

UOT 532.133:547.781.4

**1-BUTİL-3-METİLİMİDAZOLIUM TETRAFLÜOROBORAT VƏ
1-BUTYL-3-METİLİMİDAZOLIUM HEKSAFLÜOROFOSFAT İONLU MAYELƏRİNİN
ÖZLÜLÜKLƏRİNİN TƏCRÜBİ ARAŞDIRILMASI****AYĞÜL NAMAZOVA^{1,2}, XAQANI SÜLEYMANLI¹, ƏBDÜLQƏNİ ƏLİYEV¹,
CAVİD SƏFƏROV^{1,3}, ASTAN ŞAHVERDİYEV¹, EQON HASSEL³**¹Azərbaycan Texniki Universiteti, ²Mingəçevir Dövlət Universiteti, ³Rostok Universiteti
E-mail: namazova-aygul@mail.ru, suleymanli.xagani@mail.ru, abdulgani.aliyev@yahoo.com,
javid.safarov@uni-rostock.de, egon.hassel@uni-rostock.de

Xülasə: Təqdim olunan məqalədə 1-butil-3-metilimidazolium tetraflüoroborat [BMIM][BF₄] və 1-butyl-3-metilimidazolium heksafluorofosfat [BMIM][PF₆] ionlu mayelərinin özlülüklerinin atmosfer təzyiqində $\eta(p_0, T)/Pa \cdot s$ temperaturdan asılılığı Anton-Paar SVM 3000 Stabinger viskozimetri və MCR 302 reometri ilə ölçülmüşdür. Hər iki ionlu mayelərin özlülüklerinin $\eta(p_0, T)/Pa \cdot s$ fundamental ədəbiyyat analizi aparılmış və alınmış təcrübə nəticələri ədəbiyyat qiymətləri ilə müqayisə edilmişdir. Təcrübə özlülüyük qiymətlərinin temperaturdan asılılığı polinomial tənliyin köməyi ilə yazılmışdır.

Açar sözlər: ionlu maye, viskozimetr, reometer, ölçmə yuvası, dinamik özlülük, kinematik özlülük.

Giriş. 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 [1] uyğun olaraq respublikada günəş, külək, biokütlə, termal, hidroenerji, absorpsion soyuducu qurğuları - istilik nasoslarının enerjisi kimi alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrinin geniş miqyaslı tətbiqi sahəsində real tədbirlər həyata keçirilir.

Azərbaycan Texniki Universitetinin “İstilik energetikası” kafedrasında son illərdə ionlu mayelərin istilik-fiziki xassələri alternativ enerji və istilik sistemlərində tətbiq olunmaq üçün yeni istiqamət kimi öyrənilməyə başlanmışdır [2-5]. Araşdırmalar zamanı yüksək temperatur ($T=413.15$ K-ə qədər) və təzyiqlərdə ($p=140$ MPa-a qədər) ionlu mayelərin sıxlığı, özlülüüyü, səs sürəti, istilik tutumu və müxtəlif orqanik mayelər ilə qarışıqlarının doymuş buxar təzyiqi yüksək dəqiqliyi olan təcrübə qurğuları vasitəsilə ölçülür. Təcrübələr əsasında geniş hal parametrlərində ionlu mayelərin istilik-fiziki xassələri yeni hazırlanmış metod əsasında hesablanır [2]. Bu metoda əsasən ionlu mayelərin istilik-fiziki xassələri araşdırılan zaman sıxlıq, özlülük, istilik tutumu və s. daha vacib xassələr kimi öyrənilir. Təqdim olunan məqalədə 1-butil-3-metilimidazolium tetraflüoroborat [BMIM][BF₄] və 1-butyl-3-metilimidazolium heksafluorofosfat [BMIM][PF₆] ionlu mayesinin özlülüklerinin $\eta(p_0, T)/Pa \cdot s$ temperaturdan asılılığı Anton-Paar SVM 3000 Stabinger viskozimetri və Reometer MCR 302 ilə ölçülmüşdür. Bu qurğular öz yüksək dəqiqliyi, müasirliyi və tam avtomatik işləmələri ilə seçilir. Özlülüynün təcrübə olaraq araşdırılması nisbətən asan olmadığı üçün müxtəlif qurğuların, metodların istifadə edilməsi təcrübə dəqiqliyinin artırılmasına kömək edir.

İonlu mayelərin atmosfer təzyiqində özlülüklerinin $\eta(p_0, T)/Pa \cdot s$ ədəbiyyat analizinə [6-42] nəzər salsaq (Şəkil 1 və 2), təcrübələrin demək olar ki, $T=373.15$ K temperaturuna qədər aparıldığını görmək olar. Yalnız Jacquemin və başqaları [7] [BMIM][BF₄]-in özlülüynünün analizi üçün təcrübələri $T=393.15$ K temperatur intervalına qədər aparmışlar. Qiao və başqaları [28] isə [BMIM][PF₆]-in özlülüynün $T=413.2$ K temperatura qədər intervalda təcrübə analizini aparmışlar. Amma [28]-də temperaturun aşağı sərhəddi $T=313.2$ K həddindədir. Buradan belə çıxır ki, ədəbiyyatlarda geniş temperatur intervalında tədqiq olunmuş ionlu mayelərin özlülüynünün $\eta(p_0, T)/Pa \cdot s$ təcrübə nəticələri azdır. Bu məqalədə bizim elmi qrup təcrübələri ilk dəfə olaraq geniş $T=(278.15-413.15)$ K temperatur intervalında artırmışdır.

