



UOT 532.133:547.781.4

**İONLU MAYELƏRİN METANOL QARIŞIQLARININ SƏS SÜRƏTİNİN ANALİZİ****GÜLYAZ HÜSEYNOVA<sup>1</sup>, XAQANI SÜLEYMANLI<sup>1</sup>, ABİLQƏNİ ƏLİYEV<sup>1</sup>,  
CAVİD SƏFƏROV<sup>1,2</sup>, MAHİR BƏŞİROV<sup>1</sup>, ASTAN ŞAHVERDİYEV<sup>1</sup>, EQON HASSEL<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Azərbaycan Texniki Universiteti, <sup>2</sup>Rostok UniversitetiE-mail: abdulla.elcin@gmail.com; khagani.suleymanli@mail.ru; abilqani@mail.ru;  
javid.safarov@uni-rostock.de; mahirbashirov@yahoo.com; egon.hassel@uni-rostock.de

**Xülasə:** Təqdim olunan məqalədə atmosfer təzyiqində 1-etil-3-metilimidazolium metansulfonat [EMIM][MeSO<sub>3</sub>], 1-Butil-3-metilimidazolium heksafluorofosfat [BMIM][PF<sub>6</sub>] və 1-butil-3-metilimidazolium tris(pentafluoroetil)trifluorofosfat [BMIM][FAP] ionlu mayesinin və metanolun qarışıqlarının səs sürəti  $T=(278.15-343.15)$  K temperatur intervalında Anton-Paar DSA 5000M vibrasiyalı densimetro və səs sürəti ölçən qurğusu ilə  $\Delta u/u=0.1$  m·s<sup>-1</sup> xəta daxilində ölçülmüşdür. Araşdırılan qarışıqlar günəş istilik kollektorları, absorpsion soyuducu qurğular və istilik nasoslarında işçi agent kimi tətbiq olunmaq üçün nəzərdə tutulmuşdur.

**Açar sözlər:** ionlu maye, metanol, səs sürəti, qarışıq, izafi səs sürəti.

**Giriş.** Son illərdə Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 2004-cü il 21 oktyabr tarixli Sərəncamı ilə təsdiq edilmiş “Azərbaycan Respublikasında Alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə olunması üzrə Dövlət Proqramı”na uyğun olaraq, bu sahədə respublikamızda geniş miqyaslı işlər görülür [1-2]. Azərbaycanın yerləşdiyi əlverişli coğrafi mövqə və iqlim şəraiti dünyanın inkişaf etmiş ölkələrində olduğu kimi, ölkəmizdə də ekoloji cəhətdən təmiz alternativ (bərpa olunan) enerji mənbələrindən (günəş, külək, biokütlə, termal, absorpsion soyuducu qurğular və istilik nasosları, hidroenerji) istifadə imkanları araşdırılır və real layihələr həyata keçirilir.

Azərbaycan Texniki Universitetinin “İstilik energetikası” kafedrası uzun müddətdir ki, alternativ və bərpa olunan enerji mənbələri kimi günəş istilik sistemləri və absorpsion istilik nasosları üçün istilik daşıyıcılarının, eyni zamanda geotermal suların istilik-fiziki xassələrinin araşdırılması sahəsində dünyanın müxtəlif mərkəzləri ilə müştərək geniş miqyaslı elmi araşdırmalar aparır. Absorpsion soyuducu qurğular və istilik nasoslarında elektrolit duzlarının istifadəsi zamanı bir sıra əhəmiyyətli problemlər meydana çıxır:

- həlledici kimi istifadə olunan duzların qurğuda dövr etdiyi zaman kristallaşması,
- istilik daşıyıcılarının qurğuda sirkulyasiya zamanı boruların aşınması,
- soyuducu agent kimi sudan istifadə zamanı mənfi temperatur rejiminin alınmaması və s.

Müxtəlif elmi qruplar son onilliklərdə bu problemləri bir sıra üsullarla həll etməyə çalışırlar və bu sahədə çox saylı uğurlu addımlar atılmışdır. İlk olaraq soyuducu agent kimi su əvəzinə donma temperaturu aşağı olan, elektrolit duzlarda yaxşı həll olan spirtlər və başqa üzvi mayelər istifadə olunmağa başladı və bu sahədə kafedramızda da çoxsaylı elmi işlər görülmüşdür [3-6]. İonlu maddələr də maye halda elektrolit duzları olduğu üçün onların absorpsion soyuducu qurğularda və istilik nasoslarında həlledici kimi istifadə olunmağa geniş imkanları vardır. Xüsusi ilə ionlu maddələrin spirtlərlə qarışıqlarının istilik-fiziki xassələrinin araşdırılması yeni elmi istiqamət kimi çox aktualdır. Bu sahədə də son illər geniş miqyaslı təcrübələr aparılır və bu sahədə də kafedramızda çoxsaylı elmi təcrübələr aparılmışdır [7-9].

Normal elektrolit duzlarının maye qarışıqlarından fərqli olaraq ionlu mayələrin maye qarışıqları üçün daha geniş istilik-fiziki xassələr araşdırmaq mümkündür (məs: izafi molyar həcm). Çünki qarışığı təşkil edən hər iki maddə maye halındadır və onların yüksək temperatur və təzyiqlərdə istilik-fiziki xassələrinin araşdırılması mümkündür. Bu isə öz növbəsində absorpsion soyu-

ducu qurğular və istilik nasoslarının bir sıra yeni xassələrini hesablamaya imkan verir. İonlu mayelər bir sıra kimyəvi proseslərdə stabil ionlu maye kimi müvəffəqiyyətlə istifadə olunur. Metanol isə absorpsion soyuducu qurğular və istilik nasoslarında soyuducu agent kimi uzun illər ərzində istifadə olunur. İonlu mayelərin müxtəlif orqanik mayelərlə qarışıqları bu sahədə potensial nümunə kimi son illərdə müxtəlif elmi qruplar tərəfindən araşdırılmağa başlanmışdır. Eyni zamanda duzların korroziya və kristallizasiya yaratması problemi də bu halda həll olur. Belə ki, ionlu mayelər ekoloji təmiz, korroziya yaratmayan və s. müsbət xassələrə malikdirlər. İonlu mayelərin ərimə temperaturunun aşağı olmasının səbəbi onların tərkibində üzvi təbiətli ionların olmasıdır. İonlu mayelərin üzvi hissəsinin quruluşunda yaranan sferik çətinliklər duzun kristallaşmasını çətinləşdirir. İonlu mayelər həmçinin yüksək özlülüyə malikdir. Üzvi maddə həm kationun, həm də anionun tərkibində ola bilər. Ona görə bu iki mayenin binar qarışığının absorpsion soyuducu qurğular və istilik nasoslarında istilikdaşıyıcı kimi istifadə edilməsi elmi qrupumuz tərəfindən seçilmişdir. Təcrübələr zamanı [EMIM][MeSO<sub>3</sub>] + CH<sub>3</sub>OH, [BMIM][PF<sub>6</sub>] + CH<sub>3</sub>OH və [BMIM][FAP] + CH<sub>3</sub>OH qarışıqlarının sıxlığı, özlülüyü, buxar təzyiqləri, səs sürəti, istilik tutumu və s. xassələri analiz olunmuşdur. Bu məqalə bu sahədə ilk elmi işdir və ionlu mayenin atmosfer təzyiqində və müxtəlif temperaturlarda metanol ilə qarışığının səs sürəti araşdırılmışdır.

