Матеріали V Міжнародної наукової конференції

"Теоретичні та експернименталь ні аспекти сучасної хімії та матеріалів"

ТАСХ-26

Дніпро, 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ОЛЕСЯ ГОНЧАРА

ННІ «УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ» УКРАЇНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

МАТЕРІАЛИ V МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

“Теоретичні та експериментальні аспекти сучасної хімії та матеріалів”

20 травня 2026 р.

Дніпро
“Середняк Т.К.”
2026

УДК 54(062.552)

Ч 58

Теоретичні та експериментальні аспекти сучасної хімії та матеріалів ТАСХ-2026: Матеріали V Міжнародної наукової конференції. 20 травня 2026 р., м. Дніпро. – Дніпро: “Середняк Т.К.”, 2026. – 220 с.

ISBN 978-617-8540-90-6

У збірнику представлені тези доповідей учасників заочної конференції у авторській редакції за тематиками: полімерне матеріалознавство; хімія та технологія композиційних і наноматеріалів; аналітична хімія; інноваційні технології харчової промисловості; актуальні проблеми синтезу, структури та реакційної здатності органічних та елементоорганічних сполук; електроосадження металічних і полімерних покриттів; захист від корозійного руйнування; лакофарбові та захисні покриття.

Матеріали можуть бути корисними для викладачів, науковців, аспірантів, студентів та фахівців у галузі хімії, хімічної технології та агровиробництва.

ISBN 978-617-8540-90-6

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова комітету:

Кобець А.С., доктор наук з державного управління, професор, ректор ДДАЕУ;

Члени програмного комітету:

Баштаник П.І., к.т.н., доцент, доцент кафедри ТПП та ПМ ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет» Українського державного університету науки і технологій;

Варгалюк В.Ф., д.х.н., професор, професор кафедри фізичної, органічної та неорганічної хімії ДНУ ім. О. Гончара;

Вишнікін А.Б., д.х.н., професор, професор кафедри аналітичної хімії та хімічної технології ДНУ, академік АН вищої школи України;

Голіченко О.А., д.х.н., професор, професор кафедри фармації, хімії та технологій ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет» Українського державного університету науки і технологій;

Горобець В.Л., д.т.н., доцент кафедри експлуатації машино-тракторного парку ДДАЕУ;

Деркач О.Д., к.т.н., доцент, завідувач кафедри експлуатації МТП ДДАЕУ;

Кабат О.С., д.т.н., професор, завідувач кафедри інноваційної інженерії ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет» Українського державного університету науки і технологій;

Калюжний О.Б., к.т.н., доцент, доцент кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні Державного біотехнологічного університету;

Кошулько В.С., к.т.н., доцент, завідувач кафедри харчових технологій ДДАЕУ;

Крамарьов С.М., д.с.-г.н., професор, завідувач кафедри агрохімії ДДАЕУ;

Науменко О.П., д.т.н., професор, головний науковий співробітник ТОВ «Український науково-дослідний конструкторсько-технологічний інститут еластомерних матеріалів і виробів» «ДІНТЕМ»;

Пальчиков В.О., д.х.н., професор, директор НДІ хімії та геології ДНУ ім. О. Гончара, професор кафедри фізичної, органічної та неорганічної хімії ДНУ;

Проценко В.С., д.х.н., проф., професор кафедри фізичної хімії ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет» Українського державного університету науки і технологій;

Свердліковська О.С., д.х.н., професор, директорка ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет» Українського державного університету науки і технологій, професор кафедри ТПП та ПМ;

Ситар В.І., к.т.н., професор кафедри інноваційної інженерії ННІ «УДХТУ» Українського державного університету науки і технологій;

Чигвінцева О.П., к.т.н., доцент, завідувачка кафедри хімії ДДАЕУ;

Штамбург В.Г., д.х.н., професор, професор кафедри фармації та технології органічних речовин ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет» Українського державного університету науки і технологій.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова організаційного комітету:

Чигвінцева О.П., к.т.н., доцент, завідувачка кафедри хімії ДДАЕУ.

Члени організаційного комітету:

Петрушина Г.О., к.х.н., доцент, доцент каф. хімії ДДАЕУ;

Рула І.В., к.т.н., доцент, доцент каф. хімії ДДАЕУ;

Токар А.В., к.х.н., доцент, доцент каф. хімії ДДАЕУ;

Кравченко С.В., к.х.н., доцент, доцент каф. хімії ДДАЕУ;

Бойко Ю.В., к.т.н., старший викладач каф. хімії ДДАЕУ.

Секція 1

Полімерне матеріалознавство

Хімія та технологія композиційних і наноматеріалів

УДК 678.664

БІОСУМІСНІ ГІДРОГЕЛЕВІ МАТЕРІАЛИ З ПРОЛОНГОВАНИМ ВИВІЛЬНЕННЯМ ДАКАРБАЗИНУ

Вислогузова Т.В., Рожнова Р.А., Нечаєва Л.Ю., Наражайко Л.Ф.

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

вул. Харківське шосе, 48, 02155, м. Київ

rudenchyk@gmail.com

Поліакриламідні гідрогелі (ПААГ) є перспективними полімерними матрицями для вивільнення лікарських препаратів, оскільки їхню структуру та властивості можна змінювати шляхом варіювання концентрації мономера та зшивача, а також введенням модифікаторів [1, 2]. Особливий науковий інтерес становить лікарський препарат дакарбазин (ДАК) – цитостатичний протипухлинний хіміотерапевтичний препарат алкілуючого типу дії, який широко використовують при лікуванні метастатичної меланоми [3].

Тому, мета роботи полягала у розробленні та дослідженні властивостей гідрогелевих матеріалів із ДАК на основі гідрофільних ПААГ, модифікованих полі-*N*-вінілпіролідоном (ПВП), зокрема їх сорбційної та десорбційної здатності, а також цитотоксичності.

Гідрогелеві матеріали з ДАК отримували на основі ПААГ, модифікованих ПВП (у кількості 0,3, 0,5 та 1,0 мас. % відносно ваги акриламіду), які синтезували шляхом вільної радикальної полімеризації акриламіду, *N,N'*–метилен-біс-акриламіду та ПВП у натрій фосфатному буферному розчині (pH 8,0–8,5) в присутності окислювальної відновлювальної ініціюючої системи (персульфат амонію, *N,N,N',N'*–тетраметилетилендіамін) [4]. ДАК вводили до складу ПААГ (ПААГ-0,3 ПВП; ПААГ-0,5 ПВП; ПААГ-1,0 ПВП) у кількості 0,5 мас. %.

Сорбційні властивості гідрофільних ПААГ відносно ДАК досліджували занурюючи полімерні зразки у 0,0435 % розчин ДАК у дистильованій воді та вимірювали об'єм поглинутого розчину зразками. Згідно отриманих результатів, питома сорбція ДАК зразком ПААГ становить 22,08 мг/г. Введення до

структури ПААГ 0,3 мас. % ПВП призводить до зменшення її значення (21,15 мг/г). Збільшення вмісту ПВП у структурі гідрогелів до 0,5 і 1,0 мас. % спричиняє підвищення їх сорбційних можливостей, які становлять 22,73 та 23,42 мг/г відповідно.

Дослідження десорбції ДАК, тобто його вивільнення, здійснювали в цитратно-фосфатному буферному розчині (pH 5), що моделює середовище патологічного процесу в організмі. Після сорбції ДАК, зразки гідрогелів поміщали у буферний розчин і витримували в термостаті за температури 37 ^{o}C. Кількісне визначення ДАК у розчині проводили спектрофотометричним методом. Концентрацію вивільненого ДАК знаходили за калібрувальним графіком залежності оптичної густини розчинів ДАК у буфері від їх концентрації.

За результатами досліджень десорбції ДАК у буферному розчині, за 14 діб зі зразків ПААГ вивільняється 20,23 % ДАК, а із ПААГ, модифікованих ПВП – 24,13-28,03% (залежно від концентрації ПВП у структурі гідрогелів) (рис. 1). Для ПААГ та ПААГ, модифікованих ПВП у кількості 0,3 та 0,5 мас. % спостерігається підвищення кількості вивільненого ДАК. Для зразка ПААГ, модифікованого ПВП у кількості 1,0 мас. % відзначається зменшення десорбції ДАК. Це ймовірно пов’язано з кращим утриманням молекул ДАК полімерною матрицею завдяки підвищеному вмісту ПВП у її структурі.

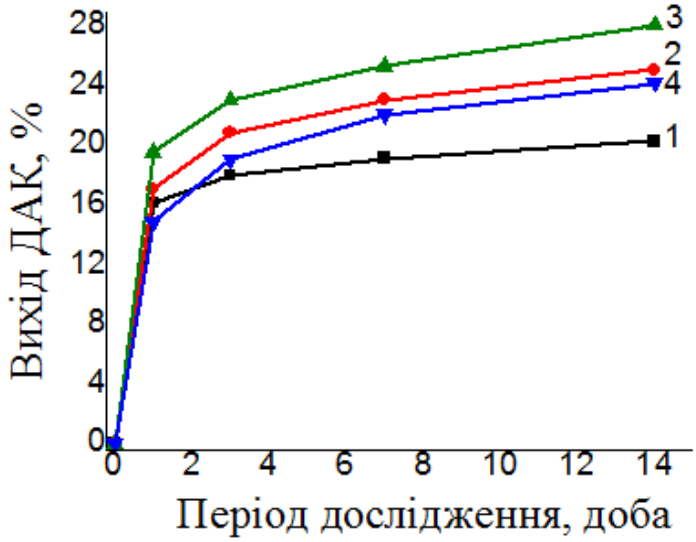


Рис. 1. Десорбція ДАК із зразків: 1 – ПААГ; 2 – ПААГ-0,3 ПВП; 3 – ПААГ-0,5 ПВП; 4 – ПААГ-1,0 ПВП

Вивчення ступеню біосумісності гідрогелевих матеріалів із ДАК здійснювали методом клітинної культури фібробластів, який є модельною тест-системою у токсикологічному експерименті. Зразки досліджували у вигляді витяжок, які отримували у біологічному середовищі 199 за температури 37 ^{o}C протягом 1 доби.

Перші ознаки росту, які проявлялися міграцією одиничних клітин спостерігалися до кінця 3 доби. На 5 добу у флаконах Карреля площі росту представлені двома зонами: сіткоподібною, що складається з сіткоподібно розташованих пучків і тяжів клітин, та зони мігруючих фібробластичних елементів. Ріст клітин при дослідженні витяжок зі зразків ПААГ з ДАК практично не відрізнявся від контролю. На 7 добу досліджень ріст клітинних елементів представлений трьома зонами: компактною, сіткоподібною та зоною мігріруючих клітин як для контролю, так і для витяжки з гідрогелевих матеріалів із ДАК (рис. 2а, рис. 2б).

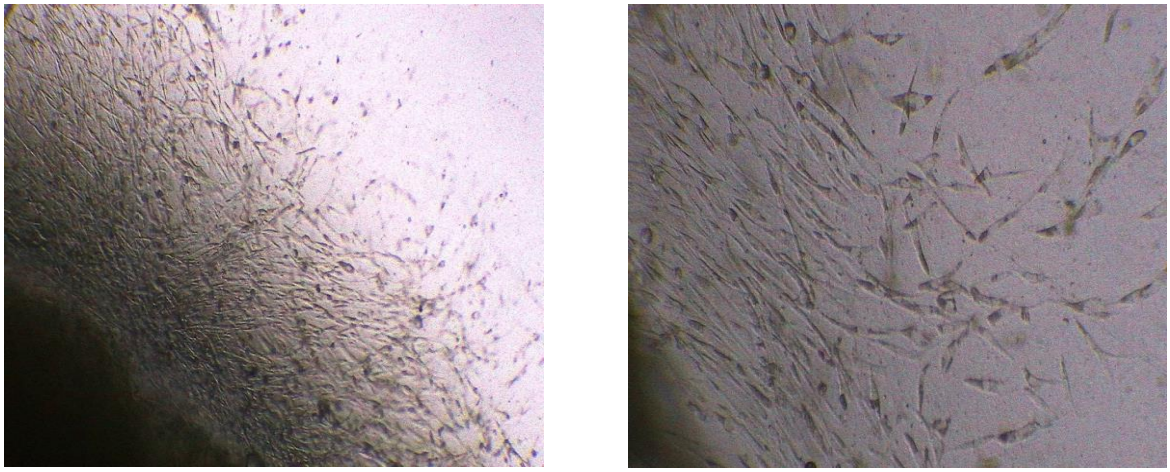


Рис. 2. Зони росту клітинних елементів на 7 добу культивування у флаконах із контролем (а) та у флаконах із витяжкою з ПААГ-0,5 ПВП із ДАК (б)

На 10 добу після експлантації відбувається збільшення зон росту та поява ознак дегенеративних змін окремих клітин, як у контрольних, так і в дослідних зразках. Щільність клітин більш виражена в зоні компактного розташування фібробластичних елементів. На 14 добу після експлантації клітинна популяція

вступає у фазу дегенерації у всіх флаконах, що характерно для даного терміну цієї культури.

Отже, відмінностей у динаміці росту й характері розташування клітин у культурах фібробластів для контролю та гідрогелевих матеріалів не виявлено. Екстракти з ПААГ із ДАК не викликають цитотоксичного впливу на фібробластичні клітини у культурі, що свідчить про їх біосумісність.

Таким чином, результати проведених досліджень демонструють здатність отриманих гідрогелевих матеріалів до сорбції та пролонгованого вивільнення ДАК, а також їхню біосумісність, що дає змогу використовувати ці матриці як системи контрольованої доставки лікарських препаратів.

Література:

1. Barbero C.A. Functional Materials Made by Combining Hydrogels (Cross-Linked Polyacrylamides) and Conducting Polymers (Polyanilines)—A Critical Review. *Polymers.* 2023, 15(10), 2240. https://doi.org/10.3390/polym15102240.

2. Wang Y., Nian G., Kim J., Suo Z. Polyacrylamide hydrogels. VI. Synthesis-property relation. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 2023, 170, 105099. https://doi.org/10.1016/j.jmps.2022.105099

3. Hervieu A., Re´be´ C., Ve'gran F., Chalmin F., Bruchard M., Vabres P., Apetoh L., Ghiringhelli F., Mignot G. Dacarbazine-Mediated Upregulation of NKG2D Ligands on Tumor Cells Activates NK and CD8 T Cells and Restrains Melanoma Growth. *Journal of Investigative Dermatology*. 2013. 133(2), 499-508. https://doi.org/10.1038/jid.2012.273

4. Vislohuzova T., Rozhnova R., Kiselova T., Kozlova G., Nechaeva L., Galatenko N. Hydrophilic Polyacrylamide Gels Modified with Poly-N-vinylpyrrolidone. *American Journal of Polymer Science and Technology*. 2024. 10(4), 90-96. https://doi.org/10.11648/j.ajpst.20241004.12

УДК 615.46

МАКРОПОРИСТИЙ МАТЕРІАЛ НА ОСНОВІ ЖЕЛАТИНУ АЛЬГІНАТУ НАТРІЮ ДЛЯ ТЕРАПІЇ РАН

Майкович О.В., Бородюк К.М., Надашкевич З.Я., Варваренко С.М.

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. Степана Бандери, 12, 79013, м. Львів

olha.v.maikovych@lpnu.ua

Макропористі матеріали є перспективним класом біомедичних покриттів для лікування хронічних, інфікованих та післяопераційних ран завдяки їхній високій адсорбційній здатності, гнучкості та можливості введення антимікробних агентів. Сучасні пінні пов'язки широко застосовуються у клінічній практиці, зокрема при лікуванні пролежнів, діабетичних та венозних виразок, а також у VAC-терапії [1–3]. Проте значна частина доступних матеріалів має обмежену пористість, недостатню швидкість поглинання ексудату або не містить антимікробних компонентів.

Метою роботи було отримання макропористого біополімерного матеріалу на основі поліелектролітного комплексу желатину та альгінату натрію, структурованого дигліцидиловим етером поліетиленгліколю (PEGDE-500), із введенням антисептика хлоргексидину для забезпечення бактерицидної дії та стабільності піни за рахунок додаткового зшивання (схема Рис. 1.).



Рис. 1. Схема отримання макропористого желатин-альгінатного матеріалу

Отримані зразки характеризуються високою гель-фракцією (90–95 %), рівномірною макропористою структурою з розміром пор 140–270 мкм та миттєвим поглинанням рідини. Введення хлоргексидину забезпечує виражену бактерицидну та бактеріостатичну дію, що є критично важливим при лікуванні інфікованих ран.

Таким чином, розроблений макропористий матеріал на основі желатину та альгінату натрію є перспективним для створення інноваційних антимікробних пов'язок та систем негативного тиску, що поєднують високу поглинальну здатність, структурну стабільність та антибактеріальний ефект.

Подяки. Представлені результати дослідження отримано за фінансової підтримки Національного фонду досліджень України у межах конкурсу «Дослідницькі інфраструктури для проведення передових наукових досліджень» в рамках проєкту 2023.05/0015 «Розробка гідрогелевих засобів надання невідкладної допомоги при проникних пораненнях черевної порожнини в межах створення центру досліджень нових полімерних матеріалів для медицини».

Література:

1. Santamaria N., Woo K., Beeckman D., Alves P., Cullen B., Gefen A., Lázaro-Martínez J. L., Lev-Tov H., Najafi B., Sharpe A., Swanson T. Clinical performance characteristics for bordered foam dressings in the treatment of complex wounds: An international wound dressing technology expert panel review. *International Wound Journal*. 2023. Vol. 20, No. 9. P. 3467–3473. https://doi:10.1111/iwj.14217

2. Hargis A., Yaghi M., Bermudez N. M., et al. Foam Dressings for Wound Healing. *Current Dermatology Reports*. 2024. Vol. 13. P. 28–35. https://doi:10.1007/s13671-024-00422-2

3. Jones V. When and how to use foam dressings. *Nursing Times*. 2000. Vol. 96, No. 36. P. 2. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11968607/

УДК 631.8:631.4

ІОННО-КЕРОВАНА ГІДРОГЕЛЕВА КАПСУЛА ЯК СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ВОЛОГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН

Потапчук М.О., Свердліковська О.С.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

o.sverdlikovska@gmail.com

Сучасні системи живлення рослин в умовах кліматичних змін стикаються з двома взаємопов’язаними обмеженнями: дефіцитом вологи та різкими коливаннями осмотичного потенціалу ґрунтового розчину. У періоди посухи традиційні мінеральні добрива можуть викликати локальні піки концентрації солей у ризосфері, що призводить до пригнічення кореневих волосків та зниження ефективності засвоєння елементів живлення.

Перспективним підходом до вирішення цієї проблеми є створення гідрогелевих систем, здатних не лише акумулювати воду, але й регулювати динаміку надходження поживних речовин у прикореневій зоні. У даній роботі запропоновано концепцію іонно-керованої гідрогелевої капсули, яка поєднує функції локального резервуара вологи, буфера солевих навантажень та носія елементів живлення.

Капсула має багаторівневу структуру типу «ядро–оболонка». Мінерально-целюлозне ядро (цеоліт, бентоніт, целюлозні компоненти) виконує роль сорбційного резервуара з високою ємністю катіонного обміну та здатністю до утримання розчинених іонів. Зовнішня гідрогелева оболонка на основі зшитого поліакрилату натрію забезпечує швидке поглинання води після зволоження та формування локальної вологої мікрозони в ризосфері.

Ключовою відмінністю запропонованої системи є використання іонної матриці, попередньо переведеної у поживні аніонні форми (NO_3^-, $H_2PO_4^-$, SO_4^{2-}, цитрат). Це дозволяє інтегрувати частину поживних елементів безпосередньо у

структуру носія, забезпечуючи більш керовану та пролонговану їх віддачу порівняно з традиційними сольовими формами.

Запропоновано здійснювати завантаження поживного розчину методом пост-імпрегнації вже сформованих гідрогелевих гранул. Такий підхід дозволяє уникнути передчасного зв’язування компонентів (зокрема кальцію з фосфатами та сульфатами) та зберегти високу здатність гідрогелю до набухання. Встановлено, що іонна сила розчину суттєво впливає на водопоглинання: у присутності солей ступінь набухання зменшується у 3–4 рази, що потребує оптимізації режиму завантаження (ступеневе насичення, контроль електропровідності).

Для підвищення стабільності системи запропоновано розділення живлення за принципом A/B: фосфорно-калійно-сірчаний та мікроелементний блок інтегрується у гідрокапсулу, тоді як кальцієво-нітратний компонент вноситься окремо. Такий підхід дозволяє уникнути утворення осадів та забезпечує гнучке регулювання живлення залежно від фаз розвитку рослин.

Механізм дії капсули включає кілька послідовних стадій: швидке поглинання води, її утримання в полімерно-мінеральній матриці, стабілізацію іонного складу за рахунок сорбційних процесів та поступове вивільнення поживних речовин у міру висихання ґрунту. Це забезпечує зниження пікових концентрацій солей у ризосфері та формування більш стабільного середовища для росту кореневої системи.

Отже, іонно-керована гідрогелева капсула є перспективним напрямом створення нових агрохімічних систем, що поєднують функції збереження вологи, буферизації осмотичного навантаження та пролонгованого живлення рослин. Запропонована концепція може бути адаптована для різних культур шляхом зміни складу завантажувального розчину та співвідношення компонентів матриці.

УДК 631.8:631.4

МОДИФІКАЦІЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПОЛІМЕРНИМИ ІОННИМИ РІДИНАМИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Потапчук М.О., Корнієнко І.С., Свердліковська О.С.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

o.sverdlikovska@gmail.com

Сучасний етап розвитку полімерної науки характеризується переходом від створення матеріалів із заданими базовими властивостями до розробки функціональних систем, здатних адаптивно реагувати на зовнішні впливи. У цьому контексті особливого значення набувають полімерні композиційні матеріали, структура яких може бути цілеспрямовано модифікована за рахунок введення активних компонентів молекулярного рівня.

Одним із найбільш перспективних напрямів є використання полімерних іонних рідин як функціональних модифікаторів. На відміну від традиційних пластифікаторів та наповнювачів, такі сполуки не лише змінюють макроскопічні характеристики матеріалу, але й активно впливають на формування його внутрішньої структури, забезпечуючи контрольовану зміну фізико-хімічних та електрофізичних властивостей.

Полімерні іонні рідини на основі четвертинних амонієвих солей, зокрема похідних морфоліну, характеризуються комплексом властивостей, що включає високу полярність, термічну стабільність, низьку температуру склування та значну іонну провідність. Поєднання цих характеристик обумовлює їх ефективність у складі полімерних композицій різного функціонального призначення.

Синтез досліджуваних полімерних іонних рідин здійснювали шляхом взаємодії третинних діамінів на основі морфоліну з дигалогенідами у зміша-

ному розчиннику ацетон – вода. Проведення реакції за температури 50-60 °С протягом 14-16 годин дозволяє забезпечити оптимальні умови росту полімерного ланцюга та формування продуктів із заданою молекулярною масою. Встановлено, що концентрація вихідних мономерів у межах 0,3-0,4 моль/л є визначальною для отримання полімерів із стабільними фізико-хімічними характеристиками.

Отримані полімерні іонні рідини демонструють іонну провідність на рівні $(2–8)\cdot10^{-4}$ См·см$^{-1}$ за температури 25 °С. При підвищенні температури спостерігається закономірне зростання провідності, що корелює зі зменшенням в'язкості системи та підвищенням рухливості іонів. Важливою особливістю є збереження функціональних властивостей у широкому температурному інтервалі, зокрема до –30°С, що розширює можливості їх практичного використання.

Введення полімерних іонних рідин у полімерні матриці призводить до суттєвої перебудови надмолекулярної структури композицій. За рахунок іон-дипольних взаємодій, а також утворення водневих зв'язків між функціональними групами компонентів формується більш однорідна система з розвиненою міжфазною областю. Це забезпечує підвищення сумісності компонентів та стабілізацію структури композиційного матеріалу.

Експериментально встановлено, що введення 3-7 мас. % полімерної іонної рідини у полімерну матрицю супроводжується зниженням температури склування на 10-12°С, що свідчить про реалізацію ефекту внутрішнього пластифікування. Одночасно спостерігається підвищення еластичності матеріалу та покращення його реологічних характеристик, що є важливим для технологічної переробки композицій.

Особливу роль у формуванні властивостей відіграє хімічна будова полімерних іонних рідин. Встановлено, що введення алкілароматичних фрагментів у структуру катіонної частини призводить до розпушення пакування макромолекул полімеру та збільшення вільного об'єму системи. Це сприяє зростанню

рухливості іонів і, як наслідок, підвищенню електропровідності композицій на порядок порівняно з немодифікованими матеріалами.

Значний вплив на електрофізичні характеристики має також природа аніону. Показано, що заміна бромід-аніону на хлорид-аніон забезпечує підвищення іонної провідності композицій у середньому на 40-60 %. Такий ефект обумовлений зменшенням розміру аніону та підвищенням його рухливості в полімерному середовищі. Крім того, введення функціональних груп, здатних до утворення водневих зв'язків, сприяє додатковій стабілізації структури матеріалу.

Важливою особливістю модифікованих композицій є поєднання механічних і електрофізичних властивостей. Полімерні іонні рідини виконують роль не лише пластифікаторів, але й активних структуроутворювачів, що формують канали переносу заряду в об'ємі матеріалу. Це забезпечує можливість створення композицій із керованою електропровідністю, що є актуальним для електроактивних полімерних систем.

Отримані результати дозволяють розглядати полімерні іонні рідини як універсальні модифікатори полімерних композиційних матеріалів. Їх використання забезпечує цілеспрямоване регулювання структури, механічних, реологічних та електрофізичних властивостей, що відкриває широкі перспективи для створення матеріалів нового покоління.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання модифікованих композицій у якості електроактивних матеріалів, антистатичних покриттів, компонентів полімерних електролітів та функціональних плівок. Гнучкість варіювання складу та структури полімерних іонних рідин дозволяє адаптувати властивості матеріалів під конкретні умови експлуатації.

Таким чином, встановлені закономірності впливу полімерних іонних рідин на структуру і властивості полімерних композицій підтверджують ефективність їх використання як функціональних модифікаторів. Подальший розвиток даного напрямку пов'язаний із оптимізацією складу іонних рідин та дослідженням їх взаємодії з різними типами полімерних матриць.

