

Антиоксидантні, антимікробні і трибологічні властивості йонної рідини 1-октил-3-метилімідазолій тетрафторборату

С.П. Рогальський, Т.М. Каменєва, Л.Г. Льошина, О.В. Булко,
О.П. Тарасюк, Ю.І. Богомолов, В.П. Кухар

Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України,
Україна, 02094 Київ, вул. Мурманська, 1; тел. (044) 559-46-22

Синтезовано водонерозчинну йонну рідину 1-октил-3-метилімідазолій тетрафторборат (ОМІМ- BF_4). Отримана сполука є термічно стійкою до 360 °С і має високу змащувальну здатність, знижуючи коефіцієнт тертя трибологічної пари сталь–сталь до 0,052. Встановлено антиоксидантні властивості ОМІМ- BF_4 за допомогою модельної системи ініційованого окиснення бензилового спирту. Показано, що обрив ланцюгів окиснення останнього відбувається за участі пероксильних радикалів. Визначено константу швидкості обриву ланцюгів інгібованого окиснення бензилового спирту, яка становить 6,02 л/(моль·с). Встановлено антимікробну активність ОМІМ- BF_4 по відношенню до бактерії *E.coli*.

За останнє десятиліття стрімко зросла кількість публікацій, присвячених синтезу, властивостям і застосуванню йонних рідин. До останніх відносять сольові сполуки, які є рідкими при кімнатній температурі, складаються з об'ємних органічних катіонів і неорганічних та органічних аніонів. Ці сполуки поєднують в собі такі унікальні властивості, як негорючість, низьку токсичність, надзвичайно низьку пружність парів, високу термостабільність, йонну провідність, а також високу розчинювальну здатність по відношенню до багатьох органічних і неорганічних сполук [1, 2]. Завдяки таким характеристикам йонні рідини мають практично необмежену область застосувань в науці й техніці, зокрема, як розчинники для проведення хімічних процесів, функціональні рідини, електроліти в хімічних джерелах енергії, модифікуючі домішки до полімерних матеріалів і т. д. [3–6]. За останні 10 років опубліковано ряд праць, в яких описано високі змащувальні властивості йонних рідин на основі солей 1-алкіл-3-метилімідазолію по відношенню до металів і керамічних матеріалів [7–12], а також для трибологічних систем термопластичний полімер–сталь [13, 14] і епоксидний полімер–сталь [15]. Основними перевагами йонних рідин над традиційними мастильними матеріалами є відсутність леткості, висока стійкість до термоокиснення, а також низькі температури замерзання. Завдяки своїй негорючості вони можуть застосовуватись у високотемпературних умовах експлуатації, де існує ризик займання традиційних мастил. Відсутність леткості йонних рідин надає їм перспективи застосування у вакуумних трибологічних системах у космічній галузі [7, 10]. Ще однією практично важливою властивістю йонних рідин для застосування в трибологічних системах є їх висока адсорбційна здатність по відношенню до металів, включаючи сталеву повер-

хню [16–18]. Йонні рідини здатні формувати бар'єрну плівку на ковзаючих поверхнях трибологічних пар, ефективно знижуючи їх тертя і стирання [8]. Більше того, йонні рідини з фторвмісними аніонами здатні до трибохімічних реакцій зі сталевими поверхнями в процесі тертя, формуючи сполуки FeF_2 і B_2O_3 , які надають їм антифрикційних властивостей [8, 10].

Йонні рідини також розглядають як перспективні модифікуючі домішки до традиційних мастил [7, 10]. Так, введення лише 1 масової частки солей 1-алкіл-3-метилімідазолію в мінеральні або синтетичні мастила знижує як коефіцієнт тертя контактних пар (сталь–сталь, сталь–алюміній), так і швидкість їх стирання майже на порядок [10]. Високі змащувальні властивості йонних рідин як домішок до традиційних мастил пояснюють їх здатністю формувати адсорбційні плівки на ковзаючих поверхнях, утворювати продукти трибохімічних реакцій з антифрикційними властивостями, а також легко суміщатись з базовими оливами [10]. До перерахованих вище переваг цих сполук варто додати їхню високу інгібуючу активність до корозії металів у кислому середовищі [16–18], а також широкий спектр антимікробних властивостей [19, 20]. Таким чином, імідазолієві йонні рідини можна розглядати як комплексні модифікуючі домішки до традиційних мастил, які здатні істотно покращувати їх антифрикційні характеристики в широкому діапазоні температур, а також підвищувати стійкість до дії шкідливих мікроорганізмів. Крім того, солі 1,3-діалкілімідазолію можуть проявляти антиоксидантну активність [21]. З практичної і економічної точок зору, перспективними для застосування в якості мастильних матеріалів є тетрафторборати 1-алкіл-3-метилімідазолію з алкільними радикалами $\text{C}_6\text{--}\text{C}_{12}$. Збільшення довжини алкільного замісника біля катіона 1-алкіл-3-метилімідазолію покращує триболо-

гічні характеристики йонної рідини і сумісність з базовими оливами, а також посилене гідрофобні властивості [7, 22, 23] і антимікробну активність [19, 20]. Водночас термічна стійкість таких сполук знижується зі збільшенням довжини аліфатичного радикала [22, 23].

