

UOT 536.77:547.442

[EMIM][TFO] və [BMIM][TFO] İONLU MAYELƏRİNİN TƏTBİQ SAHƏLƏRİ

A.QULUZADƏ^{1,2}

Azərbaycan Texniki Universiteti¹

AZ1073, Baku, H.Javid avn., 25

University of Rostock²

D-18059, Rostock, Germany, Albert-Einstein-Str., 2

quluzadeaytekin@gmail.com

Daxil olub: 01.07.2021
Çapa verilib: 17.09.2021

REFERAT

Üzvi kation və üzvi və qeyri- üzvi poliatomik ionlardan ibarət olan ionlu mayələrin ümumi xarakteristikaları təsvir edilmişdir. Sınıfın tipik nümayəndəsi olan triflat anionlu ionlu mayələrin sintezi, tətbiq sahələri, sintez prosesində istifadə olunan ilkin materiallar və onların prosesa təsiri, alman məhsulları, onların təmizliyi prosesləri, [EMIM][TFO] və [BMIM][TFO], onların alınması, sənayedə tətbiq formaları qeyd edilmişdir.

Açar sözlər: ionlu maye, arınmış duz, ligni, Li-ion batareyaları, istilik daşıyıcı maddə

İonlu mayələr (İM) yeni sinif absorberlərdir. Onların alınma və istifadə tarixi XX əsrin əvvəllərinə aiddir. 1990-cı illərin əvvəllərində Vilkesin ammonium-xloridi heksaxlorfosfat və ya tetrafluoroborata əvəz etməklə rütubətlənməyə qarşı daha davamlı olan İM-ləri təqdim etməsi bu sahəyə olan marağı daha da artırdı. İM-lərin kationları kimi imidazoliumdan başlayaraq piridinium, ammonium, fosfonium, triazolium, triazolium, anion olaraq isə xlorid, bromid, yodid, heksafluorofosfat, tetrafluoroborat, triflat, bis (triflimid)imid və digər növləri də daxil olmaqla xeyli artmışdır [1].

Əksər İM-lər üzvi kation, üzvi və qeyri-üzvi poliatomik anionlardan ibarətdir [1]. Onlara otaq temperaturunda maye duzlar kimi baxılır. İM-lər nəzərə alınmayacaq dərəcədə zəif buxar təzyiqinə, yüksək kimyəvi və istilik dayanıqlığına malikdirlər. Toksik təbiətə malik deyillər, bu baxımdan da ekoloji təmiz maddələr hesab edilirlər. Son bir neçə il ərzində İM-ə maraq kəskin artmışdır. Buna səbəb isə onların tətbiq sahələrinin genişlənməsidir. İM-lərin rəngsiz, şəffaf maye olmasına baxmayaraq onların alınması üçün gedən sintez reaksiyalarında ilkin olaraq rəngli maddələr alınır. Rəngli maddənin alınması ionlu mayenin sintezində kation və anion tipinə görə dəyişir. Bu rəng isə ilkin maddələrin oksidləşmə reaksiyalarının qalıqları kimi qəbul edilir. Kation və anionun tə-

biətindən asılı olaraq bu rəng qalığının miqdarı da dəyişir. Məsələn, piridinium duzları imidazolium duzları ilə müqayisədə daha çox rəngli tullantılar yaratmağa meyillidirlər. İM-lərin tərkibində uçucu hissələr də mövcuddur və bunun müxtəlif səbəbi var. Belə ki, əksər hallarda sintez zamanı ekstraksiya mərhələlərində istifadə olunan həlledicilər, alkiləşmə reaksiyalarında (İM-lərin kationunu formalaşdırmaq üçün) reaksiyaya girməmiş başlanğıc maddələr və ya əvvəllər İM-lərdə həll edilmiş uçucu üzvi birləşmələr yaranır. Sintez prosesində izafi və məhdudlaşdırıcı maddə kimi istifadə edilən alkiləşmə maddəsi vakuum şəraitində səmərəli şəkildə çıxarılması üçün kifayət qədər uçucudur. Başqa ilkin maddələrin çıxarılması isə çətindir. 1-alkil-3-metilimidazolium kationlu İM-lərdə olan əsas çirkəl maddələrdən ən tipik olanı metilimidazoldur. Yüksək qaynama temperaturu (198 °C) və İM ilə güclü qarşılıqlı təsirin olması səbəbindən hətta yüksək temperatur və vakuum şəraitində belə bu birləşməni İM-lərdən çıxarmaq olduqca çətin olur [2, 3]. Odur ki, uyğun alkiləşmə şərtlərində istifadə etməklə reaksiyaya girməyən metilimidazolun son məhsulda olmadığından əmin olmaq lazımdır. İM-lərlə bağlı digər bir çətinlik onların hidrofob olmalarıdır. Adı halda suyun İM-nin tərkibində olması onun istifadəsində çətinlik yaradır. Bu problemi aradan qaldırmaq üçün İM istifa-

