

## РОЗДІЛ III. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

DOI: 10.25140/2411-5363-2022-2(28)-88-95

УДК 665

**Вікторія Воробйова<sup>1</sup>, Георгій Васильєв<sup>2</sup>, Інна Трус<sup>3</sup>, Ольга Лінючева<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри фізичної хімії

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: [vorobyovavika1988@gmail.com](mailto:vorobyovavika1988@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7479-9140>

ResearcherID: [J-5678-2017](https://orcid.org/0000-0001-7479-9140), Scopus Author ID: [55808771000](https://orcid.org/0000-0001-7479-9140)

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри технології електрохімічних виробництв

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: [g.vasyliiev@kpi.ua](mailto:g.vasyliiev@kpi.ua), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4056-5551>

ResearcherID: [I-3058-2018](https://orcid.org/0000-0003-4056-5551), Scopus Author ID: [56105504500](https://orcid.org/0000-0003-4056-5551)

<sup>3</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: [inna.trus.m@gmail.com](mailto:inna.trus.m@gmail.com), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6368-6933>

ResearcherID: [I-3204-2017](http://orcid.org/0000-0001-6368-6933), Scopus Author ID: [56152219600](http://orcid.org/0000-0001-6368-6933)

<sup>4</sup>доктор технічних наук, декан хіміко-технологічного факультету

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: [ovlin13@ukr.net](mailto:ovlin13@ukr.net), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4181-5946>

ResearcherID: [I-3755-2018](https://orcid.org/0000-0003-4181-5946), Scopus Author ID: [6506162803](https://orcid.org/0000-0003-4181-5946)

### ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИРОДНИХ ІОННИХ РІДИН НОВОГО ПОКОЛІННЯ

*Нині розвиток сучасної хімічної технології та інженерії спрямований на концепцію екологізації та впровадження «зелених» технологій. Тому вивчення низькотемпературних евтектичних розчинників, що є дешевими та екологічними, набуває особливо важливого значення. У роботі синтезовано 6 розчинників при використанні холін хлориду, молочної кислоти, проліну, бетаїну, пропанолу та сечовини. Підтверджено формування водневих зв'язків між компонентами та визначені електрохімічні характеристики синтезованих іонних рідин. Проведені дослідження показали, що сечовина та молочна кислота є найбільш придатними сполуками для утворення НЕР.*

**Ключові слова:** низькотемпературні евтектичні розчинники; холін хлорид; ІЧ-спектроскопія; електричний опір.

Рис.: 4. Табл.: 3. Бібл.: 6.

**Актуальність теми дослідження.** Концепція екологізації і впровадження «зелених» технологій є однією з ключових тенденцій у розвитку сучасної хімічної технології та інженерії.

**Постановка проблеми.** Основна частина хімічних технологій проходить за участю токсичних реагентів/прекурсорів, каталізаторів та є малоефективними і досить небезпечними для навколишнього середовища. Ця проблема набуває дедалі більшого значення не лише для України, а і для всього світу. Найбільш вдалим прикладом енерго- і ресурсозберігаючих технологій, що є безпечними для екології та ефективними для підприємств, є використання так званих біодеградабельних «зелених» технологій отримання речовин/матеріалів. Актуальним є використання «зелених» розчинників для різних галузей виробництва, а саме вилучення/синтезу органічних сполук, синтез наноматеріалів тощо, що дасть змогу отримати насправді екологічно безпечні речовини та матеріали/продукти на їх основі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Низькотемпературні евтектичні розчинники (НЕР) (deep eutectic solvents, DES) є новітніми, дешевими та екологічними розчинниками, яким нині закордонними науковими товариствами приділяється особлива увага [1–4]. Рідкі системи іонної природи, які отримані в результаті змішування в певному співвідношенні деяких індивідуальних органічних і(або) неорганічних речовин, мають низку практично корисних властивостей, а саме: ширший спектр екстракційної здатності, термічна та хімічна стійкість, полярність, варіативність складових, відносно високі плинність і електропровідність (порівняно з органічними розчинниками), нелеткість, непальність. Причому сфери їх

потенційного застосування варіюються від промислових багатотонних виробництв, які можливо використовувати в різних галузях хімічної промисловості (фармацевтичних, косметичних та харчових виробництв) та хімічного матеріалознавства (отримання нанодисперсних та наноструктурованих матеріалів), у природоохоронній галузі [5; 6].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Нині зв'язок між складом і властивостями НЕР не описано адекватно і їх розробка здійснюється методом проб і помилок. Тому актуальним завданням сьогодення є вивчення фізико-хімічних властивостей нових НЕР.

