	0.3334 ç 7.4488
Romankiw	[19]	1983	RBD	ρ	$2.796 \cdot 10^{-4}$ q·cm ⁻³	298.15 ç 318.15	1 atm.	0 ç 5.05
Isono	[20]	1984	VD	ρ	0.01 kq m ⁻³	288.15 ç 428.15	0.1	0.05 ç 6
Gates	[21]	1985	VBD	ρ	$50 \cdot 10^{-6}$ q·cm ⁻³	298.15	0.1013 ç 40.71	0.0505 ç 4.98
Kumar	[22]	1986	VBD	ρ, V_{\square}	0.21 cm ³ ·mol ⁻¹	323.15 ç 473.15	20.27 bar	0 ç 6.4389
Kumar	[23]	1986	VBD	ρ, V_{\square}	± 3 ppm	298.15	0.1	0.5 ç 4.5
Pepinov	[24]	1988	HZM	ρ	0.02 %	298.15 ç 623.15	0.1 ç 35	1 ç 20 %
Gates	[25]	1989	VBD	ρ, V_{\square}	0.02 %	323 ç 600	0.101 ç 40.71	0.0497 ç 6.4244
Oakes	[26]	1995	VBD	ρ, V_{\square}		298.15 ç 523.15	70 və 400 bar ətrafında	0.242 ç 6.15

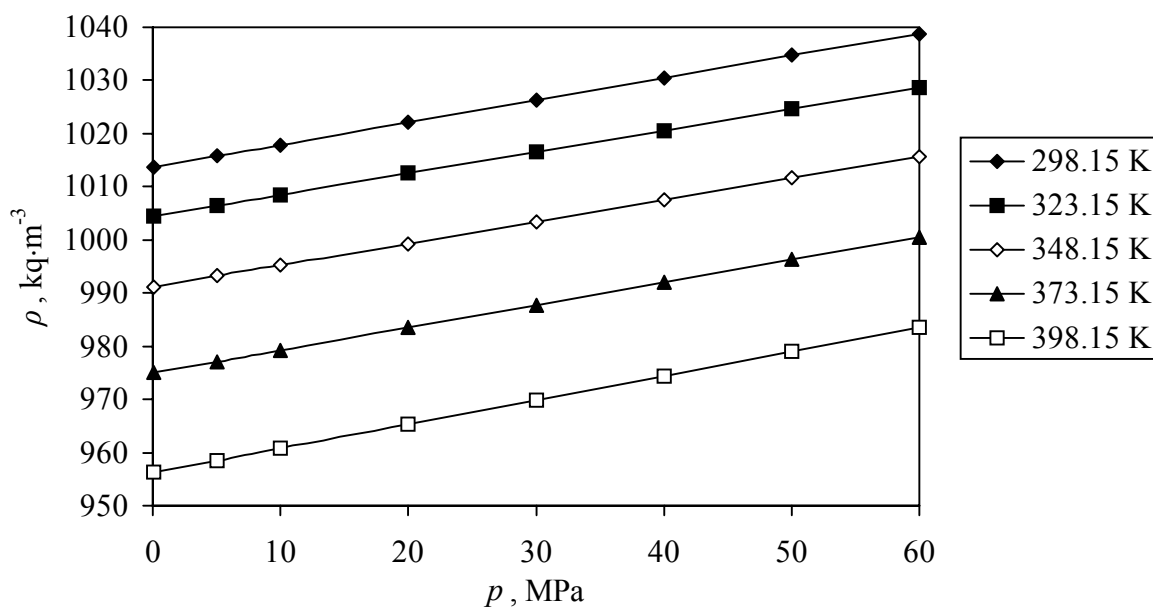
^a BKC – beynəlxalq kritik cədvəllər, PM – pyezometr metodu, P – piknomet, IP – impuls pyezometri, MD – magnit dilatometri, AD – axın desimetri, AK – axın kalorimetri, VBD – vibrasiyalı borulu densimetr, RBD – rəgsədən borulu densimetr, VD – Veld densimetri, HZM – hidrostatik zəkmə metodu, ρ – sıxlıq, η – üzləlgək, V_{\square} – xəyali molyar həcm, c_p – izobarik istilik tutumu, k – izotermik sıxılma, u – səs sğrəti, α – həcmi genişlənmə.