Təcrübə bölməsi. Təqdim olunan məqalədə [BMIM][BF₄] və [BMIM][PF₆] ionlu mayelərinin dinamik özlülüüyü $\eta(p_0, T)/Pa \cdot s$ SVM 3000 Stabinger viskozimetrində [30] (şəkil 2-3) və MCR 302 reometrində [31] (Şəkil 1, 2) ölçülmüşdür. SVM 3000 Stabinger viskozimetri $T=(278.15$

Energetika - Энергетике - Energetic

– 373.15) K temperaturları arasında yüksək dəqiqliklə mayelərin özlülüyünün ölçülməsinə imkan verir. Reometer MCR 302 qurğusu ilə isə təcrübələrin temperatur ölçülmə intervalını həm aşağı, həm yüksək temperaturlar istiqamətində daha da genişləndirmək olur. Bu zaman iki müxtəlif qurğular arasında ölçülmüş müxtəlif təcrübə qiymətlərinin müqayisəsinə də imkan yaranır.



Şəkil 1. SVM3000 Ştabinger viskozimetrinin ümumi görünüşü



Şəkil 2. MCR 302 reometrinin ümumi görünüşü [30]

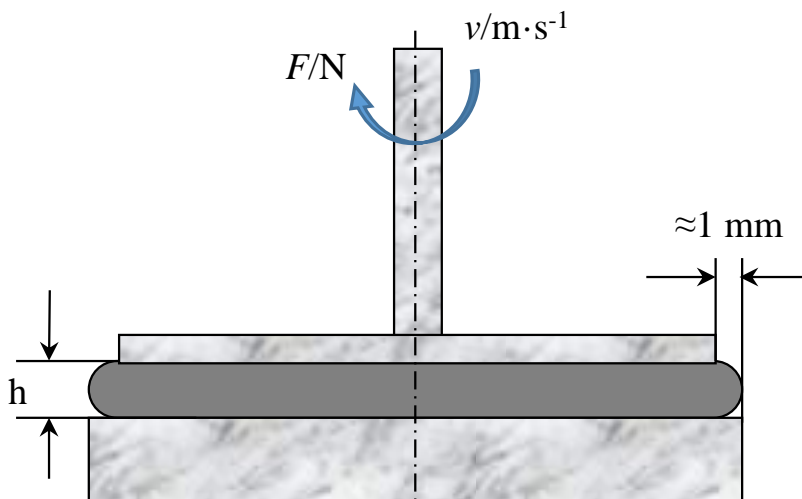
SVM 3000 Stabinger viskozimetri Peltje termostatu ilə Ştabinger ölçmə prinsipi, özlülük və temperaturun müqayisə olunmaz geniş diapazonu yalnız bir cihazla ölçülməsinə imkan verir (şəkil 1). SVM 3000 Ştabinger viskozimetrinin işləmə prinsipi və təcrübələrin aparılması elmi qrupumuzun əvvəlki məqalələrində ətraflı verilmişdir [32-33]. SVM3000 istifadədə sürətli, kompakt, enerjiyə qənaətcil, çevikdir, az miqdarda nümunə (təxminən 2,5 ml-dən bir qədər çox) istifadə edir. Termoelektrik elementləri ardıcıl birləşdirilərək quraşdırılmış termostat və platinli müqavimət termometri ilə birlikdə kiçik kütləli ölçmə yuvası ölçmə temperaturunu tez dəyişməyə və dəqiq tənzimləməyə imkan verir [30].

SVM3000 Ştabinger viskozimetrinin ölçmə prinsipi Couette metoduna əsaslanıb. Özlülüğün rotasion ölçülməsi fırlanma momentinin və sürətinin ölçülməsinə əsaslanıb. Qurğuda fırlanma momenti sürətdən asılı olan əylənmə momentindən bir-başa asılı olan burulğan cərəyanı yaradır. Bu cərəyan 50 pico-Nm yüksək ölçü ilə ölçüldüyündən və qurğunun daxilində termoelektrik termostatlaşdırma olduğundan bu çox böyük dəqiqlik əmələ gətirir.

Qurğu tam yuyulub qurudulduqdan sonra, lazım olan miqdarda ölçüləcək mayenin az hissəsi ilkin olaraq şpris vasitəsi ilə ölçü yuvasına vurulur. Təxminən 5 dəqiqə gözlədikdən sonra qalan hissə də qurğuya vurulur. Daha sonra qurğunun ölçmə rejimi seçilir. Hər bir təcrübə temperaturunun stabilləşməsi gözlənilir, özlülüğün və temperaturun alınmış nəticələri qeyd edilir. Sonra növbətin temperatur seçilir və təcrübələr bu qayda ilə $T=(278.15-373.15)$ K temperatur intervalı arasında ölçülür. Təcrübənin sonunda maye qurğudan təmizlənir. Daha sonra qurğu təmiz su və aseton ilə yuyulur, nasos vasitəsi ilə vurulan hava axını ilə qurudulur və növbəti termal suyun təcrübə olaraq ölçülməsinə hazırlanır.