**Метою роботи** є підбір реагентів для синтезу нових високоефективних низькотемпературних іонних розчинників та проведення досліджень щодо визначення електрохімічних характеристик синтезованих іонних рідин.

**Виклад основного матеріалу досліджень.**

Приготування низькотемпературних евтектичних розчинників.

При проведенні експериментів використовувалися такі вихідні речовини (х.ч.): холін хлорид, сечовина, молочна кислота, ацетат натрію, пропандіол бетаїн та пролін.

Було приготовано 6 різних систем НЕР з різними співвідношеннями вище перерахованих компонентів (табл. 1).

*Таблиця 1 – Склад розчинів НЕР*

Скорочення	НВА	НBDs	Молярне співвідношення
НЕР -1	Холін хлорид	Сечовина	1:2
НЕР -2	Холін хлорид	Молочна кислота	1:2
НЕР -3	Ацетат натрію	Молочна кислота	1:2
НЕР -4	Холін хлорид	Пропандіол	1:2
НЕР -5	Пролін	Молочна кислота	1:2
НЕР -6	Бетаїн	Молочна кислота	1:2

Для приготування НЕР використовували здебільшого кристалічні речовини (за винятком молочної кислоти), що виступали донорами та акцепторами водневих зв'язків. Їх змішували в герметичних скляних колбах ємністю 100 мл у відповідних молярних співвідношеннях, виходячи з номера НЕР (табл. 1). Суміш поміщали на водяну баню та сплавили при температурі 70-80 °С до утворення однорідної, прозорої рідини. Перемішування проводили безперервно за допомогою магнітної мішалки зі швидкістю обертання 300 об/хв. Після утворення однорідної, прозорої рідини суміш охолоджували на повітрі до кімнатної температури.

Зняття поляризаційних кривих в розчинах низькотемпературних евтектичних розчинників.

У трьохелектродній комірниці проводилися зняття поляризаційних кривих. Платинові електроди були поляризовані струмом у діапазоні потенціалів -1,2...+1,2 В/SSCE. Швидкість сканування становила 10 мВ/сек. Досліди проводили тричі для збіжності результатів.

Поляризаційні криві знімали для визначення електрохімічного вікна стійкості розчинів НЕР. Електрохімічне вікно визначає діапазон потенціалів, де електроліт не окислюється та не відновлюється. Будь-які електрохімічні процеси можна проводити в електроліті тільки в цьому діапазоні потенціалів. Методику циклічної вольтамперометрії використовували для визначення ширини електрохімічного вікна. Циклічні поляризаційні криві знімали в розчинах НЕР з додаванням води з масовими частками 1, 5, 10 та 25 %, щоб відстежити зміни властивостей низькотемпературних евтектичних розчинників при їх розведенні.

Визначення електропровідності розчинів НЕР.

Електропровідність розчину є ключовим фактором, що впливає на споживання електроенергії в електрохімічних процесах, а також визначає розсіювальну здатність електроліту при електрохімічному осадженні. У дослідженні за допомогою кондуктометричних вимірювань електрохімічного імпедансу вимірювали електропровідність розчину.

Пару платинових електродів розмірами 1×1 см щільно закріпили на відстані 1 см один від одного та помістили у скляний стакан об'ємом 40 см<sup>3</sup>, що заповнений 20 см<sup>3</sup> досліджуваного розчину. Електричний сигнал частотою 1-100 кГц подавався між електродами від потенціостата Versa STAT 3 Гальваностат (AMETEK Scientific Instruments, США). Електричний опір визначали у високочастотній області (10 кГц). Значення електричного опору перераховували в одиницях провідності шляхом вимірювання опору стандартного розчину 0,2 М КСl у тій же комірці.

Для аналізу утворених низькотемпературних евтектичних розчинників проводили дослідження проб методом ІЧ-спектроскопії розчинів зі застосування ІЧ-спектрометра Фур'є SHIMADZU IRAffinity-1S з роздільною здатністю 4 см<sup>-1</sup>.

Розчини НЕР, для яких проводилися дослідження методом ІЧ-спектроскопії, наведені в таблиці 2. Методом інфрачервоної спектроскопії було підтверджено успішність проведеного синтезу отримання іонної рідини та характеристики хімічних зв'язків.