Метою даної роботи було отримання гідрофобної йонної рідини на основі катіона 1-алкіл-3-метилімідазолію з оптимальним балансом термічної стійкості, змащувальних властивостей і антимікробної активності. Такі сполуки можуть бути перспективними комплексними модифікуючими домішками до традиційних мастил. Літературні дані щодо антимікробних властивостей йонних рідин в основному стосуються водорозчинних солей 1-алкіл-3-метилімідазолію [19, 20]. У зв'язку з цим одним із завдань досліджень було розроблення методики оцінки антимікробної активності водонерозчинних імідазолієвих йонних рідин. В літературі також мало даних, які стосуються досліджень антиоксидантних властивостей таких сполук. В даній роботі досліджено кінетичні закономірності взаємодії йонної рідини на основі 1-алкіл-3-метилімідазолію з вільними радикалами.

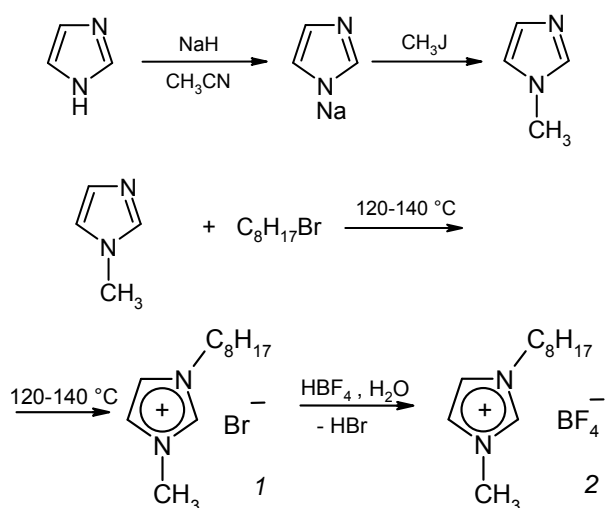
Експериментальна частина

Для синтезу йонної рідини використано такі реактиви: імідазол, йодистий метил, гідрид натрію, 1-бромоктан (Fluka), ацетонітрил, етилацетат, гексан, тетрафторборна кислота (40 %), метиленхлорид (Синбіас, Україна).

Ацетонітрил очищували за методикою, описаною в праці [24].

Синтез йонної рідини 1-октил-3-метилімідазолій тетрафторборату (ОМІМ-ВF₄).

Йонну рідину синтезували за методикою, описаною в праці [25].



Синтез йонної рідини 1-октил-3-метилімідазолій тетрафторборату

13 г гідриду натрію (60 % суспензія в парафіні) промивали на фільтрі гексаном (60 мл) і додавали до 200 мл сухого ацетонітрилу, після чого вводили порці-

ями 20 г (0,29 моль) імідазолу, перемішували суміш протягом 2 год до припинення газовиділення. До суміші по краплях при перемішуванні вводили 43 г (0,3 моль) йодистого метилу. Екзотермічну реакцію проводили протягом 2 год, після чого суміш кип'ятили 6 год. Ацетонітрил відганяли при нормальному тискові. Отриманий 1-метилімідазол переганяли у вакуумі водоструменевого насосу при 105–108 °С. Вихід продукту становив 18 г (75 %).

Суміш 27 г (0,14 моль) 1-бромоктану і 10 г (0,12 моль) 1-метилімідазолу нагрівали при перемішуванні і температурі 120–140 °С протягом 2 год. Після охолодження отримували в'язку рідину світло-коричневого кольору, яку промивали трьома порціями по 100 мл суміші етилацетат–гексан (3:1, об.) для видалення вихідних реагентів, що не вступили в реакцію. Залишки розчинників видаляли у вакуумі водоструменевого насосу при 60–70 °С. Отриману йонну рідину бромід 1-октил-3-метилімідазолію розчиняли в 200 мл води і додавали при перемішуванні 20 мл (0,15 моль) 40 %-го водного розчину тетрафторборної кислоти. Утворений водонерозчинний шар екстрагували метиленхлоридом (3 x 100 мл) і промивали об'єднаний розчин водою до нейтрального середовища. Розчин йонної рідини в метиленхлориді сушили над сульфатом натрію. Розчинник відганяли при нормальних умовах, залишки видаляли у вакуумі 10 мбар і температурі 80 °С протягом 8 год. Отримували рухливу рідину світло-коричневого кольору – тетрафторборат 1-октил-3-метилімідазолію. Вихід продукту складав 28,5 г (86 %).