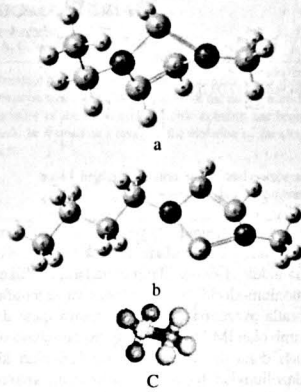
də olunmazdan əvvəl müxtəlif üsullarla qurudulur. Təbii sahəsindən asılı olaraq İM-lərin tərkibindəki suyun zərərli olub - olmadığını da müəyyən etmək lazımdır. Onların istifadəsindən əvvəl isə suyun miqdarı yoxlanılır. Bu proses keyfiyyətcə infraqırmızı spektroskopiyaya və ya tsiklik voltmetriyaya, kəmiyyətcə isə Karl-Fişer titrimetri ilə aparılır.

Biokütüldən enerjinin alınmasında İM-lərin rolu böyükdür. Belə ki, İM-lər biokütüldən əsas komponenti olan sellülozanın həlledilməsi və nisbətən yüksək enerji alınması məqsədilə ligninin (ən vacib bərpauluna bilən biokütlə materialı) tərkibini azaltmağa imkan verir. Xüsusilə bu prosedə metilimidazolium əsaslı ionlu mayelər daha geniş tətbiq edilir [4].

Yer kürəsində sənayenin inkişafı ilə əlaqədar olaraq, enerjiyə olan tələbatın artımı əsasən ənənəvi qalığı yanacaqlarla təmin edilir. Ənənəvi yanacaqlardan geniş istifadə edilməsi CO₂-nin atmosferdə emissiyasını artırır ki, bu da qlobal səviyyədə ekoloji böhrana yol açır [5]. Bu prosedə "istilik effekti"nin kifayət qədər təsiri vardır. Qlobal istiləşmənin qarşısını almaq üçün təbii qaz əsaslı zavodlardan CO₂-nin tutulması prosesləri həyata keçirilir. Həmçinin neft anbarlarında neftin bərpası üçün təmizləyici maye kimi də istifadə edilir. CO₂-nin əldə edilməsində ilkin mərhələ onu yuxarıda tutulması və parçalanmasıdır. CO₂-nin tutulması üçün üç əsas proses mövcuddur: yəmədən əvvəl tutulma, yəmədən sonra tutulma, oksiqazların yəməsi və təbii qazların təmizlənməsi. Yəmədən sonra olan prosedə CO₂-nin tutulması üçün ənənəvi texnologiyadan, yəni, kimyəvi absorbentlər olan sulu aminlərdən istifadə olunur. Yanan qazlar (baca qazları) sulu aminlər olan kamçerada axan zaman karbon qazı kimyəvi absorbsiyaya ilə tutulur. CO₂-nin tutulmasında aminlərdən istifadə olunmasında əsas effektivliyi onların yüksək reaktivliyi və udma qabiliyyəti olmaları ilə əlaqədardır. Ancaq buna baxmayaraq, yüksək buxar təzyiqli və korroziya təbii olmaları əsas çətinləşdiricilərdir. Buxar təzyiqinə malik olmaları onların atmosferə buxarlanması və nəticədə toksinlərin meydana gəlməsinə, korroziya təbiiyə malik olmaları isə onların texnoloji avadanlıqları zədələməsinə səbəb olur. Bu çətinləşdiricilərin qarşısını almaq üçün alternativ olaraq yəmə də İM-lər istifadə olunur. Xüsusilə də, CO₂-nin İM-də yaxşı

həll olması onun sənayedə bu cür tətbiqini daha da genişləndirir.