**Təcrübə bölməsi.** Təqdim olunan məqalədə [EMIM][MeSO<sub>3</sub>] + CH<sub>3</sub>OH, [BMIM][PF<sub>6</sub>] + CH<sub>3</sub>OH və [BMIM][FAP] + CH<sub>3</sub>OH qarışıqlarının atmosfer təzyiqində və  $T=(278.15 - 343.15)$  K geniş temperatur intervalında səs sürətinin təcrübi nəticələri təqdim olunur. Təcrübələr səs sürətinin ölçülməsi üçün Azərbaycan Texniki Universitetinin “İstilik energetikası” kafedrasının laboratoriyasında yerləşən və tam avtomatik çalışan DSA 5000M qurğusunun vasitəsi ilə aparılmışdır. Qurğuda akustik yuvanın titrəmə dövrlərinin hesablanması yolu ilə səsin yayılma sürəti ölçülür. Səs dalğaları bir ultrasəsli ötürücü vasitəsi ilə ötürülür və o biri tərəfdə başqa ultrasəsli qəbuledici tərəfindən qəbul olunur. Ultrasəsli ötürücü səs dalğalarını əvvəlcədən məlum olan dövrlərdə ötürür. Səs sürəti ötürücü və qəbuledici arasındakı məsafəni, səs dalğalarının dövrlərini bildikdən sonra aşağıdakı düstur ilə hesablanır [10].

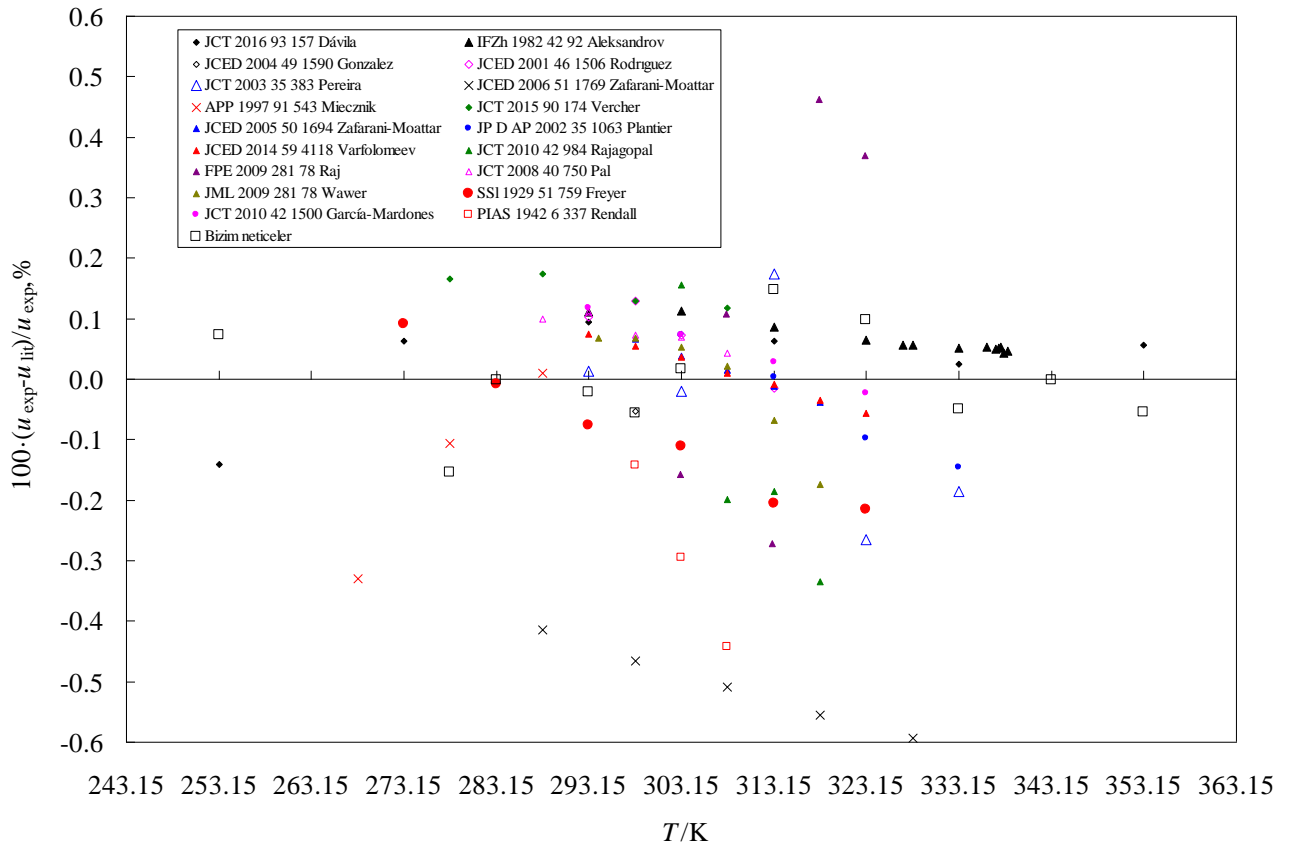
$$v = \frac{\text{original uzunluq} \cdot (1 + 1.6E - 5 \cdot \Delta_{\text{temp}})}{\frac{Ps}{\text{bölməci sabit}} - TAU \cdot f_3}, \quad (1)$$

burada original uzunluq – səs dalğalarının original uzunluğu (təxminən 5000  $\mu\text{m}$ ),  $\Delta_{\text{temp}}$  –  $T=293.15$  K-də temperatur xətası, Ps - qəbul edilən səs dalğalarının rəqsləri dövrü, bölməci sabit – 512, TAU – qurğunun sabit əmsalı,  $f_3$  - temperatura düzəliş əmsalı. Bu əmsallar DSA 5000M qurğusunu istehsal edən Anton-Paar firmasının sirri olduğu üçün məqalədə verilmir.

İonlu mayelər xüsusi vakuum kolbalarda yüksək temperaturda ( $T=423.15$  K-ə qədər) həll olmuş havadan, qazlardan və sudan təmizlənmişdir. Nümunədə həll olmuş maddələr, ayrılan hava qabarcıqları və s. təcrübənin düzgün aparılmasına problem yaradır. Metanol başqa kolbada rektifikasiya olunur və sonra vakuum mühitində ionlu maye olan kolbaya tökülür. Kolbaların elektron tərzidə əvvəlcədən və sonradan çəkilməsi ilə qarışığın kütlə konsentrasiyası və sonra mol fraksiyası tapılır. Qurğu tam yuyulub qurudulduqdan sonra, lazım olan miqdarda ölçüləcək maye şpris vasitəsi ilə ölçü yuvasına vurulur. Daha sonra lazım olan metod, temperatur intervalı seçilir və təcrübəyə start verilir. Hər temperatur rejimində mayenin səs sürəti ölçülür və kompüterə ötürülərək qeyd olunur. Qurğu proqramlaşdırılmış bütün temperatur intervalında təcrübələri apardıqdan sonra dayanır və maye qurğudan təmizlənir. DSA 5000M qurğusu vasitəsilə atmosfer təzyiqində səs sürətinin  $u=(1000 - 2000)$   $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  ölçmə intervalında  $0.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ölçülmə xətası ilə və  $T=(278.15 - 343.15)$  K

temperatur intervalında 0.001 °C ölçülmə xətası ilə ölçülmə diapazonlarında təcrübələr aparmaq mümkündür [10].