¹H ЯМР (300 мГц, CDCl₃): δ = 0,86 (т, 3H, CH₃, J=7,2 Гц), 1,25–1,31 (м, 9H, CH₂), 1,86 (м, 3H, CH₂), 3,94 (с, 3H, NCH₃), 4,16 (т, 2H, NCH₂, J=7,2 Гц), 7,27–7,38 (м, 2H, NC(H)C(H)N), 8,78 (с, 1H, NC(H)N).

¹⁹F ЯМР (188 мГц, CDCl₃): δ = -151,4 (с, 4H).

Термогравіметричний аналіз (ТГА) йонної рідини проводили на дериватографі Q-1500D в діапазоні температур 20–1000 °С при швидкості нагрівання 10 °С / хв у повітрі. Маса зразка становила 100 мг. Згідно з результатами ТГА (рис. 1), температура початку деградації ОМІМ-ВF₄ в атмосфері повітря (втрата маси 5 %) становить 360 °С. Втрату маси 10 % було зареєстровано при 405 °С.

Динамічну в'язкість йонної рідини визначали на реометрі DV-III Ultra (Brookfield) при температурах 23 і 40 °С, швидкості деформації зсуву 200 с⁻¹.

Для визначення коефіцієнта тертя при використанні йонної рідини як змащувального матеріалу використовували машину тертя "Тріботест" з реалізацією схеми тертя "кільце–кільце". Деталі пари тертя виготовляли зі сталі Ст 45, загартовували й відшліфували робочі поверхні. Змащування пари тертя проводили зануренням в йонну рідину. Швидкість ковзання (відносного переміщення зразків) контролювали тахометром Т410-Р. Тиск на контакті становив 0,5 мПа.

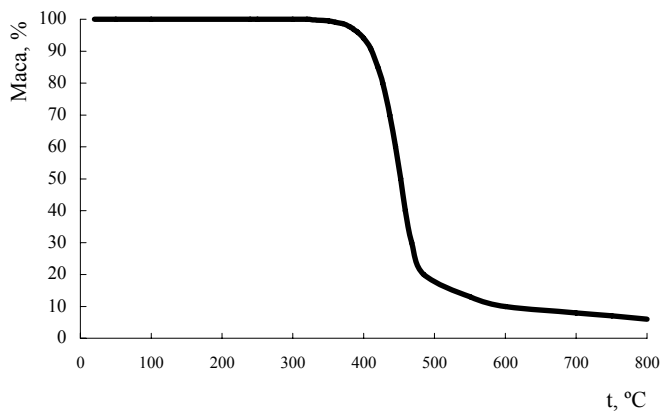


Рис. 1. Термогравіметрична крива йонної рідини ОМІМ-ВF₄

Антиокиснювальні властивості йонної рідини ОМІМ-ВF₄ досліджували в розчині бензилового спирту методом ініційованого окиснення при 50 °С.

Бензиловий спирт марки "С" очищували від можливих інгібуючих домішок методом одноразового пропускання крізь колонку з активованими оксидом алюмінію та вугіллям з подальшою перегонкою при тиску 3–5 кПа у середовищі аргону в присутності ацетилацетонату заліза(III) (Aldrich). Як ініціатор ланцюгів окиснення використовували 2,2'-азо-біс-ізобутиронітрил (АІБН) марки "С", очищений перекристалізацією з етанолу і висушений у вакуумі при 20 °С.

Швидкість окиснення БС вимірювали волюмотрично за поглинанням кисню [26]. Ефективність антиокиснювальної дії ОМІМ-ВF₄ визначали за початковою швидкістю ініційованого окиснення бензилового спирту. За умови кінетичного режиму окиснення газометрична установка дає змогу вимірювати швидкість поглинання кисню W в діапазоні 10^{-8} – 10^{-4} моль/(л·с) при конверсії субстрату 0,1–0,3 моль/л. Похибка досліджень становила 3–6 %.

Для визначення антимікробної активності йонної рідини використовували стандартний штаб *E. coli* GM 2163. Нічну культуру вирощували в 5 мл бульйону Luria-Bertani (LB): 5 г дріжджового екстракту, 10 г триптоні і 10 г NaCl на 1 л води при рН 7,5 і температурі 37 °С [27]. Стерилізацію середовища проводили автоклавуванням протягом 20 хв при тискові 1 атм. Концентрація бактеріальної культури становила 10^8 колоній утворюючих одиниць (оптична густина 0,2 при довжині хвилі 620 нм).