УДК 541.49:546.791.6 +546.73

ПОЛІЕТЕРГАУНІДИНУРЕТАНАКРИЛАТ ТА ЙОГО СТІЙКІСТЬ ДО МІКРОБНОЇ ДЕСТРУКЦІЇ

Вортман М.Я..[1], Коптєва Ж.П.[2], Коптєва Г.Є.[2],

Іутинська Г.О. [2], Лемешко В.М.[1], Шевченко В.В.[1]

[1]Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

вул. Харківське шосе, 48, 02160, м. Київ

vmar1962@i.ua

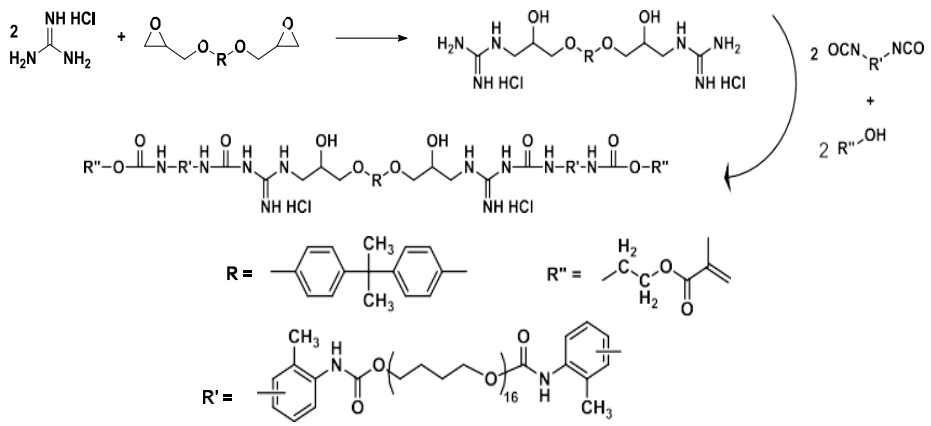
[2]Інститут мікробіології та вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України

вул. Академіка Заболотного, 154, 03143, м. Київ

Мікробна деструкція знижує захисні властивості матеріалів і ініціює або стимулює процеси їхнього руйнування. Ізоляційні покриття здійснюють антикорозійний захист різних поверхонь, які на сьогоднішній день різноманітні за хімічним складом [1]. Матеріали на основі епоксиакрилатних олігомерів мають унікальний комплекс цінних експлуатаційних властивостей. Висока адгезія до багатьох матеріалів, хороші електроізоляційні властивості, хімічна стійкість, висока міцність – все це забезпечує їх успішне застосування в різних галузях науки і техніки, у тому числі для захисних покриттів [2].

Метою даної роботи було синтез поліетергаунідинуретанакрилату та дослідження впливу вуглеводеньокиснювальних бактерій (ВОБ) на його деструкцію.

Схему синтезу гуанідинвмісного олігоетеруретанакрилату, у якому подовжувачем ланцюга є гуанідинвмісний олігоетер, можна представити наступним чином:



Реакцію проводили у три стадії. На першій стадії одержували гуанідинвмісний олігоетер з кінцевими епоксидними групами на основі олігоепоксиду ДЕГ-1 та гуанідингідрохлориду у мольному співвідношенні компонентів 1 : 2. На другій стадії до отриманого олігоетеру додавали уретановий форполімер на основі гідроксилвмісного олігоетеру та діізоціанату. На третій стадії до отриманого продукту додавали метакрилову кислоту у мольному співвідношенні компонентів 1 : 2. Структуру отриманого олігомеру підтверджено даними ІЧ- і ЯМР-спектроскопії. На основі отриманого ненасиченого гуанідинвмісного олігогуанідинуретанакрилату методом УФ-ініційованої полімеризації було отримано трьохвимірний плівкоутворюючий полімер.

Було оцінено вплив ВОБ на ступінь деструкції досліджуваного матеріалу за зменшенням його маси (табл. 1). За присутності ВОБ показник деструкції поліетеруретанакрилату був незначний (1.22-1.36 %), а в контролі – 1.05%.

Таблиця 1. Деструкція поліетеруретанакрилату за дії ВОБ

Штами бактерій	Деструкція, % втрати маси
Pseudomonas.pseudoalcaligenes109	1.36 ± 0.1
Rodococcus erythropolis 102	1.35 ± 0.1
Bacillus subtilis 138	1.22 ± 0.09
Контроль	1.05 ± 0.1

В таблиці 2 представлена температура деструкції поліетеруретанакрилату.

Таблиця 2. Температура деструкції поліетеруретанакрилату після впливу ВОБ протягом 90 діб експозиції

Штами бактерій	Температура деструкції при % втрати маси,°С			
	початкова T_d	50	70	90
	Поліетеруретанакрилат			
R.erythropolis102	295.52	357.94	429.13	556.20
B. subtilis 138	299.46	364.25	436.08	575.13
Контроль	298.21	363.29	430.15	579.17

Процес розкладу відбувався у три стадії. Початкова температура розкладу після дії ВОБ практично не змінювалась у порівнянні з контролем. При 357-364°С спостерігався розклад уретанових груп, при 429-436°С та 556-575°С відбувались глибинні процеси, пов'язані з розпушуванням і окисненням вуглеводневого скелету полімеру. Оскільки початкова температура розкладу не знижувалась, то можна вважати, що отриманий полімер не втратив свої властивості після впливу ВОБ.

Вивчення фізико-механічних властивостей поліакрилатів після впливу ВОБ (табл. 3) показало, що для вихідного поліетеруретанакрилату міцність на розрив становила 12 МПа, відносне подовження 100 %. Після впливу ВОБ фізико-механічні параметри для вивченого матеріалу істотно не змінилися.

Таблиця 3. Фізико-механічні властивості поліетеруретанакрилату після дії ВОБ

Варіанти досліду	Міцність до розриву, МПа	Відносне подовження, %
Вихідний зразок	12.0 ± 0.3	100 ± 1.9
Контроль	11.0 ± 0.3	97 ± 1.7
Після дії мікроорганізмів		
P.pseudoalcaligenes109	10.0 ± 0.2	95 ± 1.5
R. erythropolis 102	11.0 ± 0.3	93 ± 1.2
B. subtilis 138	10.0 ± 0.1	95 ± 1.5

Таким чином, для досліджуваного полімеру після дії ВОБ показники міцності матеріалів істотно не змінились, що корелює з даними термогравіметричного аналізу. Синтезований полімер є перспективним для захисту різних конструкцій від біопошкоджень.

Література:

1. Howard G.T. Microbial biodegradation of polyurethane Recent Developments in Polymer Recycling, 2011. P.215-238.

2. Pradhan S., Mohanty S., Nayak S. K. Biodegradation Study of Epoxy-Acrylate Film in Compost Soil. J. Polym Environ. 2018. Vol. 26. P.1133.

УДК 541.64:678.02

ДІЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІІМІДНИХ НАНОКОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ТЕТРАЕТОКСИСИЛАНУ ТА МЕТИЛТРИЕТОКСИСИЛАНУ І КАРБОНАНОТРУБОК

Шанталій Т.А., Несін С.Д., Клепко В.В.

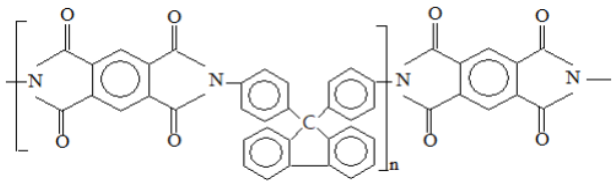
Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

вул. Харківське шосе, 48, 02160, м. Київ

shantaliitatiana@gmail.com

Представлено дослідження діелектричної проникності зразків, які отримані на основі прекурсорів поліімідних гібридних органо-неорганічних композитів, наповнених КНТ. Досліджувалися системи, в яких неорганічна фаза отримана на основі суміші ТЕОС : МТЕС при співвідношенні 1 : 2 та КНТ. Введення КНТ у полімерну матрицю сприяє зменшенню електростатичного напруження, дозволяє покращити електричні і механічні властивості, що досягається завдяки сильній міжповерхневій взаємодії між КНТ і полімерною матрицею.

Вихідними компонентами для полімерної матриці слугували піромелітовий діангідрид та 9,9-біс-(4-амінофеніл) флуорен (анілінфлуорен), для неорганічної – тетраетоксисилан (ТЕОС) та метилтриетоксисилан (МТЕС) і КНТ. Структурну формулу поліімідної матриці можна представити наступним чином:



Синтез нанокомпозитів здійснювали за методикою, описаною раніше [1]. Дослідження нанокомпозитів методом діелектричної релаксаційної спектроскопії показали, що на значення діелектричної проникності даних матеріалів помітно впливає кількість і склад неорганічної фази. На рис. 1 наведено частотні залежності дійсної частини комплексної діелектричної проникності ε' для вихідного поліміду та композитів з вмістом ТЕОС : МТЕС = 1 : 2 2,5% та

різним вмістом КНТ (від 0,01 до 0,5%). Частотні залежності дійсної частини комплексної діелектричної проникності є типовими для наведених зразків і відрізняються тільки значенням ε'. При введенні в зразок нанокомпозитів одночасно суміші етоксисиланів (2,5%) та КНТ (0,01, 0,10%) (криві 2, 3 відповідно) призводить до незначного збільшення значень ε' в усьому частотному інтервалі у порівнянні з вихідною поліімідною матрицею, для якої значення ε' ≈ 3,2. У той же час, підвищення вмісту КНТ до 0,5% призводить до збільшення значення ε' майже у 4 рази [2].

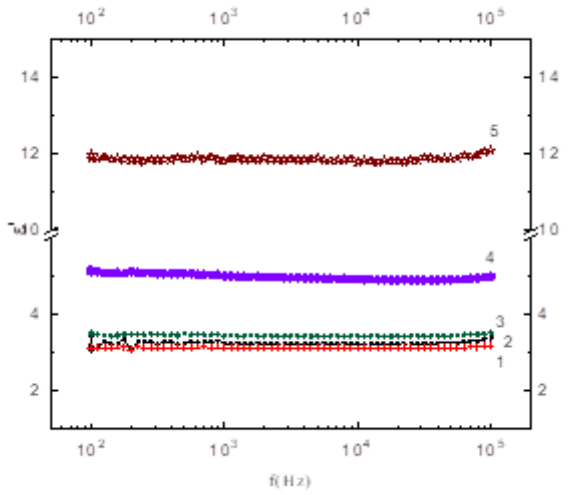


Рис. 1. Частотні залежності дійсної частини комплексної діелектричної проникності ε' для нанокомпозитів з різною кількістю КНТ:
вміст (ТЕОС : МТЕС) – 2,5 %; вміст КНТ, %: 1 – 0; 2 – 0,01;
3 – 0,10; 4–0,20; 5–0,50

На рис. 2 наведено частотні залежності дійсної частини комплексної діелектричної проникності ε' для вихідного поліміду і композитів з вмістом ТЕОС : МТЕС = 1 : 2 10% та різним вмістом КНТ (від 0,01 до 0,5). Частотні залежності дійсної частини комплексної діелектричної проникності також є типовими для наведених зразків і відрізняються тільки значенням ε'. При введенні у зразок нанокомпозитів одночасно суміші етоксисиланів (10%) та КНТ (0,01, 0,10%) (криві 2, 3 відповідно) призводить до незначного збільшення значень ε' в усьому частотному інтервалі у порівнянні з вихідною поліімідною

матрицею (крива 1). У той же час, підвищення вмісту КНТ до 0,5% (крива 4) призводить до збільшення значення ε' майже у 10 разів.

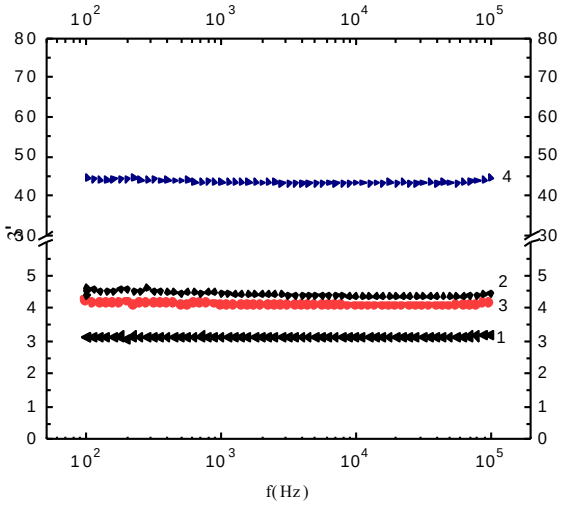


Рис. 2. Частотні залежності дійсної частини комплексної діелектричної проникності ε' для нанокомпозитів з різною кількістю КНТ:
вміст (ТЕОС:МТЕС) – 10 %; вміст КНТ, %: 1 – 0, 2 – 0,01, 3 – 0,10, 4 – 0,50

Раніше [3] нами було встановлено, що введення неорганічної складової на основі суміші ТЕОС та МТЕС у ПІ призводить до зменшення значень ε' ва усьому частотному інтервалі у порівнянні з вихідною поліімідною матрицею, але не є адитивним. Це може бути пов'язано з поруватістю або дефектністю композита, які можуть утворюватися внаслідок утруднення видалення води в ході термічної імідизації поліамідокислоти та утворення неорганічної сітки на основі ТЕОС при синтезі нанокомпозитів.

Разом з тим, відомо, що введення провідних наповнювачів значним чином змінює діелектричні характеристики полімеру, що зумовлено не тільки розподілом наповнювача в полімерній матриці, а й характером їх взаємодії [4].

Як видно з наведених рисунків, при різному вмісті ТЕОС:МТЕС=1:2 наявність невеликої кількості КНТ (від 0,01 до 0,20)% призводить до незначного збільшення значень ε' у порівнянні з вихідною матрицею (не більше, ніж у 1,5 рази). Це може бути пов'язане з більш щільним пакуванням часток КНТ, та кращому диспергуванні, що приводить до зменшення дефектності та порува-

тості зразка [2]. Маленькі часточки КНТ з хорошою дисперсією у полімер зменшують часткову агломерацію, що приводить до зменшення поруватості зразка. Збільшення вмісту КНТ до значень 0,5% призведе до різкого зростання ε' і залежить від вмісту етоксисиланів, що може бути пов'язано з перколяційним переходом і є предметом наступних досліджень.

Таким чином, одночасне введення в поліімідну матрицю суміші етоксисиланів при співвідношенні ТЕОС : МТЕС = 1 : 2, що призводить до достатньо розпушеної структури неорганічної фази [5], та КНТ дозволяє регулювати діелектричні властивості нанокомпозитів у широкому діапазоні.

Література:

1. Шанталій Т.А., Несін С.Д., Драган К.С. (2025). Синтез та діелектричні властивості поліімідних нанокомпозитів на основі тетраетоксисилану та карбонанотрубок. *Матеріали IV Міжнародної наукової конференції ТАСХ-2025*. – Дніпро, «Середняк Т.К», 50-53.

2. Шанталій Т.А., Несін С.Д., Драган К.С., Міненко М.М. (2025). Залежність діелектричних властивостей поліімідних нанокомпозитів на основі тетраетоксисилану та метилтриетоксисилану і карбонанотрубок від складу/ // *Матеріали наукової конференції з міжнародною участю «Ліпатівські читання»* – Київ, 122.

3. Шанталій Т.А., Несін С.Д., Карпова І.Л., Міненко М.М., Рухайло М.В., Нестеренко Г.М. (2020). Структура та властивості поліімідних органо-неорганічних нанокомпозитів на основі тетраетоксисилана та метилтриетоксисилана. *Полімер. журн.* 42(1), 12 -19.

4. Шанталій Т.А., Фоменко А.О., Гомза Ю.П., Драган К.С., Клепко В.В. (2012). Діелектричні та термічні властивості поліміду, наповненого карбонанотрубками. *Питання хімії і хімічної технології* . 4, 91-94.

5. Козак Н.В., Шанталій Т.А., Несін С.Д., Драган К.С. (2025). Особливості структурування поліімідних нанокомпозитів залежно від будови неорганічної складової. *Полімер. журн.* 47(2), 68-74.

УДК 544.72.02

МОДИФІКАЦІЯ ПОВЕРХНІ ГРАФІТУ ВІДНОВЛЕННЯМ ДІАЗОНІЄВИХ СОЛЕЙ

Ковалишин Я.С., Ловчицька В.С., Марчук І.Є.

Львівський національний університет ім. Івана Франка

вул. Кирила Мефодія, 6, 79005, м. Львів

yaroslav.kovalyshyn@lnu.edu.ua

Виробництво композитів на основі графіту та електропровідних полімерів потребує забезпечення стабільного контакту та ефективної взаємодії між компонентами. Одним з ключових напрямів є хімічна модифікація поверхні графіту, що дозволить підвищити змочуваність розчинами солей аніліну для формування полімерних шарів [1].

Відновлення солей арендіазонію супроводжується утворенням фенільних радикалів, які ковалентно приєднуються до поверхні графіту, формуючи стабільні функціональні групи, що використовується для модифікації поверхневих властивостей. Такий підхід є ефективним для синтезу композитів з покращеними електрохімічними характеристиками. Такі матеріали є ефективними для створення сенсорів, суперконденсаторів [2-3].

Виконали синтези фенілдіазоній тетрафторборату (ФД) та 4-ацетамінофенілдіазоній тетрафторборату (ААФД), провели модифікацію поверхні графіту шляхом занурення у водно та водно-ацетонітрильному розчинах, в якому відбувалось відновлення діазонієвої солі гіпофосфітом натрію. Для очищення поверхні від побічних продуктів реакції її багатократно промивали почергово етилацетатом та ацетонітрилом. Модифікований ацетамінофенільними групами графіт кип’ятили 30 хв в 10 % розчині соляної кислоти з метою гідролізу ацетамінофенільних замісників до амінофенільних.

ІЧ-Фур`є спектрометр Spectrum Two (PerkinElmer) було використано для отримання ІЧ спектрів зразків.

Визначали крайовий кут змочування твердої поверхні графіту дистильованою водою. У дослідженнях використовували метод лежачої краплі. На

поверхню графіту наносили краплину об’ємом 10 мкл. Висоту та ширину краплі визначають безпосередньо за фотознімком (рис. 1). Значення косинуса крайового кута змочування обчислюють за формулою:

$$\cos\theta = \frac{(d/2)^2 - h^2}{(d/2)^2 + h^2},$$

де: d – ширина основи краплі; h – висота краплі.

Роботу когезії розраховували за рівнянням Дюпре, а роботу адгезії – Дюпре-Юнга.



Рис. 1. До визначення крайового кута змочування
дистильованою водою графіту марки МПГ-7

На рис. 2 представлено результати ІЧ-ФП досліджень поверхні зразків графіту. Для немодифікованого графіту не спостерігається чітких смуг поглинання, які б відповідали наявності певних груп.

Для зразку модифікованого відновленням фенілдіазоній тетрафторборату у водному розчині спостерігається ряд слабких смуг поглинання. Зокрема, в області 3500 – 4000 $см^{-1}$, які можна віднести до поглинання -ОН групи, а також при 1175 $см^{-1}$ і 1325 $см^{-1}$, які відповідають поглинанню -ОН групи у фенолах. Також можна виділити ряд слабких смуг поглинання в області 1430 – 1640 $см^{-1}$, які зумовлені коливаннями ароматичного кільця, а також смуги поглинання -СН групи у ароматичних сполуках при 1177 та 1070 $см^{-1}$ (плоскі деформаційні коливання) та 760 і 690 $см^{-1}$ (неплоскі деформаційні коливання). Отримані результати вказують на модифікацію графітової поверхні фенільними, фенольними та можливо гідроксильними групами, або наявність адсорбованої води.

Для зразку модифікованого відновленням фенілдіазоній тетрафторборату у водно-ацетонітрильному розчині спостерігається такий же характер спектру, що свідчить про наявність тих самих груп на графітовій поверхні.

Для зразку модифікованого відновленням 4-ацетамінофенілдіазоній тетрафторборату у водно-ацетонітрильному середовищі спостерігається ряд характерних смуг поглинання. Зокрема, у ділянці 3500 – 4000 $см^{-1}$, що відповідає -ОН групам, а при 3400 $см^{-1}$ – смуга, яка відповідає коливанню -NH_2 груп. Плоскі деформаційні коливання -СН групи проявляються при 1187 та 1010 $см^{-1}$, тоді як неплоскі деформаційні коливання спостерігаються при 814 $см^{-1}$, що характерно для 1,4-заміщених бензенових кілець. Отримані результати свідчать про модифікацію графіту амінофенільними групами, а також наявність гідроксильних груп або адсорбованої на поверхні води.

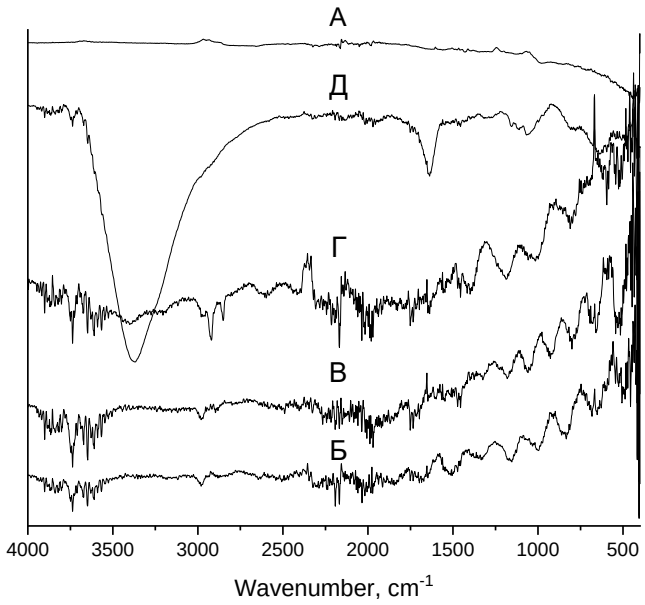


Рис. 2. ІЧ спектри зразків: немодифікований графіт – А; модифікований графіт: Б – ФД у водно-ацетонітрильному розчині, В – ФД у водному розчині, Г – ААФД у водно-ацетонітрильному розчині, Д – ААФД у водному розчині

Для зразку модифікованого відновленням 4-ацетамінофенілдіазоній тетрафторборату у водному середовищі спостерігаються чіткі смуги поглинання при 3370 та 1638 $см^{-1}$, що вказує на наявність великої кількості -NH зв'язків. Також спостерігаються добре виражені смуги поглинання при 1160, 1113 та 1060 $см^{-1}$, зумовлені плоскими деформаційними коливаннями, та при 810 $см^{-1}$ (неплоскі деформаційні коливання) зв'язків -СН у 1,4-заміщених бензенових кільцях. Решта смуг практично не виявляються. Ці результати свідчать про ефективну модифікацію поверхні графіту амінофенільними групами, при чому в даному випадку отримано найкращі результати.

Результати досліджень змочуваності поверхні графіту (табл. 1) свідчать, що модифікація поверхні має наслідком покращення змочуваності. Хоча у випадку

модифікації поверхні ФД наявність фенільних груп на поверхні мала б призвести до її гідрофобізації і погіршення змочуваності. Отриманий результат

Таблиця 1. Результати дослідження змочуваності графітової поверхні

Зразок	Середнє значення cos θ	$W_{адгезії}$, Дж/м^2	$W_{когезії}$, Дж/м^2
А	0,32	0,096	0,146
Б	0,38	0,101	0,146
В	0,51	0,111	0,146
Г	0,65	0,120	0,146
Д	0,70	0,124	0,146

можна пояснити наявністю на поверхні полярних гідроксильних груп, що узгоджується з даними ІЧ спектроскопії. Модифікація графіту ААФД призводить до прищеплення полярних амінофенільних груп, що має наслідком збільшення гідрофільності поверхні. В результаті змочуваність поверхні стає ще кращою, найвищі значення косинуса крайового кута змочування та робіт адгезії та когезії спостерігаються для зразка Д. Такий результат спричинений великою кількості прищеплених полярних груп, що підтверджується даними ІЧ спектроскопії.

Подані у цій роботі результати досліджень отримано за фінансової підтримки Міністерства освіти і науки України (держбюджетна тема: ХФ-30Ф “Синтез, структура та фізико-хімія електропровідних матеріалів та композитів”, Державний реєстраційний номер: 0126U002042).

Література:

1. Kwak C. H., Lim C., Kim S., Lee Y.-S. (2022). Surface modification of carbon materials and its application as adsorbents. *J. Ind. Eng. Chem.*, Vol. 116. P. 1–23. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2022.08.043

3. Wu X., Qi S., He J., Duan G. (2010). Polyaniline/Graphite Nanosheets Composites and Its Conducting Properties. *Polym. Polym. Compos.*, Vol. 18, No. 1. P. 23–29. https://doi.org/10.1177/096739111001800103l0

4. Konwer S., Gogoi J. P., Kalita A., Dolui S. K. (2011). Synthesis of expanded graphite filled polyaniline composites and evaluation of their electrical and electrochemical properties. *J. Mater. Sci: Mater. Electron.*, Vol. 22. P. 1154–1161. https://doi.org/10.1007/s10854-010-0276-7

УДК 678.046

ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ СУМІСНОСТІ АРОМАТИЧНОГО ПОЛІАМІДУ З ЛІНІЙНИМИ КРЕМНІЙОРГАНІЧНИМИ МОДИФІКАТОРАМИ

Козирко Д.В., Ситар В.І., Молоков В.С.,

Назаренко А.О., Кудрявцев Ю.О.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

d.v.kozyrko@ust.edu.ua

Ароматичні поліаміди є перспективним класом полімерних матеріалів, які характеризуються високою термостійкістю, механічною міцністю та хімічною стійкістю [1]. Представником цього класу є фенілон (полі-м-п-феніленізофталамід), який завдяки жорсткій ароматичній структурі має високі експлуатаційні характеристики [2]. Водночас матеріал характеризується складністю переробки та обмеженою технологічністю, що зумовлює необхідність його модифікації.

У якості модифікаторів ароматичного поліаміду розглянуто органосилоксанові сполуки: олігодиметилсилоксани (ПМС), олігофенілметилсилоксани (ПФМС), дифенілсиландіол (ДФСДО), а також галогеновмісні та гетероциклічні олігоорганосилоксани. Їх висока термічна стабільність забезпечує можливість сумісної переробки з полімером.

Встановлено, що найбільш ефективними пластифікаторами є олігодиметилсилоксани, що обумовлено їх гнучкою лінійною будовою та наявністю метильних замісників. Введення фенільних груп знижує рухомість макромолекул і, відповідно, ефективність пластифікації. Дифенілсиландіол, який має повністю ароматичну структуру, є найменш ефективним модифікатором.

Показано, що введення органосилоксанів істотно впливає на реологічні властивості системи, зокрема сприяє зниженню в’язкості розплаву за рахунок послаблення міжмолекулярних взаємодій та підвищення рухомості надмолеку-

лярних структур. Ефективність цього процесу визначається хімічною природою модифікатора [3].

Дослідження впливу молекулярної маси олігодиметилсилоксанів показало, що у досліджуваному діапазоні вона не має суттєвого впливу на в'язкість розплаву та ударну в'язкість (рис. 1). Водночас встановлені обмеження. Низькомолекулярні олігомери із числом елементарних ланцюгів до 50 мають меншу термостійкість і схильність до міграції з об'єму полімеру. Високомолекулярні – ускладнюють процес переробки через підвищену в'язкість. Їх суміщення з ароматичним поліамідом потребує застосування спеціальних розчинників для модифікаторів, після чого виникає необхідність їх видалення із полімерної суміші [4]. На основі аналізу одержаних даних для модифікації ароматичного поліаміду оптимальним є олігодиметилсилоксан, який має число елементарних ланок 60-100 (ПМС-100).

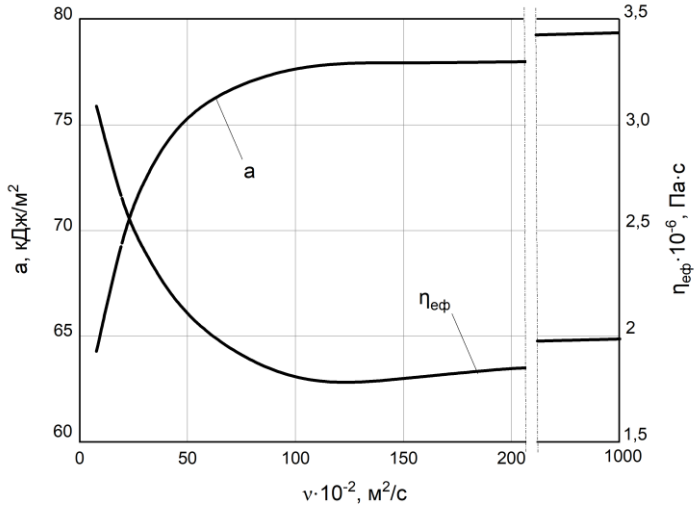


Рис. 1. Залежність ударної в'язкості (а) та ефективної в'язкості ($\eta_{еф}$) модифікованого ароматичного поліаміду від кінематичної вязкості (ν) введеного до його складу ПМС

Таким чином, встановлено, що властивості полімерних композицій на основі фенілону визначаються хімічною природою, молекулярною масою та вмістом органосилоксанового модифікатора. Механізм модифікації пов'язаний зі зниженням енергії міжмолекулярної взаємодії внаслідок розподілу модифікатора на межах надмолекулярних утворень, що забезпечує підвищення технологічності та зниження жорсткості матеріалу.