Таблиця 2 – Провідність НЕР залежно від вмісту води

НЕР	Провідність κ, См/м				
	Вміст води, % мас.				
	0	1	5	10	25
НЕР-1	0,094	0,193	0,725	1450	3412
НЕР-2	0,387	0,296	-	0,967	2071
НЕР-3	0,312	0,312	0,296	0,420	0,552
НЕР-4	0,1	0,13	0,16	0,22	0,34
НЕР-5	0,0034	0,0029	0,0046	0,0028	0,0047
НЕР-6	0,0025	0,0026	0,007	0,014	0,033

Як видно з таблиці 2, додавання води збільшує провідність усіх НЕР, але вплив води на них різний. Для системи холін хлорид/сечовина спостерігається найбільш значне підвищення провідності, майже в 36 тис. разів. Усі інші НЕР показали значно гірші значення: холін хлорид/молочна кислота приріст становив 5,2 тис. раза; ацетат натрію/молочна кислота – 1,8; холін хлорид – пропандіол – 3,4; пролін/молочна кислота – 1,3; бетаїн/молочна кислота – 13,2.

Оскільки дистильована вода має дуже низьку провідність, близько 10<sup>-4</sup> См/м, тому вона не здатна збільшувати провідність при додаванні до розчину. Отже, підвищення провідності можна пояснити дисоціацією компонентів НЕР у воді, що означає, що зв'язок між компонентами НЕР слабкий, і принаймні один із компонентів розчиняється і дисоціює в доданій воді.

При дослідженні зразку НЕР-2 було встановлено, що основні піки, тобто найбільші зміни випромінювання, проявлялись при інтенсивності 1633,71 см<sup>-1</sup>, що відповідає слабкій смугі зв'язку (R)-NH<sub>2</sub> і 3269,71 см<sup>-1</sup>, що відповідає зв'язку С-Н (атом Карбону в sp<sup>2</sup> гібридизації) (рис. 1). Ці типи зв'язків і взаємодія молекул речовин відповідають складу відповідного синтезованого НЕР. Із даних спектроскопії можна зробити висновок, що під час утворення НЕР сильні зв'язки холіну ОН...Cl та СООН...СООН при формуванні НЕР ChCl та LA утворюють нові міцніші міжмолекулярні зв'язки СООН...Cl, це пояснює стабільність рідкої фази. Методом інфрачервоної спектроскопії при аналізі НЕР додатково підтверджено формування водневого зв'язку. Відповідно до літературних даних припускається, що в отриманому НЕР може бути присутнім декілька типів Н-зв'язків: ОН (LA)-Cl-, ОН (ChCl)-Cl- і LA-LA.

При дослідженні другого зразку НЕР-4 встановили, що основні піки лежать у діапазоні від 524,64 см<sup>-1</sup> до 1477,47 см<sup>-1</sup>, це характеризує наявність у цьому синтезованому розчиннику С-С зв'язку (866,04 середня смуга інтенсивності), С = Н зв'язок (атом Карбону в sp<sup>2</sup> гібридизації, 921,97 см<sup>-1</sup>, сильна смуга випромінювання), С<sub>атом</sub>-Н зв'язок (атом Карбону

в ароматичному кільці,  $952,84\text{--}981,77\text{ cm}^{-1}$ ),  $(R)_2S=O$  зв'язок ( $1056,99\text{ cm}^{-1}$ ),  $(R)_2SO_2$  зв'язок ( $1134,14\text{ cm}^{-1}$ ),  $C=H$  зв'язок (атом Карбону в  $sp^2$  гібридизації,  $1417,68\text{ cm}^{-1}$ , сильна смуга випромінювання) та  $C=C$  зв'язок (атоми Карбону знаходяться в ароматичному кільці,  $1477,47$ ). Такі типи зв'язків та взаємодіє молекул речовин відповідають складу відповідного синтезованого НЕР.