Середовище для росту бактерій (1л LB з додаванням 15 г бакто-агару) розливали у чашки Петрі по 25 мл. З метою приготування зразків для інкубації йонну рідину (2, 3, 10, 20, 25 мкл) розчиняли в 100 мкл спирту. Після застигання агару в чашках Петрі на середовище наносили по 100 мкл зразка, розтирали шпателем (~ 2 хв) до випаровування спирту. На плівку, що утворилася, наносили 50 мкл бактеріальної суспензії, рете-

льно розтираючи шпателем. До контрольної чашки додавали 100 мкл спирту без досліджуваної речовини. В іншому варіанті експерименту бактерії наносили штрихом за допомогою бактеріологічної петлі.

Антимікробну активність визначали підрахунком кількості колоній (КОЕ), що виростили на чашках після 12 год інкубації при 37 °С. Повне число колоній визначали за рівнянням, яке враховує можливе перекриття колоній:

$$N = N_{\text{спост}} \left[1 - \frac{q N_{\text{спост}}}{0,503 S} \right]^{-1}$$

де S – площа відбитку (см²); q – площа однієї колонії (см²); N – пошукуване повне число колоній; $N_{\text{спост}}$ – число спостережуваних колоній.

Максимальну частку площі, яку займають колонії, що не перекриваються, прийнято рівною 0,503, як при випадковому розміщенні нерухомих на площині дисків [28]. Тестування кожного варіанту проводили в трьох повторностях, визначаючи відсоткове співвідношення росту бактеріальних колоній.

Результати досліджень та їх обговорення

Термічні, реологічні і трибологічні властивості йонної рідини ОМІМ-ВF₄

При ковзанні твердих поверхонь одна відносно одної генерується тепло тертя, що спричинює зміну в'язкості змащувального мастила. Крім того, за підвищених температур прискорюється автоокиснення мастил. Такі процеси негативно впливають на змащувальні характеристики лубрикантів [7]. У зв'язку з цим термоокиснювальна стабільність мастил є однією з найважливіших характеристик для практичних застосувань.

Згідно з результатами ТГА (рис. 1), температура початку деструкції йонної рідини ОМІМ-ВF₄ в атмосфері повітря становить 360 °С при втраті маси 5 %. Втрату маси 10 % зареєстровано при 405 °С, 20 % – при 425 °С, 50 % – при 452 °С. Таким чином, йонна рідина має значно вищу термічну стійкість, ніж традиційні мастила на основі нафтових вуглеводнів, синтетичних естерів і диметилсиліконів, температура початку деструкції яких знаходиться нижче 300 °С [7].

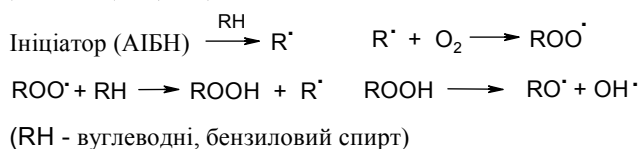
Динамічна в'язкість йонної рідини, визначена при 23 і 40 °С, становила 420 і 136 сП відповідно. Ці значення знаходяться в діапазоні значень в'язкості типових індустріальних мастил.

Згідно з результатами трибологічних досліджень, величина коефіцієнта тертя для системи сталь–сталь при змащуванні йонною рідиною становила 0,050; 0,052 і 0,057 при швидкостях тертя 0,4; 0,6 і 0,8 м/с відповідно. Отримані дані вказують на високу змащувальну здатність ОМІМ-ВF₄ і корелюють з літературними даними для імідазолієвих йонних рідин [7, 8]. Для порівняння, коефіцієнт тертя по сталі для іншої йонної рідини – 1-гексил-3-метилімідазолій гексафторфосфату, визначений в праці [8], становив 0,065, а коефіцієнт

ти тертя промислових низьколетких фторованих лубрикантів – фосфазену (X1-P) і перфторполіетеру (PFPE) – відповідно 0,098 і 0,145 [8].

Антиоксидантні властивості йонної рідини OMIM-BF₄

У модельній системі ініційованого окиснення бензилового спирту, як і при окисненні нафтових вуглеводнів, утворюються два типи вільних радикалів: алкільні R[•] (C₆H₅CH₂OH) і пероксильні ROO[•] (C₆H₅CH(OO)OH) [26, 28] за схемою:



Результати досліджень впливу OMIM-BF₄ на модельну систему ініційованого окиснення бензилового спирту при 50 °С вказують на його антиоксидантні властивості. Кінетичні залежності поглинання кисню бензиловим спиртом у присутності йонної рідини представлено на рис. 2. Система бензиловий спирт – АІБН поглинала кисень із швидкістю $W = 3,77 \cdot 10^{-6}$ моль/(л·с). Введення в розчин OMIM-BF₄ в діапазоні концентрацій від $0,75 \cdot 10^{-2}$ до $2,26 \cdot 10^{-1}$ моль/л знижувало початкову швидкість окиснення бензилового спирту до $0,37 \cdot 10^{-6}$ моль/(л·с) (рис. 2).