CaCl₂ + H₂O qarışığının müxtəlif molyar konsentrasiyada və yuvarlaq təzyiqlərdə
(*p*, *ρ*, *T*) qiymətləri

<i>T</i> /K	<i>p</i> /MPa							
	0.1	5	10	20	30	40	50	60
<i>ρ</i> /(kg m ⁻³)								
<i>m</i> =0.18388								
298.15	1013.7	1015.8	1017.9	1022.1	1026.3	1030.5	1034.7	1038.8
323.15	1004.4	1006.4	1008.5	1012.5	1016.5	1020.6	1024.6	1028.6
348.15	991.2	993.2	995.3	999.3	1003.4	1007.5	1011.6	1015.7
373.15	975.0	977.1	979.2	983.5	987.7	992.0	996.3	1000.5
398.15	956.4*	958.5	960.8	965.3	969.9	974.4	979.0	983.5
<i>m</i> =0.47423								
298.15	1038.8	1040.9	1042.9	1047.1	1051.2	1055.3	1059.5	1063.6
323.15	1029.1	1031.1	1033.1	1037.1	1041.1	1045.0	1049.0	1053.0
348.15	1015.9	1017.9	1020.0	1024.0	1028.1	1032.2	1036.3	1040.3
373.15	1000.0	1002.1	1004.2	1008.5	1012.7	1016.9	1021.1	1025.4
398.15	981.6*	983.7	986.0	991.0	995.1	999.7	1004.3	1008.8
<i>m</i> =1.59005								
298.15	1127.6	1129.5	1131.4	1135.3	1139.1	1142.9	1146.8	1150.6
323.15	1116.6	1118.4	1120.2	1123.7	1127.3	1130.8	1134.4	1137.9
348.15	1103.5	1105.3	1107.1	1110.8	1114.4	1118.0	1121.7	1125.3
373.15	1088.4	1090.3	1092.2	1095.9	1099.7	1103.4	1107.2	1110.9
398.15	1071.9*	1073.8	1075.8	1079.8	1083.6	1087.3	1091.3	1095.2
<i>m</i> =3.00344								
298.15	1226.6	1228.2	1229.9	1233.2	1236.5	1239.7	1243.0	1246.3
323.15	1213.3	1214.8	1216.5	1219.8	1223.2	1226.5	1229.9	1233.2
348.15	1199.8	1201.4	1203.1	1206.4	1209.6	1212.9	1216.2	1220.0
373.15	1184.9	1186.7	1188.5	1192.0	1195.6	1199.1	1202.7	1206.3
398.15	1168.8	1170.7	1172.5	1176.3	1180.0	1183.7	1187.5	1191.2
<i>m</i> =4.85170								
298.15	1334.0	1335.6	1337.1	1340.2	1343.3	1346.4	1349.5	1352.6
323.15	1319.6	1321.1	1322.6	1325.7	1328.7	1331.7	1334.8	1337.8
348.15	1305.2	1306.7	1308.3	1311.4	1314.4	1317.5	1320.6	1323.6
373.15	1289.4	1291.1	1292.7	1296.1	1299.4	1302.7	1306.1	1309.4
398.15	1272.1	1274.1	1276.0	1280.2	1283.9	1287.8	1291.8	1295.7
<i>m</i> =6.00687								
298.15	1392.7	1394.0	1395.3	1397.8	1400.4	1402.9	1405.5	1408.0
323.15	1377.0	1378.4	1379.9	1382.7	1385.6	1388.4	1391.3	1394.1
348.15	1361.2	1362.7	1364.2	1367.1	1370.1	1373.1	1376.1	1379.0
373.15	1345.1	1346.7	1348.3	1351.5	1354.6	1357.8	1361.0	1364.2
398.15	1328.0	1329.9	1331.7	1335.4	1339.1	1342.8	1346.5	1350.2