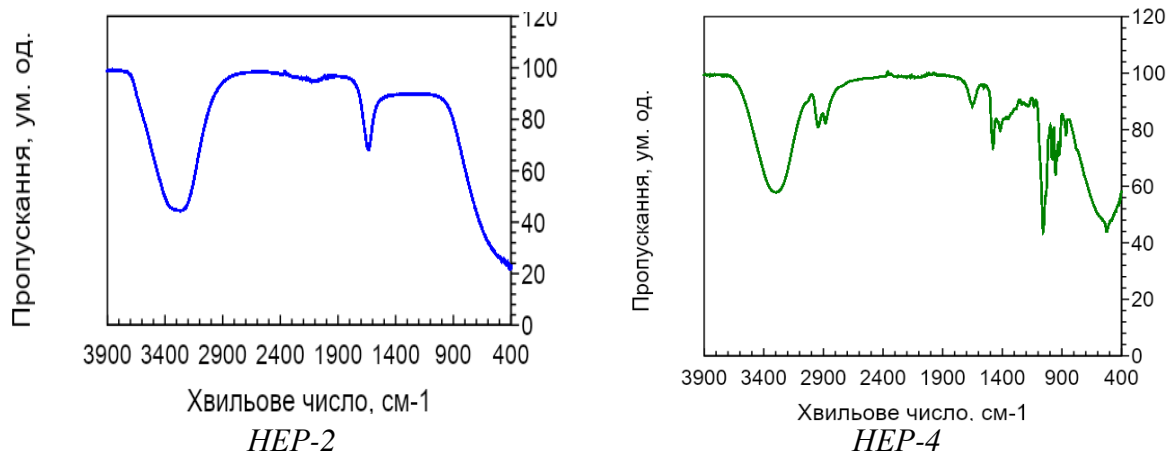


Рис. 1. Графік інфрачервої спектроскопії

При дослідженні третього зразку синтезованого НЕР-5 встановили, що основні піки також лежать у широкому діапазоні випромінювання від  $526,57\text{ cm}^{-1}$  до  $2981,95\text{ cm}^{-1}$ . Найвні такі переважні типи зв'язку:  $O-H$  (середня смуга випромінювання,  $744,52\text{ cm}^{-1}$ ),  $C=CH$  ( $821,68\text{ cm}^{-1}$ ),  $C-O$  (сильна смуга випромінювання  $1037,7\text{ cm}^{-1}$  –  $1575,84\text{ cm}^{-1}$ ),  $C-H$  зв'язок (атом вуглецю в  $sp^3$  гібридизації,  $2981,95\text{ cm}^{-1}$ ). Ці типи зв'язків та взаємодії молекул речовин відповідають складу відповідного синтезованого НЕР (рис. 2).

Результати дослідження четвертого НЕР-6 показали, що інтенсивність випромінювання лежить у діапазоні  $823,60\text{--}1490,97\text{ cm}^{-1}$ . Найвні такі переважні типи зв'язку:  $C=CH$  зв'язок ( $823,60\text{ cm}^{-1}$ ),  $C=H$  зв'язок (атом вуглецю в  $sp^2$  гібридизації,  $894,97\text{ cm}^{-1}$ ),  $CH=CH$  зв'язок ( $979,84\text{ cm}^{-1}$ ),  $C-O$  (сильна смуга випромінювання  $1043,49\text{--}1222,87\text{ cm}^{-1}$ ),  $(R)ONO_2$  зв'язки ( $1332,81\text{ cm}^{-1}$  та  $1396,46\text{ cm}^{-1}$ ) та  $C=C$  зв'язки (атоми Карбону знаходяться в ароматичному кільці,  $1454,33\text{ cm}^{-1}$  та  $1490,97\text{ cm}^{-1}$ ). Такі типи зв'язків та взаємодії молекул речовин відповідають складу відповідного синтезованого НЕР (рис. 2).

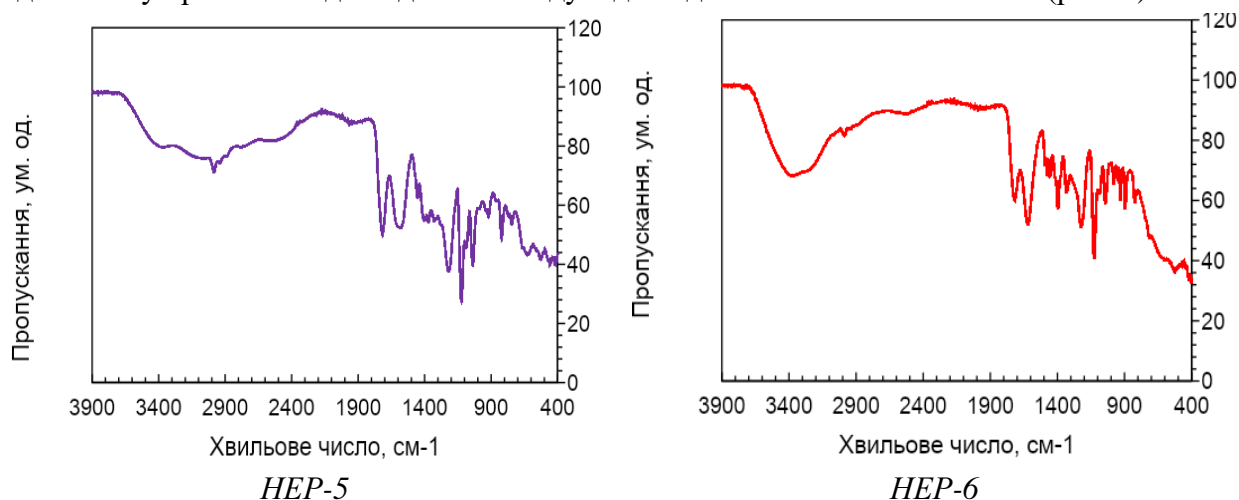


Рис. 2. Графік інфрачервої спектроскопії

Згідно з отриманими даними було підтверджено природу утворення НЕР шляхом донорно-акцепторної взаємодії молекул вихідних сполук. Усі синтезовані НЕР володіють схожими піками, а отже, для них притаманна подібність у властивостях.