Швидкість ініційованого окиснення бензилового спирту в присутності йонної рідини з концентрацією $2,26 \cdot 10^{-1}$ моль/л, яку вимірювали за поглинанням кисню при його парціальних тисках 0,02–0,1 МПа, підпорядковується рівнянню (рис. 3):

$$W = \text{const} \cdot [\text{O}_2]^0 \cdot W_i / [\text{OMIM-BF}_4]$$

Таке підпорядкування свідчить про те, що обрив ланцюгів окиснення бензилового спирту іде за участі пероксильних, а не алкільних радикалів [29]. Із залежності параметра $F = W/W_0 - W/W_0$ ($W = W_0$ при $[\text{OMIM-BF}_4] = 0$) від початкової концентрації OMIM-BF₄ при постійній швидкості ініціювання (рис. 3) визначено константу швидкості обриву ланцюгів окиснення бензилового спирту $k_{\text{ROO}^{\bullet}} = 6,02$ л/(моль·с).

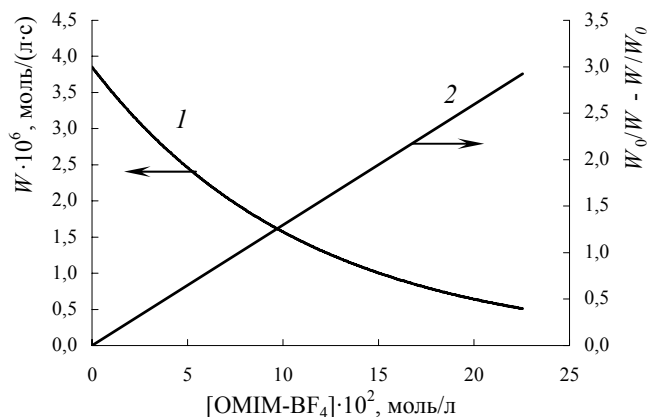
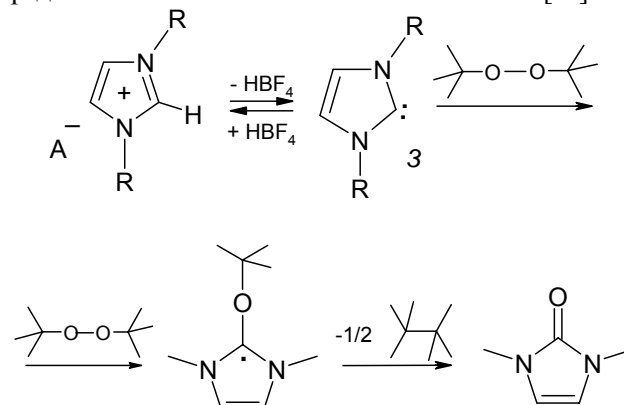


Рис. 2. Залежність швидкості окиснення бензилового спирту (1) і функції F (2) від початкової концентрації OMIM-BF₄ ($W_i = 2,98 \cdot 10^{-8}$ моль/(л·с), $t = 50$ °С)

В літературі антиоксидантну активність 1,3-діалкілімідазолієвих солей пояснюють взаємодією 1,3-діалкілімідазолієвого карбену (3) з пероксидами або радикальними частками за таким механізмом [21]:



Таким чином, можна припустити, що дезактивація пероксильних радикалів йонною рідиною OMIM-BF₄ проходить через їх взаємодію з 1-октил-3-метилімідазолієвим карбеном (3), який утворюється в модельній системі окиснення бензилового спирту, з утворенням 1-октил-3-метил-1,3-дигідро-2H-імідазол-2-ону (4):