MCR 302 reometrində təcrübələr elmi qrupumuz tərəfindən ilk dəfə yerinə yetirildiyi üçün qurğunun ölçmə prinsipi və quruluşunun ətraflı izahı bu məqalədə verilir. Reologiya fizikanın bir bölməsi olaraq elastiklik nəzəriyyəsi və hidrodinamika arasında olaraq maddələrin deformasiyasını və axıcılığını öyrənir. İdeal maddə elastik deformasiya olur. Yəni, bu deformasiyaya lazım olan enerji gərginliyin ləğv edilməsindən sonra tam geri qaydır. İdeal axıcı mayelər və qazlar isə deformasiya enerjisininin nəticəsində axırlar. Onların deformasiyası üçün lazım olan enerji isə istiliyə çevrilir, yayılır və sadəcə gərginliyin ləğv edilməsi ilə geri qayıda bilməz [31].

MCR 302 reometrində təcrübələr zamanı ölçüləcək nümunə qurğunun fırlanmayan diski üzərinə tökülür. Daha sonra yuxarıdakı disk aşağı hərəkət edir və nümunəni sıxır. Bu zaman nümunənin sıxılmış vəziyyətdə hündürlüyü h/mm çox dəqiq ölçülür. Yuxarıdakı disk öz oxu ətrafında fırlanmağa və ölçüləcək mayeni fırlatmağa başlayır (şəkil 3).



Şəkil 3. Ölçmə prinsipi

Fırlanma sürəti $v/m \cdot s^{-1}$ sabit saxlanılır. Aydın məsələdir ki, bu zaman ölçüləcək nümunənin özlülüyü çox olduqda diskin fırlanmasına sərf olunan qüvvə də çox olacaq. Daha bir dəqiq ölçülməsi lazım olan parametr isə məhz yuxarı diskin fırlanmasına sərf edilən bu qüvvədir F/N - dir. Bu qüvvənin diskin ölçü səthinə olan nisbəti isə toxunma gərginliyidir:

$$\tau = \frac{F}{A}, \left[\frac{N}{m^2} \right] = [Pa]. \quad (1)$$

Yuxarı diskin fırlanma sürətinin $v/m \cdot s^{-1}$ sıxılan nümunənin hündürlüyünə h/mm nisbəti sürüşmə nisbəti adlanır:

$$\dot{\gamma} = \frac{v}{h}, \left[\frac{m}{s \cdot m} \right] = \left[\frac{1}{s} \right] = [s^{-1}]. \quad (2)$$

Dinamik özlülüğün $\eta(p_0, T)/Pa \cdot s$ hesablanması üçün Nyuton qanunundan istifadə edilir:

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \Rightarrow \eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}, [Pa \cdot s]. \quad (3)$$

Qurğu tək temperatur rejimində və ya müəyyən temperatur intervalında avtomatik işləyir. Təcrübə nəticələri avtomatik kompüter proqram sistemində emal olunur və dinamik özlülüğün $\eta(p_0, T)/Pa \cdot s$ nəticələri cədvəl şəklində verilir.

Alınmış nəticələr. [BMIM][BF₄] və [BMIM][PF₆] ionlu mayelərinin dinamik özlülükleri $\eta(p_0, T)/Pa \cdot s$ $T=(278.15-4133.15)$ K temperatur intervalında və atmosfer təzyiqində ölçülmüş və cədvəl 1-də verilmişdir. Eyni zamanda alınmış nəticələr ədəbiyyat qiymətləri ilə birlikdə şəkil 4-də və şəkil 5-də verilmişdir. Alınmış nəticələrdən görünür ki, [BMIM][BF₄] və [BMIM][PF₆] ionlu mayelərinin dinamik özlülüğünün $\eta(p_0, T)/Pa \cdot s$ temperaturdan asılı dəyişməsi temperaturun azalması ilə kəskin artır və ya temperaturun artması ilə intensiv azalır.

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 [BMIM][BF₄] və [BMIM][PF₆] ionlu mayelərinin dinamik özlülüğünün $\eta(p_0, T)/Pa \cdot s$ ölçülmüş qiymətlərinin temperaturdan asılılığı polinomial tənlik vasitəsilə yazılmışdır:

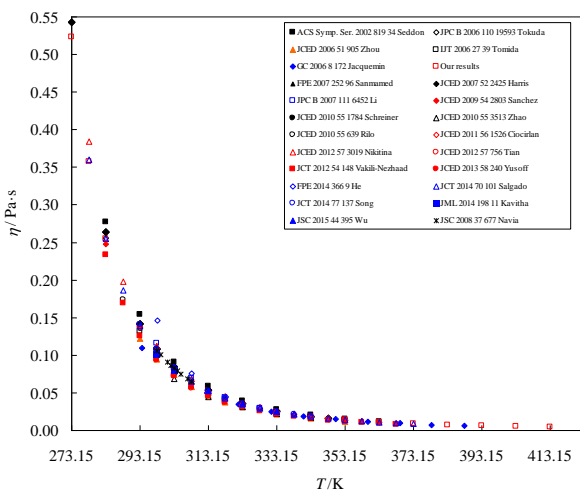
$$\ln(\mu) = \sum_{i=0}^2 \frac{a_i}{(T - 43.15)^i}, \quad (4)$$

burada a_i polinomun əmsallarıdır və tədqiq olunmuş sular üçün ayrılıqda cədvəl 2-də verilmişdir.