Elmi araşdırmaların zamanı istifadə etdiyim 1-etil-3-metilimidazolium trifluorometansulfonat [EMIM][TFO] və 1-butil-3-metilimidazolium trifluorometansulfonat [BMIM][TFO] İM-lərin əsasını təşkil edən triflatlar və ya "trifluorometansulfonat" CF₃SO₃ funksional qrupu {[TFO] və ya [OTf]} olan üzvi çoxatomlu ionlardır (Şəkil 1).



a) [EMIM]⁺ və b) [BMIM]⁺ kationu; c) [TFO]⁻ anionu.

Bu isə triflat turşusunun superturşu olma xüsusiyyətindən qaynaqlanır. Hətta turşuluq xassəsinə görə qüvvətli turşu hesab edilən sulfat turşusu ilə müqayisədə daha yüksəkdir. Triflatlar geniş istifadə edilən zəif koordinasiyalı anionlardır. Triflatların tətbiq sahələrinə əsasən nüklüofil əvəzəmə, Suzuki kombinasiyaları, Heck reaksiyaları kimi bir sıra üzvi reaksiyalarda istifadə olunan müəmməl ayrılma qrupu olması, onların lantanoidlərlə birgə 11 və 13-cü qrup elementləri üçün liqand kimi, bəzi Li-ion batareyalarında elektrolit tərkib hissəsi kimi istifadə olunması və s. daxildir. Xüsusilə sənayedə triflat anionlu ionlu mayelərin praktiki tətbiqi daha geniş maraqa doğurur. Bunlar hidrolitik cəhətdən kifayət qədər dayanıqlıdır və bu baxımdan digər anionlu (xüsusilə də, tetrafluo-

roborat BF₄ və heksafluorofosfat PF₆) İM-lər ilə müqayisədə daha perspektivli reaksiya mühiti hesab olunurlar [6]. Bundan əlavə, triflat anionlu İM-lərdə metimetaakrilatın polimerləşməsi əsasən ən yüksək molekulyar kütlü məhsullar verir. Təbii ki, bu xüsusiyyətlər təbii sintez və polimer kimyasında triflat İM-lərin tətbiqini əlverişli edir. Ancaq yüksək istilik və elektrokimyəvi dayanıqlıq xüsusiyyətlərinə görə onların istifadə imkanları daha genişdir. Məsələn, triflat İM-ləri istilikdaşıyıcı maddələr, lubrikantlar və elektrokimyəvi elementlər üçün elektrolit komponentləri kimi böyük maraqa kəsb edirlər. Xüsusilə elektrokimyada istifadə olunması üçün ionlu mayenin təmizliyi ən vacib amil hesab edilir. Məhz bu sahədə tətbiq edilənlər üçün triflat anionlu ionlu mayelərin sintezində keyfiyyətə nəzərət önəmli faktordur.

İM-lər özləri reaksiyaların aparılması üçün üzvi həlledicilərə alternativ kimi istifadə olunur. Son dövrlərdə İM-lər həlledicisiz halda mikroalga, güclü ultrasəs və bunların birgə şüalanması tətbiq edilərək test edilir. Belə ki, triflat anionlu İM-lər müəyyən bir qabda KOTf-in iştirakı ilə pindin, N-metilpirrolidin və ya N-metilimidazolium xlorburatı və ya xloroktanla reaksiyasından alınır. Deetlefs və Seddon sintez prosesi ilə bağlı hesab etmişdirlər ki, bu üsul "yaşıl kimya" tələblərinə nisbətən uyğun deyil, yəni "yaşıl" noticə almaq üçün İM-lərin üzvi maddələrin müvafiq alkiləşdirici reaktivlərlə alkiləşmə reaksiyası vasitəsilə sintezi daha məqsəduyğundur [1].