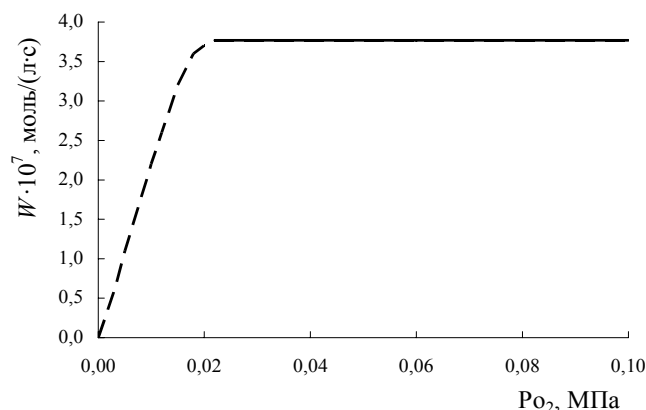
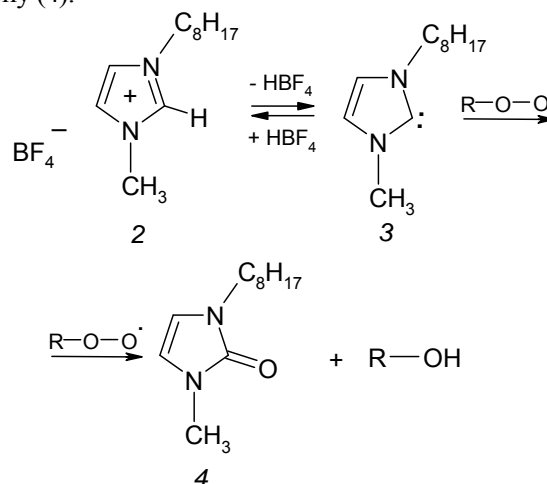


Рис. 3. Залежність швидкості окиснення бензилового спирту при 50 °С від парціального тиску кисню при $W_i = 2,98 \cdot 10^{-8}$ моль/(л·с) та $[\text{OMIM-BF}_4] = 2,26 \cdot 10^{-1}$ моль/л

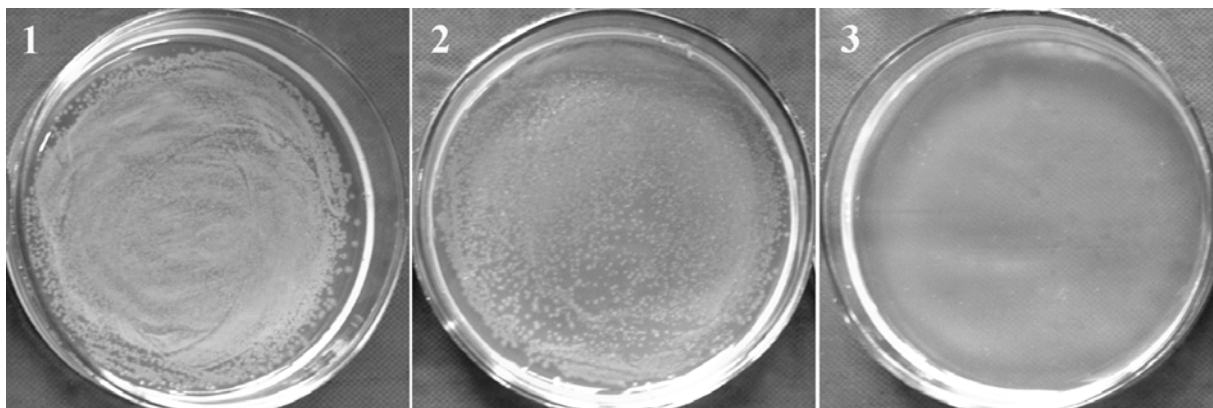


Рис. 4. Ріст бактеріальної культури *E. coli* на поверхні щільного живильного середовища після розсіву шпателем: 1 – контроль; 2 – в присутності 3 мкл ОМІМ-ВF₄; 3 – в присутності 25 мкл ОМІМ-ВF₄

Антимікробні властивості йонної рідини ОМІМ-ВF₄

Після 12-годинної інкубації бактеріальної суспензії *E. coli* GM 2163, яка була нанесена на LB-агар з додаванням різної кількості йонної рідини, отримано такі результати. На контрольній чашці Петрі без досліджуваної речовини бактерії вирости суцільним газоном (рис. 4), або щільним штрихом (рис. 5). Додавання зразка (розчину йонної рідини в 100 мкл спирту), який містив 2 мкл ОМІМ-ВF₄, не пригнічувало росту бактеріальної культури. Зразок, який містив 3 мкл ОМІМ-ВF₄, зменшував ріст мікроорганізмів на 10 %. Збільшення вмісту йонної рідини в зразку до 10 мкл спричинювало загибель 60 % бактерій, до 20 мкл речовини – 90 %. Введення зразка, який містив 25 мкл ОМІМ-ВF₄, повністю пригнічувало ріст тест-культури (рис. 4, 5).

В результаті досліджень встановлено мінімальний вміст йонної рідини в живильному середовищі (3 мкл), який затримує ріст бактеріальних колоній. Достатньою кількістю для 100% - ї антимікробної активності відносно штаму *E. coli* GM 2163 є введення 25 мкл ОМІМ-ВF₄.