**Результати досліджень електрохімічних характеристик низькотемпературних евтектичних розчинників.**

Для застосування в деяких областях хімічної технології до НЕР додають 10-30 % води для поліпшення властивостей. Було визначено опір систем НЕР залежно від вмісту води. Результати показали, що здатність проводити електричний струм переважно пов'язана з типом НВД в НЕР (рис. 3).

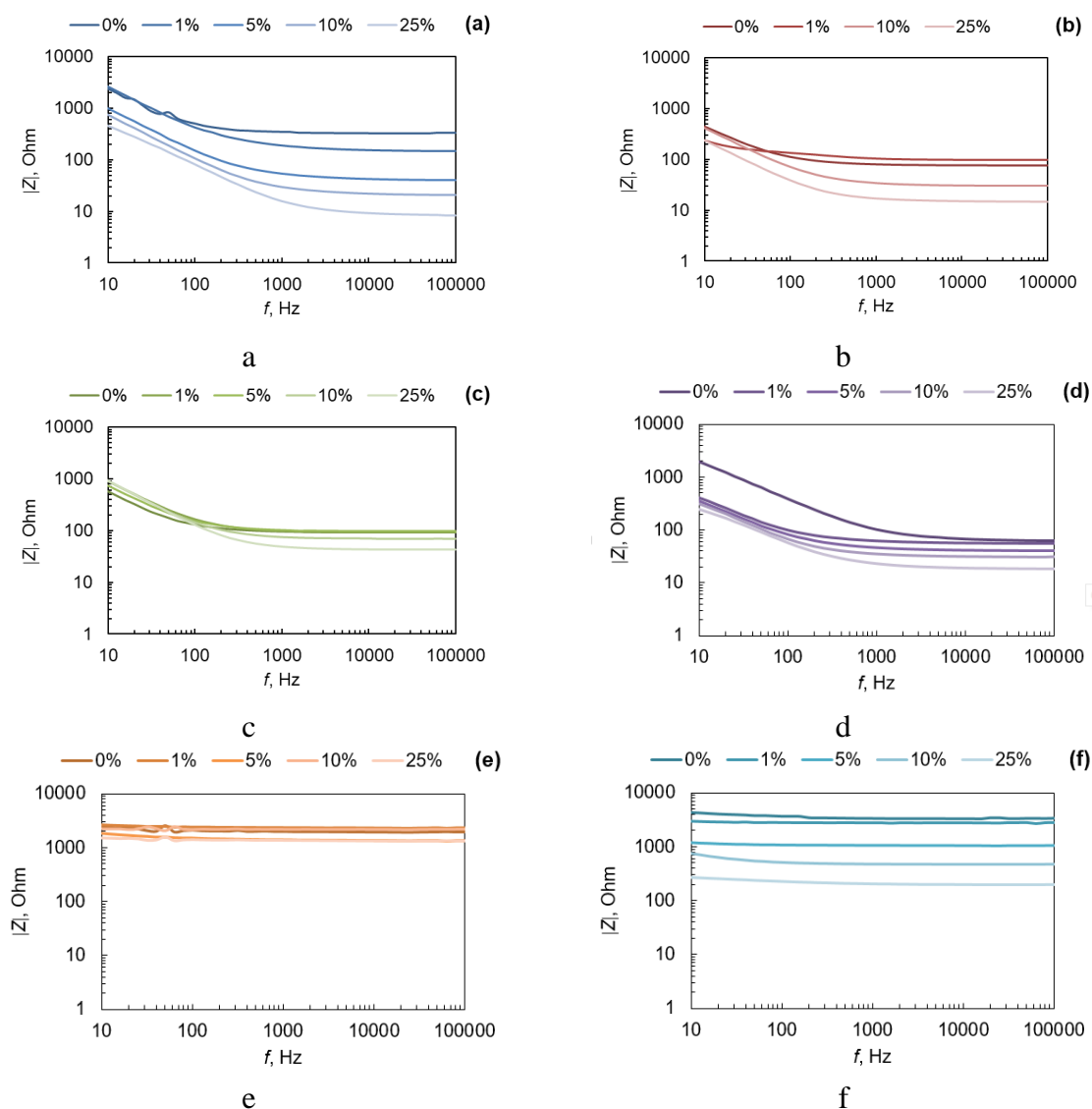


Рис. 3. Вплив вмісту води на електричний опір НЕР: (а) – хлорид холіну – сечовина; (b) – холін хлорид – молочна кислота; (c) – ацетат натрію – молочна кислота; (d) – холін хлорид – пропандіол; (e) – пролін – молочна кислота; (f) – бетаїн – молочна кислота

Дослідження вікон електрохімічної стабільності та вплив на його ширину вмісту води в системі наведені на рисунку 4.