Trifluorometansulfonik olduqca güclü turşudur və triflat anionlu ionlu mayelərin sintezində başlanğıc maddə hesab edilir. [EMIM][TFO] və [BMIM][TFO] İM-lərin sintez prosesi aşağıdakı şəkildə aparılır: [EMIM][TFO]-nun sintezi üçün yeni distillə edilmiş etiltrifluorometansulfonattan istifadə edilir. Maddə 6 saat ərzində T=273.15K temperaturda maqnitlə qarışdırılan N-metilimidazolium iyonu içərisinə asta damcıladılır. Reaksiyanın sona çatması üçün qarışdırma T=303.15K temperaturda daha 12 saat davam etdirilir. Sonda etiltrifluorometansulfonattan qalıq qalan miqdar buxarlandırma ilə xaric edilir, məhsul isə şalfaf və rəngsiz maye kimi alınır. [BMIM][TFO]-nun sintezi də eyni üsul ilə aparılır və bu zaman metiltrifluorometansulfonattan istifadə edilir. Sintez zamanı ilkin komponentlərin təmizliyi dəqiq nəzərə alınmalıdır.

[EMIM][TFO] və [BMIM][TFO] də daxil olduğu tipik İM-lərin molekulyar ionları arasında güclü elektrostatik qüvvələrin təsir etdiyi maye dızlar olduğu üçün sınıflar əksər nümayəndələrinin zəif uçuculuq/yəməzlik və yüksək kimyəvi və elektrokimyəvi stabililik və s. kimi əsas xüsusiyyətlərə malikdirlər. Bu xassələrinə görə onlar həlledici və elektrolit kimi istifadəsi üçün əlverişli hesab olunur. Həlledicilik xüsusiyyətləri ilə yanaşı aşağı ərimə nöqtəsi, yaxşı istilik və kimyəvi dayanıqlığı, uçucu olmamaları, zəhərsiz olmaları və digər xüsusiyyətləri onların bərpə olunan, alternativ və yaşıl enerjiddən istifadə sahəsində olduqca əhəmiyyətli edir.

Qeyd edilən ionlu mayelər xüsusilə də [BMIM][TFO] CO₂-nin tutulması ilə yanaşı, həmçinin H₂S-in tutulması prosesində də istifadə edilir.

[EMIM][TFO] və [BMIM][TFO] İM-lər mayelər neft və qaz sənayəsində həmçinin naftin turşularının ekstraksiyası, çirkəndiricilərin təmizlənməsi, yanacaqların kükürddən təmizlənməsi, bioyanacaqların sintezi, təbii qazdan selektiv qazların və cəvən çıxarılması məqsədilə istifadə olunur. Bu İM-lər eyni zamanda CO₂-nin parçalanması üçün də istifadə edilir. Belə ki, digər ionlu mayelərlə müqayisədə [EMIM][TFO] və [BMIM][TFO] karbon qazını daha yaxşı həll edə bilirlər. Odu ki, CO₂-nin parçalanmasında bu ionlu mayelər membran fazanın hazırlanması üçün istifadə edilir.

Azərbaycanda da neft və sənayenin inkişafı ilə əlaqədar olaraq İM-lər maraqlı materiallar hesab edilir. Belə ki, AMG-10 hidravlik mayesinin distillatlarının selektiv təmizlənməsi məqsədilə İM ekstraksiyası tətbiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, hidravlik mayenin distillatının ekstraksiyasında İM-nin istifadə olunması zamanı yüksək dərəcədə dearmatlaşma dərəcəsi alınır [7].