**Alınmış nəticələr.** İlk olaraq qarışıqları təşkil edən təmiz komponentlərin səs sürətləri analiz edilmişdir. Metanolun səs sürəti elmi qrupumuz tərəfindən dəqiqliklə ölçülmüş və son 100 il ərzində mövcud olan ədəbiyyat qiymətləri ilə müqayisə edilmişdir. Səs sürəti akustik ölçü parametri olduğu üçün yüksək elektronik keyfiyyətli təcrübə qurğularının olmasını tələb edir. Məhz buna görə bu məqalədə alınmış nəticələr əsasən 2000-ci ildən sonra dərc olunmuş ədəbiyyat nəticələri ilə [11-29] müqayisə edilmiş və bu müqayisənin nəticələri şəkil 1-də verilmişdir. Metanolun təcrübə səs sürətinin qiymətləri eyni zamanda cədvəl 1-də  $w_{met.}=100\%$  konsentrasiya altında verilmişdir. Şəkildən görünür ki, bu məqalədə alınmış nəticələr ədəbiyyat qiymətləri ilə əsasən  $\pm 0.2\%$  yüksək dəqiqliklə uyğun gəlir. Buna görə də metanolun atmosfer təzyiqində səs sürəti üçün aldığımız təcrübə nəticələrini onun ionlu mayelərlə qarışıqlarının səs sürətinin konsentrasiya asılılığı üçün istifadə etmək olar.



Şəkil 1. Metanolun təcrübə səs sürətinin  $u_{tac}/m \cdot s^{-1}$  mövcud olan ədəbiyyat qiymətlərindən [11-28]  $u_{adab.}/m \cdot s^{-1}$  fərqi temperaturdan  $T/K$  asılılığı

Təcrübələrdə istifadə olunmuş ionlu mayelərin səs sürətləri elmi qrupumuzun əvvəlki məqalələrində çap olunmuşdur. Buna görə konsentrasiya asılılığının analizi zamanı [EMIM][MeSO<sub>3</sub>]-un səs sürəti [29], [BMIM][PF<sub>6</sub>]-in səs sürəti [30] və [BMIM][FAP]-in səs sürəti [31]-dən götürülmüşdür.

[EMIM][MeSO<sub>3</sub>] + CH<sub>3</sub>OH, [BMIM][PF<sub>6</sub>] + CH<sub>3</sub>OH və [BMIM][FAP] + CH<sub>3</sub>OH qarışıqlarının səs sürətlərinin  $u/(m \cdot s^{-1})$  ölçülmüş qiymətləri cədvəl 1-də verilmişdir. [EMIM][MeSO<sub>3</sub>] + CH<sub>3</sub>OH və [BMIM][FAP] + CH<sub>3</sub>OH qarışığının səs sürətinin metanolun həcm konsentrasiyasından asılılıqları şəkil 1 və 2-də verilmişdir.

Cədvəl 1. Tədqiq edilmiş qarışıqların atmosfer təzyiqində səs sürəti  $u/m \cdot s^{-1}$ .

 a) [EMIM][MeSO<sub>3</sub>] + CH<sub>3</sub>OH

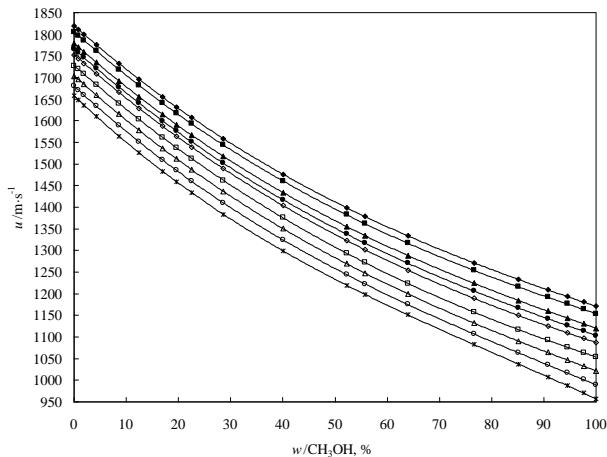
<b>w, met. %</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.8503</b>	<b>1.9024</b>	<b>4.2894</b>	<b>8.5756</b>	<b>12.4535</b>	<b>16.9854</b>	<b>19.6252</b>	<b>22.5051</b>	<b>28.6195</b>
<b>x, met.</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0523</b>	<b>0.1110</b>	<b>0.2239</b>	<b>0.3765</b>	<b>0.4780</b>	<b>0.5684</b>	<b>0.6112</b>	<b>0.6515</b>	<b>0.7207</b>
<b><math>m_{iM}/mol \cdot kg^{-1}</math></b>		<b>565.31694</b>	<b>249.99385</b>	<b>108.17733</b>	<b>51.68570</b>	<b>34.08161</b>	<b>23.69471</b>	<b>19.85540</b>	<b>16.69417</b>	<b>12.09178</b>
278.15	1819.556	1810.993	1799.918	1775.268	1732.632	1695.799	1654.767	1631.829	1607.586	1558.706
283.15	1805.649	1797.261	1786.177	1761.496	1718.763	1681.803	1640.580	1617.513	1593.117	1543.875
293.15	1778.556	1770.339	1759.323	1734.783	1692.263	1655.448	1614.340	1591.314	1566.938	1517.665
298.15	1765.370	1756.972	1745.858	1721.094	1678.171	1640.993	1599.467	1576.201	1551.570	1501.774
303.15	1752.424	1743.908	1732.929	1708.432	1665.859	1628.868	1587.417	1564.130	1539.428	1489.334
313.15	1727.253	1718.950	1707.901	1683.241	1640.361	1603.075	1561.263	1537.758	1512.812	1462.180
323.15	1703.044	1695.343	1684.073	1658.964	1615.445	1577.751	1535.641	1512.041	1487.047	1436.480
333.15	1679.795	1670.669	1659.171	1633.602	1589.446	1551.364	1508.998	1485.335	1460.335	1409.936
343.15	1657.507	1647.914	1636.063	1609.774	1564.581	1525.823	1482.945	1459.106	1434.005	1383.658
<b>w, met. %</b>	<b>40.0251</b>	<b>52.2538</b>	<b>55.7919</b>	<b>63.9978</b>	<b>76.6302</b>	<b>85.1880</b>	<b>90.8015</b>	<b>94.5235</b>	<b>97.6428</b>	<b>100.0000</b>
<b>x, met.</b>	<b>0.8112</b>	<b>0.8757</b>	<b>0.8904</b>	<b>0.9196</b>	<b>0.9548</b>	<b>0.9737</b>	<b>0.9845</b>	<b>0.9911</b>	<b>0.9963</b>	<b>1.0000</b>
<b><math>m_{iM}/mol \cdot kg^{-1}</math></b>	<b>7.26457</b>	<b>4.42990</b>	<b>3.84152</b>	<b>2.72732</b>	<b>1.47852</b>	<b>0.84296</b>	<b>0.49113</b>	<b>0.28089</b>	<b>0.11704</b>	<b>0.00000</b>
278.15	1476.233	1398.905	1378.410	1333.719	1271.570	1233.121	1209.133	1193.657	1180.906	1170.943
283.15	1460.651	1382.519	1361.812	1316.697	1254.161	1215.704	1191.851	1176.534	1163.962	1153.909
293.15	1434.106	1355.231	1334.237	1288.334	1224.263	1184.552	1159.784	1143.822	1130.686	1120.147
298.15	1417.351	1337.775	1316.633	1270.501	1206.433	1167.012	1142.576	1126.901	1114.049	1103.418
303.15	1403.951	1323.040	1301.501	1254.506	1189.474	1149.822	1125.489	1110.014	1097.417	1086.791
313.15	1375.738	1293.639	1271.752	1223.946	1157.684	1117.227	1092.387	1076.586	1063.724	1053.841
323.15	1350.544	1269.094	1247.337	1199.610	1132.532	1090.598	1064.271	1047.227	1033.150	1021.297
333.15	1324.727	1244.154	1222.580	1175.023	1107.128	1063.586	1035.617	1017.191	1001.760	989.159
343.15	1299.208	1219.762	1198.461	1151.270	1082.732	1037.524	1007.762	987.795	970.836	957.428