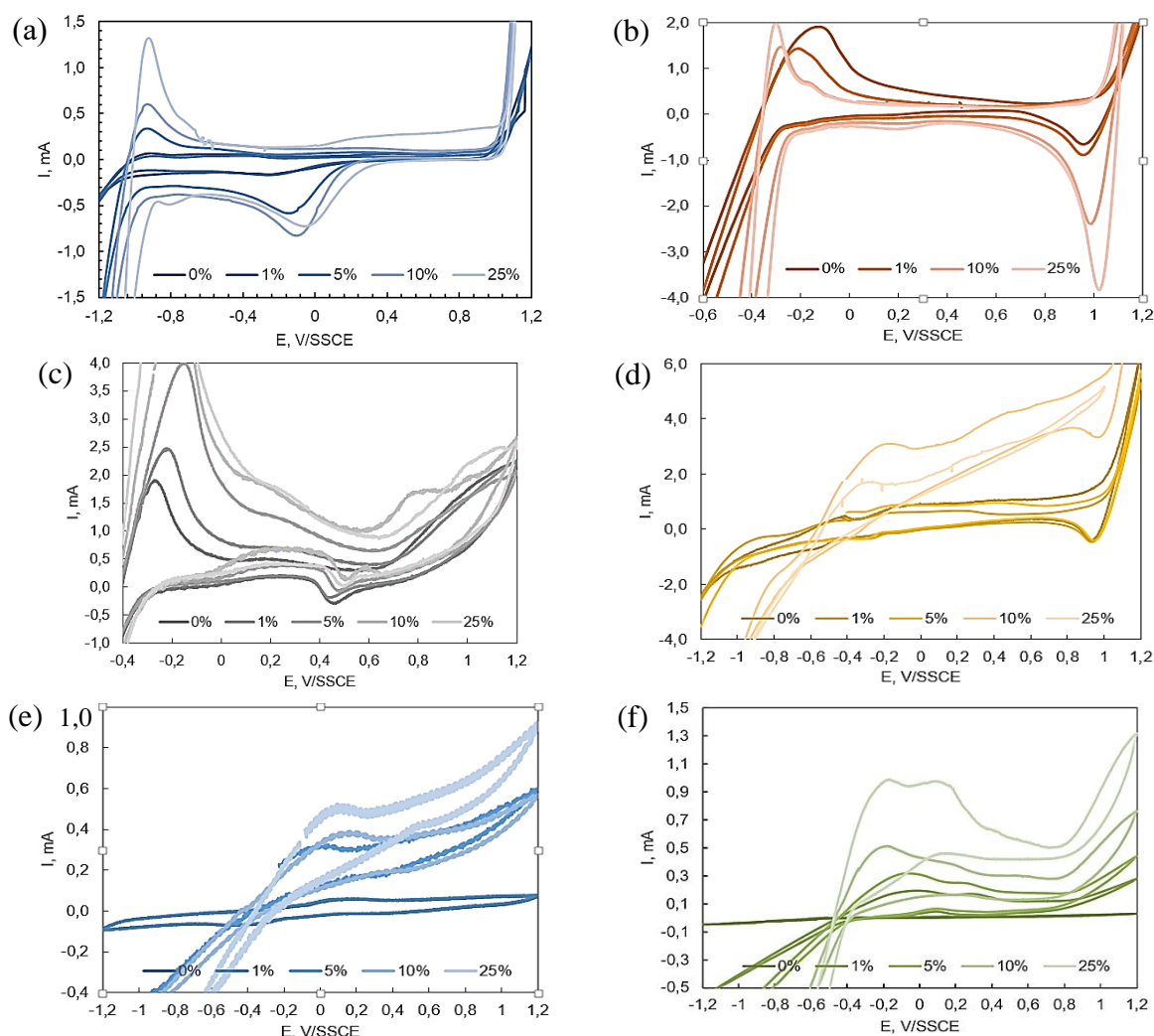


Рис. 4. Вплив вмісту води на вікно електрохімічної стабільності НЕР: (а) – хлорид холіну – сечовина; (b) – холіну хлорид – молочна кислота; (c) – ацетат натрію – молочна кислота; (d) – холін хлорид – пропандіол; (e) – пролін – молочна кислота; (f) – бетаїн – молочна кислота; EB – електрохімічне вікно