Hal-hazırda Li-ion batareyalarında 0-50 C aralığında yığcam elektrik cihazlarının tətbiqində əsas komponentdir [1]. Elektrolitin fiziki təbiiyindən nəccə olmasından (maye, polimer və ya gel) asılı olmayaraq daşınma istiqaməti dəyişir. Tipik maye elektrolitləri tsiklik və xətti alkilkarbonatların qarışığına əsaslanır. Bu həlledicilər Li-ion batareyalarının fəaliyyətinə uyğunlaşdırılır. Elektrolit keçiriciliyini, eyni zamanda üzvi həlledicilərlə yanaşı çilçil problemlərdən azad olmaq üçün İM-lərdən yüksək ölçüli Li-ion batareyalarında elektrolit ki-

mi istifadəsi məqsəduyğundur. İM-lər yanmaya mütqavimat, zəif uçuculuq və geniş elektrokimyəvi dayanıqlıq göstərirlər. Xüsusilə, İM-lər üzvi həlledicilər və onların qarışıqlarının dəyişdirilməsi üçün daha uyğun hesab olunur [4, 8].

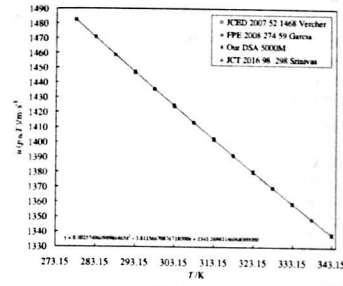
Məlumdur ki, əksər sənaye tətbiqlərində su istilik daşıyıcı maddə kimi daha çox istifadə olunur. Suyun yüksək istilik keçiriciliyi, xüsusi istiliyi var. Suyun istilik daşıyıcı maddə kimi istifadə olunmasında ən böyük çətinlik maye diapozonunu məhdud olmasdır. Daha geniş temperatur diapozonu zamanı istilikötürücü maddə kimi qazlardan istifadə edilir. Amma qazların sıxlığı, istilik tutumu və keçiriciliyi aşağı olduğuna görə onlar istilik daşıyıcı maddə olaraq mayələr kimi effektiv deyildir. Termiki yağlar maye fazanı təqribən 300 C-dək saxlaya bilər və termiki saxlanma mühiti və istilik daşıyıcı maddələr kimi istifadə olunur. Buna baxmayaraq aşağı parçalanma temperaturu, sıxlığın az olması, əlavə olaraq, yüksək buxar təzyiqi, zərərlik və zəif kimyəvi dayanıqlıq kimi xüsusiyyətləri onların tətbiqlərini məhdudlaşdırır. Maye metallar və ərimiş duzlar isə 250–1000 C kimi temperatur aralığında istilik daşıyıcı maddələr kimi tətbiq edilir. Şox zaman ərimiş duz mühiti kimi natrium nitrit, natrium nitrat və kalium nitrat qarışığı istifadə edilir. Belə istilik daşıyıcıları ilə işləyən qurğuların borusları və nasosların divarlarının qalınlığı, istilikdəyişdiricilərin və digər hissələrin yüksək temperatur diapozonunda işləməsinə baxmayaraq metal olduqları üçün buxar təzyiqləri daha aşağıdır [9]. Əsas problem odur ki, maye metal və ərimiş duzların maye halda saxlanmasını təmin etmək üçün istilik-dəyişdirici sistemin əvvəlcədən qızdırılması lazımdır. Əgər temperatur kifayət qədər olmadıqda halda maye və ya ərimiş duz donur. İM-lər isə ərimiş duzların geniş temperatur diapozonunda da maye halda olan qrupdur. İstilik daşıyıcı mühit kimi istifadə edilməsində əsas üstünlükləri göstərildikləri istilik-fiziki xassələrdir. Əsas xassələri isə yüksək sıxlıq, xüsusi termiki istilik tutumu, zəif buxar təzyiqi, yanmazlıq, yüksək kimyəvi və termiki dayanıqlılıqdır. Ən əsas üstünlükləri isə onları, kation və tərkibin tələb edilən xassələrə uyğun düzəldilməsinin mümkünlüyüdür. Anion və kationun müxtəlif kombinasiyaları İM-lərdən termiki mühit və istilik daşıyıcı mühit kimi istifadə edilə bilər.