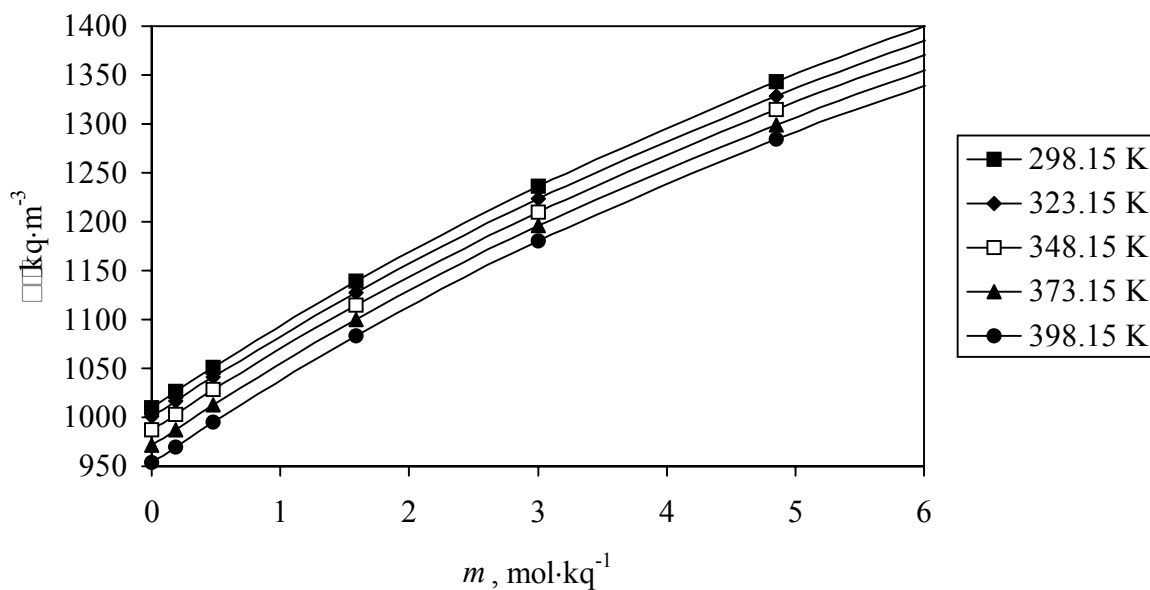
* gaynama təzyiqində

Şəkil 1-də $m=0.18388$ molyar konsentrasiyada $\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ qarışığının sıxlığının təzyiqdən asılılığı verilmişdir.



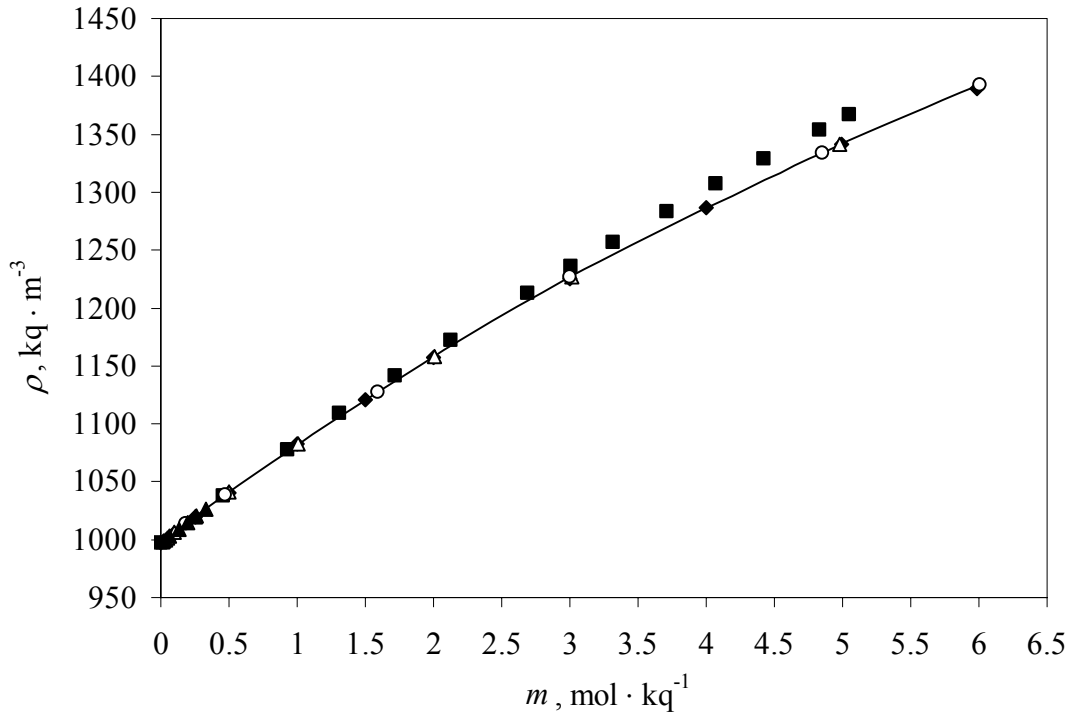
Şəkil 1. $m=0.18388$ molyar konsentrasiyada $\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ qarışığının sıxlığının təzyiqdən asılılığı.