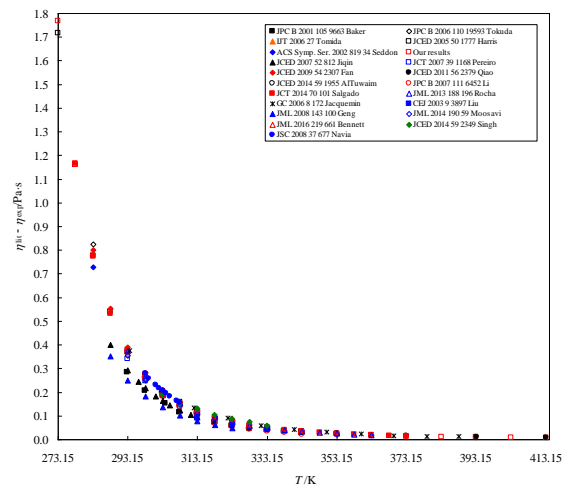
Energetika - Энергетике - Energetic

Cədvəl 1. [BMIM][BF₄] və [BMIM][PF₆] ionlu mayelərinin təcrübə yolu Anton-Paar SVM 3000 Stabinger viskozimetri və MCR 302 geometri ilə ölçülmüş dinamik özlülüyünün $\eta(p_0, T) \cdot 10^6 / \text{Pa} \cdot \text{s}$ $T = (278.151 - 413.15)$ K temperaturlarda qiymətləri.

[BMIM][BF ₄]		[BMIM][PF ₆]	
T/K	$\eta(p_0, T) \cdot 10^6 / \text{Pa} \cdot \text{s}$	T/K	$\eta(p_0, T) \cdot 10^6 / \text{Pa} \cdot \text{s}$
273.150	0.54126	273.15	1.71710
278.151	0.35718	278.15	1.16050
283.149	0.25502	283.15	0.77620
293.152	0.13931	293.15	0.36900
303.152	0.08253	298.15	0.27430
313.152	0.05234	303.15	0.20320
323.148	0.03529	313.15	0.11896
333.151	0.02485	323.15	0.07460
343.150	0.01831	333.15	0.04962
353.150	0.01404	343.15	0.03470
363.151	0.01107	353.15	0.02500
373.149	0.00892	363.15	0.01900
383.150	0.00742	373.15	0.01450
393.150	0.00629	383.15	0.01200
403.150	0.00543	393.15	0.01000
413.150	0.00476	413.15	0.00850



Şəkil 4. [BMIM][BF₄]-in özlülüyünün $\eta(p_0, T) / \text{Pa} \cdot \text{s}$ ədəbiyyat qiymətlərinin və bu məqalədə təqdim olunmuş nəticələrin temperaturdan asılılığı



Şəkil 5. [BMIM][PF₆]-in özlülüyünün $\eta(p_0, T) / \text{Pa} \cdot \text{s}$ ədəbiyyat qiymətlərinin və bu məqalədə təqdim olunmuş nəticələrin temperaturdan asılılığı

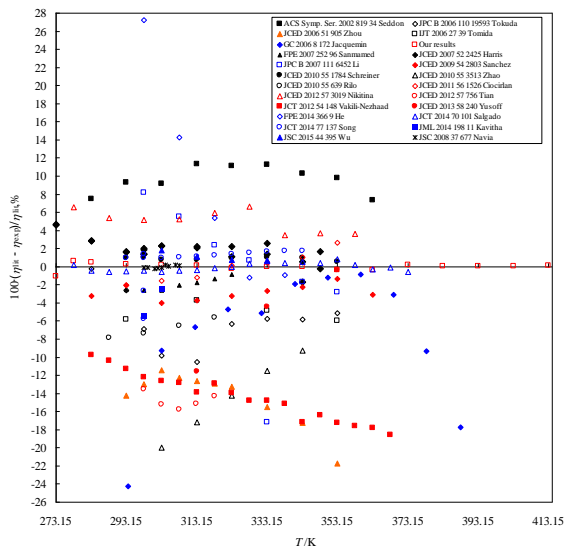
Cədvəl 2. (4) tənliyində a_i əmsallarının qiymətləri

İonlu maye	$a_0 / \text{Pa} \cdot \text{s}$	$a_1 / \text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{K}$	$a_2 / \text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{K}^2$	AAD ^s , %	r
[BMIM][BF ₄]	-4.84410929744034	-2070.98841591564	697332.94599789	0.7211	0.99999
[BMIM][PF ₆]	-3.90923091665674	-2694.17006852943	856859.12656432	1.1090	0.99995