 b) [BMIM][PF<sub>6</sub>] + CH<sub>3</sub>OH

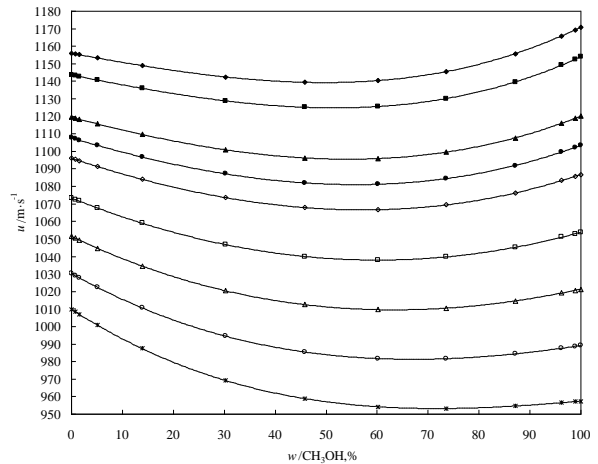
<b>w, met. %</b>	<b>0.0000</b>	<b>2.0060</b>	<b>5.2354</b>	<b>12.8899</b>	<b>26.3014</b>	<b>40.9396</b>
<b>x, met.</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.1537</b>	<b>0.3289</b>	<b>0.5675</b>	<b>0.7599</b>	<b>0.8601</b>
<b><math>m, \dot{M}/mol \cdot kg^{-1}</math></b>		<b>171.89683</b>	<b>63.69357</b>	<b>23.78035</b>	<b>9.86006</b>	<b>5.07636</b>
278.15	1491.759	1478.113	1458.258	1411.506	1344.837	1288.663
283.15	1479.280	1465.869	1445.981	1399.417	1332.426	1275.629
293.15	1454.756	1441.386	1421.719	1375.450	1307.782	1249.959
298.15	1442.711	1429.553	1409.734	1363.862	1295.717	1236.986
303.15	1430.810	1417.848	1397.679	1352.150	1283.985	1224.720
313.15	1407.441	1394.446	1374.559	1328.951	1259.879	1199.910
323.15	1384.649	1371.583	1351.660	1306.051	1235.833	1176.131
333.15	1362.435	1349.315	1329.682	1283.449	1211.777	1152.781
343.15	1340.799	1327.593	1308.127	1261.146	1188.270	1129.962
<b>w, met. %</b>	<b>50.5213</b>	<b>65.6245</b>	<b>80.1295</b>	<b>91.6840</b>	<b>95.5241</b>	<b>100.0000</b>
<b>x, met.</b>	<b>0.9006</b>	<b>0.9442</b>	<b>0.9728</b>	<b>0.9899</b>	<b>0.9947</b>	<b>1.0000</b>
<b><math>m, \dot{M}/mol \cdot kg^{-1}</math></b>	<b>3.44622</b>	<b>1.84324</b>	<b>0.87260</b>	<b>0.31917</b>	<b>0.16488</b>	<b>0.00000</b>
278.15	1259.728	1224.134	1197.869	1181.461	1176.713	1170.943
283.15	1245.965	1209.354	1182.559	1164.917	1159.846	1153.909
293.15	1219.322	1180.307	1151.548	1132.334	1126.810	1120.147
298.15	1206.158	1166.140	1136.147	1116.283	1110.313	1103.418
303.15	1193.001	1152.276	1121.048	1100.324	1093.947	1086.791
313.15	1167.904	1124.360	1091.559	1068.761	1061.819	1053.841
323.15	1143.030	1097.960	1062.480	1037.895	1030.237	1021.297
333.15	1119.179	1072.476	1034.312	1007.288	999.211	989.159
343.15	1095.752	1048.108	1006.756	977.579	968.583	957.428