Література:

1. Kricheldorf H.R. Aromatic Polymers: Synthesis, Properties, Applications. Springer, 2019.

2. Сытар В.И., Плошенко И.Г., Герасимов В.Д. и др. Антифрикционные материалы на основе графитонаполненного фенилона // Пластические массы. 1980. – №8. – С. 14-16.

3. Brook M.A. Silicone in Organic, Organometallic, and Polymer Chemistry. Wiley, 2017.

4. Ситар В.І., Кузяєв І.М., Данилін Д.С. Дослідження реології розплаву модифікованих систем на основі фенілону // Питання хімії та хімічної технології. – 2003. – №2. – С.104-107.

УДК 620.197.3

ВПЛИВ ПРОТИКОРОЗІЙНОЇ ДОБАВКИ НА ОСНОВІ ПРИРОДНОГО МІНЕРАЛУ МОНТМОРИЛОНІТУ НА КОРОЗІЮ АРМАТУРНОЇ СТАЛІ В МОДЕЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ПОРИСТОГО БЕТОНУ, ЗАБРУДНЕНОГО ХЛОРИДАМИ

Даниляк М.-О.М., Корній С.А.

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

вул. Наукова, 5, 79060, м. Львів

danyliak-olena@ukr.net

Залізобетонні конструкції є поширеними будівельними матеріалами. Однак кліматичні умови під час експлуатації спричиняють накопичення хлоридів, що знижують довговічність залізобетонних конструкцій та сприяють розвитку корозії арматурних стержнів. Тому для покращення терміну служби залізобетонних конструкцій використовуються різні інгібітори корозії. Ефективними інгібіторами корозії є нітрити. Однак їхня шкідливість для навколишнього середовища обмежує їх застосування. Тому дослідженні нових ефективних екологічно безпечних добавок для підвищення корозійної тривкості металевої арматури в бетонних конструкціях є актуальним науковим завданням.

У цій роботі досліджувався вплив протикорозійної добавки на основі природного мінералу монтморилоніту, збагаченого катіонами кальцію, на корозію арматурної сталі в модельному середовищі пористого бетону, забрудненого хлоридами (насичений розчин $Ca(OH)_2$ + 1% NaCl з pH = 12).

Монтморилоніт є одним із представників алюмосилікатів, який має шарувату структуру [1]. Його очищали з бентоніту Ільницького родовища Закарпатської області (Україна) методом осадження грубодисперсної фази [2]. Екологічно безпечну протикорозійну добавку на основі природного мінералу монтморилоніту, збагаченого катіонами кальцію, отримано методом рідкофазного іонного обміну [3]. Методом потенціодинамічної поляризації встановлено, що значення потенціалу корозії (E_{corr}) та густини струму корозії (i_{corr}) сталі 3сп становили -0,59 В та $1{,}9 \cdot 10^{-6}$ А/см², відповідно, після 48 год експозиції в модельне середовище пористого бетону, забрудненого хлоридами. Додавання збагаченого кальцієм монтморилоніту до середовища пористого бетону, забрудненого хлоридами, зумовлює поступове вивільнення катіонів кальцію, що підтримує високий pH розчину, забезпечуючи стабільність пасивного оксидно-гідроксидного шару $Fe_2O_3/Fe(OH)_3$ на поверхні сталі 3сп. Значення E_{corr} та i_{corr} сталі становили -0,11 В та $6{,}5 \cdot 10^{-9}$ А/см², відповідно, після 48 год експозиції в інгібованому модельному середовищі.

Таким чином, збагачений кальцієм монтморилоніт може ефективно запобігати корозії арматурних стрижнів у лужних середовищах забрудненими хлоридами, такому як бетон.

Література:

1. Danyliak MO.M., Korniy S.A. (2024). Inhibitory properties of an ion-exchange anti-corrosion pigment based on the natural montmorillonite for paint coatings. *Mater. Sci.,* 60, 335–343. https://doi.org/10.1007/s11003-025-00890-2

2. Kochubei V. V., Yaremchuk Ya. V., Yaholnyk, S. G., Danyliak M.-O. (2024). Sorption capacity of ultrasound-activated natural bentonite regarding copper ions. *Mater. Sci.,* 60, 97-103. https://doi.org/10.1007/s11003-024-00858-8

3. Korniy S., Danyliak M.-O., Lavrys S. (2025). Preparation and properties of modified montmorillonite by zinc-phosphate for anticorrosion applications in protective coatings. *Mater. Chem. Phys.,* 335 130537. https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2025.130537

УДК 661.11

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ, МАГНІТНИХ, ОПТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ ПВС-$CoFe_2O_4$-CeO_2

Фролова Л.А., Прокопенко Н.І., Баскевич О.С.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 4905, м. Дніпро

19kozak83@gmail.com

Розробка новітніх функціональних матеріалів є базою для розширення сфер їх застосування у стратегічних галузях світової промисловості. Використання «*smart*» структур, нанокомпозитів, біосумісних імплантатів та високоефективних напівпровідників дозволяє радикально підвищити енергоефективність, екологічність та експлуатаційний ресурс готової продукції. Полімерні композити з шпінельними феритами активно досліджуються завдяки їх магнітним, електричним, механічним та каталітичним властивостям.

В даній роботі були отримані нанокомпозити ПВС-$CoFe_2O_4$-CeO_2 з різним співвідношенням компонентів. Методом рентгенівської дифракції було визначено, що структура напівкристалічного полімеру ПВС є орторомбічною та кубічною для $CoFe_2O_4$ у нанокомпозитних плівках. Розмір частинок складає ≤ 80-100 нм. Морфологія поверхні полімерних плівок, що досліджена методом скануючої електронної мікроскопії, показує гетерогенну структуру, яка складається з сферичних наночастинок $CoFe_2O_4$ і нанострижнів CeO_2. Отримані також спектри відбиття плівок. Розрахована ширина забороненої зони, що показала значення в діапазоні 1,81-3,05 еВ, які можуть регулюватись зміною відсоткового вмісту CeO_2 та $CoFe_2O_4$ у плівках. Магнітні дослідження показали діамагнітну поведінку для ПВС. Нанокомпозити з різним вмістом $CoFe_2O_4$ демонструють феромагнітну поведінку зі збільшенням значень намагніченості насичення. Поліпшення магнітних властивостей робить отримані плівки придатними для використання в електроніці, сенсорах, системах очищення води, суперконденсаторах та біомедичних технологіях.

УДК 678.675

ОРГАНОПЛАСТИКИ НА ОСНОВІ АРОМАТИЧНИХ ПОЛІАМІДІВ

Чигвінцева О.П., Рула І.В., Бойко Ю.В.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро

diso@i.ua

Інтенсивний розвиток сучасної техніки сприяє розширенню застосування тепло- і термостійких полімерів, що мають високі деформаційно-міцнісні характеристики, тривалу працездатність у широкому інтервалі температур та стійкість до впливу агресивних середовищ. Одним із перспективних термостійких полімерів є ароматичний поліамід марки фенілон. Фенілони – негорючі та хімічно стійкі полімери, які зберігають свою працездатність в інтервалі температур від 153 до 553 К і мають високу жорсткість, твердість та здатність до пластичних деформацій. До основних переваг ароматичних поліамідів слід віднести те, що ці полімери поєднують у собі високі тепло- і термостійкість з жорсткістю, міцністю і покращеними трибологічними характеристиками, що суттєво розширює їх застосування в різних галузях промисловості. Крім того, термічний коефіцієнт лінійного розширення фенілонів в інтервалі їх експлуатації досить стабільний і в 2-3 рази нижчий, ніж у інших ненаповнених полімерів. Фенілони застосовують для отримання волокна, електроізоляційного паперу, лаку та плівок, а також як конструкційний та антифрикційний матеріал в електротехнічній, радіотехнічній та машинобудівній промисловості. Однак до недоліків ароматичних поліамідів слід віднести той факт, що при великих навантаженнях і швидкостях ковзання в умовах поганого тепловідведення може відбуватися розігрів вузла тертя, і за температур 250-260°С вони схильні до втрати своєї працездатності.

З метою створення нових полімерних композитів конструкційного призначення з покращеними трибологічними властивостями використовували ароматичні поліаміди марок фенілон П (ТУ 6-05-221-101-7), фенілон С-1 (ТУ 6-05-221-10) і фенілон С-2 (ТУ 6-05-226-72) армували термостійким органічним волокном терлон у кількості 15 мас.%.

Диференціальний термічний аналіз належить до найбільш чутливих методів, що дозволяють визначати різні зміни, що протікають при нагріванні досліджуваних матеріалів і супроводжуються виділенням або поглинанням тепла. Відомо, що термостійкість ароматичних поліамідів значною мірою визначається їх хімічною будовою. Дані термогравіметричного аналізу (табл. 1), який здійснювався у повітряному середовищі в інтервалі температур 298 – 1273 К на дериватографі Q-1500Д, свідчили про те, що найбільш термостійким виявився органопластик (ОП) на основі фенілону марки С-П. Очевидно, це пов'язано з високою термостійкістю полімерного в'яжучого: порівняно із фенілоном С-1 і С-2, вказаний полімер мав термостійкість вищу на 5 і 21 градус відповідно.

Таблиця 1. Властивості фенілонів С-П, С-1 і С-2 і органопластиків на їх основі, армованих 15 мас. % волокна терлон

Показники	Полімерні в'яжучі / органопластики		
	С-П	С-1	С-2
Температура 20 %-вої втрати маси зразків, °С	473 482	468 475	452 478
Мікротвердість HV, кгс/мм^2	21,69 28,53	24,33 33,48	30,34 50,03
Інтенсивність лінійного зношування, $I_h \cdot 10^{-8}$	6,7-12,8 5,9-10,4	1,8-14,4 3,3-6,4	5,7-16,3 1,2-7,7

Мікротвердість – показник, чутливий до морфологічних і структурних змін полімерів, суттєво залежала від природи полімеру. Найбільш високі значення мікротвердості були характерні для фенілону С-2 і композиту на його основі, що забезпечило високу зносостійкість і знизило коефіцієнт тертя ОП [1].

Дослідження трибологічних властивостей ОП в режимі тертя без змащування здійснювалося на дисковій машині тертя за схемою диск (сталь 45, термооброблена до жорсткості 45-48 HRC з шорсткістю поверхні при питомих навантаженнях P = 0,2-0,8 МПа і швидкості ковзання υ = 2,0 м/с, шлях тертя становив 1000 м. В результаті досліджень встановлено, армування фенілонів волокном терлон дозволяє знизити (в середньому на 20%) коефіцієнт тертя та збільшити зносостійкість ОП. Мінімальний коефіцієнт тертя мали зразки ОП на основі фенілону С-1, однак, вказаний композит стабільно працював при наван-

таженнях, які не перевершували 0,5 МПа (рис. 1, крива 1) [2]. Низький коефіцієнт тертя також мали зразки ОП на основі фенілону С-2 (0,10-0,12), однак при P > 0,65 МПа матеріал інтенсивно втрачав масу і відбувався катастрофічний знос зразків (рис. 1, крива 3). Гарну працездатність в усьому дослідженому інтервалі навантажень з коефіцієнтом тертя 0,13-0,18 і інтенсивністю лінійного зношування I_h = 5,9-10,4 · 10^{-8} показав композит на основі фенілону С-П (рис. 1, крива 2).

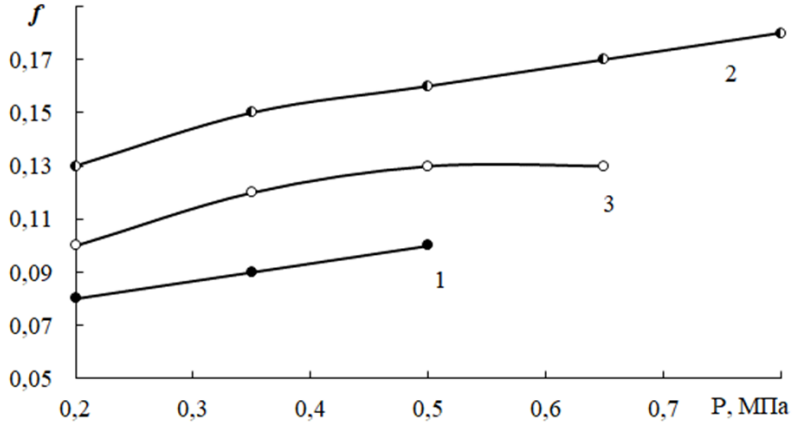


Рис. 1 Вплив питомого навантаження на коефіцієнт тертя органопластиків на основі фенілону С-1 (крива 1), фенілону С-П (крива 2) та фенілону С-2 (крива 3), армованих 15 мас. % органічного волокна терлон

Таким чином, результати досліджень свідчать про те, що армування ароматичних поліамідів органічним волокном терлон позитивно впливає на покращення їх експлуатаційних характеристик, що дозволяє рекомендувати розроблені ОП для застосування як матеріали конструкційного призначення.

Література:

1. Бойко Ю.В., Чигвінцева О.П. Органопластики антифрикційного призначення на основі ароматичних поліамідів // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Теоретичні та практичні питання аграрної науки” до 100-річчя Дніпровського державного аграрно-економічного університету, м. Дніпро: ДДАЕУ, 18 травня 2022 р., Ч. 1, С. 69-73.

2. Чигвінцева О.П. Рула І. В., Бойко Ю. В. Органопластик на основі ароматичного поліаміду // Book of abstracts IX International (XIX Ukrainian) scientific conference for students and young scientists “Current chemical Problems”, March 24-26, 2026, Vinnytsia, Ukraine, P. 155.

UDC 678.674

PHYSICAL-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF COMPOSITES BASED ON POLYARYLATE

Olha Chyhvintseva[1], Predrag Dašić[2]

[1]Dnipro State Agrarian and Economic University

S. Yefremova St., 25, 49600, Dnipro, diso@i.ua

[2]Academy of Professional Studies Sumadija - Departament Trstenik

37240 Trstenik, Serbia, dasicp58@gmail.com

A big range of polymer matrices, reinforcing fibers with different elastic-strength properties and dispersed fillers let create polymer composites with complex of proper-ties, which corresponds to the character and conditions of parts and construction work more completely. To receive new plastics, complex aromatic polyester polyarylate was filled by ultradisperse powdered filler – oxynitride-silicon-yttrium (OSY). Oxynitride powder was received by plasma-chemical approach. As compound, received by this approach, have increased chemical and structural activity, as filler content doesn't increase 10 mass % in researched composite.

The results of physical-mechanical studies of the developed composites are presented in Table 1.

Table 1. Physical-mechanical characteristics of composites based on polyarylate

Index	Content of OSY, mass %				
	–	0.2	1	5	10
Elasticity modulus at compression, MPa	2400	1880	2160	2320	2800
Ultimate tensile strength at compression, MPa	243	240	245	243	243
Tensile strain, %	27	36	35	23	31
Destruction work, kJ	8900	10540	11520	7410	10180
Impact resistance, kJ/m^2	62.4	67.2	51.4	30.5	18.7

It has been established that for composites contented 1, 5 and 10 mass % of oxynitride silicon-yttrium, the modulus of elasticity increases at the compression in 2.8; 10 and 33.3% times accordingly. It is noticed that the out-rigger reduces in comparison with polyester modulus of elasticity at filler content in amount of 0.2 mass %. Apparently, it can be explained by the fact that insignificant content of the oxynitride silicon-yttrium influence on the polymer structure (probably, it makes large fibrillous structure of material), and this, in its turn, leads to decreasing of this index.

УДК 631.1

ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМПОЗИТУ НА ОСНОВІ АРОМАТИЧНОГО ПОЛІАМІДУ І ГІБРИДНОГО НАПОВНЮВАЧА

Кабат О.С[1]., Бойко Ю.В.[2], Назарець Д.С. [2], Шехов І. А.[2]

[1]ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

[2]Дніпровський державний аграрно-економічний університет

вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро

bojko.ju.v@dsau.dp.ua

Сучасний етап розвитку науки й техніки зумовлює необхідність застосування великої кількості технологічного обладнання, яке являє собою складні машинні та механічні системи. Такі установки функціонують в умовах підвищеної інтенсивності роботи, за значних навантажень, високих швидкостей ковзання та при підвищених температурних режимах. Тому актуальною задачею при розробці полімерних композитів є дослідження їх меж експлуатації в якості вузлів тертя технологічного обладнання в умовах підвищених навантажень.

Для оцінювання надійності та ресурсу виробів, виготовлених із таких матеріалів, широко застосовують узагальнений експлуатаційний показник *PV*, який дозволяє враховувати одночасний вплив питомого навантаження і швидкості ковзання в умовах роботи вузлів тертя. Цей показник є добутком питомого тиску на швидкість ковзання у вузлі тертя і слугує важливим критерієм оцінювання довговічності його роботи з урахуванням інтенсивності лінійного зношування при заданих значеннях навантаження (P) і швидкості (υ). Знаючи допустимий зазор, експлуатаційні параметри та відповідну інтенсивність зношування матеріалів деталей, що контактують, можна розрахувати ресурс вузла тертя і визначити його довговічність до моменту втрати працездатності.

Метою даної роботи було проведення порівняльних трибологічних досліджень ароматичного поліаміду фенілон С-2 і композитів на його основі, а саме:

полімерного композиту, який містить 15 мас. % арамідного волокна та композитів, що містять гідридний наповнювач (9 мас. % арамідного волокна + 6 мас. % силікагелю), отриманих стандартним методом переробки у вироби та методом *in situ* суміщення компонентів полімерної композиції.

Метод (*in situ*) суміщення компонентів полімерної композиції під час синтезу наповнювача на основі силікагелю дозволив виключити етап механічного змішування компонентів на підготовчому етапі, що забезпечило здешевлення методу переробки. Крім того, такий метод переробки дозволив покращити якість розподілення наповнювача у полімері, що в свою чергу, призвело до покращення властивостей полімерних композитів у порівнянні із аналогами отриманими за стандартним методом [1, 2].

Значення показника *PV* вихідного фенілону С-2 і композитів на його основі, армованих арамідним волокном і гібридним наповнювачем, отримані за результатами трибологічних досліджень, наведено на рис. 1.

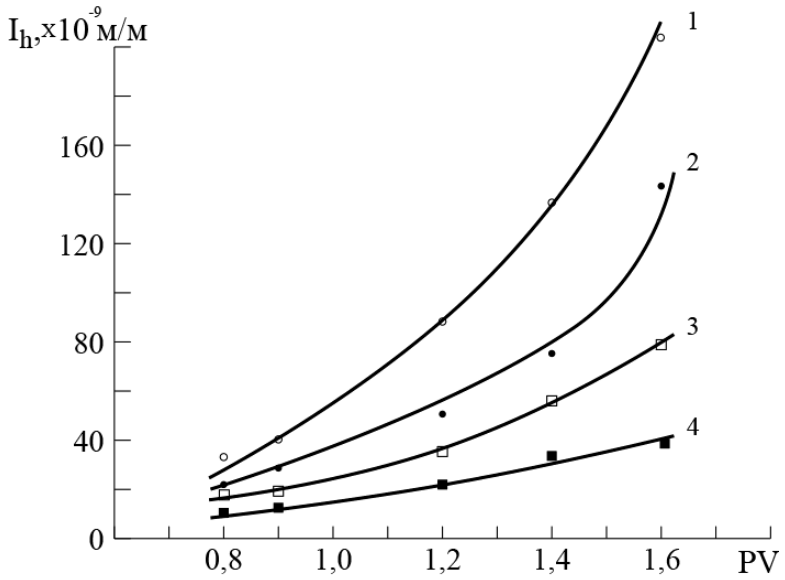


Рис. 1. Залежність параметру *PV* від інтенсивності лінійного зношування (I_h) фенілону С-2 (1); композиту основі фенілону С-2, армованого 15% арамідного волокна (2); композиту на основі фенілону С-2, армованого гібридним наповнювачем (9% арамідного волокна + 6% силікагелю), отриманого за стандартним методом переробки у вироби (3) та отриманого за методом *in situ* суміщенням компонентів полімерної композиції (4)

Отримані результати свідчать про подібний характер залежностей для вихідного полімеру і розроблених композитів. З підвищенням параметра *PV* спостерігалось зростання інтенсивності лінійного зношування. Для вихідного полімеру в інтервалі *PV* 0,8–1,2 була характерна майже лінійна залежність, тоді як за більших значень параметра відбувалось різке збільшення зношування, що свідчило про перехід до аварійного режиму тертя.

Для композиту, що містить 15 % арамідного волокна, лінійний характер зберігався в діапазоні *PV* 0,8–1,4 з подальшим зростанням показників. Це дозволить експлуатувати матеріал до значень критерію *PV* близько 1,4 МПа · с, який перевищив показник вихідного полімеру приблизно на 15 %.

Композити з гібридним наповнювачем (арамідне волокно і силікагель) демонстрували майже лінійну залежність у всьому дослідженому досягав значень *PV* 1,6 МПа · с, забезпечуючи підвищену надійність і довговічність вузлів тертя.

Крім того, при *PV* 1,2 МПа · с композит з арамідним волокном мав на 44 % меншу інтенсивність зношування порівняно із вихідним полімером, а композити з додаванням силікагелю – на 65–75 % менші значення. Композити, отримані методом *in situ*, характеризувались приблизно на 40 % вищою зносостійкістю порівняно з традиційно синтезованими, що пов’язано з більш рівномірним розподілом наповнювача у полімерній матриці.

Література:

1. Tokar A, Kabat O, Chigvintseva O, Belošević S. Intermolecular Interactions in Complex Systems «Polyamide-Silica Gel»: The Quantum-Chemical Interpretation. In: Karabegović I, editor. New Technologies, Development and Application IV. LNNS. 2021;233:875–882. doi:10.1007/978-3-030-75275-0_96

2. Tokar AV, Kabat OS. The quantum-chemical investigation of intermolecular interactions in complex systems «polyamide-silica gel». J Chem Technol. 2020;28(2):194–201. Ukrainian. doi:10.15421/082021.

УДК 633:620.3

СТВОРЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ В АГРОНОМІЇ

Чигвінцева О.П., Кудлай П.С.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро

diso@i.ua

Створення матеріалів із заданими властивостями в агрономії – це один із найбільш перспективних напрямків, які поєднують хімію полімерів, нанотехнології і фізіологію рослин. Основна мета полягає у переході від «пасивного» використання ресурсів до інтелектуального керування ростом культур.

Ось ключові аспекти розробки і застосування таких матеріалів:

1. Розумні добрива (Smart Fertilizers). Традиційні добрива часто вимиваються дощами або випаровуються, що призводить до втрат до 50–70% діючої речовини. Матеріали із заданими властивостями вирішують цю проблему через:

– використання полімерних оболонок (на основі полімолочної кислоти або ефірів целюлози), товщина яких визначає швидкість дифузії поживних речовин;

– створення капсул, які розкриваються лише за певної температури ґрунту, рівня вологості чи специфічного pH, що виділяється корінням рослини.

2. Біодеградабельні полімерні плівки. Для заміни звичайного поліетилену, який забруднює ґрунт мікропластиком, розробляються мульчувальні плівки з програмованим терміном розпаду. Вказані плівки мають:

– задані властивості: хімічний склад плівки підбирається таким чином, щоб вона повністю розкладалася на воду та вуглекислий газ саме після завершення вегетаційного періоду конкретної культури;

– додаткові функції: в структуру плівки можуть бути імплантовані фунгіциди або репеленти, які поступово виділяються.

3. Гідрогелі з високою абсорбційною здатністю. Це суперабсорбенти, здатні утримувати воду у сотні разів більшу за власну вагу. Сучасні гідрогелі проектуються таким чином, щоб не просто утримувати воду, але й віддавати її

рослині лише тоді, коли осмотичний тиск коріння досягає критичної позначки [1]. Використання композитів на основі природних глинистих мінералів (бентоніту) і синтетичних мереж для підвищення механічної міцності гелю в ґрунті.

4. Використання нанотехнологій у захисті рослин – це перехід від «килимового бомбардування» полів хімікатами до точкової доставки діючих речовин. Нанопрепарати дозволяють підвищити ефективність пестицидів і фунгіцидів із одночасним зниженням екологічного навантаження на ґрунт [2, 3]. Використання наночастинок (срібла, міді, оксиду цинку) дозволяє кардинально змінити властивості пестицидів:

– адгезію матеріалів: вона здійснюється таким чином, щоб робочий розчин «прилипав» до воскового нальоту листка і не змивався першим дощем;

– проникну здатність: діючу речовину транспортують безпосередньо в судинну систему рослини, що дозволяє зменшити дозування препаратів у десятки разів.

Наведемо основні напрямки розробки та переваги нанопрепаратів:

– нанокапсулювання (Nanoencapsulation) – це технологія «упаковки» діючої речовини у нанорозмірну оболонку (із полімерів, ліпідів чи діоксиду кремнію).

– контрольоване вивільнення, коли оболонка захищає препарат від передчасного розкладання під дією УФ-променів чи вологи. Речовина вивільняється поступово або у відповідь на стимул (наприклад, зміна pH у шлунку комахи чи ферменту грибка).

– підвищення розчинності – це ключовий момент. Багато ефективних пестицидів погано розчиняються у воді. Наноформуляції дозволяють рівномірно розподілити їх у робочому розчині без використання токсичних розчинників.

– наноносії (Nanocarriers) для системної дії. Транспортування молекул всередину рослини через продихи або кутикулу листка. Вони забезпечують:

– покращену адгезію: завдяки малому розміру та спеціальним модифікаціям поверхні, наночастинки краще утримуються на листках, запобігаючи змиванню дощем.

– транслокація: наноносії здатні доставляти фунгіциди безпосередньо у судинну систему рослини (ксилему та флоему), що критично важливо для боротьби з внутрішніми патогенами.

Деякі наночастинки металів можуть виконувати роль самостійних агентів. Вони мають потужні антисептичні та стимулюючі властивості. Наприклад:

– наносрібло (AgNP) використовується як антибактеріальний агент широкого спектру;

– нанооксид міді (CuO) ефективний проти грибкових захворювань, потребує значно менших доз, ніж традиційні мідьвмісні фунгіциди (наприклад, бордоська суміш);

– нанооксид цинку (ZnO) одночасно захищає від патогенів та слугує джерелом мікроелементу цинку для фотосинтетичних процесів.

Наносенсори для детекції патогенів – високочутливі пристрої, що використовують наноматеріали (розміром 1–100 нм) для швидкого та точного виявлення вірусів, бактерій, грибків і токсинів. Завдяки унікальним фізико-хімічним властивостям, вони дозволяють діагностувати інфекції на ранніх стадіях, часто значно швидше за традиційні лабораторні методи. Спеціальні наноматеріали можуть виявляти присутність спор грибів або вірусів на ранніх стадіях, коли візуальних симптомів ще немає. Це дозволяє використовувати захисні препарати превентивно і лише на уражених ділянках поля.