Ширину вікна визначали в межах потенціалів, коли струм не перевищував 10-100 мк А залежно від провідності розчину. Вікна електрохімічної стабільності для всіх випробуваних розчинів наведені в таблиці 3. Чисті розчинники демонструють найширше вікно стабільності, наприклад, холін хлорид – сечовина ESW перевищує 2 В. Додавання води призводить до звуження електрохімічного вікна. Однак залежність ширини вікна від вмісту води залежить від системи.

Таблиця 3 – Вікна електрохімічної стабільності НЕР залежно від вмісту води в їхньому складі

NER	Вікна електрохімічної стабільності, В				
	Вміст води, % мас.				
	0	1	5	10	25
NER-1	2,01	1,98	0,86	0,81	0,70
NER-2	1,33	1,32	-	1,22	1,21
NER-3	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93
NER-4	1,05	1,0	0,95	-	-
NER-5	2,4	2,4	-	-	-
NER-6	2,4	0,56	0,51	0,38	-

Таким чином, отримані результати досліджень показують, що більш придатними сполуками для утворення НЕР є сечовина й молочна кислота. Дослідження провідності та вікна електрохімічної стабільності НЕР показали вищу стабільність НЕР на основі молочної кислоти якості акцептора електронів. Додавання 25% мас. води збільшує провідність з 0,39 до 2,07 См/м, а ESW змінюється з 1,33 до 1,21 В.

**Висновки.** Синтезовано 6 низькотемпературних іонних розчинників при використанні холін хлориду, молочної кислоти, проліну, бетаїну, пропанолу та сечовини. Методом ІЧ-спектроскопії підтверджено формування водневих зв'язків між компонентами іонних рідин. Визначені електрохімічні характеристики синтезованих іонних рідин. НЕР на основі молочної кислоти є найбільш електропровідними та проявляють найбільшу електрохімічну стабільність. Додавання води в кількості 1...25 % призводить до зменшення ширини електрохімічного вікна з 1,33 до 1,21 В та збільшення електропровідності з 0,39 до 2,07 См/м.

#### Список використаних джерел

1. Solubility of metal oxides in deep eutectic solvents based on choline chloride / A. P. Abbott, G. Capper, D. L. Davies, K. J. McKenzie, & S. U. Obi // *Journal of Chemical & Engineering Data*. – 2006. – Vol. 51(4). – Pp. 1280-1282.
2. Natural deep eutectic solvents: properties, applications, and perspectives / Y. Liu, J. B. Friesen, J. B. McAlpine, D. C. Lankin, S. N. Chen, & G. F. Pauli // *Journal of natural products*. – 2018. – Vol. 81(3). – Pp. 79-690.
3. Modeling the physicochemical properties of natural deep eutectic solvents / A. Kovács, E. C. Neyts, I. Cornet, M. Wijnants & P. Billen // *ChemSusChem*. – 2020. – Vol. 13(15). – Pp. 3789-3804.
4. The perspectives of natural deep eutectic solvents in agri-food sector / A. Mišan, J. Nađpal, A. Stupar, M. Pojić, A. Mandić, R. Verpoorte & Y. H. Choi // *Critical reviews in food science and nutrition*. – 2020. – Vol. 60(15). – Pp. 2564-2592.
5. Дослідження компонентного складу та антиоксидантних властивостей екстракту продукту переробки томата / В. Воробйова, М. Скїба, І. Трус, С. Кирій, С. Сїренко // *Технічні науки та технології*. – 2021. – № 1(23). – С. 145-151.
6. Екстракція жмиху томату «зеленим» розчинником та оцінка антиоксидантних властивостей / В. І. Воробйова, М. І. Скїба, І. М. Трус, Г. С. Васильєв // *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імення Ігоря Сїкорського» Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження»*. – 2021. – № 2. – С. 59–65.