c) [BMIM][FAP] + CH<sub>3</sub>OH

<b>w, met. %</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.7563</b>	<b>1.5076</b>	<b>5.1284</b>	<b>13.8886</b>	<b>30.2117</b>	<b>45.8044</b>
<b>x, met.</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.1220</b>	<b>0.2182</b>	<b>0.4964</b>	<b>0.7462</b>	<b>0.8876</b>	<b>0.9391</b>
<b>m, İM/mol·kg<sup>-1</sup></b>		<b>224.60731</b>	<b>111.82312</b>	<b>31.66426</b>	<b>10.61249</b>	<b>3.95387</b>	<b>2.02522</b>
278.15	1155.971	1155.569	1155.173	1153.287	1148.966	1142.506	1139.427
283.15	1143.639	1143.207	1142.774	1140.716	1136.004	1128.880	1125.201
293.15	1119.517	1118.931	1118.359	1115.672	1109.689	1100.939	1096.248
298.15	1107.728	1107.081	1106.438	1103.427	1096.790	1087.201	1082.011
303.15	1096.119	1095.396	1094.734	1091.358	1084.076	1073.639	1067.898
313.15	1073.445	1072.567	1071.706	1067.706	1059.054	1046.843	1039.995
323.15	1051.494	1050.459	1049.436	1044.698	1034.558	1020.465	1012.515
333.15	1030.268	1029.049	1027.858	1022.361	1010.683	994.628	985.492
343.15	1009.764	1008.391	1007.046	1000.831	987.588	969.300	958.792
<b>w, met. %</b>	<b>60.1716</b>	<b>73.5194</b>	<b>87.1245</b>	<b>96.2269</b>	<b>98.8799</b>	<b>100.0000</b>	
<b>x, met.</b>	<b>0.9650</b>	<b>0.9806</b>	<b>0.9920</b>	<b>0.9979</b>	<b>0.9994</b>	<b>1.0000</b>	
<b>m, İM/mol·kg<sup>-1</sup></b>	<b>1.13296</b>	<b>0.61651</b>	<b>0.25295</b>	<b>0.06711</b>	<b>0.01939</b>	<b>0.00000</b>	
278.15	1140.407	1145.515	1155.752	1165.862	1169.347	1170.943	
283.15	1125.509	1130.136	1139.626	1149.177	1152.403	1153.909	
293.15	1095.841	1099.595	1107.702	1116.056	1118.797	1120.147	
298.15	1081.240	1084.440	1091.853	1099.667	1102.181	1103.418	
303.15	1066.680	1069.472	1076.196	1083.381	1085.677	1086.791	
313.15	1037.948	1039.821	1045.148	1051.093	1052.903	1053.841	
323.15	1009.641	1010.542	1014.590	1019.222	1020.566	1021.297	
333.15	981.720	981.665	984.490	987.677	988.640	989.159	
343.15	954.169	953.300	954.802	956.600	957.180	957.428	



Şəkil 1. [EMIM][MeSO<sub>3</sub>] + CH<sub>3</sub>OH qarışığının səs sürətinin təcrübi  $u_{\text{təcr.}}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$  nəticələrinin müxtəlif temperaturlarda  $T/\text{K}$  metanolun kütlə faizindən  $w/\%$  asılılığı: ◆, 278.15 K; ■, 283.15 K; ●, 293.15 K; ▲, 298.15 K; ◇, 303.15 K; △, 313.15 K; □, 323.15 K; ○, 333.15 K; \*, 343.15 K.



Şəkil 2. [BMIM][FAP] + CH<sub>3</sub>OH qarışığının səs sürətinin təcrübi  $u_{\text{təcr.}}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$  nəticələrinin müxtəlif temperaturlarda  $T/\text{K}$  metanolun kütlə faizindən  $w/\%$  asılılığı: ◆, 278.15 K; ■, 283.15 K; ●, 293.15 K; ▲, 298.15 K; ◇, 303.15 K; △, 313.15 K; □, 323.15 K; ○, 333.15 K; \*, 343.15 K.

Alınmış nəticələrdən görünür ki, [EMIM][MeSO<sub>3</sub>] + CH<sub>3</sub>OH və [BMIM][PF<sub>6</sub>] + CH<sub>3</sub>OH qarışıqlarının səs sürətinin temperaturdan asılı dəyişməsi temperaturun və metanolun konsentrasiyasından asılıdır.

yasının artması ilə kəskin azalır. [BMIM][FAP] və  $\text{CH}_3\text{OH}$  səs sürətləri nisbətən bir-birinə yaxın olduqları üçün onların qarışıqlarının səs sürətlərinin konsentrasiyadan asılılığı təxminən  $w=(50-60)\%$ -ə qədər azalır, sonra isə artmağa başlayır.

**Təcrübə nəticələrinin tənlik vasitəsi ilə yazılması.** Maddələrin istilik-fiziki xassələrinin geniş temperatur və təzyiqlərdə öyrənilməsi zamanı yalnız müəyyən edilmiş qiymətlərdə ölçmələr aparılır. Nəzərə alsaq ki, istənilən hal parametrlərində bu xassələrin əldə olunması üçün təcrübədən alınmış nəticələrin tənliklər vasitəsi ilə yazılması vacibdir, onda bu səbəbdən də təqdim olunan məqalədə [EMIM][ $\text{MeSO}_3$ ] +  $\text{CH}_3\text{OH}$ , [BMIM][ $\text{PF}_6$ ] +  $\text{CH}_3\text{OH}$  və [BMIM][FAP] +  $\text{CH}_3\text{OH}$  qarışıqlarının səs sürətlərinin  $u/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$  ölçülmüş qiymətlərinin temperatur və konsentrasiyadan asılılıqları ikiqat polinomial tənlik vasitəsilə yazılmışdır:

$$u(p_0, T, x) = \sum_{i=0}^3 (w/\text{küt hiss.})^i \sum_{j=0}^3 y_{ij} (T/K)^j, \quad (2)$$

burada  $y_{ij}$  (2) tənliyində polinomun əmsallarıdır və hər bir qarışıq üçün ayrılıqda cədvəl 2-də yazılmanın orta nisbi faiz xətaləri ilə bilikdə verilmişdir.

Cədvəl 2. (2) tənliyində  $y_{ij}$  əmsallarının qiymətləri.

a) [EMIM][ $\text{MeSO}_3$ ] +  $\text{CH}_3\text{OH}^a$

$y_{00} = 3382.021927$	$y_{20} = 0.01844132941$
$y_{01} = 9270.577572$	$y_{21} = 0.3957597789$
$y_{02} = -40493.14833$	$y_{22} = -1.551359772$
$y_{03} = 30171.43817$	$y_{23} = 1.141501422$
$y_{10} = -9.579674005$	$y_{30} = -0.1506476132 \cdot 10^{-4}$
$y_{11} = -111.0229228$	$y_{31} = -0.4683182099 \cdot 10^{-3}$
$y_{12} = 438.7556856$	$y_{32} = 0.181575047 \cdot 10^{-2}$
$y_{13} = -323.310108$	$y_{33} = -0.1335213566 \cdot 10^{-2}$

<sup>a</sup> APD =  $(100/n) \cdot (u_{\text{exp}} - u_{\text{cal}}) / u_{\text{exp}} = \pm 0.52 \%$ .

b) [BMIM][ $\text{PF}_6$ ] +  $\text{CH}_3\text{OH}^b$

$y_{00} = 2255.37635b$	$y_{20} = -0.5328640722$
$y_{01} = -2.579154197$	$y_{21} = 0.7350097685 \cdot 10^{-2}$
$y_{02} = -0.2083047538 \cdot 10^{-2}$	$y_{22} = -0.2888951533 \cdot 10^{-4}$
$y_{03} = 0.5352454782 \cdot 10^{-5}$	$y_{23} = 0.3614010839 \cdot 10^{-7}$
$y_{10} = 14.48110606$	$y_{30} = 0.3979918024 \cdot 10^{-2}$
$y_{11} = -0.2551286652$	$y_{31} = -0.5079502415 \cdot 10^{-4}$
$y_{12} = 0.9772720736 \cdot 10^{-3}$	$y_{32} = 0.1983336467 \cdot 10^{-6}$
$y_{13} = -0.1209133418 \cdot 10^{-5}$	$y_{33} = -0.2495106434 \cdot 10^{-9}$