Важливим питанням є також створення сенсорів, інтегрованих безпосередньо в агротехнічні структури. Хемосенсорні матеріали дозволяють зафіксувати зміну кольору чи електропровідності матеріалу при контакті з патогеном або при дефіциті конкретного мікроелемента. Перспективним є використання у захищеному ґрунті «розумним» субстратів – штучних ґрунтів для теплиць, які автоматично регулюють іонний обмін залежно від потреб кореневої системи [4].

Головною проблемою сьогодення залишається екологічна безпека проміжних продуктів розпаду таких матеріалів. Проте перехід до «дизайнерських» молекул в агрономії дозволяє реалізувати концепцію прецизійного (точного) землеробства, де кожен грам речовини потрапляє точно в ціль у потрібний час.

Попри очевидні переваги, вивчення нанотоксикології є обов'язковим етапом. Дослідники вивчають, як наночастинки накопичуються у ланцюгах живлення та чи не впливають вони на корисну мікрофлору ґрунту (наприклад, на азотфіксуючі бактерії).

Наразі розвиток агрономії рухається у бік біогенного наносинтезу («зеленого» синтезу), де наночастинки отримують за допомогою екстрактів рослин або грибів, що робить їх безпечнішими для довкілля.

Література:

1. Який практичний ефект від гідрогелів ? // Головний журнал з питань агробізнесу «Пропозиція» 07.05.2020 https://propozitsiya.com/articles/ohlyady-produktsiyi/yakyy-praktychnyy-efekt-vid-hidroheliv

2. Наноциди можуть стати альтернативою звичайним інсектицидам // Журнал "Агроном", 08.10.2021 р. https://www.agronom.com.ua/nanotsydy-mozhut-staty-alternatyvoyu-zvychajnym-insektytsydam

3. Neeraj Jindal. Role of nanotechnology in modern agricultural chemistry // https://ua.linkedin.com/pulse/role-nanotechnology-play-modern-agricultural-chemistry-neeraj-jindal-fhx2c?tl=uk

4. Інноваційні рішення для теплиць: як штучний інтелект допомагає вирощувати рослини // Служба новин IAC "Аграрії разом" 09.02.2026 https://agrarii-razom.com.ua/news-agro/innovaciyni-rishennya-dlya-teplic-yak-shtuchniy-intelekt-dopomagae-viroshuvati-roslini

UDC 547.57:678

QUANTITATIVE VALIDATION OF AZOBENZENE SWITCHING EFFICIENCY IN FLUORINATED MAIN-CHAIN POLY(ARYLENE ETHER)S USING A TAILORED MOLECULAR MODEL

Takse M.O., Tkachenko I.M., Shevchenko V.V.

Institute of Macromolecular Chemistry National Academy of Sciences of Ukraine

Kharkivske Shosse, 48, 02160, Kyiv, Ukraine

mishya228@gmail.com

Azobenzene-containing systems are among the most widely studied photo-responsive materials due to their reversible *trans-cis* photoisomerization and broad application potential [1]. However, incorporation of azobenzene units into a rigid polymer main chain changes the local mobility of the chromophore, making direct comparison between molecular and polymer-bound switching behavior essential for evaluating polymer design.

Recently, we reported a new family of fluorinated azobenzene-containing main-chain poly(arylene ether)s synthesized from a specially designed fluorinated azo derivative (FAD) [2, 3]. This monomer contains a central non-coplanar octafluoro-biphenyl (OFB) fragment and two terminal *meta*-substituted phenylazophenol units (Figure 1).

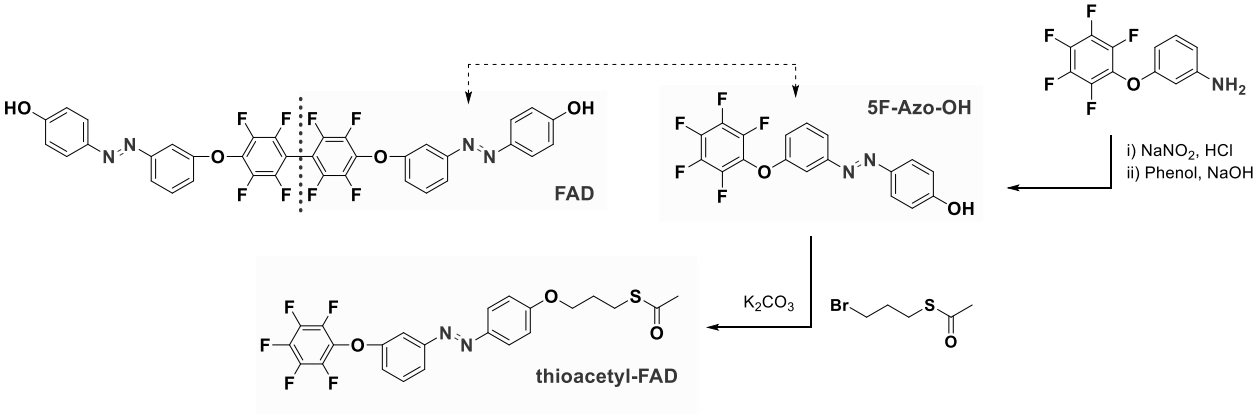


Figure 1. Chemical structure of the OH-substituted FAD monomer and synthetic route to the model thioacetyl-FAD via the mono-hydroxy intermediate 5F-Azo-OH

Such molecular design combines azobenzene fragments as photoswitchable units with fluorinated aromatic components that provide high thermal stability. At the same time, *meta*-linked aromatic moieties, flexible ether linkages, and non-coplanar OFB contortion sites reduce dense polymer chain packing and improve chain mobility. As a result, the obtained polymers show excellent solubility, excellent film-forming ability, high thermal resistance, and pronounced photoinduced optical response.

To quantitatively evaluate the switching efficiency of the embedded azobenzene units, we designed low-molecular model compounds reproducing the photoactive fluorinated azobenzene core of FAD in isolated form. First, the mono-hydroxy derivative 5F-Azo-OH was synthesized as a direct OH-containing analogue. Then, OH group of 5F-Azo-OH was converted into a thioacetyl-functionalized propyl substituent to obtain a new molecular model, thioacetyl-FAD (Figure 1). This modification suppresses the ultrafast thermal *cis*-to-*trans* relaxation typical of hydroxy-substituted azobenzenes [4] and makes thioacetyl-FAD a closer mimic of the polymer-bound azobenzene unit, where the phenolic groups of FAD are converted into arylene ether linkages during polycondensation. In addition, the thioacetate group creates a latent sulfur anchor for future self-assembled monolayer studies on gold surfaces.

UV-vis irradiation experiments showed that the absorption spectrum of 5F-Azo-OH in $CHCl_3$ remains almost unchanged even after 60 s irradiation at 365 nm (Figure 2a), indicating negligible accumulation of the *cis* isomer. This confirms that the OH-containing analogue is not suitable for reliable kinetic analysis. In contrast, thioacetyl-FAD shows pronounced *trans-cis* photoisomerization in $CHCl_3$ under 365 nm irradiation (Figure 2b). The π-π* absorption band of the *trans* isomer at 351 nm gradually decreases and shifts to about 320 nm, while the n-π* band of the *cis* isomer at 444 nm increases. These changes confirm efficient trans-to-cis conversion. The photostationary state is reached within about 70 s.

First-order kinetic analysis gives a photoisomerization rate constant (K_{pi}) – 0.061 s^{-1} for thioacetyl-FAD (Figure 2b, inset). This value reflects the intrinsic

switching efficiency of the fluorinated azobenzene unit in a minimally constrained molecular state.

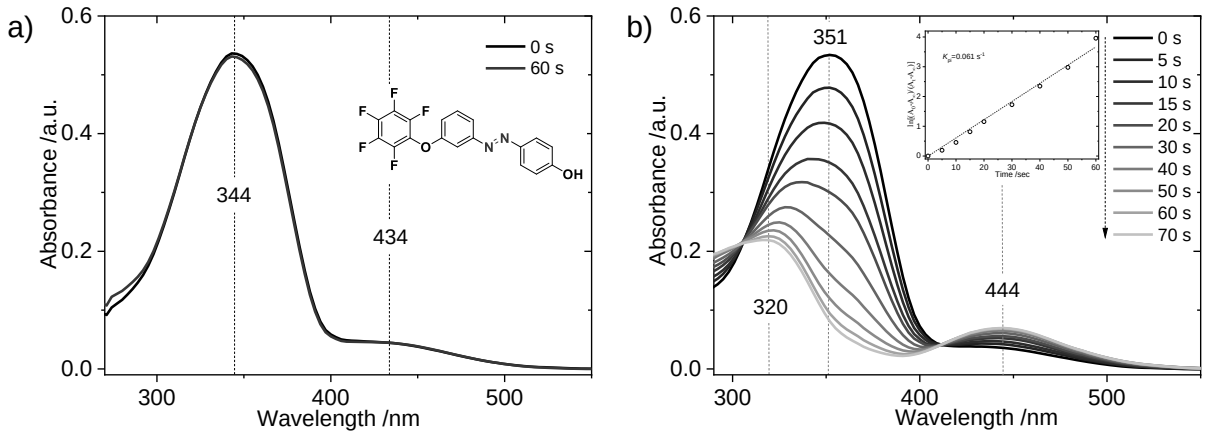


Figure 2. (a) UV-vis spectral evolution of 5F-Azo-OH in $CHCl_3$ under irradiation at 365 nm. (c) UV-vis spectral changes of thioacetyl-FAD during *trans-cis* photoisomerization in $CHCl_3$ under 365 nm irradiation; inset shows the corresponding first-order kinetic plot

The obtained kinetic data were compared with our previously reported results for the representative fluorinated azobenzene-containing copolyether (Azo-FPAE-50) (Figure 3) synthesized from the same FAD monomer [3].

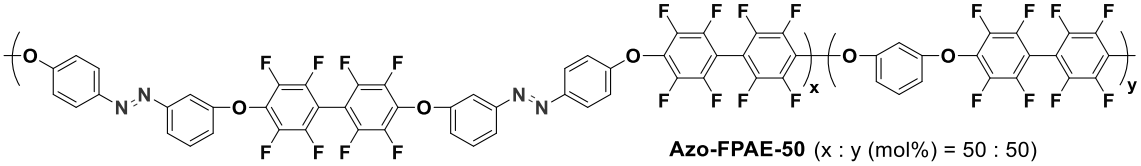


Figure 3. Chemical structure of the representative copolymer Azo-FPAE-50 synthesized from the FAD monomer

Under identical irradiation conditions in $CHCl_3$, Azo-FPAE-50 shows first-order *trans-cis* photoisomerization with K_{pi} = 0.0412 s^{-1}. Thus, transfer from the isolated molecular model to the polymer-bound state decreases the switching rate by only about 30%. This result is important because the azobenzene fragments in Azo-FPAE-50 are located directly in the main chain, where molecular motion is more restricted than in side-chain systems. Nevertheless, the relatively small decrease in K_{pi} shows that the fluorinated poly(arylene ether) architecture preserves most of the intrinsic azobenzene switching efficiency.

Overall, the molecular model study provides direct quantitative validation of our fluorinated main-chain azobenzene polymer design. Comparison of thioacetyl-FAD with Azo-FPAE-50 shows that nearly 70% of the molecular switching rate is retained after incorporation into the polymer backbone. This explains the strong optical response observed for this class of polymers and confirms their promise as high-performance light-driven adaptive materials.

Reference:

1. Natansohn A., Rochon P. (2002). Photoinduced motions in azo-containing polymers. *Chem. Rev.* 102(11), 4139-4176. https://doi.org/10.1021/cr970155y

2. Tkachenko I.M., Kurioz Yu.I., Kravchuk R.M., Kobzar Ya.L., Litoshenko D.V., Glushchenko A.V., Shevchenko V.V., Nazarenko, V.G. (2024). Photoinduced birefringence and liquid crystal orientation on polymers with different azobenzene content in the main chain. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 16(39), 52945-52957. https://doi.org/10.1021/acsami.4c11876

3. Tkachenko I.M., Kurioz Yu.I., Kravchuk R.M., Tolstov A.L., Glushchenko A.V., Nazarenko V.G., Shevchenko, V.V. (2024). Development of a light-responsive fluorinated poly(arylene ether) copolymer containing azobenzene groups in the main polymer chain. *Mol. Syst. Des. Eng.*, 9(2), 149-157. https://doi.org/10.1039/D3ME00150D

4. Han M.R., Hara M. (2006). Chain length-dependent photoinduced formation of azobenzene aggregates. *J. Mater. Chem.*, 16(1), 86-90. https://doi.org/10.1039/B511462D

УДК 678.84; 678.64

ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ПОЛІСИЛОКСАНУРЕТАНІВ. СИНТЕЗ ОЛІГОМЕРНИХ КРЕМНІЙОРГАНІЧНИХ КАРБОФУНКЦІОНАЛЬНИХ α-СПИРТІВ

Сукачов В.В.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро

sukachov.v.v@gmail.com

Дане дослідження спрямоване на розвиток технологій одержання полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) на основі полісилоксануретанів із використанням кремнійорганічних карбофункціональних α–спиртів різної будови (далі в тексті α–спиртів) [1].

У попередніх роботах [2, 3] був запропонований спосіб одержання олігомерних багатоатомних α–спиртів загальної формули:

$$[(PhSiO_{1,5})_k(RMeSiO)_m(O_{0,5}SiMe_2CH_2OH)]_n$$

де: k = 0,7 ÷ 1,5; m = 0 ÷ 1,0; n = 2,7 ÷ 4,6; R = −Ph; $-CH_2CH_2CF_3$.

Цей спосіб складається з двох основних стадій:

– синтез проміжних продуктів – олігоорганосилоксанів, що мають ацетоксиметильні групи (ацетоксиметилсилоксанів) реакцією співгідролізу суміші фенілтриацетоксисилану, діорганодіацетоксисилану та ацетоксиметилдиметилацетоксисилану (АМДМАС) з подальшою конденсацією олігомерних продуктів співгідролізу;

– синтез багатоатомних α–спиртів реакцією метанолізу ацетоксиметилсилоксанів в присутності кислотного каталізатора.

Недоліками вищевказаного способу є наступні:

– неможливість отримувати ацетоксиметилсилоксани (і відповідно – α–спирти) з дифенілсилоксиланками у ланцюзі;

– наявність ОН–груп у Силіцію в α–спиртах (до 2 мас.%) внаслідок неповної конденсації продуктів співгідролізу, що погіршує хімічну стійкість полімерів, які отримуються в подальшому.

В зв'язку з цим, в даній роботі був здійснений пошук прийнятного варіанту процесу, який би дозволив об'єднати у складі ацетоксиметилсилоксану ланки Ph_2SiO і $O_{0,5}SiMe_2CH_2OAc$ та уникнути вище вказаних недоліків.

В результаті досліджень [4, 5] нами запропоновано використовувати для цієї мети реакцію гетерофункціональної конденсації типу:

$$\geqslant SiOM + AcOSi\leqslant \longrightarrow \geqslant Si-O-Si\leqslant + AcOM \qquad (1)$$

де М – лужний метал (переважно Li, Na, K).

На основі цієї реакції розроблена методика конденсації АМДМАС із силанолятами або силоксанолятами лужних металів. Реакція протікає в діапазоні температур 273–383 К в розчинниках, інертних в умовах синтезу, наприклад, толуолі чи діоксані. У разі використання дифенілсиландіоляту натрію синтезований 1,5–ді(ацетоксиметил)–1,1,5,5–тетраметил–3,3–дифенілтрисилоксан (***1***):

$$2AcOCH_2Me_2SiOAc + NaOSiPh_2ONa \xrightarrow[-2AcONa]{} AcOCH_2Me_2SiOSiPh_2OSiMe_2CH_2OAc \qquad (2)$$

1

Найбільший вихід ацетоксиметилсилоксану ***1*** (понад 91%) отримано при проведенні конденсації у толуолі за температури 383 К протягом 6 годин. В даному випадку реакція йде в гетерогенних умовах, оскільки дифенілсиландіолят натрію практично не розчиняється у толуолі.

Дослідження [5] показали, що необхідною умовою проведення конденсації за реакції (2) є відсутність у реакційному середовищі протонодонорних речовин, наприклад: води, спиртів або кислот, що викликають протікання побічних реакцій. з утворенням 1,3–ді(ацетоксиметил)тетраметилдисилоксану та похідних дифенілсиландіолу. Уникнути побічних реакцій вдалося при використанні свіжоперегнаного АМДМАС, а також при ретельному висушуванні дифеніл-

силандіоляту натрію, одержаного шляхом взаємодії дифенілсиландіолу зі стехіометричною кількістю лугу у розчині етанолу на холоді:

$$Ph_2Si(OH)_2 + 2NaOH \longrightarrow Ph_2Si(ONa)_2 + 2H_2O \qquad (3)$$

Сушіння дифенілсиландіоляту натрію здійснювали шляхом азеотропної відгонки води з толуолом.

Виділений ацетоксиметилсилоксан ***1*** являє собою рухливу прозору рідину світло-жовтого кольору, добре розчинну у більшості органічних розчинників.

Синтетичні можливості розглянутого метод синтезу ацетоксиметилсилоксанів вельми широкі. З його використанням було також здійснено синтез олігомерного ацетоксиметилсилоксану ***2*** розгалуженої будови за реакції відповідного фенілсилоксаноляту натрію з АМДМАС.

Фенілсилоксанолят натрію отримували шляхом взаємодії фенілтриетоксисилану і еквімолярної кількості NaOH та подальшої гідролітичної конденсації за схемою:

$$PhSi(OEt)_3 + NaOH + H_2O \longrightarrow 1/n[(PhSiO_{1.5})(O_{0.5}Na)]_n + + 3EtOH \qquad (4)$$

і далі аналогічно схеми (2) отримали олігомерний ацетоксиметилсилоксан ***2***:

$$[(PhSiO_{1.5})(O_{0.5}Na)]_n + n\ AcOSiMe_2CH_2OAc \longrightarrow$$

$$\longrightarrow [(PhSiO_{1.5})(O_{0.5}SiMe_2CH_2OAc)]_n + n\ AcONa \qquad (5)$$

2

Виділений олігомерний ацетоксиметилсилоксан ***2*** являє собою в'язку прозору рідину світло-жовтого кольору, добре розчинну в більшості органічних розчинників. Слід зазначити, що ацетоксиметилсилоксан ***2*** є полідисперсною сполукою розгалуженої будови, в якої ланки, що містять ацетоксиметильні групи, утворюють відгалуження, а ланки $PhSiO_{1.5}$ утворюють фрагменти переважно циклічної будови. Розподіл ацетоксиметилсилоксану ***2*** на окремі фракції не проводили. Оскільки молекулярну масу його визначали ебуліоскопічним методом, тому n = 5,0 в загальній формулі має середньочислове значення.

Метаноліз ацетоксиметилсилоксанів ***1*** і ***2*** за вдосконаленою методикою призвів до отримання відповідних олігомерних α–спиртів ***3*** і ***4***.

Ідентифікацію синтезованих ацетоксиметилсилоксанів і α–спиртів здійнювали методами ІЧ–спектроскопії та елементного аналізу.

Фізико–хімічні характеристики синтезованих сполук ***1–4*** наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Фізико–хімічні характеристики синтезованих сполук

№ сполуки	Формула сполуки	Вихід, мас.%	n_D^{20}	d_4^{20}	V, сст, при 293/333К
1	$AcOCH_2Me_2SiOSiPh_2OSiMe_2CH_2OAc$	91	1.4967	1.0815	–
2	$[(PhSiO_{1.5})(O_{0.5}SiMe_2CH_2OAc)]_{5.0}$	95	1.5080	1.1750	1350/190
3	$HOCH_2Me_2SiOSiPh_2OSiMe_2CH_2OH$	93	1.5278	–	–
4	$[(PhSiO_{1.5})(O_{0.5}SiMe_2CH_2OH)]_{5.0}$	93	1.5280	–	–

№ сполуки	ММ		Брутто-формула	Знайдено / обчислено, мас. %		
	знайдено	обчислено		Si	AcO	OH
1	450	476.75	$C_{22}H_{32}O_6Si_3$	17.88/17.67	24.50/24.77	–
2	1330	1342	$C_{55}H_{80}O_{20}Si_{10}$	20.60/20.93	21.60/22.00	–
3	440	392.68	$C_{18}H_{28}O_4Si_3$	21.23/21.46	–	7.10/8.66
4	1380	1132	$C_{45}H_{70}O_{15}Si_{10}$	24.55/24.81	–	6.25/7.51

Як показали подальші дослідження, олігомерні α–спирти ***3*** і ***4*** можуть бути використані для синтезу ПКМ з підвищеними експлуатаційними характеристиками на основі полісилоксануретанів.

Література:

1. Kuznecova V.P. Kremnijorganicheskie poliuretany / V. P. Kuznecova, N. N. Laskovenko, K. V. Zapunnaya. – Kiev: Naukova dumka, 1984. – 224 s.

2. A.s. № 904308 SSSR, MKI[3] C 08 C 77/14. Oligoorganosiloksany, soderzhashie oksimetilnye gruppy, – ishodnye veshestva dlya sinteza bystrootverzhdayushihsya poliuretanov s povyshennoj termicheskoj i himicheskoj stojkostyu i uluchshennymi

fiziko-mehanicheskimi svojstvami i sposob ih polucheniya / V.V.Sukachev, N.Ya. Kuzmenko, Yu.V.Svetkin (SSSR). – № 2869774/23-05; zayav. 15.01.1980.

3. Kuzmenko N. Ya. Sogidroliz feniltriacetoksisilana s acetoksimetil-dimetilacetoksisilanom / N. Ya. Kuzmenko, V. V. Sukachev, A. V. Snigir, Yu. V. Svetkin; Dnepropetr. him.–tehnol. in–t. – Cherkassy, 1982. – 12 s. – Dep. v ONIITEHIM 03.08.81, №800hp – D81.

4. Пат. 87083 Україна, МКИ[8] C 08 G 77/00. Спосіб одержання оксиметилсилоксанів / В. В. Сукачов (Україна). – № a200809164; заявл. 14.07.2008; опубл. 10.06.2009, Бюл. №11, 2009.

5. Сукачов В. В. Новий метод синтезу олігомерних ацетоксиметилсилоксанів / В. В. Сукачов, Ю. М. Ващенко // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Сер. хім. – 2014. – Т. 22, вип. 2. – С. 61–67.

УДК 661.718.5: 678.664

ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ПОЛІСИЛОКСАНУРЕТАНІВ. СИНТЕЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛІСИЛОКСАНУРЕТАНОВИХ ПОКРИТТІВ

Сукачов В.В.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро

sukachov.v.v@gmail.com

Як відомо, полісилоксануретани (ПСУ) мають специфічні властивості, притаманні як поліуретанам, так і кремнійорганічним полімерам: висока міцність, еластичність, хімічна та атмосферна стійкість тощо. Вони використовуються як покриття із винятковими експлуатаційними показниками, електроізоляційні матеріали, біосумісні полімери, модифікатори різних полімерних матеріалів, герметиків та ін. [1].

Проведені нами дослідження показали ефективність застосування олігомерних багатоатомних α–спиртів як зшивних агентів у процесі одержання ПСУ покриттів. Як ізоціанатна складова використані адукти, отримані реакцією толуїлендіізоціанату (ТДІ) та олігооксипропіленгліколів з ММ у межах 300–600 (торгова марка «Лапрол») при відношенні еквівалентів NCO/OH=2. Вихідні компоненти відмінно суміщаються при використанні циклогексанону як

розчинника (концентрація 50 мас.%), утворюючи лакові композиції із життєздатністю в межах 7–13 годин при 293 К. Лаки мають хороший розлив на різних поверхнях (метал, скло) і тверднуть за 4–12 годин за температури 373 К, утворюючи гладкі, прозорі, глянцеві ПСУ покриття з високою адгезією до основи. Оптимально поєднано характеристики в покриттях, одержаних при використанні адукту ТДІ–Лапрол 402 та відношенні еквівалентів NCO/OH = 1,75. При дослідженні властивостей ПСУ покриттів за об'єкт порівняння взято поліуретанове покриття ПУ–ТМП на основі адукту ТДИ-Лапрол 402 і триметилолпропану, який частіше всього застосовується у промисловості як зшивний агент.

Оцінку хімічної стійкості поліуретанів здійснювали прискореним методом при 323 К у рідких агресивних середовищах, в ролі яких обрані 20%-ві водні розчини NaOH, H_2SO_4 та HNO_3. За критерій хімічної стійкості взято час зниження межі міцності при розтягу вільних плівок наполовину ($\boldsymbol{\tau}_{50}$). Встановлено, що хімічна стійкість ПСУ (рецептури 1–3) в усіх перелічених середовищах вища за ПУ–ТМП (рецептура 4), особливо в окиснювальному середовищі (HNO_3) – у 4-5 разів, причому вплив методу синтезу вихідних α–спиртів не суттєвий (табл. 1).

Таблиця 1. Вплив будови зшивного агенту на хімічну стійкість поліуретанів

№ Рецептури	Зшивний агент	Вміст Силіцію, мас.%		Значення τ_{50} при 323 К, годин		
		знайдено	обчислено	20% NaOH	20% H_2SO_4	20% HNO_3
1 [3]	$[(PhSiO_{1,5})_{1,3}(O_{0,5}SiMe_2CH_2OH)]_{4,3}$	7,46	7,10	600	>1000	9
2 [3]	$[(PhSiO_{1,5})_{1,5}(O_{0,5}SiMe_2CH_2OH)]_{4,2}$	7,78	7,40	700	>1000	10
3 [2]	$[(PhSiO_{1,5})_{1,1}(O_{0,5}SiMe_2CH_2OH)_{0,7}(X)_{0,3}]_{4,4}$	8,80	8,36	600	>1000	8
4	$C_2H_5C(CH_2OH)_3$	–	–	500	900	2

Примітки: 1. Поруч з № рецептури в квадратних дужках наведено бібліографічне посилання на метод одержання олігомерних багатоатомних α–спиртів. 2. $X = O_{0,5}SiMe_2CH_2Cl$.

Вивчення світлостійкості покриттів різної будови проведено прискореним методом – під дією УФ–опромінення. Встановлено, що ПСУ покриття на основі багатоатомних α–спиртів, отриманих методом [3] (рецептури 1 і 2), переважають об'єкт порівняння (рецептура 4) за показником «еластичність при згині» мінімум у 4 рази після експозиції 1500 годин (табл. 2).

Таблиця 2. Світлостійкість поліуретанових покриттів

№ рецептури [метод одержання α–спирту]	Тривалість експозиції при УФ–опроміненні, годин	Зміна фізико–механічних властивостей покриттів при світлостарінні		
		міцність при ударі за У–1 (прямий), Н · м	еластичність при згині за ШГ–1, мм	адгезія, (у балах)
1 [3]	0	5,0	1	1
	500	5,0	1	1
	1000	4,0	2	1
	1250	4,0	3	1
	1500	3,5	5	2
2 [3]	0	5,0	1	1
	500	5,0	1	1
	1000	4,0	3	1
	1250	3,5	3	2
	1500	3,5	5	2
3 [2]	0	5,0	1	1
	500	4,0	3	1
	1000	3,5	5	2
	1250	3,5	10	2
	1500	3,0	10	2
4	0	5,0	1	1
	500	4,0	2	2
	1000	3,0	5	2
	1250	3,0	10	3
	1500	1,5	> 20	3

Рецептура 3 показала значно гірші результати у порівнянні з рецептурами 1 і 2, вочевидь, внаслідок наявності у вихідному α–спирті незаміщеного Хлору,

який відщеплюється під впливом УФ–опромінення з утворенням HCl, що каталізує подальшу деструкцію полімеру у цілому. Це є суттєвим недоліком методу [2] одержання α–спиртів.