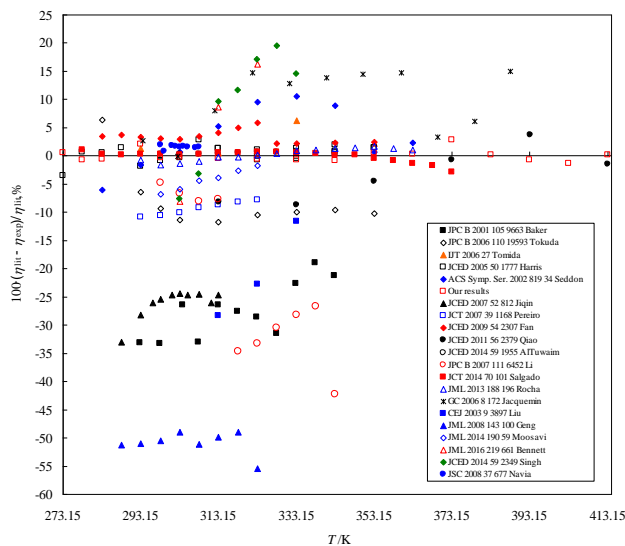
^s AAD = $(100/n) \cdot (\eta_{t\text{ac}} - \eta_{\text{hes}}) / \eta_{t\text{ac}}$

Energetika - Энергетике - Energetic

(4) tənliyi tədqiq edilmiş ionlu mayelərin dinamik özlülüyünün $\eta(p_0, T)/Pa \cdot s$ təcrübə xətası daxilində hesablanmasına imkan verir. Empirik (4) 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 (4) tənliyinin köməyi ilə təcrübə qiymətləri interpolasiya olunur və ədəbiyyat temperaturuna uyğun dinamik özlülük hesablanır və ədəbiyyat qiymətindən faizlə fərqi hesablanır. Bu qayda ilə bütün ədəbiyyat qiymətləri analiz edilmiş, şəkil 5 və şəkil 6-da hər iki ionlu maye üçün verilmişdir.



Şəkil 6. [BMIM][BF₄] ionlu mayesinin dinamik özlülüyünün $\eta(p_0, T)/Pa$ ədəbiyyat qiymətlərindən fərqi temperaturdan T/K asılılığı



Şəkil 7. [BMIM][PF₆] ionlu mayesinin dinamik özlülüyünün $\eta(p_0, T)/Pa$ ədəbiyyat qiymətlərindən fərqi temperaturdan T/K asılılığı

Ədəbiyyat nəticələri ilə tutuşdurmadan belə nəticəyə gəlmək olur ki, bu məqalədə alınmış nəticələr bir çox nəticələr ilə ölçü xətası daxilində çox yaxşı uyğunlaşır. Bir sıra ədəbiyyat nəticələri ilə tutuşdurma işi böyük xəta verir. Bu da ədəbiyyat nəticələrinin dəqiqliyi, ionlu mayelərin təmizliyi, ölçü metodu və s. ilə əlaqədardır. Bu məqalədə ilk dəfə olaraq bu ionlu mayelərin özlülükləri geniş temperatur intervalında analiz olunmuşdur.

Ədəbiyyat

[1].AR-da alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə olunması üzrə Dövlət Proqramı, 2004.
 [2].Safarov, J., Hamidova, R., Zepik, S., Schmidt, H., Kul, I., Shahverdiyev, A., Hassel, E. Thermophysical Properties of 1-hexyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide at high temperatures and pressures, Journal of Molecular Liquids 2013, 187, 137-156.
 [3].Hamidova, R., Kul, I., Safarov, J., Shahverdiyev, A., Hassel, E. Thermophysical properties of 1-butyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide at high temperatures and pressures, Brazilian Journal of Chemical Engineering 2015, 32, 1, 303-316.
 [4].Safarov, J., Hamidova, R., Stephan, M., Schmotz, N., Kul, I., Shahverdiyev, A., Hassel, E. Carbon dioxide solubility in 1-hexyl-3-methylimidazolium-bis(trifluoromethylsulfonyl)imide at wide range of temperatures and pressures, Journal of Physical Chemistry B 2014, 118 (24), 6829-6838.
 [5].Safarov, J., Kul, I., Talibov, M.A., Shahverdiyev, A., Hassel, E. Vapor pressures and activity coefficients of methanol in binary mixtures with 1-Hexyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide, Journal of Chemical Engineering Data 2015, 60 (6), 1648-1663.
 [6].Baker, S.N., Baker, G.A., Kane, M.A., Bright, F.V. The Cybotactic Region Surrounding Fluorescent Probes Dissolved in 1-Butyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate: Effects of Temperature and Added Carbon Dioxide, Journal of Physical Chemistry B 2001, 105, 9663-9668.