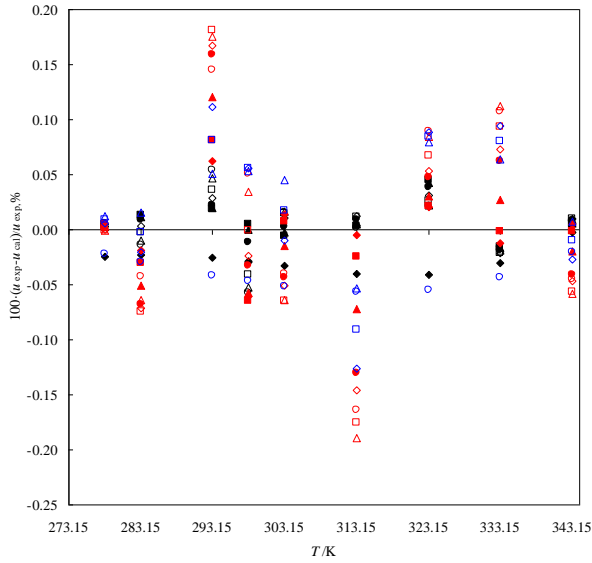
<sup>b</sup> APD =  $(100/n) \cdot (u_{\text{exp}} - u_{\text{cal}}) / u_{\text{exp}} = \pm 0.35 \%$ .

c) [BMIM][FAP] +  $\text{CH}_3\text{OH}^c$

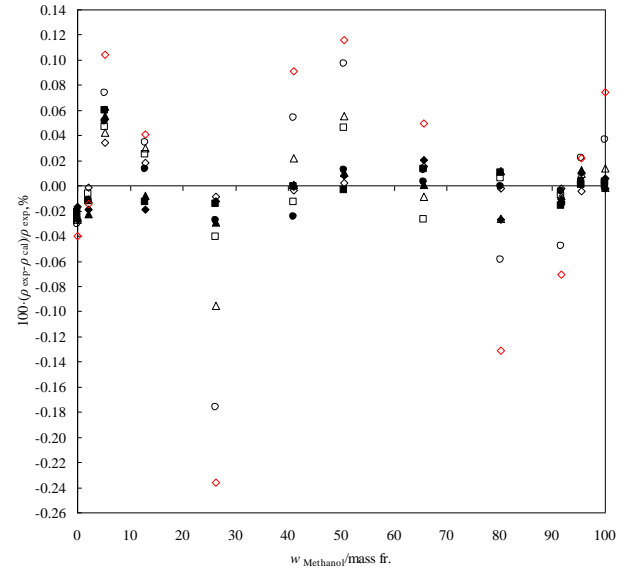
$y_{00} = 2084.015315$	$y_{20} = 0.461014585$
$y_{01} = -4.073985537$	$y_{21} = -0.4641192594 \cdot 10^{-2}$
$y_{02} = 0.2229918748 \cdot 10^{-2}$	$y_{22} = 0.1487189062 \cdot 10^{-4}$
$y_{03} = 0.1515177325 \cdot 10^{-5}$	$y_{23} = -0.1486396483 \cdot 10^{-7}$
$y_{10} = -16.99040777$	$y_{30} = -0.2749433965 \cdot 10^{-2}$
$y_{11} = 0.1743487675$	$y_{31} = 0.2882618184 \cdot 10^{-4}$
$y_{12} = -0.5606744705 \cdot 10^{-3}$	$y_{32} = -0.9390513761 \cdot 10^{-7}$
$y_{13} = 0.5276121454 \cdot 10^{-6}$	$y_{33} = 0.9551385238 \cdot 10^{-10}$

<sup>c</sup> APD =  $(100/n) \cdot (u_{\text{exp}} - u_{\text{cal}}) / u_{\text{exp}} = \pm 0.058 \%$ .

(2) tənliyi tədqiq edilmiş ionlu mayelərin metanol qarışıqlarının səs sürətlərinin  $u/(m \cdot s^{-1})$  təcrübə xətası daxilində hesablanmasına imkan verir. Bu qayda ilə [EMIM][MeSO<sub>3</sub>] + CH<sub>3</sub>OH, [BMIM][PF<sub>6</sub>] + CH<sub>3</sub>OH və [BMIM][FAP] + CH<sub>3</sub>OH qarışıqlarının əldə edilmiş təcrübə nəticələri (2) tənliyinin köməyi ilə hesablanmışdır. Nümunə olaraq [EMIM][MeSO<sub>3</sub>] + CH<sub>3</sub>OH və [BMIM][PF<sub>6</sub>] + CH<sub>3</sub>OH qarışıqlarının səs sürətinin təcrübə  $u_{təcr.}/(m \cdot s^{-1})$  nəticələri ilə (2) tənliyi ilə hesablanmış  $u_{hes.}/(m \cdot s^{-1})$  nəticələri arasında xətanın müxtəlif kütlə faizlərində temperaturdan  $T/K$  asılılıqları şəkil 5 və 6-da verilmişdir.



Şəkil 5. [EMIM][MeSO<sub>3</sub>] + CH<sub>3</sub>OH qarışığının səs sürətinin təcrübə  $u_{təcr.}/(m \cdot s^{-1})$  nəticələri ilə (2) tənliyi ilə hesablanmış  $u_{hes.}/(m \cdot s^{-1})$  nəticələri arasında xətanın müxtəlif kütlə faizlərində temperaturdan  $T/K$  asılılığı: ◆, 0; ■, 0.8503; ●, 1.9024; ▲, 4.2894; ◇, 8.5756; △, 16.9854; □, 12.4535; ○, 19.6252; ◆, 22.5051; ■, 28.6195; ●, 40.0251; ▲, 52.2538; ◇, 55.7919; △, 63.9978; □, 76.6302; ○, 85.1880; ◆, 90.8015; △, 94.5235; □, 97.6428; ○, 100.



Şəkil 5. [BMIM][PF<sub>6</sub>] + CH<sub>3</sub>OH qarışığının səs sürətinin təcrübə  $u_{təcr.}/(m \cdot s^{-1})$  nəticələri ilə (2) tənliyi ilə hesablanmış  $u_{hes.}/(m \cdot s^{-1})$  nəticələri arasında xətanın müxtəlif temperaturdan  $T/K$  metanolun kütlə faizindən  $w/\%$  asılılığı: ◆, 278.15 K; ■, 283.15 K; ●, 293.15 K; ▲, 298.15 K; ◇, 303.15 K; △, 313.15 K; □, 323.15 K; ○, 333.15 K; ◆, 343.15 K.