Вказані випробування здійснено спільно з Харківським бюро впровадження НВО «Лакофарбпокриття», є акт дослідно–промислових випробувань.

Література:

1. Kuznecova V.P. Kremnijorganicheskie poliuretany / V. P. Kuznecova, N. N. Laskovenko, K. V. Zapunnaya. – Kiev: Naukova dumka, 1984. – 224 s.

2. Kuzmenko N. Ya. Sintez kremnijorganicheskih karbofunkcionalnyh spirtov. Soobshenie 1 / N.Ya. Kuzmenko, V.V. Sukachev, A.E. Fajnerman, L.I. Laevskaya, L.V. Getman; Dnepropetr. him.-tehnol. in–t. – Kiev, 1987. – 22 s. – Dep. v UkrNIINTI 28.05.87, № 1556 – Uk 87.

3. A.s. № 904308 SSSR, MKI^3 C 08 C 77/14. Oligoorganosiloksany, soderzhashie oksimetilnye gruppy, – ishodnye veshestva dlya sinteza bystrootverzhdayushihsya poliuretanov s povyshennoj termicheskoj i himicheskoj stojkostyu i uluchshennymi fiziko-mehanicheskimi svojstvami i sposob ih polucheniya / V.V.Sukachev, N.Ya. Kuzmenko, Yu.V.Svetkin (SSSR). – № 2869774/23-05; zayav. 15.01.1980.

УДК 678.64: 678.664: 541.66: 541.115

СИНТЕЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНОЇ ДЕСТРУКЦІЇ КРЕМНІЙОРГАНІЧНИХ УРЕТАНІВ

Сукачов В.В.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро

sukachov.v.v@gmail.com

Термічна стійкість уретанових полімерів є важливою характеристикою, оскільки визначатиме можливості застосування їх у складі композиційних матеріалів, експлуатація яких в багатьох випадках передбачає вплив підвищеної температури. Тому вивчення термічної стійкості уретанів на основі олігомерних α–спиртів, описаних в попередніх роботах [1-4], є актуальним. Для цього

синтезовано ряд модельних сполук – кремнійорганічних уретанів на основі дво– чи багатоатомних α–спиртів і моноізоціанатів (н–бутил–, бензил–, феніл– і α–нафтилізоціанат).

Загальна схема реакції синтезу уретанів:

$$n\ R_1NCO + R_2[CH_2OH]_n \longrightarrow R_2[CH_2OC(O)NHR_1]_n \qquad (1)$$

де n = 2–4,6; далі № уретану; будова радикала R_1; будова α–спирту (R_2) та посилання на методику його отримання:

I; н–Bu; $[(PhSiO_{1,5})(O_{0,5}SiMe_2CH_2OH)]_{4,6}$; [1];

II; CH_2Ph; $[(PhSiO_{1,5})(O_{0,5}SiMe_2CH_2OH)]_{4,6}$;

III; Ph; $[(PhSiO_{1,5})(O_{0,5}SiMe_2CH_2OH)]_{4,6}$;

IV; α–$C_{10}H_7$; $[(PhSiO_{1,5})(O_{0,5}SiMe_2CH_2OH)]_{4,6}$;

V; Ph; $[(PhSiO_{1,5})_{1,3}(O_{0,5}SiMe_2CH_2OH)]_{4,3}$; [1];

VI; Ph; $[(PhSiO_{1,5})_{1,5}(O_{0,5}SiMe_2CH_2OH)\ ]_{4,2}$; [1];

VII; Ph; $[(PhSiO_{1,5})_{1,1}(O_{0,5}SiMe_2CH_2OH)_{0,70}(X)_{0,30}]_{4,4}$; де X=$O_{0,5}SiMe_2CH_2Cl$; [2];

VIII; Ph; $[(PhSiO_{1,5})_{1,3}(O_{0,5}SiMe_2CH_2OH)_{0,65}(X)_{0,35}]_{5,8}$; [2];

IX; Ph; $[(PhSiO_{1,5})_{1,5}(O_{0,5}SiMe_2CH_2OH)_{0,55}(X)_{0,45}]_{6,6}$; [2];

X; Ph; $HOCH_2Me_2SiOSiPh_2OSiMe_2CH_2OH$; [3];

XI; Ph; $HOCH_2Me_2SiOSiMe_2CH_2OH$; [1];

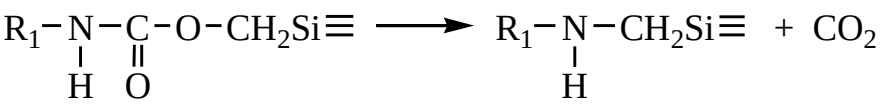
XII; Ph; $HOCH_2Me(Ph)SiOSiMe(Ph)CH_2OH$; [4].

Синтез уретанів проводили при відношенні еквівалентів NCO:OH=1,1 в розчиннику (осушений бензол) за температур 328–333 К у середовищі азоту. Цільовий продукт очищали дворазовим переосадженням із бензолу в гексан. Виділені уретани I–XII являють собою легкоплавкі смоли, добре розчинні в бензолі, діетиловому ефірі, ацетоні. Ідентифікацію уретанів здійснювали методами елементного аналізу та ІЧ–спектроскопії.

Вивчення температурних і кінетичних характеристик процесу термодеструкції уретанів здійснювали методами ДТГ+ДТА в інтервалі 293–773 К в середовищі повітря при швидкості підіймання температури 5 град/хв, використовуючи наважки 80–90 мг. Частину дослідів проводили в інертному

середовищі (гелій). Розрахунок кінетичних параметрів процесу деструкції виконували за графічним методом Бройдо [5].

Зміни хімічної структури уретанів під впливом підвищених температур досліджували методами ІЧ–спектроскопії і елементного аналізу. Встановлено, що в ІЧ–спектрах продуктів деструкції уретанів I – IV (зі змінною ізоціанатною складовою) в інтервалі 293–593 К відсутні смуги поглинання 2270 і 2152–2128 $см^{-1}$, що відповідають коливанням груп –N=C=O і –N=C=N–, а це дає підставу припустити, що із двох можливих напрямків терморозпаду уретанових груп, за Тараканови м–Шоріхом О.Г. [6], найбільш вірогідним є такий:



(2)

Таким чином, домінуючим фактором, що визначає імовірні напрямки терморозпаду уретанових груп, є наявність в α–положенні до уретанової групи атома Силіцію, який має, по–перше, електронодонорні властивості, а по–друге, здатність до внутрішньомолекулярної координаційної взаємодії з атомами Оксигену (етерним і, можливо, карбонільним) уретанової групи, яка називається α–эфектом [7]. Будова радикала R_1, певне, мало впливає на терморозпад уретанових груп.

На рис. 1 подано термограми уретанів III, VII і X на повітрі, типові для досліджуваних сполук:

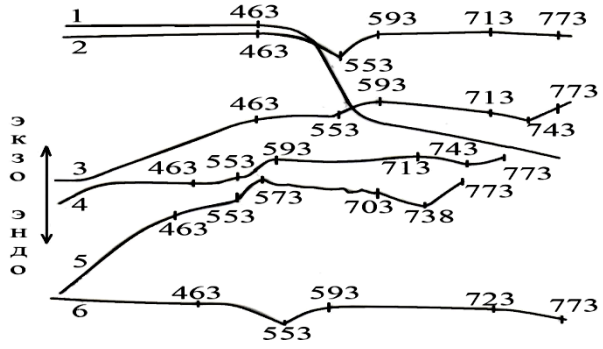


Рис. 1. Термограма уретану III на повітрі: ТГ(1), ДТГ(2), ДТА(3); ДТА на повітрі уретанів VII (4) і X (5) відповідно; ДТА уретану III (6) в середовищі Гелію

Із наведених термограм видно, що термодеструкція уретанів розпочинається при 463–473 К та відбувається в дві основні стадії, температурні інтервали яких мало залежать від будови уретанів і складають 463–593 і 593–773 К відповідно.

В ряду ***а*** уретанів I–IV зі змінною ізоціанатною складовою втрати маси збільшуються у послідовності, характерній для органічних ізоціанатів: н–бутил-ізоціанат < бензилізоціанат ≈ фенілізоціанат < α–нафтилізоціанат (табл. 1) [8]. У решті випадків втрати маси закономірно зменшуються при зниженні вмісту термолабільних уретанових груп.

Таблиця 1. Показники термічної деструкції уретанів

№ уретану	Ряди	Вміст уретанових груп, розраховано, мас.%	Температура max швидкості розпаду, К	Втрати маси, %	Інтегральна швидкість втрати маси, % / хв	E_a кДж/моль (інтервал температур, К)
I	***а***	18,1	558	29	1,21	109 (513–573)
II		16,4	553	40	1,67	105 (503–563)
III		17,1	553	39	1,63	103 (483–563)
III (Не)		17,1	558	38	1,58	109 (493–563)
IV		14,9	543	42	1,75	93 (483–553)
III	***б***	17,1	553	39	1,63	103 (483–563)
V		15,4	558	29	1,21	106 (493–563)
VI		14,1	558	20	0,83	119 (483–553)
VII	***в***	12,6	553	35	1,35	92 (483–553)
VIII		11,0	548	27	1,04	87 (473–553)
IX		8,9	548	19	0,73	69 (473–553)
X	***г***	18,7	553	36	1,50	103 (483–553)
XI		27,3	553	90	3,75	87 (473–543)
XII		21,2	558	56	2,33	116 (503–563)

Примітка: дані в таблиці для уретанів ряду ***в*** взяті з роботи [9]

Значення сумарної енергії активації (E_a) процесу терморозпаду уретанових груп складають 69–119 кДж/моль, що узгоджується з літературними даними.

Зменшення E_a в ряду ***а*** (н–бутил–, бензил–, феніл– та α–нафтилуретани) – відповідно 109, 105, 103 і 93 кДж/моль (таблиця) досить типове [8] і, на думку авторів цієї роботи, пов'язане із каталітичним впливом парамагнітних центрів, що утворюються при термолізі уретанів на основі ароматичних ізоціанатів, а також зміщенням вільної електронної пари атома Нітрогену до ароматичного ядра (+М–ефект).

Встановлено неоднозначний вплив будови вихідних α–спиртів на E_a. У ряду ***б*** уретанів III, V, VI спостерігається зростання E_a зі збільшенням ММ α–спиртів, тоді як в ряді ***в*** уретанів VII–IX наявна зворотня тенденція.

Перша залежність, вірогідно, обумовлена зростанням енергії водневих зв'язків NH–уретанових груп із силоксановими фрагментами ($PhSiO_{1,5}$).

Температурні та кінетичні характеристики процесу терморозпаду кремній-органічних уретанів у середовищі повітря (перша стадія, 463–593 К) такого типу справляють істотний вплив на термостійкість ПСУ, що показано в роботі К.А. Андріанова зі співавторами [10]. У другому випадку переважним фактором, певне, є збільшення вмісту незаміщеного Хлору, який при нагріванні відщеплюється у вигляді HCl (доведено аналітично), що каталізує розпад уретанових груп. Ці дані коригують з результатами вивчення світлостійкості ПСУ покриттів, наведеними у попередньому повідомленні.

Література:

1. A.s. 904308 SRSR, МРК^3 C 08 C 77/14. Oligoorganosiloksany, soderzhashie oksimetilnye gruppy, – ishodnye veshestva dlya sinteza bystrootverzhdayu-shihsya poliuretanov s povyshennoj termicheskoj i himicheskoj stojkostyu i uluchshennymi fiziko–mehanicheskimi svojstvami i sposob ih polucheniya / V. V. Sukachev, N. Ya. Kuzmenko, Yu. V. Svetkin (SSSR). – № 2869774/23–05 ; zayavl. 15.01.80.

2. Kuzmenko N. Ya. Sintez kremnijorganicheskih karbofunkcionalnyh spirtov. Soobshenie 1 / N.Ya. Kuzmenko, V.V. Sukachev, A.E. Fajnerman, L.I. Laevskaya, L.V. Getman; Dnepropetr. him.-tehnol. in–t. – Kiev, 1987. – 22 s. – Dep. v UkrNIINTI 28.05.87, № 1556 – Uk 87.

3. Пат. 87083 Україна, МКИ^8 C 08 G 77/00. Спосіб одержання оксиметил-силоксанів / В. В. Сукачов (Україна). – № a200809164; заявл. 14.07.2008; опубл. 10.06.2009, Бюл. №11, 2009.

4. Smetankina N. P. Karbofunkcionalnye kremnijorganicheskie soedineniya. 1. Difunkcionalnye bis(alkilmetilfenil)disiloksany / N. P. Smetankina, L. E. Karbovskaya // Zhurnal obshej himii. – 1967. – T. 37, vyp. 1. – S. 271–274.

5. Broido A. A Simple, Sensitive Graphical Method of Treating Thermogravimetric Analysis Data / Broido A. // Journal Polymer Science. Part A–2. Polym. Phys. – 1969. – Vol. 7, N10. – P. 1761–1773.

6. Tarakanov–Shorih O. G. Izuchenie struktury i destrukcii poliuretanov : avtoref. dis. na soisk. uch. step. d.h.n. / Oleg Georgievich Tarakanov–Shorih.– M., 1967. – 36 s.

7. Feshin V. P. Mehanizm a-effekta v a-karbofunkcionalnyh organicheskih soedineniyah elementov IV B gruppy / V. P. Feshin, M. G. Voronkov // Doklady AN SSSR. – 1973. – T. 209, №2. – S. 400–403.

8. Kuznecova V. P. Kremnijorganicheskie poliuretany / V. P. Kuznecova, N. N. Laskovenko, K. V. Zapunnaya. – Kiev: Naukova dumka, 1984. – 224 s.

9. Kuzmenko N. Ya. Sintez kremnijorganicheskih oligouretanov i izuchenie ih termostojkosti. Soobshenie 2 / N. Ya. Kuzmenko, V. V. Sukachev, K. V. Zapunnaya, A. I. Maslyukov ; Dnepropetr. him.–tehnol. in–t. – Kiev, 1987. – 16 s. – Dep. v UkrNIINTI 28.05.87, № 1557 – Uk 87.

10. Issledovanie termicheskoj destrukcii poliuretansiloksanov / K. A. Andrianov, C. S. Pavlova, Yu. I. Tolchinskij [i dr.] // Vysokomolekulyarnye soedineniya. Krat. coobsh. Ser. B. – 1979. – T. 21, №7. – S. 540–545.

УДК 678.027.3; 678.675

БАЗАЛЬТОПЛАСТИКИ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНОГО ПОЛІАМІДУ

Хомутов А.В., Баштаник П.І., Заремба Г.В., Сухий К.М.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

kh.andrey88@gmail.com

В якості в’яжучого для отримання конструкційних пластиків використовують багатотоннажні інженерні полімери, у тому числі – поліаміди. Для підвищення міцності, жорсткості та теплостійкості поліамід армують волокнами. Серед неорганічних волокнистих наповнювачів особливий інтерес представляють базальтові волокна (БВ), які отримують із гірських порід вулканічного

походження [1]. Для підвищення фізико-механічних властивостей базальтопластиків (БП) необхідно модифікувати полімерну матрицю та армуюче волокно.

Світовий досвід показує, що на основі сплавів навіть термодинамічно несумісних полімерів можливо створювати матеріали з новим комплексом фізико-механічних властивостей [2]. Як полімерне в'яжуче нами використовувалась суміш поліаміду-6 (ПА-6) та поліпропілену (ПП). Суміщення полімерів проводили в черв`ячно-дисковому екструдері ЕД-2,2 за температури в зоні нормальних напружень 230 °С та частоті обертання диску 20 об/хв. Екструдована композиція подрібнювалась на грануляторі та перероблялася методом лиття під тиском у стандартні зразки. При литті під тиском стандартних зразків температура по зонах литтєвої машини складала 230-250 °С.

Властивості отриманої полімерної суміші ПА-6/ПП наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Властивості полімерної суміші ПА-6/ПП в залежності від вмісту ПП

Характеристика	Вміст у суміші ПП, мас. %						
	0	2	4	6	8	10	20
Густина, кг/м^3	1126	1107	1111	1108	1113	1094	1065
Міцність при розтягу, МПа	58,0	64,0	61,0	58,0	57,0	48,0	38,0
Відносне видовження при розриві, %	134	41	55	58	60	20	10
Ударна в`язкість за Шарпі, кДж/м^2	114	190	135	102	55	42	22
Усадка, %	0,64	0,64	0,64	0,64	0,50	0,50	0,64
Текучість за равликом, мм	700	710	713	715	718	741	762
Теплостійкість за Віка, °С	215	211	210	208	205	201	190

Аналізуючи дані табл. 1, можна зробити висновок, що при введенні у поліамід поліпропілену значно зростає текучість отриманої полімерної суміші.

Залежність міцності при розтягу від вмісту в суміші ПП має екстремальний характер.

В свою чергу, густина, відносне видовження при розриві та теплостійкість за Віка поступово знижуються зі зростанням вмісту у в'яжучому ПП. При його вмісті у суміші понад 10 мас. % починає зростати усадка пластику.

Зменшення густини модифікованого поліаміду пояснюється тим, що в суміш додається поліпропілен, який початково має на 20 % меншу густину, ніж поліамід. Теплостійкість за Віка суміші знижується з причини меншої температури плавлення поліпропілену, яка становить 155 °С (215 °С – у поліаміду).

Дані табл. 1 вказують, що зростання міцності полімерної суміші відбувається при додаванні ПП у кількості 2-6 мас. % до ПА-6. При даних концентраціях взаємне диспергування компонентів виявилося найкращим. Встановлено, що ПП утворює в ПА-6 волокнисту структуру, яка армує полімерну матрицю. Це призводить до підвищення її міцності при розтягу.

При додаванні в суміш термопластів поліпропілену у кількості 2-4 мас. % також спостерігається значне зростання ударної в`язкості полімерного сплаву. Цей факт також можна пояснити утворенням у полімерній матриці волокнистих структур поліпропілену. Отримані результати доводять перспективність сумішення малих добавок ПП з ПА-6. У результаті технологічного змішування цих полімерів утворюється полімерний сплав, який має підвищену на 10-15 % міцність при розтягу та підвищену на 80 % ударну в`язкість.

Модифікований ПА-6 використовувався як полімерне в'яжуче для одержання БП. Для армування використовували рубане БВ довжиною 10-14 мм. Волокно апретували розчином аміносилану в ізопропіловому спирті. Вміст апрету на БВ змінювали від 0,50 до 1,25 мас. %. Нами встановлено, що апретування БВ покращує адгезійний контакт в системі «термопласт – БВ». Такий факт може бути обумовлений як формуванням хімічних зв'язків між БВ і полімерною матрицею, так і покращенням текучості композитів, що сприяє утворенню менш дефектних структур.

З підвищенням вмісту апрету на БВ до 1 мас.% зростає ймовірність протікання реакцій з гідроксильними групами атомів Силіцію БВ та апрету. Вміст

апрету більше 1 мас. % виявляється надмірним. В таблиці 2 наведено вплив вмісту апрету на БВ на властивості БП на основі модифікованого поліаміду-6.

Аналізуючи дані табл. 2, можна зробити висновок, що апретування БВ аміносиланом призводить до значного підвищення механічних властивостей БП (міцність при розтягу зростає до 140 МПа). При оптимальній кількості аміносилану на БВ (1,00 мас. %) спостерігаються максимальні значення властивостей композитів.

Таблиця 2. Властивості базальтопластиків на основі модифікованого ПА-6 та 30 мас.% БВ, апретованих аміносилановим апретом

Характеристика	Вміст апрету на волокнах, мас. %				
	0,00	0,50	0,75	1,00	1,25
Густина, кг/м^3	1275	1282	1282	1285	1280
Показник текучості розплаву, г/10хв	5	9	13	17	10
Міцність про розтягу, МПа	100	110	130	140	95
Відносне видовження при розриві, %	10	10	10	10	11
Ударна в’язкість за Шарпі, кДж/м^2	20	20	21	21	20

Покращення механічних властивостей БП свідчить про якісно нові види взаємодії між армуючими волокнами і полімерним в’яжучим. Цей шлях модифікації БВ є доступним, відносно простим та має низьку енергоємність. Завдяки армуванню модифікованого поліаміду рубаним БВ, можна отримати ряд промислово важливих пластиків, які зарекомендують себе як багатотоннажний конструкційний матеріал широкого спектру використання.

Література:

1. Ahlatli O., Bozkurt O.Y., Erklig A., Kiziltas A., Gardner D.J. (2024). Nanofiller-and basalt fiber-reinforced recycled polyamide 6 hybrid composites. *Polymer Composites,* 2024, 45, 13753-13771.

2. Pham N.T.-H. (2021). Effects of polyamide 6 on the mechanical behavior of thermoplastic polyurethanes/polyamide 6 blends. *Journal of Engineering Manufacture*, 2021, Issue 6-7, 639 – 647.

УДК 678.027.3; 678.675

БАЗАЛЬТОПЛАСТИКИ З КОМБІНОВАНИМ НАПОВНЮВАЧЕМ НА ОСНОВІ ПОЛІПРОПІЛЕНУ

Антоненко Г.О, Баштаник П.І., Оскандо В.А., Сухий К.М.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

bashtanyk@i.ua

Механічна поведінка композиту визначається співвідношенням властивостей армуючих елементів і матриці, а також міцністю зв'язку між ними. У результаті поєднання армуючих елементів і матриці утворюється комплекс властивостей композиту, що не лише відбиває початкові характеристики його компонентів, але і додає властивості, яких вихідні компоненти не мають. Предметом дослідження є фізико-механічні властивості базальтопластиків на основі поліпропілену, що наповнені комбінованим (волокнистим та дисперсним) наповнювачем.

Як в'яжуче для отримання композитів використовували поліпропілен марки PPG 1035-08. Термопласти армували рубаними на відрізки 10-14 мм базальтовими волокнами із джгуту ЖБТР 0-330 (ТУ У 00292729.001-96) лінійною густиною 330 текс. Як дисперсний наповнювач використовували каолін марки КРТШП-2 Просянівського родовища. Суміщення компонентів базальтопластику здійснювали методом комбінованої екструзії. Для вивчення складу комбінованого наповнювача на фізико-механічні властивості базальтопластиків було досліджено вплив зростання концентрації дисперсного наповнювача на властивості композитів.

У табл. 1 наведено залежність властивостей композиту на основі поліпропілену від вмісту у складі комбінованого наповнювача базальтового волокна (БВ) та каоліну (К). Аналізуючи дані табл. 1, можна констатувати, що зі зростанням у складі комбінованого наповнювача каоліну збільшується текучість пластику, усадка композиту коливається від 1,32 до 1,45 %.. При

вмісті у наповнювачі невеликої кількості (5-10 мас. %) каоліну спостерігається зростання міцності при розтягу композиту, що можна пояснити утворенням під впливом дисперсного наповнювача, що відіграє роль центрів кристалізації, у міжволоконних прошарках поліпропілену більш упорядкованої дрібнокристалічної структури.

Таблиця 1. Вплив вмісту комбінованого наповнювача на властивості базальтопластиків на основі поліпропілену

Властивості	Склад комбінованого наповнювача, мас. %					
	30БВ	25БВ 5К	20БВ 10К	15БВ 15К	10БВ 20К	30К
Показник текучості розплаву, г/10 хв	0,23	0,32	1,35	1,40	1,45	1,51
Густина, кг/м^3	1056	1058	1052	1052	1048	1046
Міцність при розтягу, МПа	31,7	38,0	39,3	35,5	34,7	28,0
Відносне видовження при розриві, %	14	8	12	14	10	14
Ударна в’язкість за Шарпі, кДж/м^2	21,3	23,6	16,5	18,9	19,4	21,8
Теплостійкість за Віка, °С	180	178	176	173	172	170
Усадка, %	1,35	1,37	1,40	1,45	1,35	1,32

БВ – базальтове волокно; К – каолін

Подальше зростання вмісту у наповнювачі дисперсного і зменшення волокнистого наповнювача призводить до закономірного зниження механічних властивостей композиту. Таким чином, раціональним складом комбінованого наповнювача базальтопластиків на основі поліпропілену є 20 мас. % базальтового волокна та 10 мас. % каоліну.

УДК 678.027.3; 678.742.2; 678.046.5

РЕГУЛЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕРЕВИННО-ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

Криволапов Д.С., Баштаник П.І., Сухий К.М., Суха І.В.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

dmipro706@gmail.com

Деревинно-полімерні композити (ДПК) є перспективними матеріалами, що поєднують властивості полімерів і деревини та характеризуються міцністю, вологостійкістю й екологічністю. Завдяки цим властивостям вони застосовуються у будівництві, меблевій промисловості, транспорті та інших галузях, де важливі механічна стабільність і довговічність матеріалів [1].

Основними компонентами ДПК є термопластичні полімери (поліетилен, поліпропілен, ПВХ) та деревинне борошно чи волокна. Для покращення експлуатаційних характеристик використовують модифікатори й наповнювачі, що впливають на адгезію, термостійкість, гідрофобність та механічні властивості матеріалу [2].

Ключовою проблемою створення деревинно-полімерних композитів є низька сумісність між гідрофобною полімерною матрицею та гідрофільним деревинним наповнювачем. Термопластичні полімери (поліетилен, поліпропілен) мають неполярну структуру, що обумовлює їхню гідрофобність. Деревинне борошно містить гідроксильні групи, які взаємодіють з водою, що знижує адгезію між фазами та механічні властивості композиту [3].

Для покращення міжфазної взаємодії застосовуються спеціальні модифікатори, що змінюють поверхневі властивості деревинного наповнювача або полімерної матриці.

У попередніх дослідженнях було встановлено, що епоксидована соєва олія (ЕСО) може виступати як ефективний засіб сумісності, покращуючи окремі механічні характеристики деревинно-полімерних композитів [4]. А зольний

пил, як доступний промисловий відпадок, показав себе як функціональний неорганічний наповнювач, що впливає на міцність при вигині та інші фізико-механічні властивості композитів [5].

Для повного розуміння впливу та оптимізації складу критично важливим є дослідження комбінованого застосування ЕСО та зольного пилу з метою виявлення синергетичних або антагоністичних ефектів. Комплексне вивчення їхньої взаємодії дозволить оптимізувати склад ДПК, розширити сфери застосування та сприятиме створенню більш сталих і конкурентоспроможних матеріалів. Актуальність дослідження визначається потребою у ресурсоефективних, екологічно орієнтованих композиціях, здатних поєднувати доступність вторинної сировини з високими експлуатаційними показниками.

Метою роботи є комплексне дослідження впливу модифікатора (ЕСО) та неорганічного наповнювача (зольного пилу) на властивості деревинно-полімерного композиту з подальшою розробкою ресурсоефективного матеріалу з покращеними експлуатаційними характеристиками.

Для оцінки комбінованого впливу ЕСО та зольного пилу на властивості деревинно-полімерних композитів застосовано метод планування експерименту. Як змінні фактори обрано вміст ЕСО (X_1) та зольного пилу (X_2), що частково замінює кальцит.

Центральні рівні факторів становили:

- X_1 – 1,25 мас. %;
- X_2 – 5,5 мас. %.

Інтервали варіювання:

- для ЕСО – 0,75 мас. % (0,5-2,0 мас. %);
- для зольного пилу – 2,75 мас. % (2,75-8,25 мас. %).

Експериментальна матриця побудована як двофакторний повний факторний план (2^2) з центральною точкою. Це дозволило оцінити лінійні ефекти, взаємодію факторів та адекватність моделі.

Міцність при вигині є одним із ключових механічних показників деревинно-полімерних композитів, що визначає їхню здатність витримувати

навантаження без руйнування в умовах вигину. Цей параметр має вирішальне значення для конструкційних застосувань, де важлива експлуатаційна надійність та довговічність виробів.