Energetika - Энергетике - Energetic

- [7].Seddon, K. R., Stark, A., Torres, M.-J., Viscosity and density of 1-alkyl-3-methylimidazolium ionic liquids, ACS Symposium Series 2002, 819, (Clean Solvents: Alternative Media for Chemical Reactions and Processing), 34-49.
- [8].Liu, Z., Wu, W., Han, B., Dong, Z., Zhao, G., Wang, J., Jiang, T., Yang, G. Study on the Phase Behaviors, Viscosities, and Thermodynamic Properties of CO₂/[C4mim][PF₆]/Methanol System at Elevated Pressures, Chemistry: A European Journal 2003, 9, 3897-3903.
- [9].Harris, K.R., Woolf, L.A. Temperature and Pressure Dependence of the Viscosity of the Ionic Liquid 1-Butyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate, Journal of Chemical Engineering Data 2005, 50, 1777-1782.
- [10].Jacquemin, J., Husson, P., Padua, A.A.H., Majer, V. Density and viscosity of several pure and water-saturated ionic liquids, Green Chemistry 2006, 8, 172-180.
- [11].Tomida, D., Kumagai, A., Qiao, K., Yokoyama, C. Viscosity of [bmim][PF₆] and [bmim][BF₄] at High Pressure, International Journal of Thermophysics 2006, 27, 39-47.
- [12].Tokuda, H., Tsuzuki, S., Susan, Md. Abu Bin Hasan, Hayamizu, K., Watanabe, M. How Ionic Are Room-Temperature Ionic Liquids? An Indicator of the Physicochemical Properties, Journal of Physical Chemistry B 2006, 110, 19593-19600.
- [13].Zhou, Q., Wang, L-S., Chen, H.-P. Densities and Viscosities of 1-Butyl-3-methylimidazolium Tetrafluoroborate + H₂O Binary Mixtures from (303.15 to 353.15) K, Journal of Chemical and Engineering Data 2006, 51, 905-908.
- [14].Harris, K.R., Kanakubo, M., Woolf, L.A. Temperature and Pressure Dependence of the Viscosity of the Ionic Liquid 1-Butyl-3-methylimidazolium Tetrafluoroborate: Viscosity and Density Relationships in Ionic Liquids, Journal of Chemical and Engineering Data 2007, 52, 2425-2430.
- [15].Jigin, Z., Jian, Ch., Chengyue, L., Weiyang, F. Viscosities and Interfacial Properties of 1-Methyl-3-butylimidazolium Hexafluorophosphate and 1-Isobutenyl-3-methylimidazolium Tetrafluoroborate Ionic Liquids, Journal of Chemical and Engineering Data 2007, 52, 812-816.
- [16].Li, W., Zhang, Z., Hau, B., Hu, S., Xie, Y., Yang, G. Effect of Water and Organic Solvents on the Ionic Dissociation of Ionic Liquids, Journal of Physical Chemistry B 2007, 111, 6452-6456.
- [17].Pereiro, A.B., Legido, J.L., Rodríguez, A. Physical properties of ionic liquids based on 1-alkyl-3-methylimidazolium cation and hexafluorophosphate as anion and temperature dependence, The Journal of Chemical Thermodynamics 2007, 39, 1168-1175.
- [18].Sanmamed, Y. A., Gonzalez-Salgado, D., Troncoso, J., Cerdeirina, C. A., Romani, L., Viscosity-induced errors in the density determination of room temperature ionic liquids using vibrating tube densitometry, Fluid Phase Equilibria 2007, 252, 96-102.
- [19].Geng, Y., Chen, S., Wang, T., Yu, D., Peng, C., Liu, H., Hu, Y. Density, viscosity and electrical conductivity of 1-butyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate + monoethanolamine and + N, N-dimethylethanolamine, Journal of Molecular Liquids 2008, 143, 100-108.
- [20].Navia, P., Troncoso, J., Romaní, L. Viscosities for Ionic Liquid Binary Mixtures with a Common Ion, Journal of Solution Chemistry 2008, 37, 677-688.
- [21].Fan, W., Zhou, Q., Sun, J., Zhang, S. Density, Excess Molar Volume, and Viscosity for the Methyl Methacrylate + 1-Butyl-3-methylimidazolium Hexafluorophosphate Ionic Liquid Binary System at Atmospheric Pressure, Journal of Chemical Engineering Data 2009, 54, 2307-2311.
- [22].Sánchez, L.G., Espel, J.R., Onink, F., Meindersma, G. W., de Haan, A.B., Density, Viscosity, and Surface Tension of Synthesis Grade Imidazolium, Pyridinium, and Pyrrolidinium Based Room Temperature Ionic Liquids, Journal of Chemical and Engineering Data 2009, 54, 2803-2812.
- [23].Kim, K.-S., Physical and electrochemical properties of lithium-doped 1-butyl-3-methylimidazolium salts, Korean Journal of Chemical Engineering 2009, 26, 3, 770-774.
- [24].Rilo, E., Vila, J., Garcia, M., Varela, L. M., Cabeza, O., Viscosity and Electrical Conductivity of Binary Mixtures of C_nMIM-BF₄ with Ethanol at 288 K, 298 K, 308 K, and 318 K, Journal of Chemical & Engineering Data 2010, 55, 639-644.
- [25].Schreiner, C., Zugmann, S., Hartl, R., Gores, H.J. Fractional Walden Rule for Ionic Liquids: Examples from Recent Measurements and a Critique of the So-Called Ideal KCl Line for the Walden Plot, Journal of Chemical and Engineering Data 2010, 55, 1784-1788.