Eyni zamanda (2) tənliyinin köməyi ilə alınmış təcrübə və ədəbiyyat qiymətlərinin müqayisə edilməsi mümkün olur. Belə ki, çox zaman ədəbiyyat qiymətləri və təcrübədən alınmış qiymətlər eyni temperaturda olmur. Bu zaman empirik (2) tənliyinin köməyi ilə təcrübə qiymətləri interpolasiya olunur və ədəbiyyat temperaturuna uyğun səs sürətləri və onların ədəbiyyat qiymətindən faizlə fərqi hesablanır. Tədqiq olunmuş [EMIM][MeSO<sub>3</sub>] + CH<sub>3</sub>OH və [BMIM][FAP] + CH<sub>3</sub>OH qarışıqları üçün səs sürətlərinin  $u/(m \cdot s^{-1})$  ədəbiyyat qiymətləri olmadığı üçün bu məqalədə alınmış nəticələr ilk dəfə təqdim edilir. [BMIM][PF<sub>6</sub>] + CH<sub>3</sub>OH qarışığı üçün Zafarani-Moattar və Shekaari [19] tərəfindən çap edilmiş 60 təcrübə səs sürəti qiymətləri bizim nəticələr ilə müqayisə edilmiş və  $\Delta u / u = 2.2 \%$  orta nisbi faiz xətası alınmışdır.



## Ədəbiyyat

1. Azərbaycan Respublikasının Qanunvericilik Toplusu. 31 october 2004. No. 10. maddə 838.
2. Azərbaycan Respublikası Sənaye və Energetika Nazirliyinin Alternativ və Bərpa Olunan Enerji Mənbələri üzrə Dövlət Agentliyi haqqında əsasnamənin təsdiq edilməsi barədə Azərbaycan Respublikası Prezidentinin fərmanı. Bakı şəhəri. 10 noyabr 2009-cu il.
3. Safarov, J.T. Study of Thermodynamic Properties of Binary Solutions of Lithium Bromide or Lithium Chloride with Methanol, *Fluid Phase Equilibria* **2005**, 236, 1-2, 87-95.
4. Safarov, J.T., Najafov, G.N., Shahverdiyev, A.N., Hassel, E. ( $p, \rho, T$ ) and ( $p_s, \rho_s, T_s$ ) properties, and apparent molar volumes  $V_\phi$  of  $\text{CaCl}_2$  (aq) in the 298.15 ÷ 398.15 K temperature range and pressures to  $p=60$  MPa, *Journal of Molecular Liquids* **2005**, 116, 3, 165-174.
5. Ihmels, E.C., Safarov, J., Hassel, E., Gmehling, J. ( $p, \rho, T$ ) properties, and apparent molar volumes  $V_\phi$  of  $\text{CaCl}_2$  in methanol at  $T=(298.15$  to  $398.15)$  K and pressures up to  $p=40$  MPa, *The Journal of Chemical Thermodynamics* **2006**, 38, 224-229.
6. Safarov, J.T., Jannataliyev, R.M., Shahverdiyev, A.N., Hassel, E.P. Thermal properties and apparent molar volumes  $V_\phi$  of  $\text{ZnCl}_2$  (aq) in high temperatures and pressures, *Journal of Molecular Liquids* **2006**, 128, 1-3, 127-133.
7. Safarov, J., Huseynova, G., Hamidova, R., Bashirov, M. Hassel, E. Vapor Pressures and Activity Coefficients of Methanol in Binary Mixtures with 1-ethyl-3-methylimidazolium methanesulfonate, *Journal of Processes of Petrochemistry and Oil Refining* **2017**, 18, 189-201.
8. Abdulagatov, I. M., Tekin, A., Safarov, J., Shahverdiyev, A., Hassel, E. Densities, Excess, Apparent, and Partial Molar Volumes of Binary Mixtures of Ethanol+ [BMIM][BF<sub>4</sub>] as a Function of Temperature, Pressure, and Concentration, *International Journal of Thermophysics* **2008**, 29, 505-533.
9. Abdulagatov, I. M., Tekin, A., Safarov, J., Shahverdiyev, A., Hassel, E. High-Pressure Densities and Derived Volumetric Properties (Excess, Apparent, and Partial Molar Volumes) of Binary Mixtures of Methanol+[BMIM][PF<sub>6</sub>], *Journal of Solution Chemistry* **2008**, 37, 6, 801-833.
10. DSA5000M instruction manual, Firmware Version: V2.20, Anton-Paar, Austria, **2011**, 163 p.
11. Freyer, E., Hubbard, J., Andrews, D. Sonic Studies of the Physical Properties of Liquids, *Sonic Studies of Liquids* **1929**, 51, 759-770.
12. Rendall, G. Dispersion of Sound Velocity in some Alcohols, *Proceedings of the Indian Academy of Sciences - Section A* **1942**, 16, 369-378.
13. Aleksandrov, A., Khasanshin, T., Kosoi, D. Speed of Sound, Isochoric Heat Capacity, and Coefficients of Adiabatic and Isothermal Expansion in Methyl Alcohol at atmospheric Pressure, *Inzhenerno-Fizicheskii Zhurnal* **1982**, 42, 92-98.
14. Miecznik, P. Ultrasonic studies of intermolecular interactions in system Methanol-n, n-Diisobutylformamide, *Acta Physica Polonica* **1997**, 91, 3, 543-553.
15. Rodriguez, A., Canosa, J., Tojo, J. Density, Refractive Index, and Speed of Sound of Binary Mixtures (Diethyl Carbonate + Alcohols) at Several Temperatures, *Journal of Chemical and Engineering Data* **2001**, 46, 1506-1515.
16. Plantier, F., Daridon, J., Lagourette, B. Nonlinear parameter (B/A) measurements in methanol, 1-butanol and 1-octanol for different pressures and temperatures, *Journal of Physics D: Applied Physics* **2002**, 35, 1063–1067.
17. Pereira, S., Rivas, M., Legido, J., Iglesias, T. Speeds of sound, densities, isentropic compressibilities of the system (methanol + polyethylene glycol dimethyl ether 250) at temperatures from 293.15 to 333.15K, *The Journal of Chemical Thermodynamics* **2003**, 35, 383–391.
18. Gonzalez, B., Dominguez, A., Tojo, J. Dynamic Viscosities, Densities, and Speed of Sound and