Аналіз експериментальних даних показав виражений вплив модифікатора та наповнювача – епоксидованої соєвої олії та зольного пилу – на міцність при вигині. При фіксованому вмісті зольного пилу (2,75 мас. %) збільшення концентрації ЕСО від 0,50 до 2,00 мас. % призводило до зниження міцності при вигині від 50,0 до 41,0 МПа. Аналогічна тенденція спостерігалася при вмісті 8,25 мас. % зольного пилу: міцність при вигині знижувалася від 53,1 до 46,1 МПа. Це свідчило про те, що перевищення оптимальної концентрації ЕСО (0,50 мас. %) спричиняло надмірну пластифікацію полімерної матриці, що негативно впливало на механічні властивості композиту.

Вплив зольного пилу є позитивним: при фіксованому вмісті ЕСО (0,50 мас. %) збільшення концентрації зольного пилу від 2,75 до 8,25 мас. % забезпечувало зростання міцності при вигині від 50,0 до 53,1 МПа. При вмісті 2,00 мас. % ЕСО аналогічне збільшення концентрації зольного пилу призводило до підвищення міцності від 41,0 до 46,1 МПа. Це підтверджувало роль зольного пилу як мінерального наповнювача із високою жорсткістю, що покращувало структурну цілісність композиту.

Для кількісної оцінки впливу факторів побудовано регресійну модель у кодованих змінних:

$$Y_{\text{міцність}} = 47{,}46 - 4{,}00X_1 + 2{,}05X_2$$

де X_1 – кодований вміст ЕСО, X_2 – кодований вміст зольного пилу.

Статистичний аналіз показав, що коефіцієнти b_1 та b_2 є значущими, тоді як коефіцієнт взаємодії b_{12} не є статистично значущим. Адекватність моделі підтверджується значенням F-критерію Фішера ($F_{розр} = 12{,}63 > F_{табл} = 3{,}49$), що свідчить про її відповідність експериментальним даним.

Таким чином, вплив ЕСО та зольного пилу на міцність при вигині ДПК є переважно адитивним. ЕСО демонструє нелінійний ефект: при низьких концентраціях вона діє як модифікатор сумісності, покращуючи адгезію між

фазами, тоді як її надмірна кількість здійснює пластифікуючу дію, і міцність композиту знижується. Зольний пил, навпаки, стабільно підвищує міцність, виконуючи роль структурного підсилювача. Для оптимізації міцності при вигині доцільно обмежити вміст ЕСО до початкової концентрації (близько 0,50 мас. %) та збільшити вміст зольного пилу для забезпечення жорсткості та структурної стабільності композиту.

Отримані результати дозволяють цілеспрямовано модифікувати рецептуру ДПК для досягнення високих механічних властивостей та розширення сфери застосування.

Література:

1. Mukbaniani O., Tatrishvili T., Kvinikadze N., et al. Wood–Polymer Composite Based on Styrene and Triethoxy(vinylphenethyl)silane // *Journal of Chemistry and Chemical Technology*. 2023. 17(No 1). P. 35-44.

2. Schneider M.H., Vasic S., Lande S., Phillips D.G. Static bending and toughness of wood–polymer composites (yellow birch and basswood) // *Wood Science and Technology*. 2003. 37. P. 165-176.

3. Gardner D.J., Han Y., Wang L. Wood–Plastic Composite Technology // *Current Forestry Reports*. 2015. 1. P. 139-150.

4. Kulikov A., Kryvolapov D., Sukhyy K., Yeromin O., Fedak M., Prokopenko O., Sukha I., Musaio A., Hrebik T. Study of the Impact of Epoxidized Soybean Oil on the Characteristics of Wood-Polymer Composites // *Materials*. 2025. 18. 2455.

5. Криволапов Д.С., Сухий К.М., Баштаник П.І., Третьяков А.О., Безрукавий В.О. Вплив зольного пилу на властивості деревинно-полімерних композитів // *Питання хімії та хімічної технології*. 2024. 3. С. 83–88.

UDC 544.725.2+544.23+678

3D PRINTED UF MEMBRANES PRODUCED FROM POLYLACTIC ACIDS FOR DECOLORIZATION OF AQUEOUS SOLUTIONS

Pini Pereira P.[1], Pacola Gonçalves I.[1], Molina L.C.A.[1], Dzyazko Yu.S.[1*], Ribeiro A.C.[1], Bergamasco R.[1]

[1]State University of Maringá

5790 Colombo Ave., Maringá 87020-900, PR, Brazil

[2]V.I. Vernadskii Institute of General and Inorganic Chemistry of the NASU

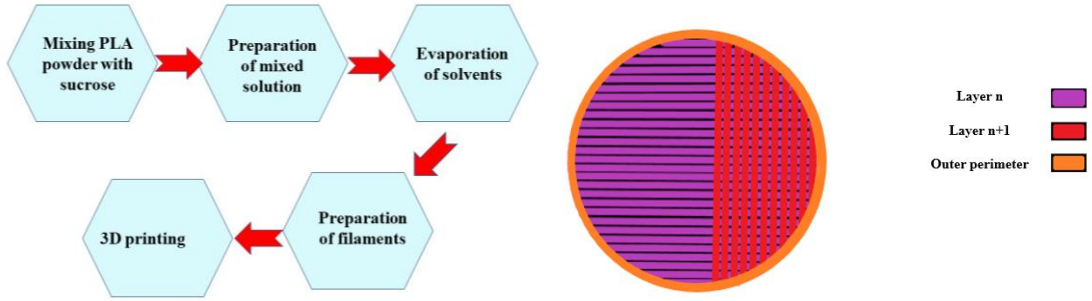
acad. Palladin ave. 32/34, 03142, Kiev, Ukraine

dzyazko@gmail.com

Eco-friendly 3D printing gives a possibility to obtain membranes of any shape and size, which are required by a customer [1]. Among known materials for 3D printing, polylactic acid (PLA) is attractive, since a monomer for this polymer is synthesized from renewable and cheap feedstock [2]. Thus, 2 stages of the membrane production are related to "green" methods. For concentrating colloidal particles, macromolecular or low molecular weight compounds, only one component of the membrane (macromolecular substrate or active layer) is printed, other constituent is manufactured with a conventional method. Here 3D printing of whole ultrafiltration (UF) membrane is proposed, the membrane was applied to the dye removal from low concentrated solution – as a rule, UF is directed to the decontamination of rather highly concentrated solutions (10-100 ppm) [3]. When the retention of dye is even 99%, its residual amount can provide an intensive color of the permeate.

A scheme of the membrane manufacture involved mixing PLA with pore-forming agent [4] followed by the filament preparation and 3D printing (Fig. 1a) with a method of fused deposition modeling (FDM) (Fig. 1b). Printing was carried out at 210 °C (extruder nozzle with a diameter of 0.4 mm) and 60 °C (print bed, where membrane was formed). The procedure of the membrane preparation involved printing (i) outer contour, (ii) 3 layers of straight stripes inside the contour, where a distance between them was set as zero. The stripes of the next layer were rotated 90^{o}

relatively to the previous layer. Solutions of organic dyes of various molecular mass (Fig. 2) were filtered through the membrane.



a b

Fig. 1. Membrane preparation (a) and printing using FDM technique (b)

A FTIR spectrum of the PLA powder from the printed membrane shows the bands of hydroxyl (3666 and 3516 cm^{-1}) and carbonyl groups (1780 cm^{-1}), which correspond to valence vibrations (Fig. 3). These bands are originated from the ester and end –COOH or –OH groups indicating the contribution of charge effect to the dye retention. This is possible, since a size of pores is 8-14 nm as determined by a calibration with solutions of bovine serum albumin (69 kDa) and polyethylene glycole (10 kDa).

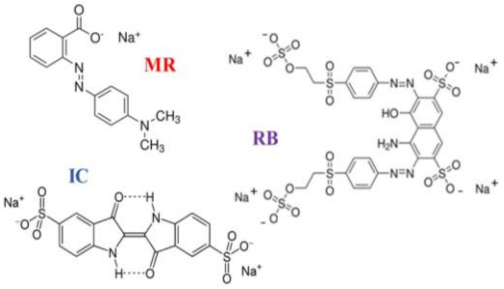


Fig. 2. Methyl Red (MR), Indigo Carmine (IC), Reactive Black 5 (RB)

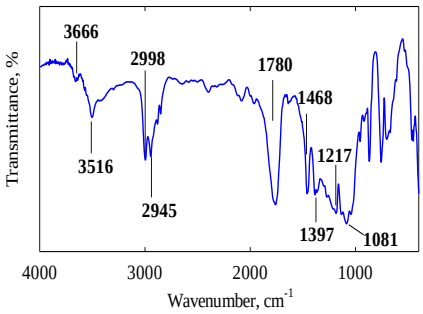


Fig. 3. FTIR spectrum of PLA from the printed membrane

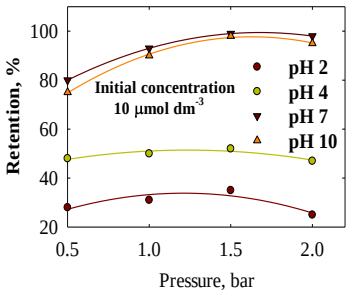


Fig. 4. MR retention under different pH *vs* pressure

Indeed, the MR retention increases within the row: pH 2 < pH 4 < pH 10 ≤ pH 7 (Fig. 4). Lower retention in acidic media is due to weaker charge of the membrane surface. Moreover, the acid decreases a thickness of the diffusion part of intraporous

electric double layer (EDL). This is also a reason of slight deterioration of the dye retention in alkaline medium. At pH≥7, the membrane separation ability is strongly affected by pressure due to concentration polarization, which provokes the dye deposition, since its concentration at the membrane surface exceeds solubility. For instance, when the membrane exhibits practically 100% retention (the initial concentration is 10 μmol dm^{-3}, the pressure is 1.5 bar), the effective concentration of the boundary solution is 28 mmol dm^{-3}. This is much higher than the concentration in the bulk solution. Diffusion of the dye to the permeate from highly concentrated boundary solution depresses the retention at 2 bar.

UF allows us to reduce color in 3.7 – 56 times, when the initial concentration of MR in a feeding solution is 10 μmol dm^{-3} (Fig. 5). The color of the permeate was 1-15 Hazen units, i.e. colorless. The permeate of low intensive color was observed in the case of higher initial concentration (50 μmol dm^{-3}). Regarding the most concentrated solution, the UF process gives a permeate of intensive color (≈110 Hazen units).

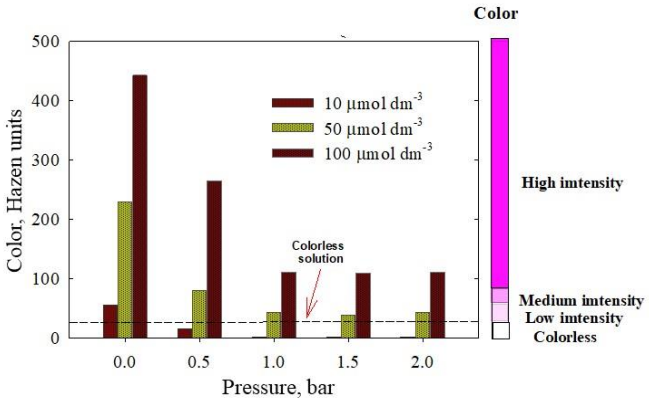


Fig. 5. Effect of pressure and initial dye concentration on the permeate color

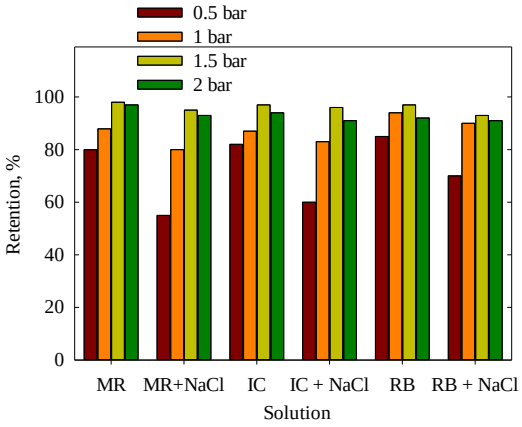


Fig. 6. Dye retention affected by pressure. Initial concentration (μmol dm^{-3}) was 10 (MR) and 1 (IC and RB)

NaCl (0.1 mol dm^{-3}) decreases the dye retention under low pressure due to the EDL shrinkage, but this effect is negligible at 1.5 bar – it is possible to remove color completely despite no overlapping EDL. This can be explained by the pore narrowing due to adsorption of the dyes, which enhance the surface charge and provide roughness of pore walls, since molecules have a spatial structure. NaCl also depresses

the solubility of dyes and provokes aggregation of their molecules. The permeate flux was 4-22 L $m^{-2}h^{-1}$, the membrane modifying with hydrophilic components is recommended to increase the rate of filtration similarly to [5].

Thus, 3D printed PLA membrane, which was prepared using FDM technique, removes dyes from slightly colored solutions (0.5 – 3 mg dm^{-3}). The membrane can be applied to the dye removal from wastewaters produced, for instance, by textile industry. The UF technique can be a one stage of wastewater treatment among other processes, such as coagulation, oxidation, membrane bioreactor and so on.

References:

1. Ghosal P., Gupta B., Ambekar R.S., Rahman M.M., Ajayan P.M., Aich N., Gupta A.K., Tiwary C.S. (2022). 3D printed materials in water treatment applications. *Adv. Sustainable Syst*., 6, 2100282. https://doi.org/10.1002/adsu.202100282

2. Darwin, Cord-Ruwisch R., Charles W. (2018). Ethanol and lactic acid production from sugar and starch wastes by anaerobic acidification. *Engineering*, 18(9), 635-642. https://doi.org/10.1002/elsc.201700178

3. Yao Y., Wang T., Wu L., Chen, H. (2022). PES mixed-matrix membranes incorporating ZIF-8@MXene nanocomposite for the efficient dye/salt separation. *Desalination*, 543(1), 116116. https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.116116

4. Pini Pereira, P., Gonçalves, I. P., Molina, L. C. A., Delcolle, R., Dzyazko, Y. S., Paraiso, C. M., Batista Neto, G. L., Diório, A., Vieira, A. M. S., Bergamasco, R. (2025). Membrane for pressure-driven separation prepared with a method of 3D Printing: performance in concentrating orange peel extract. *Membranes*, 15(4), 105. https://doi.org/10.3390/membranes15040105

5. do Nascimento, N.N., Paraíso, C.M., Molina, L.C.A., Dzyazko, Y.S., Bergamasco, R., & Vieira, A.M. (2024). Innovative trends in modified membranes: A mini review of applications and challenges in the food sector. *Membranes, 14*(10), 209. https://doi.org/10.3390/membranes14100209

УДК 544.726+678

ПОЛІМЕР-НЕОРГАНІЧНІ ВОЛОКНИСТІ ІОНІТИ ДЛЯ АДСОРБЦІЙНОГО ВИЛУЧЕННЯ СПОЛУК U(VI) ІЗ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

Перлова О.В.[1], Дзязько Ю.С.[2]

[1]Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

вул. Дворянська 2, 65082, м. Одеса

[2]Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України

пр. акад. Вернадського 32/34, 03142, м. Київ

olga_perlova@onu.edu.ua

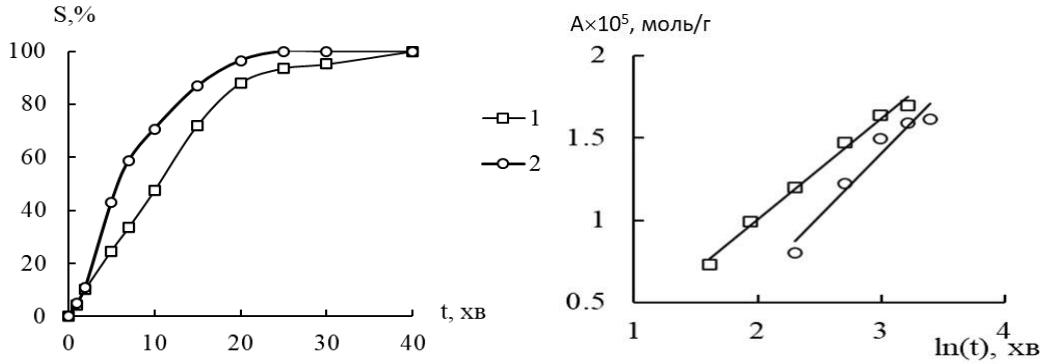
Шахтні води, а також стічні води, які утворюються на гірничо-збагачувальних комбінатах, мають бути ретельно очищені перед скиданням у відкриті водойми, оскільки вони часто містять домішки урану, які перевищують гранично-допустимі концентрації [1]. Проте очищення зі застосуванням багатьох відомих методів призводить до вторинного забруднення води мінеральними або органічними сполуками, окрім того, вони недостатньо ефективні або досить коштовні. При їх використанні утворюються великі об’єми концентратів, які складно переробляти [2]. Тому актуальним є розроблення методів очищення води від домішок урану зі застосуванням високоефективних та доступних матеріалів. Нами були розроблені полімер-неорганічні сорбенти на основі біо- [3] та синтетичних полімерів [4, 5], а також неорганічні композити [6], недоліком яких є досить повільна сорбція. Серед вказаних матеріалів, найвищою швидкістю сорбції характеризуються іонообмінні смоли [4, 5]. Відомо, що у порівнянні зі смолами, на іонообмінних волокнах сорбція U(VI) відбувається більш швидко [7]. Для підвищення селективності аніонообмінні волокна модифікували наночастинками гідратованого діоксиду стануму (IV) (ГДС).

Полімерний іоніт характеризується кластерно-канальною структурою, яка формується при набуханні [5]. Розмір інкорпорованих частинок ГДС становить 3-5 нм – такі частинки, вірогідно, розташовуються у кластерах, де зосереджені

іонообмінні групи. Агрегати наночастинок (80-100 нм) локалізовані у міжгелевих проміжках, які утворені гідрофобними ділянками полімерних ланцюгів. Встановлено, що неорганічний модифікатор пришвидшує швидкість сорбції U(VI) з карбонатних розчинів: час напівобміну становить 5 (полімер) та 10 хв. (композит) (рис. 1а). Пришвидшення сорбції може бути спричинено збільшенням співвідношення об'ємів нанорозмірних кластерів та каналів, діаметр яких становить 1-2 нм [5]. Для обробки залежностей ступеня вилучення U(VI) (*S*) від часу (*t*) застосовано ряд підходів – найкращу відповідність експериментальним даним знайдено для моделі Єловича, яка передбачає внесок як сорбції, так і десорбції з урахуванням зміни щільності покриття поверхні. Десорбція має значний вплив при наближенні до рівноважного стану (рис. 1б):

$$A = \frac{1}{\beta} ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} ln\, t$$

де: A – сорбційна ємність, α – початкова швидкість сорбції, β – константа десорбції (Табл. 1). Для композиту отримано вищі значення α та β.



а б

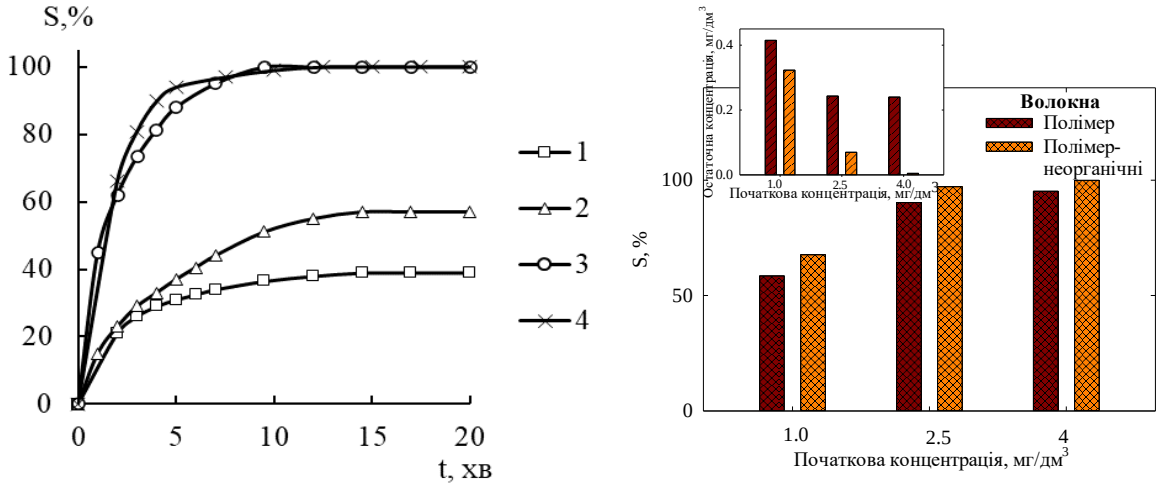
Рис. 1. Перебіг сорбції сполук U(VI) із карбонатних розчинів полімерним (1) та полімер-неорганічним волокнистим аніонітом (2):
оригінальні дані (а) та застосування моделі Єловича (б).
Початкова концентрація U(VI) – 4 мг/дм^3, pH 7.5, дозування сорбенту 1 г/л

Час досягнення рівноваги тим менший, чим більшим є дозування сорбенту (рис. 2а). Так, при дозуванні 0.5 г/дм^3 цей час становить 12 хв, при 2 г/ дм^3 – 10

хв, а при 4 г/дм^3 він не перевищує 7 хв. При цьому U(VI) вилучається практично повністю (рис. 2.2 а).

Таблиця 1. Застосування моделі Єловича до сорбції U(VI)

Зразок	R^2	$\beta \cdot 10^5$, дм^3/моль	$\alpha \cdot 10^{-5}$, моль/(г · хв)
Полімер	0.9475	1.31	0.69
Полімер + ГДС	0.991	1.64	1.72



а б

Рис. 2. Перебіг сорбції сполук U(VI) із карбонатних розчинів полімерним (1) та полімер-неорганічним волокнистим аніонітом (2) (а);
ступінь вилучення та остаточна концентрація U(VI) (б).
Дозування сорбенту (г/дм^3): 0.5 (1а); 1 (б); 1.5 (2а); 2.0 (3а); 4.0 (4а)

Використовували розчин, що імітує шахтні води, які утворюються при содовій обробці бідних уранових руд [57]. Окрім U(VI), розчини із pH 8 містили (ммоль/дм^3): Ca^{2+} (1.1), Mg^{2+}(2.8), HCO_3^- (3.0) та Cl^- (0.76). На відміну від немодифікованого, полімер-неорганічний іоніт майже повністю вилучає U(VI) зі слабколужного комбінованого розчину – остаточна концентрація сполук важкого металу зменшується зі збільшенням його концентрації. При сорбційній обробці модельних розчинів, що містили 5 мг/дм^3 урану, спостерігається практично повне його вилучення полімер-неорганічним аніонітом – залишкова концентрація нижча за ГДК навіть у питній воді. Отже, наявність у складі модифікованих волокон додаткових сорбційних центрів (наночастинок ГДС)

підвищує їх селективність порівняно з полімером, окрім того, наночастинки модифікатору підвищують швидкість сорбції.

Література:

1. Abolli S., Yazdi, N.B., Khanizadeh, M., Salemi K., Bidoki M.Z., Mehrizi E.A. (2024). Understanding uranium distribution: A systematic review and meta-analysis in the context of drinking water resources. *Res. Eng*., 22, 102152. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102152

2. Dinis M.L., Fiúza A. **(**2021**).** Mitigation of uranium mining impacts – a on groundwater remediation technologies. *Geosciences*, *11*(6), 250. https://doi.org/10.3390/geosciences11060250

3. Perlova O.V., Dzyazko Yu.S., Karimova M.E., Palchik O.V., Ponomaryova L.M., Kolomiiets E.O. (2024). Magnetite-containing composite based on corn cob cellulose for adsorption of U(VI) compounds. *Him. Fiz. Tehnol. Poverhni*., 15 (4), 561-573. https://doi.org/10.15407/hftp15.04.561

4. Perlova O., Dzyazko Y., Perlova N., Palchik O., Rodyvylova R. (2026). Polymer-inorganic nanocomposites based on ion exchange resins: thermodynamics and mechanism of U(VI) sorption. *Springer Proc. Phys*., 319, 269-283. https://doi.org/10.1007/978-3-031-99013-7_16

5. Dzyazko Y.S., Perlova O.V., Perlova N.A., Volfkovich Y.M., Sosenkin V.E., Trachevskii V.V., Sazonova V.F., Palchik A.V. (2017). Composite cation-exchange resins containing zirconium hydrophosphate for purification of water from U(VI) cations. *Desalination and Water Treatment*, 69, 142-152. https://doi.org/10.5004/dwt.2017.0686

6. Perlova O.V., Dzyazko Yu.S., Palchik O.V., Martovyi I.S. (2022). Hydrated titanium dioxide modified with potassium cobalt hexacyanoferrate (II) for sorption of cationic and anionic complexes of uranium (VI). *Appl. Nanosci*., 12(3), 651-663. https://doi.org/10.1007/s13204-021-01721-x

7. Zhou S., Dong F., Qin Y. **(**2023). High efficiency uranium (VI) removal from wastewater by strong alkaline ion exchange fiber: effect and characteristic. *Polymers*, *15*(2), 279. https://doi.org/10.3390/polym15020279

УДК 678+544.725

ОСОБЛИВОСТІ МОДИФІКУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МЕМБРАН ДЛЯ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО РОЗДІЛЕННЯ

Чміленко В.В., Дзязько Ю.С., Рождественська Л.М., Куделко К.О.

Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України

пр. акад. Вернадського 32/34, 03142, м. Київ

v74413439@gmail.com

Суттєвим недоліком полімерних ультрафільтраційних мембран, які застосовують для видалення з водних розчинів небажаних компонентів та концентрування цінних речовин, є забруднення органічними сполуками та мікроорганізмами [1]. Це призводить до зниження швидкості фільтрації, погіршення якості цільового продукту (пермеату або концентрату), а також збільшення витрат реагентів та води для регенерації мембран і скорочення терміну їх експлуатації. Окрім того, мембрани з еластичних полімерів ущільнюються та деформуються під дією тиску, що унеможливлює їх використання у високоефективних трубчастих модулях [2]. Тому актуальною задачею є створення мембран із підвищеною гідрофільністю, стійкістю до забруднення та покращеними механічними властивостями.

Перспективним є напрям модифікування мембран органо-неорганічними композитами шляхом їх інкорпоруванням безпосередньо до пор макропористої основи. На відміну від формування поверхневих шарів модифікатору, які можуть легко руйнуватися під впливом зовнішніх факторів, такий підхід забезпечує його механічну стійкість. Вибір модифікатору здійснювався на основі термодинамічних уявлень, згідно яких розмір частинок визначається зокрема молярним об’ємом сполук (співвідношення Оствальда–Фрейндліха) [3]. Встановлено, що гідратований діоксид цирконію (ГДЦ) формує дрібніші частинки, тоді як гідрофосфат стануму (ГДС) – більші. Це обумовлює доцільність їх застосування відповідно для модифікування асиметричних і симетричних мембран, тобто для мембран, які містять активний шар або складаються лише з макропористої основи.