Висновки

Синтезовано гідрофобну йонну рідину 1-октил-3-метилімідазолій тетрафторборат (ОМІМ-ВF₄) кватернізацією 1-метилімідазолу бромоктаном з наступним аніонним обміном між отриманим 1-октил-3-метилімідазолій бромідом і тетрафторборною кислотою. Синтезована йонна рідина є термічно стійкою до 360 °С і має високу змащувальну здатність, знижуючи коефіцієнт тертя трибологічної пари сталь–сталь до 0,052.

Встановлено антиоксидантні властивості ОМІМ-ВF₄ за допомогою модельної системи ініційованого окиснення бензилового спирту. Показано, що обрив ланцюгів його окиснення відбувається за участю пероксильних радикалів. Визначено константу швидкості обриву ланцюгів інгібованого окиснення бензилового спирту, яка становить 6,02 л/(моль·с).

Встановлено високу антимікробну активність ОМІМ-ВF₄ відносно бактерії *E. coli*.

Результати досліджень вказують на перспективність йонної рідини ОМІМ-ВF₄ як змащувальної оливи або комплексної присадки до базових оливи для покращення їх трибологічних властивостей, а також стійкості до термоокиснювальної деструкції і до дії мікроорганізмів.

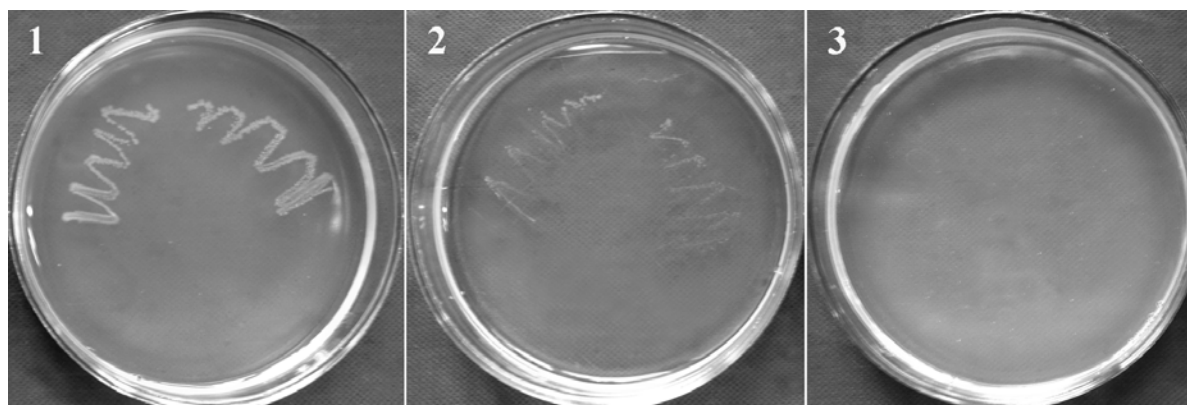


Рис. 5. Ріст бактеріальної культури *E. coli* на поверхні щільного живильного середовища після розсіву бактеріологічною петлею: 1 – контроль; 2 – в присутності 10 мкл ОМІМ-ВF₄; 3 – в присутності 25 мкл ОМІМ-ВF₄