- Derived Properties of the Binary Systems Acetic Acid with Water, Methanol, Ethanol, Ethyl Acetate and Methyl Acetate at T ) (293.15, 298.15, and 303.15) K at Atmospheric Pressure, *Journal of Chemical and Engineering Data* **2004**, 49, 1590-1596.
19. Zafarani-Moattar, M., Shekaari, H. Volumetric and Speed of Sound of Ionic Liquid, 1-Butyl-3-methylimidazolium Hexafluorophosphate with Acetonitrile and Methanol at  $T = (298.15 \text{ to } 318.15) \text{ K}$ , *Journal of Chemical and Engineering Data* **2005**, 50, 1694-1699.
  20. Zafarani-Moattar, M., Tohidifar, N. Vapor-Liquid Equilibria, Density, and Speed of Sound for the System Poly(ethylene glycol) 400 + Methanol at Different Temperatures, *Journal of Chemical and Engineering Data* **2006**, 51, 1769-1774.
  21. Pal, A., Gaba, R. Densities, excess molar volumes, speeds of sound and isothermal compressibilities for {2-(2-hydroxyethoxy)ethanol + n-alkanol} systems at temperatures between (288.15 and 308.15) K, *The Journal of Chemical Thermodynamics* **2008**, 40, 750–758.
  22. Raj, A., Resmi, L., Jothy, V., Jayachandran, M., Sanjeeviraja, C. Ultrasonic study on binary mixture containing dimethylformamide and methanol over the entire miscibility range ( $0 < x < 1$ ) at temperatures 303–323K, *Fluid Phase Equilibria* **2009**, 281, 78–86.
  23. Wawer, J., Płaczek, A., Warمیńska, D., Grzybkowski, W. Usefulness of the Free Length Theory for assessment of the self-association of pure solvents, *Journal of Molecular Liquids* **2009**, 149, 37–44.
  24. García-Mardones, M., Pérez-Gregorio, V., Guerrero, H., Bandrés, I., Lafuente, C. Thermodynamic study of binary mixtures containing 1-butylpyridinium tetrafluoroborate and methanol, or ethanol, *The Journal of Chemical Thermodynamics* **2010**, 42, 1500–1505.
  25. Rajagopal, K., Jayabalakrishnan, S. Volumetric, ultrasonic speed, and viscometric studies of salbutamol sulphate in aqueous methanol solution at different temperatures, *The Journal of Chemical Thermodynamics* **2010**, 42, 984–993.
  26. Varfolomeev, M., Zaitseva, K., Rakipov, I., Solomonovand, B., Marczak, W. Speed of Sound, Density, and Related Thermodynamic Excess Properties of Binary Mixtures of Butan-2-one with C<sub>1</sub>–C<sub>4</sub> n-Alkanols and Chloroform, *Journal of Chemical and Engineering Data* **2014**, 59, 4118–4132.
  27. Vercher, E., Llopis, F., Gonzalez-Alfaro, V., Miguel, P., Orchilles, V., Martinez-Andreu, A. Volumetric properties, viscosities and refractive indices of binary liquid mixtures of tetrafluoroborate-based ionic liquids with methanol at several temperatures, *The Journal of Chemical Thermodynamics* **2015**, 90, 174–184
  28. Dávila, M., Gedantiz, H., Span, R. Speed of sound measurements of liquid C<sub>1</sub>–C<sub>4</sub> alkanols, *The Journal of Chemical Thermodynamics* **2016**, 93, 157–163.
  29. Hüseynova, G., Həmidova, R., Səfərov, C., Bəşirov, M. Hassel, E. 1-Etil-3-metilimidazolium metansulfonat ionlu mayesinin sıxlığının və səs sürətinin ölçülməsi, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri, Fizika. texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, fizikia və astronomiya, 2016, №5, 128-135.
  30. Suleymanli, Kh., Uysal, D., Hamidova, R., Aliyev, A., Safarov, J., Shahverdiyev, A., Hassel, E. Heat capacity and speed of sound of some ionic liquids over wide range of temperature, Transactions of Azerbaijan National Academy of Sciences, Series of Physical-mathematical and Technical Sciences 2017, 18, 4, 110-115.
  31. Safarov, J., Lesch, F., Suleymanli, Kh., Aliyev, A., Shahverdiyev, A., Hassel, E., Abdulagatov, I.M. Viscosity, Density, Heat Capacity, Speed of Sound and other Derived Properties of 1-Butyl-3-Methylimidazolium tris(Pentafluoroethyl)Trifluorophosphate over a Wide Range of Temperature and at Atmospheric Pressure, *Journal of Chemical and Engineering Data* 2017, 62, 3620–3631.



## АНАЛИЗ СКОРОСТИ ЗВУКА РАСТВОРОВ ИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ С МЕТАНОЛОМ

ГУЛЯЗ ГУСЕЙНОВА<sup>1</sup>, ХАГАНИ СУЛЕЙМАНЛЫ<sup>1</sup>, АБИЛГАНИ АЛИЕВ<sup>1</sup>,  
ДЖАВИД САФАРОВ<sup>1,2</sup>, МАХИР БАШИРОВ<sup>1</sup>, АСТАН ШАХВЕРДИЕВ<sup>1</sup>, ЭГОН ХАССЕЛ<sup>2</sup><sup>1</sup>Азербайджанский Технический Университет, <sup>2</sup>Ростокский Университет  
E-mail: abdulla.elcin@gmail.com; khagani.suleymanli@mail.ru; abilqani@mail.ru;  
javid.safarov@uni-rostock.de; mahirbashirov@yahoo.com; egon.hassel@uni-rostock.de

**Аннотация:** В данной статье приводится зависимость скорости звука  $u/m \cdot s^{-1}$  бинарных растворов 1-этил-3-метилимидазолий Метансульфонат [EMIM][MeSO<sub>3</sub>], 1-бутил-3-метилимидазолий гексафлуорофосфат [BMIM][PF<sub>6</sub>] или 1-бутил-3-метилимидазолий трис(пентафлуороэтил)-трифлуорофосфат [BMIM][FAP] с метанолом. Эксперименты были проведены при температурах  $T=(278.15-343.15)$  К помощью установки вибрационного денсиметра и измерителя скорости звука Anton-Paar DSA 5000M с погрешности  $\Delta u/u=0.1 m \cdot s^{-1}$ . Исследованные растворы предназначены для использования солнечных тепловых коллекторах, абсорбционных холодильных установках и тепловых насосах.

**Ключевые слова:** ионная жидкость, метанол, скорости звука, бинарный раствор, эмпирическая уравнения.

## ANALYSIS OF SPEED OF SOUND OF IONIC LIQUIDS MIXTURES WITH METHANOL

GULYAZ HUSEYNOVA<sup>1</sup>, KHAGANI SULEYMANLI<sup>1</sup>, ABILGANI ALIEV<sup>1</sup>,  
JAVID SAFAROV<sup>1,2</sup>, MAHIR BASHIROV<sup>1</sup>, ASTAN SHAHVERDIYEV<sup>1</sup>, EGON HASSEL<sup>2</sup><sup>1</sup>Azerbaijan Technical University, <sup>2</sup>Rostock University  
E-mail: abdulla.elcin@gmail.com; khagani.suleymanli@mail.ru; abilqani@mail.ru;  
javid.safarov@uni-rostock.de; mahirbashirov@yahoo.com; egon.hassel@uni-rostock.de

**Abstract:** In this paper, presented the measured speed of sound values  $u/m \cdot s^{-1}$  of binary mixtures of ionic liquids 1-ethyl-3-methylimidazolium methanesulfonate [EMIM][MeSO<sub>3</sub>], 1-butyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate [BMIM][PF<sub>6</sub>] or 1-butyl-1-methylpyrrolidinium tris(pentafluoroethyl)trifluorophosphate [BMIM][FAP] with methanol. The measurements were carried out in the temperature interval  $T=(278.15-343.15)$  K using a Anton-Paar DSA 5000M vibration tube densimeter and sound velocity meter with uncertainty  $\Delta u/u=\pm 0.1 m \cdot s^{-1}$ . Investigated mixtures were planed to use in the solar heat collectors, absorption refrigeration machines and heat pumps.

**Keywords:** ionic liquid, methanol, speed of sound, binary mixture, empirical equation.