#### References

1. Abbott, A. P., Capper, G., Davies, D. L., McKenzie, K. J., & Obi, S. U. (2006). Solubility of metal oxides in deep eutectic solvents based on choline chloride. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 51(4), 1280-1282.
2. Liu, Y., Friesen, J. B., McAlpine, J. B., Lankin, D. C., Chen, S. N., & Pauli, G. F. (2018). Natural deep eutectic solvents: properties, applications, and perspectives. *Journal of natural products*, 81(3), 679-690.
3. Kovács, A., Neyts, E. C., Cornet, I., Wijnants, M., & Billen, P. (2020). Modeling the physicochemical properties of natural deep eutectic solvents. *ChemSusChem*, 13(15), 3789-3804.
4. Mišan, A., Nađpal, J., Stupar, A., Pojić, M., Mandić, A., Verpoorte, R., & Choi, Y. H. (2020). The perspectives of natural deep eutectic solvents in agri-food sector. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(15), 2564-2592.
5. Vorobyova, V., Sciba, M., Trus, I., Kyrii, S., & Sirenko, S. (2021). Research of component composition and antioxidant properties of tomato processed product extract. *Technical Sciences and Technology*, 1(23), 145–151.
6. Vorobyova, V., Skiba, M., Trus, I., & Vasyliyev, H. (2021). Extraction of tomato pomace with "green" solvents and evaluation of antioxidant properties. *Proceedings of the NTUU "Igor Sikorsky KPI". Series: Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving*, (2), 59–65.

Отримано 08.06.2022

**Viktoriia Vorobyova<sup>1</sup>, Georgii Vasyliiev<sup>2</sup>, Inna Trus<sup>3</sup>, Olga Linyucheva<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Physical Chemistry  
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [vorobyovavika1988@gmail.com](mailto:vorobyovavika1988@gmail.com), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7479-9140>

**ResearcherID:** [J-5678-2017](https://orcid.org/0000-0001-7479-9140), **Scopus Author ID:** [55808771000](https://orcid.org/0000-0001-7479-9140)

<sup>2</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Department of Electrochemical Production Technology  
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [g.vasyliiev@kpi.ua](mailto:g.vasyliiev@kpi.ua), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4056-5551>

**ResearcherID:** [I-3058-2018](https://orcid.org/0000-0003-4056-5551), **Scopus Author ID:** [56105504500](https://orcid.org/0000-0003-4056-5551)

<sup>3</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of ecology and technology of plant polymers  
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [inna.trus.m@gmail.com](mailto:inna.trus.m@gmail.com), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6368-6933>

**ResearcherID:** [I-3204-2017](http://orcid.org/0000-0001-6368-6933), **Scopus Author ID:** [56152219600](http://orcid.org/0000-0001-6368-6933)

<sup>4</sup>Doctor in Technical Sciences, Dean of Faculty of Chemical Technology  
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [ovlin13@ukr.net](mailto:ovlin13@ukr.net), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4181-5946>

**ResearcherID:** [I-3755-2018](https://orcid.org/0000-0003-4181-5946), **Scopus Author ID:** [6506162803](https://orcid.org/0000-0003-4181-5946)

**ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF NATURAL IONIC LIQUIDS  
OF NEW GENERATION**

Nowadays, the development of modern chemical technology and engineering is aimed at the concept of greening and implementation of "green" technologies. Therefore, the study of deep eutectic solvents (DES), which are cheap and environmentally friendly, is of particular importance. DES are a class of novel green solvents with a wide range of properties and applications. In the work, 6 solvents were synthesized using choline chloride, lactic acid, proline, betaine, propanol, and urea. These constituents jointly determine the nature of the synthesized DESs and their electrochemical behavior. The knowledge of physicochemical, electrochemical properties of DESs is also valuable to DESs practical applications. Electrical conductivity indicates the strength with which DESs can conduct electricity. The focus of the investigation is physicochemical properties (electrical conductivity, electrochemical window) deep eutectic solvents (DESs). The formation of hydrogen bonds between the components was confirmed and the electrochemical characteristics of the synthesized ionic liquids were determined. The conducted studies showed that urea and lactic acid are the most suitable compounds for the formation of DES. DESs have been synthesized using choline chloride, Betaine and Proline as hydrogen bond acceptors (HBAs). Choline chloride-urea, Choline chloride-lactic acid, Sodium acetate-lactic acid, Choline chloride-propanediol, Proline-lactic acid, Betaine-lactic acid were synthesized. The electrical conductivity of deep eutectic solvents was measured and the width of the electrochemical window was evaluated using cycling voltammetry. FTIR-ATR was carried out to confirm the formation of the DESs. FT-IR results confirmed that H-bonds, occurring between two components in DES, were the main force leading to the eutectic formation. Adding water in quantity 1...25% leads to a decrease in the width of the electrochemical window from 1.33 to 1.21 V and increase in electrical conductivity from 0.39 to 2.07 S/m.

**Keywords:** deep eutectic solvents; choline chloride; IR spectroscopy; electrical resistance.

**Fig.:** 4. **Table:** 3. **References:** 6.