Energetika - Энергетике - Energetic

- [26].Zhao, Y., Zhang, X., Zeng, S., Zhou, Q., Dong, H., Tian, X., Zhang, S. Density, Viscosity, and Performances of Carbon Dioxide Capture in 16 Absorbents of Amine + Ionic Liquid + H₂O, Ionic Liquid + H₂O, and Amine + H₂O Systems, *Journal of Chemical and Engineering Data* 2010, 55, 3513-3519.
- [27].Ciocirlan, O., Croitoru, O., Iulian, O. Densities and Viscosities for Binary Mixtures of 1-Butyl-3-Methylimidazolium Tetrafluoroborate Ionic Liquid with Molecular Solvents, *Journal of Chemical and Engineering Data* 2011, 56, 1526-1534.
- [28].Qiao, Y., Yan, F., Xia, Sh., Yin, Sh., Ma, P. Densities and Viscosities of [Bmim][PF₆] and Binary Systems [Bmim][PF₆] + Ethanol, [Bmim][PF₆] + Benzene at Several Temperatures and Pressures: Determined by the Falling-Ball Method, *Journal of Chemical and Engineering Data* 2011, 56, 2379–2385.
- [29].Nikitina, V.A., Nazet, A., Sonnleitner, T., Buchner, R. Properties of Sodium Tetrafluoroborate Solutions in 1-Butyl-3-methylimidazolium Tetrafluoroborate Ionic Liquid, *Journal of Chemical & Engineering Data* 2012, 57, 3019-3025.
- [30].Tian, S., Hou, Y., Wu, W., Ren, S., Pang, K. Physical Properties of 1-Butyl-3-methylimidazolium Tetrafluoroborate/N-Methyl-2-pyrrolidone Mixtures and the Solubility of CO₂ in the System at Elevated Pressures, *Journal of Chemical & Engineering Data* 2012, 57, 756-763.
- [31].Vakili-Nezhaad, G., Vatani, M., Asghari, M., Ashour, I. Effect of temperature on the physical properties of 1-butyl-3-methylimidazolium based ionic liquids with thiocyanate and tetrafluoroborate anions, and 1-hexyl-3-methylimidazolium with tetrafluoroborate and hexafluorophosphate anions, *The Journal of Chemical Thermodynamics* 2012, 54, 148-154.
- [32].Rocha, M.A.A., Ribeiro, F.M.S., Lobo Ferreira, A.I.M.C., Coutinho, J.A.P., Santos, L.M.N.B.F. Thermophysical properties of [C_{N-1}C₁im][PF₆] ionic liquids, *Journal of Molecular Liquids* 2013 188, 196–202.
- [33].Yusoff, R., Aroua, M.K., Shamiri, A., Ahmady, A., Jusoh, N.S., Asmuni, N.F., Bong, L.C., Thee, S.H. Density and Viscosity of Aqueous Mixtures of N-Methyldiethanolamines (MDEA) and Ionic Liquids, *Journal of Chemical and Engineering Data* 2013, 58, 240-247.
- [34].AlTuwaim, M.S., Alkhalidi, K.H.A.E., Al-Jimaz, A.S., Mohammad, A.A. Temperature Dependence of Physicochemical Properties of Imidazolium-, Pyrrolidinium-, and Phosphonium-Based Ionic Liquids, *Journal of Chemical Engineering Data* 2014, 59, 1955-1963.
- [35].He, X., Shao, Q., Kong, W., Yu, L., Zhang, X., Deng, Y. A simple method for estimating mutual diffusion coefficients of ionic liquids-water based on an optofluidic chip, *Fluid Phase Equilibria* 2014, 366, 9–15.
- [36].Kavitha, T., Vasantha, T., Venkatesub, P., Rama Devi, R.S., Hofman, T. Thermophysical properties for the mixed solvents of N-methyl-2-pyrrolidone with some of the imidazolium-based ionic liquids, *Journal of Molecular Liquids* 2014, 198, 11-20.
- [37].Moosavi, M., Daneshvar, A. Investigation of the rheological properties of two imidazolium-based ionic liquids, *Journal of Molecular Liquids* 2014, 190, 59-67.
- [38].Salgado, J., Regueira, T., Lugo, L., Vijande, J., Fernández, J., García, J. Density and viscosity of three (2,2,2-trifluoroethanol + 1-butyl-3-methylimidazolium) ionic liquid binary systems, *The Journal of Chemical Thermodynamics* 2014, 70, 101-110.
- [39].Singh, M.P., Mandal, S.K., Verma, Y.L., Gupta, A.K., Singh, R.K., Chandra, S. Viscoelastic, Surface, and Volumetric Properties of Ionic Liquids [BMIM][O₂SO₄], [BMIM][PF₆], and [EMIM][MeSO₃], *Journal of Chemical Engineering Data* 2014, 59, 2349-2359.
- [40].Song, D., Chen, J. Densities and viscosities for ionic liquids mixtures containing [eOHmim][BF₄], [bmim][BF₄] and [bpy][BF₄], *The Journal of Chemical Thermodynamics* 2014, 70, 101–110.
- [41].Wu, J.-Y., Chen, Y.-P., Su, C.-S. Density and Viscosity of Ionic Liquid Binary Mixtures of 1-n-Butyl-3-methylimidazolium Tetrafluoroborate with Acetonitrile, N,N-Dimethylacetamide, Methanol, and N-Methyl-2-pyrrolidone, *Journal of Solution Chemistry* 2015, 44, 395–412.
- [42].Bennett, V., Dikio, C.W., Angaye, S.S., Wankasi, D., Dikio, E.D., Bahdur, I., Ebenso, E.E. Interactions of 1-butyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate with N,N-dimethylformamide: Density and viscosity measurements, *Journal of Molecular Liquids* 2016, 219, 661-666.
- [43].Betriebsanleitung, SVM 3000 / G2 Stabinger Viskosimeter Firmware Version: 3.0.0., 2009, Anton Paar GmbH, Graz, Österreich, 52 p.
- [44].Schramm, Gebhard. A Practical Approach to Rheology and Rheometry, Gebrueder Haake, 1994, 290 p.
- [45].Əhmədov, A., Bəşirov, M., Səfərov, C., Hassel, E. Azərbaycanın Qax və Qəbələ rayonlarının termal sularının özlülüyünün tədqiqi, *Journal of Qafqaz University* 2014, 2, 47-53.