Şəkil 2-də $\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ qarışığının sıxlığının 30 MPa təzyiqdə molyar konsentrasiyadan asılılığı verilmişdir.



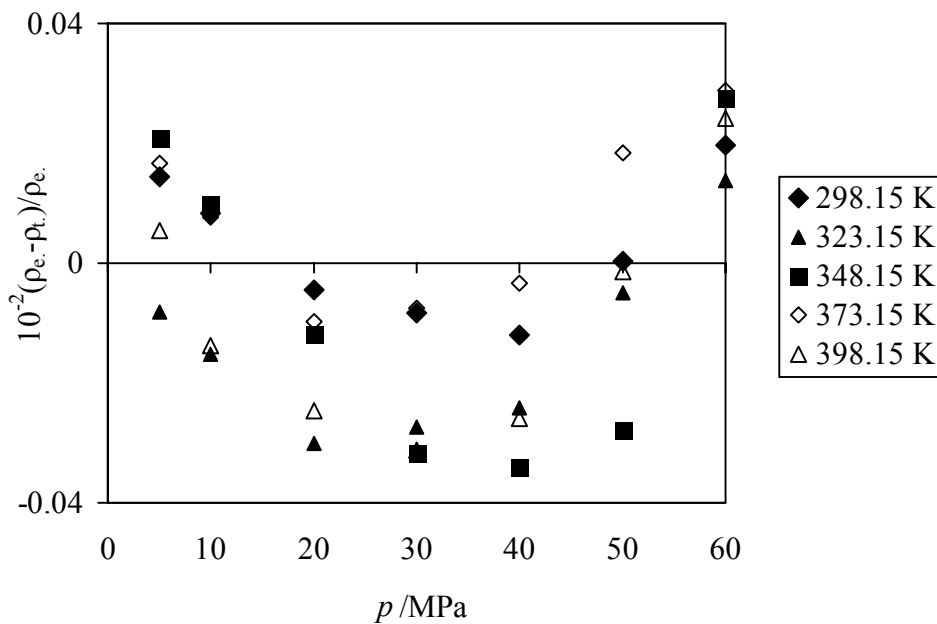
Şəkil 2. $\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ qarışığının sıxlığının 30 MPa təzyiqdə molyar konsentrasiyadan asılılığı.

Şəkil 3-də $\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ qarışığının $T=298.15$ K temperatur və $p=0.1$ MPa təzyiqdə sıxlığının ədəbiyyat qiymətləri ilə müqayisəsi verilmişdir.



Şəkil 3. $\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ qarışığının $T=298.15 \text{ K}$ və $p=0.1 \text{ MPa}$ təzyiqdə sıxlığının ədəbiyyat qiymətləri ilə müqayisəsi (\blacktriangle , Perron¹⁵; \blacklozenge , Tashima¹⁶; \blacksquare , Romankiw¹⁹; \diamond , Isono²⁰; \triangle , Gates²¹; \circ , bu məqalə).

Şəkil 4-də $m=3.00344$ molyar konsentrasiyada hal tənliyinin təcrübi qiymətləri analitik yazma xətası verilmişdir.



Şəkil 4. $m=3.00344$ molyar konsentrasiyada hal tənliyinin təcrübi qiymətləri analitik yazması.

Dr. Cavid Səfərov Almaniyaadakı elmi araşdırmalarına şərait yaratdığına görə Aleksandr von Humboldt fonduna minnətdarlığını bildirir.