Асиметричні мембран на основі поліакрилонітрилу (ПАН) модифіковано композитом, який складався з ГДЦ та оксиду графену (ОГ), шляхом осадження зі суспензії ОГ у золі гідроксокомплексів цирконію безпосередньо у порах мембрани. ОГ забезпечує гідрофілізацію за рахунок карбоксильних та фенольних груп, тоді як ГДЦ, що виявляє амфотерні властивості, виконує функцію і гідрофілізуючого агенту, і сполучного (ПАН мембрани, модифіковані ГДЦ, розглянуто раніше [4]). При модифікуванні відбувається частковий гідроліз ПАН з утворенням –COOH груп, що сприяє «склеюванню» стінок пор полімерної основи, за рахунок чого частинки модифікатору закріплюються в порах. За даними СЕМ встановлено, що модифікатор локалізовано переважно в активному шарі, що забезпечує посилення розділової здатності мембрани. Товщина модифікованого шару становить близько 1.3 мкм, тобто приблизно 10–15% товщини активного шару. Це забезпечує компроміс між продуктивністю мембрани та її та селективністю до колоїдних частинок.

Модифікування призводить до зменшення розміру пор, що підтверджується результатами фільтрування розчину білка-калібранта – бичачого сироваткового альбуміну (БСА). При цьому досягається висока селективність (до 98%), а забруднення локалізуються переважно на зовнішній поверхні мембрани, що спрощує її очищення. Встановлено також, що зменшення розміру пор впливає на дифузію іонів, зокрема Li^+ і Na^+, що сприяє селективному розділенню іонів у діалізних процесах.

Для трубчастих симетричних мембран на основі розширеного політетрафторетилену (рПТФЕ) запропоновано багатостадійний підхід, який включає заповнення пор жорстким полімером (поліметилметакрилатом, ПММА), гідрофілізацію мембран та подальше введення неорганічного іоніту – ГФС. Встановлено, що без попередньої гідрофілізації мембрани введення неорганічних компонентів у пори утруднене через гідрофобність рПТФЕ, а гідрофілізований ПММА вимивається потоком пермеату, у той час як негідрофілізований є стійким під дією тиску. Для вирішення цієї проблеми розроблено два

підходи гідрофілізації рПТФЕ мембран, заповнених гідрофобним ПММА: застосування суспензій цеоліту з агар-агаром або желатином та біологічний метод із використанням ціанобактерій. Завдяки сорбційним властивостям цеоліту у порах концентруються полісахариди та білкові речовини. У результаті кут змочування зменшується з 110° до 70°, що свідчить про значне посилення гідрофільності полімеру (рис. 1). У випадку біологічної гідрофілізації формується плівка з екзополісахаридів, яка забезпечує змочуваність мембрани водою – кут змочування становив 46°. Після інкорпорування неорганічного іоніту до мембран, гідрофілізованих цеолітовою сумішшю, ця величина досягала 50°.

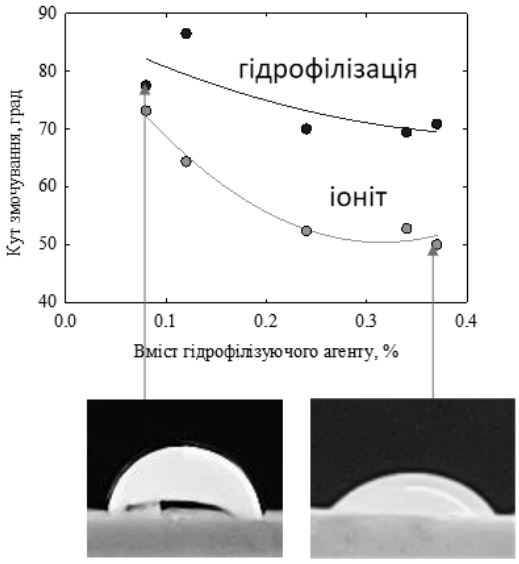


Рис. 1. Зменшення кута змочування водою після гідрофілізації рПТФЕ мембрани цеоліт-желатиновою сумішшю та подальшого інкорпорування ГФС

Подальше інкорпорування ГФС супроводжується видаленням органічного гідрофілізуючого агенту під дією кислого золю гідроксокомплексів Sn(IV) та H_3PO_4, що підтверджується елементним аналізом (відсутністю азоту в ЕДС спектрах). ГФС у мембрані закріплюється шаром попередньо гідрофілізованого шару ПММА. У результаті формується полімер-неорганічний матеріал із покращеною розділовою здатністю – мікрофільтраційна мембрана трансформується в ультрафільтраційну. Такі мембрани демонструють покращені механічні властивості: збільшується міцність на розрив та подовження при розтягу-

ванні уздовж та упоперек. Важливим фактором є збільшення твердості за Шором з 62 (полімерна мембрана) до 93 (модифікована мембрана). Це запобігає деформації полімер-неорганічних мембран під дією тиску, що дозволяє використовувати їх у високопродуктивних трубчастих модулях замість більш масивних та крихких керамічних матеріалів. Іншим результатом збільшення твердості є швидке досягнення стаціонарного режиму фільтрації за рахунок мінімізації усадки мембран під тиском.

Отримані результати свідчать про те, що інкорпорування до пор мембран полімер-неорганічних композитів зі застосуванням гідрофілізуючих агентів природного походження є ефективним шляхом керованої зміни структури та властивостей мембран. Для асиметричних мембран ключовим є формування функціонального активного шару з нанорозмірними порами, тоді як для симетричних мембран визначальним фактором є найбільш повне заповнення пор. Додатково модифікування забезпечує необхідну жорсткість полімеру, що є важливим для трубчастих мембран.

Література:

1. Xu D., Xie Y., Jin X., Ren J., Song J., Tang X., Zhang Z., Li X., Li G., Liang H. (2024). A comparison of typical ultrafiltration processes in drinking water treatment: Implications for fouling control and disinfection performance. *Sep. Purif. Technol.*, 338, 126426. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.126426

2. Cho D.L., Kim S-H., Huh Y. I., Kim D., Cho S. Y., Kim B. H. (2004). Effects of surface modification of the membrane in the ultrafiltration of waste water. *Macromolec. Res.*, 12(6), 553-558. https://doi.org/10.1007/BF03218443

3. Дзязько Ю.С., Федіна І.В., Захаров В.В., Коломієць Є.О., Куделко К.О. (2020). Композиційні іоніти для переробки рідких відходів молочної промисловості. *Укр. хім. журн.*, 2020, 86(5), 38-52. https://doi.org/10.33609/2708-129X.86.5.2020.38-52.

4. Kudelko K., Dzyazko Y., Rozhdestvenska L., Palchik O. (2026). Formation of nanopores in microfiltration membranes for pesticide concentrating. *Springer Proc. Phys.*, 319, 423-440. https://doi.org/10.1007/978-3-031-99013-7_28

УДК 541.64.547.538.341

ОСОБЛИВОСТІ ПОЛІМЕРИЗАЦІЇ ВІНІЛОВИХ МОНОМЕРІВ ЗА НАЯВНОСТІ ВИСОКОДИСПЕРСНОГО КЛІНОПТІЛОЛІТУ

В. Дутка[1], Г. Мідяна[2], Ю. Дутка[2], К. Лиходід[3]

[1]Львівський національний університет ім. І. Франка

[2]Відділення фізико-хімії горючих копалин

Інституту фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка

Національної академії наук України

вул. Наукова 3а, 79060, м. Львів

[3]Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

вул. Клепарівська, 35, 79007, м. Львів

vdutka@ ukr.net

На сьогодні велика увага дослідників сконцентрована на розгляді властивостей наносистем, які складаються з високодисперсного мінералу та полімеру. Такі системи володіють унікальними властивостями [1 - 3].

Результати дослідження впливу клінoптилоліту на полімеризацію стиролу (СТ), вінілацетату (ВА), метилакрилату (МА) та акрилонітрилу (АН) в масі наведено в цьому повідомленні. Клінoптилоліт належить до мінералів класу цеолітів для яких характерна висока адсорбційна здатність йонів металів. В роботі використовували мінерал із Сокирницького родовища. Клінoптілоліт з питомою поверхнею ~50 $м^2/г$ перед полімеризацією прожарювали на протязі 2 годин за температури 673 К. В роботі застосовували зразки клінoптілоліту, модифіковані йонами металів змінного ступеня окиснення Fe^{3+}, Fe^{2+}, Cr^{3+}, Ni^{2+}. Для ініціювання полімеризації вінілових мономерів використовували пероксид бензоїлу (ПБ) та гідропероксид трет-бутилу (ГПТБ). Полімеризацію досліджуваних мономерів досліджували за ампульною методикою. У всіх дослідах концентрація пероксидного ініціатора дорівнювала 0,05 моль/л. Полімеризацію проводили за температури 343К при неперервному перемішуванні на протязі 4 годин. Після проведення полімеризації, отриманий полімер-мінеральний композит поміщали в апарат Сокслета і відмивали полімер, який не був зв'язаний з поверхнею клінoптилоліту. Для полімерів, не зв'язаних з мінералом, визначали молекулярні маси методом віскозиметрії. Числові значення

молекулярних мас (М) та фізико-хімічні властивості отриманих композитів наведені в табл. 1. Отримані результати вказують, що природа мономеру та йона – модифікатора чинять вплив на ступінь прищеплення полімеру до поверхні. Слід відзначити, що поверхня бере участь в реакції ініціювання за рахунок окисно-відновної реакції з органічним пероксидом. Формування полі-

Таблиця 1. Умови полімеризації та властивості полімер-мінеральних композицій. Концентрація ініціатора 0,05 моль/л

Сіль модифікатор	Кількість адсорбов. йону, мг-екв/г	Мономер	Ініціатор	Конверсія мономеру, S, %	Ступінь прищеплення, g, %	Молекулярна маса полімеру, $M \cdot 10^{-3}$
$Fe(NO_3)_3$	0,020	СТ	ПБ	70,0	8,3	46
$Cr(NO_3)_3$	0,015	ВА	ГПТБ	96,0	12,0	283
$FeSO_4$	0,030	МА	ПБ*	94,5	10,5	185
$Ni(NO_3)_2$	0,010	АН	ГПТБ	95,0	9,5	85
$Fe(NO_3)_3$	0,020	СТ	ГПТБ	95,0	11,5	42
$Cr(NO_3)_3$	0,015	СТ	ГПТБ	75,4	9,2	38
$Ni(NO_3)_2$	0,010	СТ	ГПТБ	72,5	7,5	52
$FeSO_4$	0,030	СТ	ПБ	83,2	10,7	42
$FeSO_4$	0,030	АН	ГПТБ	97,0	7,8	102

** Концентрація ініціатора 0,01 моль/л*

меру в наповнених системах відбувається на поверхні клиноптилоліту, поблизу її, та в розчині. В залежності від умов проведення полімеризації ступінь перетворення мономеру (S%) лежить в межах 70,0 – 97,0 % (табл.1). Модифікація поверхні клиноптилоліту іонами металів змінного ступеня окиснення приводить до високих значень ступенів прищеплення. Активований розчином соляної кислоти клиноптилол і прожарений перед дослідами може викликати полімеризацію стиролу при 318 К без ініціатора. Збільшення вмісту мінералу в полімеризаційній суміші приводить до різкого росту швидкості процесу Ступінь прищеплення (g) до поверхні мінералу знаходяться в межах 7,8-12,0 %. Молекулярні маси полімерів залежать від природи мономеру, ініціатора та умов

проведення процесу. Для більшості випадків введення мінералу в полімеризаційну суміш призводить до зменшення молекулярних мас полімерів.

Залежність швидкості полімеризації на початкових стадіях (W) від вмісту кліноптилоліту (m) в системі задовільно описується рівнянням:

$$W = k \cdot m^{0,5},$$

де: k – коефіцієнт пропорційності швидкості полімеризації стиролу при різному вмісті кліноптилоліту в інтервалі температур 318-333 К наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Кінетичні та активаційні параметри реакції полімеризації стирену в присутності кліноптилоліту та молекулярні маси полістирену, одержаного в наповнених системах

Вміст кліноптил. m , % мас	Швидкість полімеризації $W \cdot 10^4$, моль/л ·с				Енергія активації* $E_{ак}$, кДж/моль	Ступінь прищеп. g, %	Молек. маса полістирену M
	318 К	323 К	328 К	333 К			
2,0	0,46	0,87	1,61	2,98	107	5,6	–
4,0	5,30	7,98	12,2	18,3	72	5,0	6000
6,0	9,75	13,8	19,5	27,6	61	4,8	5000
10,0	13,5	18,0	23,7	–	49	4,7	5000

Додавання до мономеру кліноптилоліту може викликати полімеризацію навіть при 303 К. За температурною залежністю швидкості полімеризації були розраховані сумарні енергії активації процесу, які міняються в широких межах, від 107 кДж/моль при вмісті мінералу 2% до 49 кДж/моль при значенні m = 10%. Ступінь прищеплення полістиролу до поверхні мінералу лежить в межах 5,6 - 4,7 (табл. 2) і дещо менший ніж для зразків кліноптилоліту модифікованих йонами металів змінного ступеня окиснення (табл. 1). Були проведені полімеризаційні досліди з введенням в наповнені системи інгібітора вільнорадикальних реакцій тетрахлорбензохінону (ТХБХ). Інгібітор ТХБХ при введенні в полімеризаційну систему викликає зменшення швидкості реакції на 25% (рис. 1). Причому, поступове збільшення ТХБХ в полімеризаційній системі приводить до лінійного зменшення швидкості полімеризації. Гальмування швидкості полімеризації при введенні ТХБХ в полімеризаційну систему може

слугувати доказом того, що частина полістирену утворюється за радикальним механізмом.

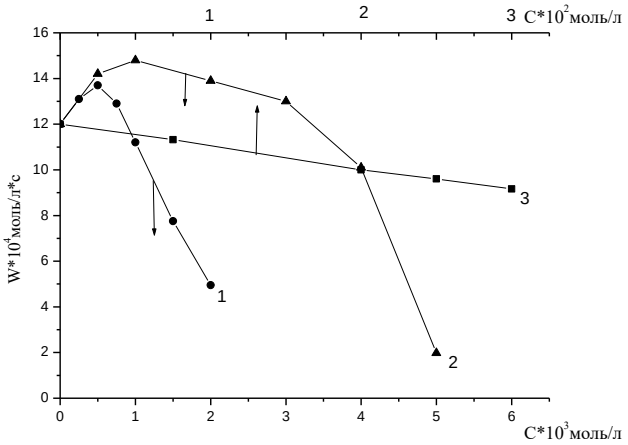


Рис. 1. Залежність швидкості полімеризації стирену (W) від вмісту оцтової кислоти (1), етилового спирту (2) та тетрахлорбензохінону (3) в реакційній суміші. Температура – 328 К. Вміст кліноптилоліту 4,0 мас. %

Про можливість полімеризації за катіонним механізмом в присутності кліноптилоліту свідчать і наші досліди. Введення в полімеризаційну систему речовин здатних бути донором аніону (етилового спирту чи оцтової кислоти) призводить до деякого зростання швидкості процесу при невеликих додатках цих речовин. Подальше збільшення спирту, чи кислоти в реакційній суміші викликає гальмування швидкості полімеризації (рис. 1. криві 2,3). Екстремальну залежність швидкості полімеризації від вмісту донора аніонів спостерігали для гомогенних полімеризаційних систем.

Література

1. Dutka V., Kovalskyi Ya., Aksimentyeva O, Oshchapovska N. Preparation of Polymer-Nanocomposites Basedon Vinil Monomers and Dispersed Inorganic Oxides //Advances in Chemical Engineering and Scence 2021. Vol.11. No 1, P. 18 -28. DOI: doi.org/10.4236/aces.2021.111002:

2. Dutka V. S., Kovalskyi Ya. P. Features of obtaining polymer composites baset on dispersed oxides and vinil polymers. Acta Physica Polonica A 2022. Vol 141, No 4, P. 278 – 280. Doi: 10.12693/AphysPolA.141.278

3. Khamar O., Dutka V., Kovalskyi Ya. Formation of polymers in the presence of dispersed mineral phase. Molecular Crystalc and Lyquid Crystals 2024. 768. № 9. P. 222 – 228. DOI:10.1080/15421406.2024.234820

UDC 616.31-089.843:678.664.4-022.532

STUDY OF THE BIODEGRADATION OF POLYURETHANE UREAS AS BIORESORBABLE MEMBRANES FOR GBR

Denysenko V.D. [1], Rozhnov A.S. [2], Astapenko O.O.[2]

[1]Institute of Macromolecular Chemistry of the NAS of Ukraine

48, Kharkivske shose street, 02155, Kyiv, Ukraine

[2]O.O. Bohomolets National Medical University

13, Taras Shevchenko Boulevard, 01601, Kyiv, Ukraine

Dentartroz@gmail.com

Guided bone regeneration (GBR) is one of the key methods used in modern maxillofacial surgery to restore bone tissue volume and improve functional and aesthetic treatment outcomes. Among the materials used for GBR, bioresorbable polymer membranes are of particular interest due to their biocompatibility and ability to undergo controlled degradation [1, 2].

Medical-grade polyurethane materials are promising candidates for GBR membrane development because they combine biocompatibility, tunable mechanical properties, and controllable biodegradation rates. Their high compatibility with biological tissues is associated with the presence of urethane groups (-NH-COO-), which are structurally similar to peptide bonds in proteins [3].

The aim of this study was to investigate the biodegradation of polyurethane-ureas (PUUs) under in vitro conditions as prospective bioresorbable membranes for GBR.

The investigated PUUs were synthesized from a mixture of macrodiisocyanates obtained from 2,4- and 2,6-toluene diisocyanate with polyoxypropylene glycols (POPG) of molecular weights 1002 and 2002 in a 1:1 ratio. Under the influence of atmospheric moisture, the macrodiisocyanates were converted into polyurethane-urea films with a thickness of 0.2 mm.

To evaluate biodegradation ability, comparative physico-mechanical studies were performed before and after incubation of the samples in biological medium 199 (BM 199) (Table 1).

According to the obtained data, after exposure to the biological medium for one month, an increase in tensile strength and a decrease in relative elongation were observed. This may be due to relaxation processes in the polymer within the BM 199 medium. However, after 3 months of incubation, the biodegradation process begins, which concludes after 6 months, as indicated by the gradual loss of the material's mechanical properties.

Table 1. Changes in the physic-mechanical properties of PUUs under the influence of BM 199 over time

Samples	PUUs			
Incubation period	Control	1 month	3 months	6 months
Tensile strength, σ, MPa	1,98±0,04	2,90±0,24	1,76±0,14	–
Elongation at break, ε, %	330,0±32,3	240,0±18,0	660,0±5,5	75,0±7,4

FTIR spectroscopy confirmed structural changes in PUUs during incubation in BM 199. The spectra contained characteristic absorption bands corresponding to urethane and urea fragments, including νNH-bound at 3308 cm^{-1}, νNH-free at 3500 cm^{-1}, νC=O at 1726 cm^{-1}, and δNH at 1535 cm^{-1}) (Fig. 1, Fig. 2).

As a result of the conducted FTIR spectroscopy analysis, it can be concluded that structural changes occur in the polymer under the influence of the biological medium, manifested in interactions with medium molecules, partial destruction of functional groups, and localized restructuring. The increased intensity of the νNH (3308 cm^{-1} and 3500 cm^{-1}) bands in the early stages of incubation indicates the formation of hydrogen bonds with medium components, while their decrease over time suggests NH-bond degradation or redistribution. Redistribution of C-H group intensities **(**2970 cm^{-1} and 2868 cm^{-1}**)** indicates deformational changes in methyl and methylene groups.

A decrease in the intensity of νC=O (1726 cm^{-1}) and δNH (1535 cm^{-1}) bands was observed with increasing incubation time, indicating chemical modification of carbonyl and carbamide groups, likely due to hydrolysis and oxidation processes. Simultaneously, slight increases in the intensity of νsC–O–C bands at 1092 cm^{-1} and

928 cm^{-1} were detected, which may be related to the formation of new ether-type structures.

An additional absorption band near 1650 cm^{-1} appeared after prolonged incubation. This band may be associated with amide I vibrations, formation of hydrogen-bonded structures, water absorption, or degradation products generated during interaction with the biological medium.

Overall, FTIR analysis demonstrated active interaction between the polymer and BM 199, accompanied by structural rearrangement, partial degradation of functional groups, and formation of new intermolecular interactions.

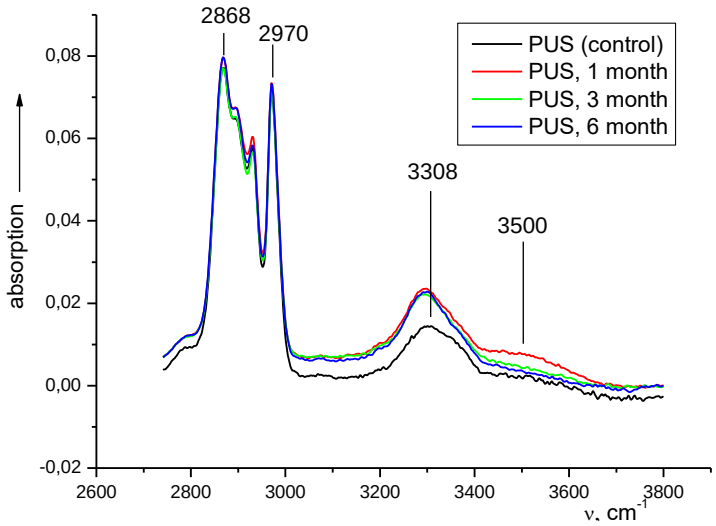


Figure 1. Fragment of the FTIR spectrum (2600-3800 cm^{-1}) of PUUs after incubation in BM 199

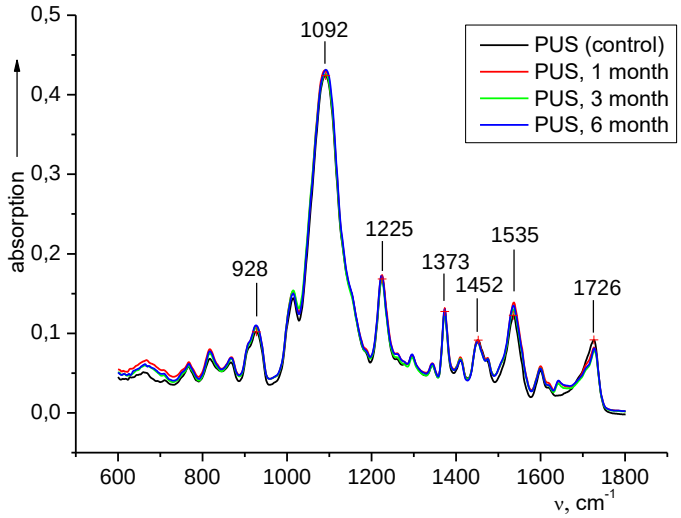


Figure 2. Fragment of the FTIR spectrum (600-1800 cm^{-1}) of PUUs after incubation in BM 199

Thus, polyurethane ureas demonstrated the ability for controlled biodegradation under in vitro model conditions. The degradation process is completed within 6 months, accompanied by a gradual loss of mechanical properties and structural changes in the polymer. FTIR spectroscopy analysis confirmed active interaction of the material with the biological medium, leading to the modification of functional groups, hydrolysis, oxidation, and the formation of new chemical bonds.

References:

1. Alqahtani AM. Guided Tissue and Bone Regeneration Membranes: A Review of Biomaterials and Techniques for Periodontal Treatments. Polymers (Basel). 2023 Aug10; 15(16):3355. DOI:10.3390/polym15163355

2. Babo PS, Pires RL, Reis RL, Gomes ME. Membranes for periodontal tissue regeneration. Ciencia & Tecnologia dos Materials. 2014 Jul–Dec; 26(2):108-117. Available from: https://doi.org/10.1016/j.ctmat.2015.03.007.

3. Galatenko NA, Malanchuk VO, Rozhnova RA, Astapenko OO, Rudenchyk TV. Biological active polyurethane compositions for bone tissue endoprosthesis. Kyiv: Naukova Dumka, 2020, s. 230. Available from: https://www.researchgate.net/publication/388869749_Biological_active_polyurethane_compositions_for_bone_tissue_endoprosthesis. [in Ukrainian].

УДК 678

ОСОБЛИВОСТІ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ ПАРИ ФТОРПОЛІМЕР - СТАЛЬ ПРИ ЗМАЩУВАННІ ПОЛІМЕТИЛСИЛОКСАНОВОЮ РІДИНОЮ

Балуєв Р., Кабат О.

Український державний університет науки і технологій

вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпро

Amber_UDHTU@i.ua

Сучасні вузли тертя потребують постійної модернізації, яка пов’язана як зі зміною їх конструкції так і з заміною матеріалів, що труться, та змащувального середовища для покращення їх рівню надійності і довговічності у роботі.

Досить суттєву роль в якості роботи вузла тертя відіграють змащувальні середовища. В більшості випадків у таких вузлах використовуються мінеральні мастила (індустріальні, трансмісійні, моторні тощо). Однак вони мають досить суттєвий недолік, який пов’язаний із значною залежністю в’язкості мастила від температури навколишнього середовища. Зокрема, в’язкість значно підвищується зі зменшенням температури і зменшується із підвищенням температури. При цьому зміна в’язкості мастильного середовища призводить до зміни його змащувальної властивості і, у багатьох випадках, негативно впливає на працездатність вузла тертя у цілому.

У роботі запропоновано використовувати в якості змащувального середовища синтетичні поліметилсилоксани рідини різних марок (ПМС-5, ПМС-100, ПМС-350, ПМС-1000, ПМС-12500, ПМС-60000), які відрізняються гарною змащувальною властивістю, стабільністю в’язкості в широкому інтервалі температур тощо. У роботі було визначено, що зі збільшенням в’язкості поліметилсилоксанів коефіцієнт тертя і інтенсивність лінійного зношування зменшуються від 0,076 до 0,028 та $269 \cdot 10^{-10}$ до $6,7 \cdot 10^{-10}$м/м відповідно, що дозволяє рекомендувати для використання у вузлі тертя фторполімер – сталь поліметилсилоксани із більшими значеннями в’язкості.

UDK 621.926.5:539.215

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF ROTATION SPEED ON THE ENERGY CONSUMPTION OF IMPACT, COMPRESSION AND ABRASION PROCESSES IN A TUMBLING MILL

Deineka K.Yu.[1], Deineka I.O.[1], Naumenko Yu.V.[2], Zabchyk S.V.[2]

[1]SSU «Rivne Technical Vocational College of the National University of Water and Environmental Engineering»

Vyshyvanka Street 35, 33027, Rivne, Ukraine

[2]National University of Water and Environmental Engineering

Soborna Street 11, 33028, Rivne, Ukraine

k.yu.deineka@nuwm.edu.ua

As characteristics of the energy intensity of grinding processes in a tumbling mill when implementing individual loading mechanisms in intra-chamber filling, taking into account the influence of the values of the experimentally obtained dependences of the absolute drive power on the rotation speed, the analogues of the specific productivity of grinding by impact Q_{Ei}, compression Q_{Ec} and abrasion Q_{Ea} were adopted

$$Q_{Ei} = \frac{Q_i C}{Q_{i\,max}\psi_{P0.5}}, \quad Q_{Ec} = \frac{Q_c C}{Q_{c\,max}\psi_{P0.5}}, \quad Q_{Ea} = \frac{Q_a C}{Q_{a\,max}\psi_{P0.5}}$$

and analogues of the specific energy intensity of the processes of impact grinding E_{Qi}, compression E_{Qc} and abrasion E_{Qa}

$$E_{Qi} = \frac{\psi_{P0.5}}{Q_{ig}}, \quad E_{Qc} = \frac{\psi_{P0.5}}{Q_{cg}}, \quad E_{Qa} = \frac{\psi_{P0.5}}{Q_{ag}}.$$

As an analogue of the productivity of the impact crushing process, the relative energy of the impact interaction of the filling elements is taken $Q_i = \frac{h_{fr}}{4R}\kappa_{fr}$ [1], where h_{fr} is the vertical distance from the highest to the lowest point on the free surface of the filling flight zone in the motion pattern.