İM-lərin zəif uçuculuq, yanmazlıq, yüksək termiki dayanıqlılıq, geniş maye diapozonu sürünmə sistemləri üçün istifadə edilən sürtgü yağların xassələrinə tam uyğun olması bu sahədə də İM-lərin tətbiqini aktual edir. Sərt sürünmə şərtləri sürtgü yağlarının yüksək istilik dayanıqlılığı və kimyəvi cəhətdən inert olmaları tələb edir. İM-ləri sürtgü yağlarından fərqləndirən bir xassa da onların yüksək polyarlığa malik olmalarıdır. Bu xüsusiyyət çox təsirli uducu səth və hazır tribokimyəvi reaksiya meydana gətirməyə imkan verir. Bu isə anti-korroziya qabliyyətli olmaları ilə nəticələnir. İonlu mayələrin sürtgü yağları kimi istifadəsi daha çox əsas yağlar, qatıq maddələri və nazik səthlər kimi tətbiq edilmişdir. Bu sahədə də ən çox imidazolium əsaslı ionlu mayələr daha çox perspektivlidir. Adı sürtkü yağları ilə müqayisədə zəif konsentrasiyalı İM-lərin əlavə edilməsi ilə həm laboratoriya triboloji qiymətləndirilməsində, həm də tamölçülü mühərrik dinamometr testləri zamanı korroziyanın və sürünmənin daha yüksək dərəcədə azalmasına nail olunur. Bu da İM-in sənayenin bu sahəsində də tətbiqi üçün məqsəduyğunluğunu və əlverişliliyini göstərir [10].

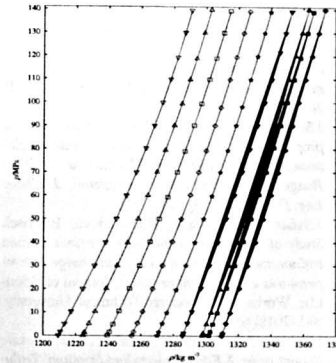
İM-lərin tətbiq edildikləri müxtəlif sahələrdə onların istilik-fiziki xassələri mühüm rol oynayır. Bu məqsədlə tədqiqatımızda [EMIM][TFO] və [BMIM][TFO] ionlu mayələrinin müxtəlif istilik-fiziki xassələrinin: atmosfer təzyiqində sıxlıq və səs sürəti [11] (Şəkil 2), xüsusi istilik tutumu [12], yüksək təzyiq və geniş temperatur intervalında sıxlıq [13] (Şəkil 3), özlülük [12, 14] (Şəkil 4) və CO₂-də həlləmə [15] (Şəkil 5) təcrübələri aparılmışdır. Tədqiqatlarımızın nəticələri çox saylı konfranslarda nümayiş edilmiş, yüksək impakt faktorlu jurnallarda dərc olunmuşdur.

Həmçinin ([EMIM][TFO]+CH₃OH) və ([BMIM][TFO]+CH₃OH) binar qarışıqlarının qeyd edilən istilik-fiziki xassələri ilə yanaşı eyni zamanda buxar təzyiqi tədqiq edilmişdir. Təcrübələrdə yüksək dəqiqlikli müasir cihazlardan istifadə edilmişdir: atmosfer təzyiqində səs sürəti və sıxlıq üçün Anton Paar DSA 5000M densimetri, (p, ρ, T) təcrübələri üçün Anton Paar DMA HPM densimetri, özlülük təcrübələri üçün Anton Paar SVM 3000 Stabinger viskozimetri və Anton Paar MCR 302 Rheometri, istilik tutumu təcrübələri üçün Perken

Elmer Pyris 1 DSC və µDSC Evo 7 differensial skaner kalorimetrləri.



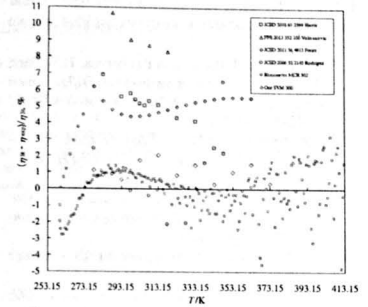
Şəkil 2
[EMIM][TFO]-in səs sürətinin $u(p, T)$ temperaturdan asılılığı.