1. *Səfərov, C.T.* // Namizədlik dissertasiyası, **1993**, Bakı, 200 səh.
2. *Wagner, W. and PruƏ, A.* // J. Phys. Chem. Ref. Data, **2002**, 31, 387.
3. *Safarov, J.T., Shahverdiyev, A.N., Huseynova, S.H.* // J. Chem. Thermodynamics, **2003**, 35, 137-144.
4. The International critical tables, vol. III. NY McGraw Hill. **1928**.
5. *Pesce, G.* // Z. physikalische Chemie, **1932**, A, 160, 295-300.
6. *Lyons, P.A. and Riley J.F.* // J. Am. Chem. Soc., **1954**, 76, 5216-5220.
7. *Poləkov E.A.* // Prikladnə qeofizika, **1965**, 163-180.
8. *Dunn, L.A.* // Trans.Faraday Soc., **1966**, 62, 2348-2354.
9. *Ellis, A.J.* // J. Chem. Soc. (A), **1967**, 660-664.
10. *Millero, F.J.* // Chemical Reviews, **1971**, 71, 2, 147-176.
11. *Perron, G., Desnoyers, J. E. and Millero, F. J.* // Can. J. Chem., **1974**, 52, 3738-3741.
12. *Spitzer, J.J., Singh, P.P., McCurdy K.G. and Hepler L.G.* // J. Soln. Chem., **1978**, 7, 2, 81-86.
13. *Alexin, O.S., Lvov, S.N., Zarembo, V.I.* // Geoximiya, **1980**, 10, 1554-1557.
14. *Emara M.M. and Farid N.A.* // J. Indian Chem. Soc., **1981**, 58, 474-478.
15. *Perron, G., Roux, A. and Desnoyers, J.E.* // Can. J. Chem., **1981**, 52, 3049-3054.
16. *Tashima, Y. and Arai, Y.* // Memoris of the Faculty of Engineering, Kyushu University, **1981**, 41, 3, 217-232.
17. *Kumar, A.* // J. Soln. Chem., **1982**, 11, 12, 857-870.
18. *Kumar, A.* // J. Chem. Eng. Data, **1983**, 87, 5504-5507.
19. *Romankiw, L. A. and Chou, M.* // J. Chem. Eng. Data, **1983**, 28, 300 – 305.
20. *Isono, T.* // J. Chem. Eng. Data, **1984**, 29, 45-52.
21. *Gates, J.A. and Wood, R.H.* // J. Chem. Eng. Data, **1985**, 30, 44-49.
22. *Kumar, A.* // J. Soln. Chem., **1986**, 15, 5, 409-412.
23. *Kumar, A.* // J. Chem. Eng. Data, **1986**, 31, 1, 21-23.
24. *Pepinov R.İ., Lobkova N.V. i Panaxov İ.A.* // V sb. „Teplofiziceskie svoystva vehestv i rastvorov“, IT CO AN SSSR, **1988**, 90.
25. *Gates, J.A. and Wood, R.H.* // J. Chem. Eng. Data, **1989**, 34, 53-56.
26. *Oakes, C.S., Simonin, J.M. and Bodnar, R.J.* // J. Soln. Chem., **1995**, 24, 9, 897 – 916.

ЗАВИСИМОСТЬ ДАВЛЕНИЯ ОТ МОЛЯРНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРОВ $\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$

САФАРОВ Д. Т., НАДЖАФОВ Г.Н., ШАХВЕРДИЕВ А. Н.

В настоящей работе впервые приведены зависимости давлений от молярной концентрации растворов $\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ до 60 МПа. Для вычисления этих параметров использовано модифицированное уравнение состояния. Полученные значения приведены в виде таблицы и построены графики зависимости этих параметров от молярной концентрации.

PRESSURE DEPENDENCE OF $\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ SOLUTION AT THE VARIOUS MOLAL CONCENTRATIONS

SAFAROV J. T., NAJAFOV G.N., SHAHVERDIYEV A. N.

In the present work the pressure dependence of $\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ solution at the various molal concentrations and up to 60 MPa pressures are given. For the calculation of these parameters the modified equation of a state was used. The obtained values were listed in table and were constructed dependence of these parameters from molal concentration.