Energetika - Энергетике - Energetic

[46].Талыбов, М. Измерения вязкости геотермальных и минеральных вод Ярдымлинского района Азербайджана, Научно-технический журнал, Мониторинг, Наука и Технологии, №1(18), стр.82-89, 2014, г. Махачкала, Россия.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ ИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ 1-БУТИЛ-3-МЕТИЛИМИДАЗОЛИЙ ТЕТРАФТОРБОРАТ И 1-БУТИЛ-3-МЕТИЛИМИДАЗОЛИЙ ГЕКСАФТОРФОСФАТ

АЙГЮЛ НАМАЗОВА^{1,2}, ХАГАНИ СУЛЕЙМАНЛЫ¹, АБДУЛГАНИ АЛИЕВ¹, ДЖАВИД САФАРОВ^{1,3}, АСТАН ШАХВЕРДИЕВ¹, ЕГОН ХАССЕЛ³

¹Азербайджанский Технический Университет, ²Мингечаурский Государственный Университет, ³Ростокский Университет

E-mail: namazova-aygul@mail.ru, suleymanli.xagani@mail.ru, abdulgani.aliyev@yahoo.com, javid.safarov@uni-rostock.de, egon.hassel@uni-rostock.de

Аннотация: В данной статье приводится зависимость вязкости $\eta(p_0, T)/\text{Pa}\cdot\text{s}$ ионных жидкостей 1-бутил-3-метилимидазолий тетрафторборат [BMIM][BF₄] и 1-бутил-3-метилимидазолий гексафторфосфат [BMIM][PF₆] измеренные на вискозиметре Штабингере Anton-Paar SVM 3000 и реометре Physika MCR 302. Проведен фундаментальный анализ литературных работ вязкости $\eta(p_0, T)/\text{Pa}\cdot\text{s}$ ионной жидкости [BMIM][BF₄] и их сравнения с полученными в данной работе экспериментальными результатами. Полученные экспериментальные данные описаны с помощью эмпирической уравнений состояния.

Ключевые слова: ионная жидкость, вискозиметр, реометр, динамическая вязкость, кинематическая вязкость, ячейка измерения.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF VISCOSITY OF IONIC LIQUID 1-BUTYL-3-METHYLIMIDAZOLIUM TETRAFLUOROBORATE AND 1-BUTYL-3-METHYLIMIDAZOLIUM HEXAFLUOROPHOSPHATE

AYGUL NAMAZOVA¹, KHAGANI SULEYMANLI¹, ABDULGANI ALIEV¹, JAVID SAFAROV^{1,3}, ASTAN SHAHVERDIYEV¹, EGON HASSEL³

¹Azerbaijan Technical University, ²Mingechaur State University, ³Rostok University

E-mail: namazova-aygul@mail.ru, suleymanli.xagani@mail.ru, abdulgani.aliyev@yahoo.com, javid.safarov@uni-rostock.de, egon.hassel@uni-rostock.de

Abstract: In the present paper, the experimental results of viscosity $\eta(p_0, T)/\text{Pa}\cdot\text{s}$ of ionic liquids 1-butyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate [BMIM][BF₄] and 1-butyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate [BMIM][PF₆] measured on Anton-Paar SVM 3000 Stabinger viscometer and rheometer Physika MCR 302. The fundamental analysis of literary works of viscosity $\eta(p_0, T)/\text{Pa}\cdot\text{s}$ an ionic liquids [BMIM][BF₄], [BMIM][PF₆] and its comparisons with the experimental results obtained in given work is carried out. The obtained experimental results were fitted to empirical equations.

Keywords: ionic liquid, viscometer, rheometer, dynamic viscosity, kinematic viscosity, cell of measurement.

Daxil olub: 12.09.2016

Rəyçi: t.e.d., professor M.Bəşirov