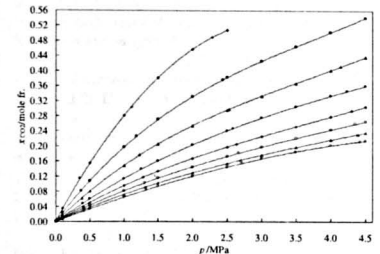
Şəkil 3
[BMIM][TFO]-nun sıxlığının müxtəlif temperaturlarda sıxlıqdan asılılığı.

Əldə edilən nəticələr ədəbiyyat qiymətləri ilə müqayisə edilmiş və xətalər hesablanmışdır. (p, ρ, T) təcrübələrindən alınan qiymətlərdən digər parametrlər, məsələn izotermiki sıxlıma $\kappa_T(p, T)/MPa^{-1}$, izobarik genişlənmə $\alpha_p(p, T)/K^{-1}$, daxili təzyiq $P_{int}(p, T)/MPa$, termiki təzyiq əmsalı $\gamma/MPa \cdot K^{-1}$, izo-

barik istilik tutumu $c_p(p, T)/J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$, izoxorik istilik tutumu $c_v/J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$, sabit təzyiqdə və sabit həcmə istilik tutumlarının fərqi $(c_p - c_v)/J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$, səs sürəti $u(p, T)/m \cdot s^{-1}$, izotropik sıxlıma əmsalı $\kappa(p, T)$ və s. termodinamikanın fundamental tənliklərindən istifadə edilərək hesablanmışdır.



Şəkil 4
[EMIM][TFO]-in özlülüyünün mövcud ədəbiyyat nəticələri ilə müqayisəsi.



Şəkil 5
[EMIM][TFO]-da həll olan CO₂-nin (x_{CO_2} /mole fraksiyası) təzyiqdən asılılığı p/MPa.

Qarışıqların sıxlıq təcrübələrindən alınan qiymətlərdən əlavə molyar həcm, xəyali molyar həcm və hissə molyar həcmələr hesablanmışdır. Təmin ionlu mayələrin və onların binar qarışıqlarının həm

təcrübədə alın, həm də hesablanan qiymətlərinin müxtəlif qrafiki asılılıqları təsvir edilmişdir.

NƏTİCƏ

İonlu mayelər yeni nəsil materiallar olub, texnikada və sənayenin demək olar ki, əksər sahələrində geniş tətbiq imkanlarına malikdirlər. Onlar göstərdikləri mükəmməl kimyəvi, istilik-fiziki və

elektrokimyəvi xüsusiyyətlərinə görə tətbiq sahələrini də genişləndirirlər. Həddicilik xassələri, alternativ və bərpa olunan və yaşıl enerji sahəsində ionlu mayelərin tətbiq edilməsini labüdləşdirir. Həmçinin, zəif uçuculuq, toksiki olmamaları, yamzalıq, elektrokimyəvi və yüksək istilik dayanıqlığı xassələrinə görə onlar tətbiq olunduqları müvafiq sahələrdə ekoloji cəhətdən təmiz və təhlükəsiz materiallar hesab edirlər.