1. Welton T., *Chem Rev.*, 1999, **99** (8), 2071–2084.
2. Earle M.J., Seddon K.R., *Pure Appl. Chem.*, 2000, **72** (7), 1391–1398.
3. Freemantle M., London C&EN. *Chem. Eng. News*, 2004, **82** (18), 26–29.
4. Weyershausen B., Lehmann K., *Green Chem.*, 2005, **7**, 15–19.
5. Kubisa P., *J. Polym. Sci.*, 2005, **43** (20), 4675–4683.
6. Zhao H., *Chem. Eng. Commun.*, 2006, **193**, 1660–1677.
7. Minami, I. *Molecules*, 2009, **14**, 2262–2269.
8. Liu W., Ye C., Gong Q., Wang H., Wang P., *Tribol. Lett.*, 2001, **13** (2), 81–85.
9. Zhou F., Liang Y., Liu W., *Chem. Soc. Rev.*, 2009, **28**, 2590–2599.
10. Bermudez M. D., Jimenez A. E., Sanes J. Carrion F., *J. Molecules*, 2009, **14**, 2888–2908.
11. Torimoto T., Tsuda T., Okazaki K., Kuwawata S., *Adv. Mater.*, 2010, **22**, 1196–1221.
12. Zhang C., Zhang Sh., Yu L., Zhang P., Zhang Z., Wu Z., *Tribol. Lett.*, 2012, **46** (1), 49–54.
13. Sanes J., Carrion, F.J., Bermudez M.D., Martinez-Nicolas G., *Tribol. Lett.*, 2006, **21**, 121–133.
14. Carrion F.J., Sanes J., Bermudez M.D., *Mater Lett.*, 2007, **61**, 4531–4535.
15. Sanes J., Carrion F.J., Bermudez M.D., *Wear*, 2010, **268**, 1295–1302.
16. Shukla S.K., Murulana L.C., Ebenso E.E., *Int. J. Electrochem. Sci.*, 2011, **6**, 4286–4295.
17. Scendo M., Uznanska J., *Int. J. Corros.*, 2011, **2011**, 1–13.
18. Quraishi M.A., Rafiquee M.Z. A., Khan S., Saxena N., *J. Appl. Electrochem.*, 2007, **37** (10), 1153–1162.
19. Docherty K., Kulpa C.F., *Green Chem.*, 2005, **7** (4), 185–189.
20. Ganske F., Bornscheuer U.T., *Biotechnol. Lett.*, 2006, **28** (7), 465–469.
21. Zhao L., Zhang C., Zhuo L., Zhang Y., Ying J.Y., *J. Am. Chem. Soc.*, 2008, **130**, 12586–12587.
22. Ngo H.L., LeCompte K., Hargens L., McEwen A.B., *Thermochim. Acta*, 2000, **357–358**, 97–102.
23. Anthony J.L. et al. *Physicochemical properties of ionic liquids*. In: Wassercheid P., Welton T., (Ed.). *Ionic Liquids in Synthesis*, Weinheim, Wiley-WCH, 2003, 41–126.
24. Беккер Г. и др., *Органикум. Практикум по органической химии*, Москва, Мир, 1979, 442.
25. Dzyuba S.V., *Synthesis, properties and applications of ionic liquids*. Dissertation submitted to the graduate faculty of Texas Tech University, 2002, 147.
26. Ковтун Г.А., Моисеев И.И., *Металлокомплексные ингибиторы окисления*, Киев, Наук. думка, 1993, 224.
27. Sambrook J., Fitch E.F., Maniatis T., *Molecular Cloning: A Laboratory Manual*, New York, Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1989, 1659.
28. Finegold S. M., *Hosp. Pract.*, 1979, **14** (10), 71–81.
29. Ковтун Г.А., Плужников В.А. *Химия ингибиторов окисления органических соединений*, Киев, Наук. думка, 1995, 296.

Надійшла до редакції 01.11.2012 р.

Антиоксидантные, антимикробные и трибологические свойства ионной жидкости 1-октил-3-метилимидазолий тетрафторбората

*С.П. Рогальский, Т.М. Каменева, Л.Г. Лешина, О.В. Булко,
О.П. Тарасюк, Ю.И. Богомолов, В.П. Кухарь*

*Институт биоорганической химии и нефтехимии НАН Украины,
Украина, 02094 Киев, ул. Мурманская, 1; тел. (044) 559-46-22*

Синтезирована водонерастворимая ионная жидкость 1-октил-3-метилимидазолий тетрафторборат (ОММ-ВF₄). Полученное соединение является термически устойчивым до 360 °С, имеет высокую смазочную способность, понижая коэффициент трения трибологической пары сталь-сталь до 0,052. Установлены антиоксидантные свойства ОММ-ВF₄ с помощью модельной системы окисления бензилового спирта. Показано, что обрыв цепей ингибированного окисления бензилового спирта происходит с участием пероксильных радикалов. Определена константа скорости этого процесса, которая составляет 6,02 л/(моль·с). Установлена антимикробная активность ОММ-ВF₄ по отношению к бактерии *E.coli*.

Antioxidant, antimicrobial and tribological properties of ionic liquid 1-octyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate

*S.P. Rogalsky, T.M. Kameneva, L.G. Lyoshina, O.V. Bulko,
O.P. Tarasyuk, Y.I. Bogomolov, V.P. Kukhar*

*Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry, NAS of Ukraine,
1, Murmanskaya Str., Kyiv, 02094, Ukraine, Tel.: (044) 559-46-22*

Water immiscible ionic liquid 1-octyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate (OMIM-BF₄) has been synthesized. The obtained compound is thermally stable up to at least 360 °C and has high lubricating properties, reducing friction coefficient for steel-steel tribological pair to at least 0,052. Antioxidant properties of OMIM-BF₄ have been established using model system of the initiated oxidation of benzyl alcohol. It has been demonstrated that the chains breaking of inhibited oxidation of benzyl alcohol proceeds with the participation of peroxy radicals. The rate constant of this process has been found to be equal to 6,02 l/(mol·s). Antimicrobial activity of OMIM-BF₄ against *E.coli* bacteria has been established.