1. N.V.Ignatev, P.Barthen, A.Kucheryna, H.Willner, P.Sartori. *A Convenient Synthesis of Triflate Anion Ionic Liquids and Their Properties, Molecules*, **17** (2012) 5319-5338.
2. P.Wasserscheid, T.Welton. *Ionic Liquids in Synthesis, 1st ed.; Wiley-VCH Verlag GmbH: Weinheim, Germany*, (2002).
3. P.Wasserscheid, T.Welton. *Ionic Liquids in Synthesis, 2nd ed.; Wiley-VCH Verlag GmbH: Weinheim, Germany*, (2008).
4. S.T.Handy. *Applications of ionic liquids in science and technology, Croatia*, (2011).
5. N.V.Rees, G.R.Compton. *Electrochemical CO₂ sequestration in ionic liquids; a perspective, Electrochemical CO₂ sequestration in ionic liquids; a perspective, Energy & Environmental Science*, **4** (2011) 403-408. |
6. D.R.MacFarlane, M.Tachikawa, M.Forsyth, M.J.Pringle, P.C.Howlett, G.D.Elliott, J.H.Davis, M.Watanabe, P.Simon, C.A.Angell. *Energy applications of ionic liquids, Energy & Environmental Science*, **7** (2014) 232-250.
7. A.B.Khalilov. *Ionic liquid deaeromatization of hydraulic liquid AMG-10, JPOR*, **21** (2020) 456-462.
8. Z.Liu, S.Z.El Abadin, F.Enders. *Electrochemical and spectroscopic study of Zn(II) coordination and Zn electrodeposition in three ionic liquids with the trifluoromethylsulfonate anion, different imidazolium ions and their mixtures with water, Phys. Chem. Chem. Phys.*, **17** (2015) 15945.
9. B.Wu, G.R.Reddy, D.R.Rogers. *Novel ionic liquid thermal storage for solar thermal electric power systems, International Solar Energy Conference, SED* (2001)-157, 445-451.
10. A.E.Somers, P.C.Howlett, D.R.MacFarlane, M.Forsyth. *A Review of Ionic Liquid Lubricants, Lubricants*, **1 №1** (2013) 3-21.
11. A.Guluzade, A.R.Goturi, J.Safarov, E. Hassel. *High accuracy speed of sound results of 1-ethyl-3-methylimidazolium trifluoromethanesulfonate, International Scientific and Technical Conference on "Measurement and quality: problems, perspectives", Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan*, 21-23 November, (2018) 490-493.
12. A.Guluzade, A.R.Goturi, J.Safarov, E.Hassel. *Viscosity and heat capacity of 1-ethyl-3-methylimidazolium trifluoromethanesulfonate over wide range of temperature, Transactions of Azerbaijan National Academy of Sciences, Series of Physical-mathematical and Technical Sciences, XXXVIII №5* (2018) 72-80.
13. J.Safarov, A.Guluzade, E.Hassel. *Thermophysical properties of 1-Butyl-3-methylimidazolium Trifluoromethanesulfonate Ionic Liquids in a Wide Range of Temperatures and Pressures, J. Chem. Eng. Data*, **64** (2019) 2247-2258.
14. J.Safarov, A.Guluzade, R.Hamidova, E.Hassel. *Study of viscosity of 1-butyl-3-methylimidazolium trifluoromethanesulfonate in a wide range of temperatures and ambient pressure, Journal of Scientific Works of Azerbaijan Technical University*, №2 (2018) 65-74.
15. J.Safarov, A.Guluzade, E.Hassel. *Carbon Dioxide Solubility in 1-Ethyl-3-methylimidazolium Trifluoromethanesulfonate or 1-Butyl-3-methylimidazolium Trifluoromethanesulfonate Ionic Liquids, J. Chem. Eng. Data*, **65** (2020) 1060-1067.

APPLICATION FIELDS OF [EMIM][TFO] and [BMIM][TFO] IONIC LIQUIDS

A.GULUZADE

Ionic liquids are a new generation of materials that have a wide range of applications in engineering and practically all industries. They expand their field of application due to their excellent chemical, thermophysical, and electrochemical properties. Solubility properties inevitably contribute to the use of ionic liquids in alternative, renewable and green energy applications. They are also considered environmentally friendly and safe materials in their respective fields due to their low volatility, non-toxicity, non-flammability, electrochemical properties and high thermal stability.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ [EMIM][TFO] И [BMIM][TFO]

A.ГУЛУЗАДЕ

Ионные жидкости - это новое поколение материалов, которые имеют широкий спектр применения в технике и, практически, во всех отраслях промышленности. Они расширяют область своего применения благодаря своим превосходным химическим, теплофизическим и электрохимическим свойствам. Свойства растворимости неизбежно способствуют использованию ионных жидкостей в альтернативной, возобновляемой и зеленой энергетике. Они также считаются экологически чистыми и безопасными материалами в соответствующих областях благодаря своей низкой летучести, нетоксичности, невоспалемости, электрохимическим свойствам и высокой термической стабильности.