As an analogue of the productivity of the compression process, the relative

energy of the compressive interaction of the filling elements is taken $Q_c = \frac{\omega^2 \left(R^2 - R_{sl0}^2\right)^2}{8 h_{sl}^2 R g} \kappa_{sl}$ [2], where R_{sl0} is the radial coordinate of the base of the central averaged normal cross-section of the shear layer, h_{sl} is the height of the central averaged normal cross-section of the shear layer.

As an analogue of the productivity of the grinding process by abrasion, the relative energy of the shear interaction of the filling elements is taken $Q_a = \frac{\left(V_{slmax} + V_{sl0}\right)^2 R}{h_{sl}^2 g} \kappa_{sl}$ [3], where V_{slmax} is the maximum shear velocity in the central averaged normal cross-section of the shear layer, R_{sl0} is the radial coordinate of the base of the central averaged normal cross-section of the shear layer.

As characteristics of the volumes of the solid zone, the shear layer zone and the filling flight zone, the mass fractions of the solid zone κ_{sr}, the shear layer zone κ_{sl} and the flight zone κ_f are taken

$$\kappa_{sr} = \frac{F_{sr}}{\pi R^2 \kappa}, \qquad \kappa_{sl} = \frac{F_{sl}}{\pi R^2 \kappa \upsilon_{sl}}, \qquad \kappa_{fr} = 1 - \kappa_{sr} - \kappa_{sl},$$

where F_{sr} is the area of the solid zone in the motion pattern, F_{sl} is the area of the shear layer zone, υ_{sl} is the dilatancy of the shear layer zone, κ is the degree of filling of the drum chamber with granular medium.

The productivity of the grinding process in a tumbling mill was evaluated by the value of sieving through the control sieve No. 008. The relative productivity was taken as a characteristic of productivity $C = 1 - \frac{m_r}{m_m}$, where m_r is the mass of the residue on sieve No. 008 after sieving, m_m is the total mass of the crushed material before sieving.

The relative moment of resistance of the load to rotation at half-filling of the chamber is taken as the power characteristic of the tumbling mill drive $\psi_{M0.5} = \frac{3}{2} \frac{M}{R^3 L \rho g}$, where $\psi_{M0.5}=M/M_{max0.5}$ is the relative moment of resistance at half-

filling, where $M_{max0.5}=(2/3)R^3L\rho g$ is the conditional maximum moment of resistance at half-filling, the value of which corresponds to the maximum possible value of M_{max} at κ=0.5. The relative power of resistance of the load to rotation at half-filling of the chamber is taken as the energy characteristic of the drum mill drive, where ψ_ω is the relative angular velocity of rotation of the drum.

The graphs of the obtained results of the analytical determination of the change in the analogues of the specific productivity of the processes of impact grinding Q_{Ei}, compression Q_{Ec} and abrasion Q_{Ea} from the relative rotation speed ψ_ω are shown in Fig. 1.

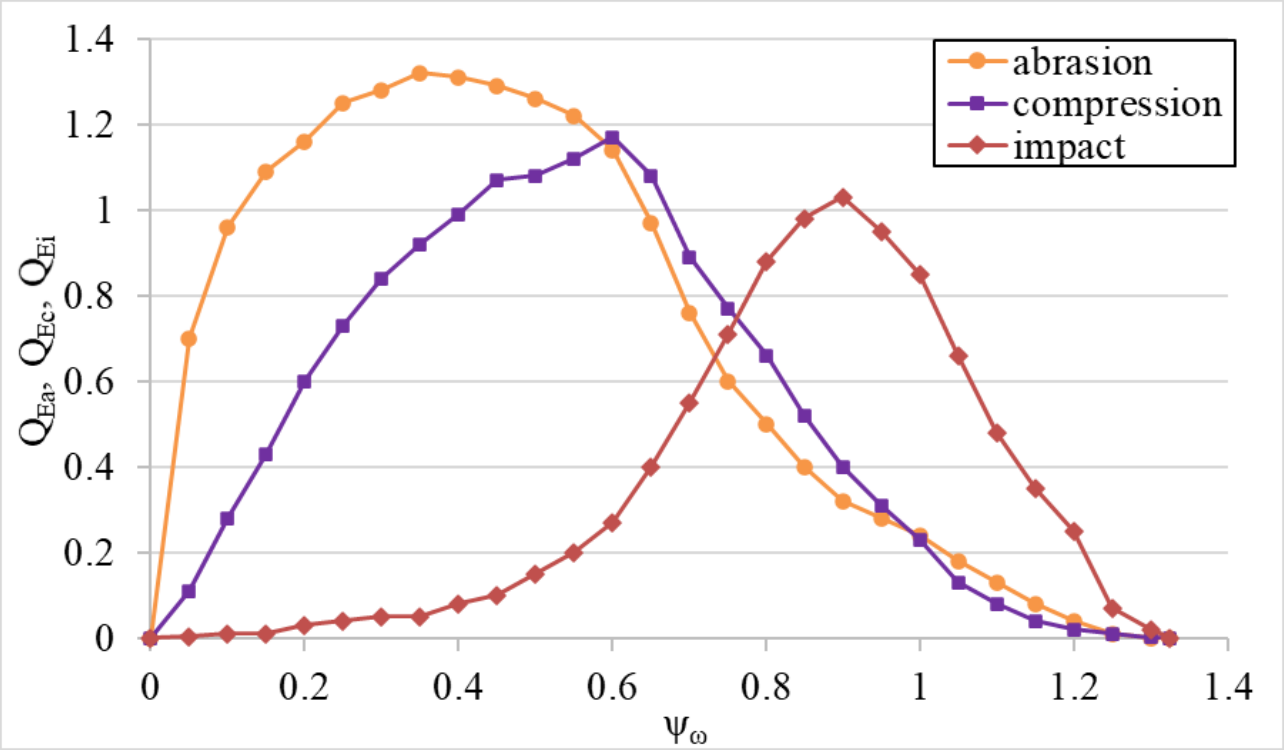


Fig. 1. Dependences of the change in Q_{Ea}, Q_{Ec} and Q_{Ei} on ψ_ω at κ = 0.45

An intensive decrease in the energy intensity of grinding was found with a decrease in the rotation speed and a sequential transition of the prevailing destruction mechanisms from high-speed impact to medium-speed compression and low-speed abrasion [4].

The graphs of the obtained results of the analytical determination of the change in the analogues of the specific energy intensity of the processes of impact grinding E_{Qi}, compression E_{Qc} and abrasion E_{Qa} from the relative rotation speed ψ_ω are shown

in Fig. 2.

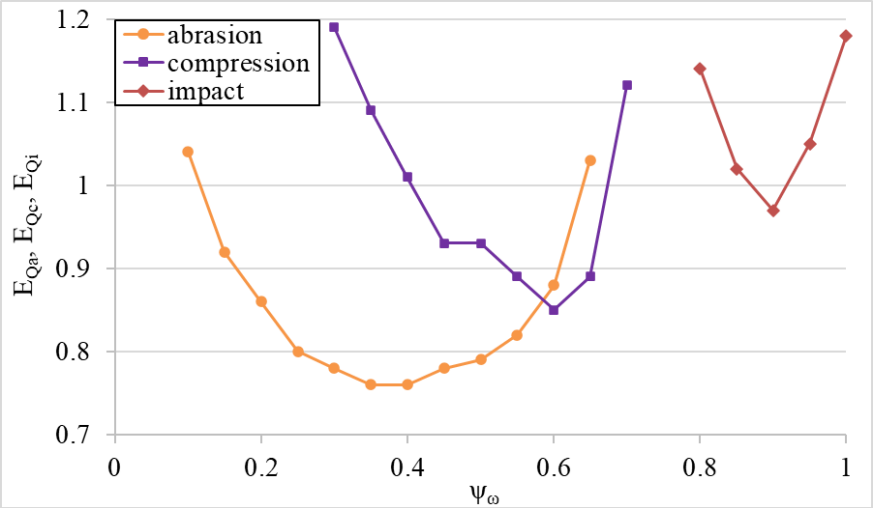


Fig. 2. Dependences of the change in E_{Qa}, E_{Qc} and E_{Qi} on ψ_ω at κ = 0.45

Therefore, the rational in terms of energy efficiency speed value for the process of coarse grinding by impact can be considered as increased ψ_ω=0.75–0.9, for medium grinding by compression – average ψ_ω=0.55–0.65, and for fine grinding by abrasion – reduced ψ_ω=0.3–0.4.

References:

1. Naumenko, Yu., Deineka, K. (2023). Building a model of the impact grinding mechanism in a tumbling mill based on data visualization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3, 7(123), 65–73. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.283073

2. Naumenko, Y., Deineka, K. (2023). Building a model of the compression grinding mechanism in a tumbling mill based on data visualization. *EEJET*, 5, 1(125), 64–72. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.287565

3. Naumenko Y., Deineka K., Zabchyk S. (2024). Building a model of the abrasion grinding mechanism in a tumbling mill based on data visualization. *EEJET*, 2, 1(128), 21–33. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.301653

4. Naumenko Y., Deineka K. (2025). Determining the effect of rotation speed on the energy efficiency of the impact, compression and abrasion grinding processes in a tumbling mill. *EEJET*, 6, 1(138), 41-53. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.343388

УДК 541.49+546.668+543.426

HYBRID SYSTEMS BASED ON YTTERBIUM(III) CURCUMINATE

Ivakha N.B.[1], Berezhnytska O.S.[1,2], Rohovtsov O.O.[1]

[1]V.I. Vernadsky Institute of General and Inorganic Chemistry
of the NAS of Ukraine
Akad. Palladin Avenue, 32/34, Kyiv, Ukraine
[2]National Technical University
of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
Beresteiskyi Avenue, 37, Kyiv, Ukraine
ivakhanadiia@gmail.com

One of the new approaches to the development of high-tech materials is the synthesis of hybrid structures based on coordination compounds of metals and matrices of various nature. In the case of lanthanide metal complexes, the advantage of hybrids over coordination compounds lies primarily in the increase in thermal and chemical stability, as well as the possibility of providing such systems with specific physicochemical properties. Often, such hybrid systems are characterized by synergism of functional characteristics.

In the work, the ytterbium (III) complex with curcumin (HCur, 1,7-bis-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-1,6-heptadiene-3,5-dione) and hybrids based on it with kaolin ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) and halloysite ($Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot nH_2O$) were synthesized and studied. Ytterbium curcuminate was obtained according to the scheme:

$$YbCl_3 \cdot 6H_2O + 2HCur = Yb(Cur)_2 \cdot 2H_2O + 2HCl$$

Hybrid systems were synthesized by complex formation on the surface of the carrier.

The obtained compounds were characterized by a complex of physicochemical research methods. IR spectroscopy showed that curcumin is coordinated to the metal in a bidentate-cyclic manner, and in hybrid systems the structure of the coordination site remains unchanged. The appearance of a characteristic multiplet in the region of 3600-3700 cm^{-1} in the case of hybrids may indicate the formation of hydrogen bonds between the aluminosilicate matrices and the ytterbium(III) metal complex.

The decomposition onset temperature shifts by 15-20ºC towards higher temperatures compared to the pure metal complex, and up to 250ºC there is practically no significant loss of mass of the hybrid samples. We can assume that the immobilization of the complex molecules on the surface of the carriers or in the porous structure of the matrix limits the diffusion of oxygen and the mobility of the molecules, which, in turn, leads to an increase in the thermal stability of the hybrids.

The recorded luminescence spectra of the studied compounds are presented in Fig. 1. All spectra show an emission transition characteristic of Yb^{3+} ions (~980 nm $^2F_{5/2} \rightarrow {}^2F_{7/2}$).

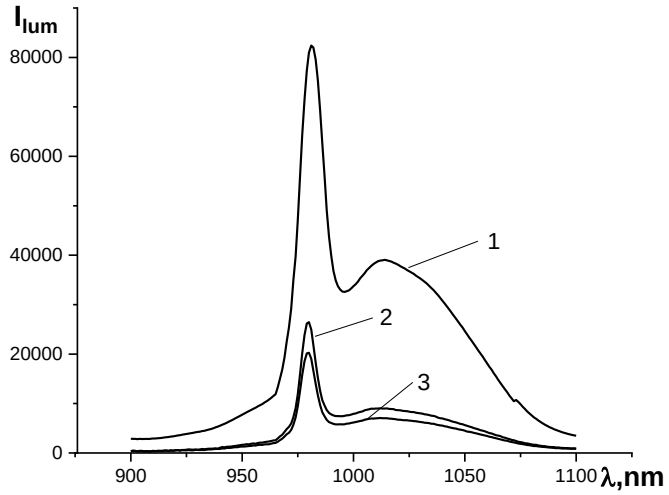


Figure 1. Luminescence spectra 1) $Yb(Cur)_3$; 2) $Yb(Cur)_3 \cdot Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot nH_2O$; 3) $Yb(Cur)_3 \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$

For $YbCur_3$, the transition maximum is at 981 nm, and there is also a broad low-intensity shoulder at 1012 nm. In the case of hybrid systems, there is a slight shift of the transition maximum by 2 nm in the emission spectra and a significant drop in the relative luminescence intensity compared to the pure metal complex: 3 times for the hybrid with halloysite and 4 times for the hybrid with kaolin. Most likely, the presence of a sufficiently large number of OH groups in the matrix structure leads to non-radiative losses and, accordingly, a decrease in luminescent characteristics. The better performance for hybrids with halloysite can be explained by its nano-sized tubular structure and the presence of both siloxane (Si-O-Si) and aluminol groups (Al-OH), which allows for more uniform fixation of the curcuminate lanthanide complex on the surface of the carrier.

УДК 678.664:615.46:615.281

СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІЗОЦІАНУРАТВМІСНИХ ПІНОПОЛІУРЕТАНСЕЧОВИН З ХЛОРГЕКСИДИНОМ

Лісняк С.О., Гладир І.І., Козлова Г.А., Рожнова Р.А.

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

вул. Харківське шосе, 48, 02160, м. Київ

sergiilisnyak@gmail.com

Упродовж останніх десятиріч біосумісні поліуретанові матеріали привертають значну увагу завдяки поєднанню нетоксичності, можливості регулювання швидкості біодеструкції та широкого спектра медичних застосувань. Особливий інтерес становлять біорозкладні поліуретанові системи, які використовують для створення імплантаційних матеріалів, каркасів тканинної інженерії та систем контрольованого вивільнення лікарських речовин [1]. Ізоціануратвмісні пінополіуретансечовини належать до поліуретанових матеріалів, структура яких містить ізоціануратні фрагменти, що зумовлює їх термічну, хімічну та механічну стійкість [2]. Додавання антимікробних агентів, зокрема хлоргексидину, суттєво розширює функціональні можливості таких матеріалів, надаючи їм біологічної активності [3].

Метою даної роботи було синтез та дослідження ізоціануратвмісних пінополіуретансечовин та отримання біологічно активних матеріалів на ї основі як перспективних матеріалів для медицини.

Для вирішення поставленої мети на основі гексаметилентриізоціанурату (Tolonate HDT-LV, ГМТІЦ) та поліоксипропіленгліколю (ПОПГ, ММ 1002) було синтезовано серію олігоуретантриізоціануратів (ОУТІЦ) за різних мольних співвідношень компонентів ГМТІЦ:ПОПГ – 3:2 та 2:1.

Синтез здійснювали за температури (95±5) °С протягом двох з половиною годин, поступово додаючи ПОПГ до ГМТІЦ при інтенсивному перемішуванні. З використанням синтезованих ОУТІЦ отримано зразки пінополіуретансечовин (ППУС) з ізоціануратними фрагментами в макроланцюзі. Іммобілізацію хлоргексидину здійснено при його вмісті 1,0 мас. %.

За результатами фізико-механічних випробувань ППУС, синтезовані за співвідношень ГМТІЦ : ПОПГ як 3:2 та 2:1, характеризуються адгезійною міцністю 7,28 та 8,37 МПа відповідно (табл. 1).

Таблиця 1. Міцністі властивості ізоціануратвмісних поліуретансечовин

Зразок	Співвідношення (Tolonate: ПОПГ1000), моль	Міцність при розриві, МПа	Відносне подовження при розриві, %	Адгезійна міцність, МПа
ОУТІЦ 1,5	3:2	0,065±0,005	12,64±0,44	7,28±0,18
ОУТІЦ 1,5+Cl	3:2	0,203±0,005	16,72±1,02	8,77±0,27
ОУТІЦ 2	2:1	0,255±0,005	20±0,48	8,37±0,28
ОУТІЦ 2+Cl	2:1	0,42±0,027	17,3±0,22	5,79±0,11

Підвищене значення для системи ПУС синтезованого за співвідношення 3:2 пов’язане з більшим вмістом вільних NCO-груп, які не вступили в реакцію утворення поліуретанових зв’язків і виконують роль промоутерів адгезії.

Встановлено, що додавання хлоргексидину спричиняє підвищення температури склування та зменшення ΔCp, що свідчить про збільшення жорсткості полімерної матриці внаслідок посилення міжмолекулярних взаємодій (табл. 2, рис. 1).

Введення хлоргексидину до складу ППУС супроводжується зниженням механічних характеристик. Це зумовлено структурними змінами, зокрема підвищенням температури склування та зменшенням теплоємності, що вказує на збільшення жорсткості полімерної матриці. Такі зміни можуть бути спричинені посиленням міжмолекулярних взаємодій за участю лікарського засобу, які обмежують рухливість макроланцюгів, зменшують еластичність та сприяють більш щільному “жорсткому” впакуванню.

Отже, підвищення температури склування свідчить про зменшення рухливості макромолекул і формування жорсткішої полімерної сітки, а сукупний вплив хлоргексидину на мікроструктуру матеріалу обумовлює зниження його загальних механічних властивостей. Водночас такі зміни можуть бути корисними при створенні матеріалів для медицини, що потребують стабільних механічних параметрів у поєднанні з антимікробною активністю.

Таблиця 2. Теплофізичні властивості ізоціануратвмісних поліуретансечовин

Зразки	Тс, °С		ΔСр , Дж/г · °С)	
	1 прогрівання	2 прогрівання	1 прогрівання	2 прогрівання
ОУТІЦ 1,5	-66,7	-65,36	0,216	0,2544
ОУТІЦ 2	-65,06	-63,69	0,08485	0, 09921
ОУТІЦ 1,5+Cl	-66,38	-65,29	0,2237	0,2368
ОУТІЦ 2+Cl	-56,46	-55,39	0,1921	0,1884

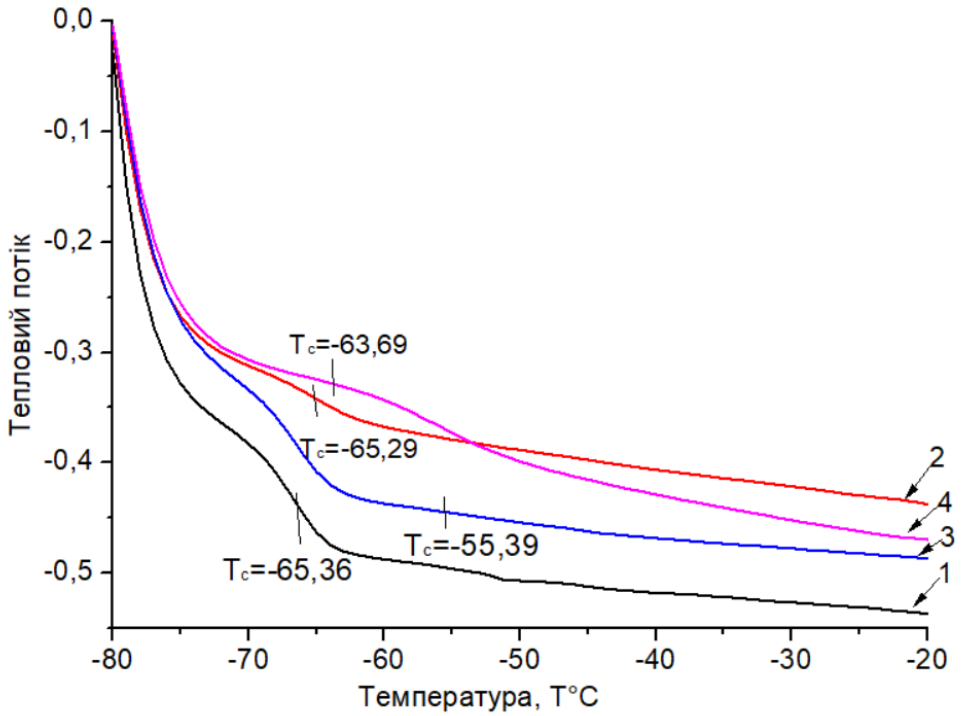


Рис. 1. Термограми зразків: 1 – ОУТІЦ 1,5; 2 – ОУТІЦ 2;

3 – ОУТІЦ 1,5+Cl; 4 – ОУТІЦ 2+Cl

ІЧ-спектроскопічні дослідження підтвердили формування уретан-сечовинної полімерної матриці, а також наявність ізоціануратних фрагментів і хлоргексидину у складі системи. Смуга поглинання в діапазоні 780–820 $см^{-1}$ є характерною для ізоціануратних структур та підтверджує їх наявність у полімерній матриці.

Таким чином, синтезовано ізоціануратвмісні пінополіуретансечовини з іммобілізованим хлоргексидином та досліджено їх фізико-механічні, теплофізичні і структурні властивості. Встановлено, що введення хлоргексидину впливає на структуру полімерної матриці та змінює механічні характеристики матеріалів. Отримані результати свідчать про перспективність синтезованих ізоціануратвмісних пінополіуретансечовин з хлоргексидином як біологічно активних матеріалів медичного призначення, зокрема для створення перев'язувальних засобів та систем локального вивільнення антисептичних речовин.

Література:

1. Grzęda D., Węgrzyk G., Nowak A., Idaszek J., Szczepkowski L., Ryszkowska J. Cytotoxic Properties of Polyurethane Foams for Biomedical Applications as a Function of Isocyanate Index. Polymers. 2023. Vol. 15. P. 2754. https://doi.org/10.3390/polym15122754

2. Give V.V., Muhulikar P.P., Hundivale D.G., Kapadi U.R. Polyurethane coatings using trimer of isophorone diisocyanate. Journal of Scientific & Industrial Research. 2004. Vol. 63. P. 348–354.

3. Huynh T.T.N., Padois K., Sonvico F., Rossi A., Zani F., Pirot F., Doury J., Falson F. Characterization of a polyurethane-based controlled release system for local delivery of chlorhexidine diacetate. https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2009.11.002

4. Wang H., Li T., Li J., Zhao R., Ding A., Xu F.-J. Structural engineering of polyurethanes for biomedical applications. https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2024.101803

УДК 678.746:744.339–13

СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІВІНІЛПІРОЛІДОНВМІСНИХ ГІДРОГЕЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ З КОМБІНОВАНОЮ МАТРИЦЕЮ

Гриценко Т.О., Моравський В.С., Хом'як М.В.

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. Степана Бандери, 12, 79013, м. Львів

taras.o.hrytsenko@lpnu.ua

Гідрогелі на основі прищеплених кополімерів 2-гідроксіетилметакрилату (ГЕМА) з полівінілпіролідоном (ПВП) привертають увагу завдяки комплексу цінних властивостей, серед яких висока гідрофільність, біосумісність, проникність для низькомолекулярних речовин, технологічність, а також можливість регулювання структури та експлуатаційних характеристик. Такі матеріали є перспективними для застосування у медицині, фармації, біотехнології, тканинній інженерії, системах контрольованого вивільнення лікарських препаратів, сорбційних та мембранних технологіях.

Одним з основних недоліків гідрогелів на основі пГЕМА-пр-ПВП кополімерів є проблема одночасного забезпечення високих фізико-механічних характеристик та необхідного рівня сорбційно-дифузійних властивостей. Як правило, підвищення міцності й густини полімерної сітки супроводжується зменшенням ступеня набрякання та проникності матеріалу. У зв'язку з цим актуальним є пошук підходів до формування комбінованих полімерних матриць, які дозволяють цілеспрямовано регулювати структуру та властивості гідрогелів.

Для покращення комплексу експлуатаційних характеристик здійснювали модифікування вихідної композиції ГЕМА/ПВП водорозчинними полімерами різної природи, зокрема полівініловим спиртом (ПВС), поліакриловою кислотою (ПАК) та поліетиленгліколем (ПЕГ). Використання таких модифікаторів забезпечує формування комбінованої полімерної матриці, що дає можливість впливати на густоту зшивання полімерної сітки, гідрофільність, еластичність, а також транспортні характеристики отриманих матеріалів.

Полімеризацію композицій на основі ГЕМА та ПВП здійснювали у присутності $FeSO_4$. Використання йонів металів змінного ступеня окиснення забезпечує високу швидкість полімеризації за кімнатної температури, що є важливою перевагою з технологічної точки зору.

У роботі досліджено вплив природи та вмісту модифікувальних компонентів у системі ГЕМА/ПВП на структуру та властивості гідрогелів. Особливу увагу приділено встановленню впливу складу комбінованої матриці на фізико-механічні характеристики, хімічну стійкість у агресивних середовищах, здатність до набрякання, а також сорбційно-дифузійні властивості синтезованих матеріалів.

Встановлено, що введення ПВС сприяє підвищенню еластичності та механічної міцності гідрогелів за рахунок формування додаткових міжмолекулярних взаємодій. Присутність ПАК забезпечує збільшення гідрофільності та сорбційної здатності матеріалів, що пов’язано з наявністю карбоксильних груп у структурі полімеру. Модифікування ПЕГ дозволяє підвищити проникність полімерної матриці та покращити дифузійні характеристики гідрогелів. У випадку комбінованого використання модифікаторів спостерігається синергетичний ефект, який проявляється у формуванні матеріалів із збалансованим комплексом механічних та транспортних властивостей.

Проведені дослідження дали змогу визначити межі композиційних складів, в яких можна одержувати кополімери необхідної структури з задовільними експлуатаційними характеристиками. У цих межах проведено оптимізацію композиційних складів і режимів синтезу. Оптимізацію здійснювали з використанням сімплекс-граткової моделі Шеффе за найважливішими експлуатаційними характеристиками полімерів. Одержані експериментальні зразки кополімерів із прогнозованими властивостями, що підтверджує перспективність використання комбінованих полімерних матриць для створення функціональних ПВП-вмісних гідрогелів із регульованими характеристиками.

УДК 678.84:621.762:621.892.09

ПОРИСТИЙ ПОЛІТЕТРАФТОРЕТИЛЕН ДЛЯ ФІЛЬТРАЦІЇ ТА РЕГЕНЕРАЦІЇ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ОЛИВ

Калюжний О. Б.[1], **Платков В. Я.**[2], **Марченко М. М.**[1]

[1]Державний біотехнологічний університет

вул. Алчевських 44, 61002, м. Харків

[2]Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля

вул. Іоанна Павла II, 17, м. Київ

albokal@ukr.net

В умовах функціонування енергосистеми України, що супроводжується частими аварійними режимами та вимушеними перевантаженнями трансформаторного обладнання, швидкість деградації ізоляційних олив суттєво зростає. Трансформаторна олива виконує критично важливі функції: забезпечує електричну ізоляцію, відведення тепла та гасіння електричної дуги [1]. У процесі тривалої експлуатації в оливі накопичуються продукти окиснення і термічного розкладу: оксикислоти (37,9–54 %), асфальтени (27–41 %), карбени та карбоїди (28–30 %), неорганічні домішки (1,3–3,6 %). Вирішальний вплив на електричну міцність оливи має наявність дисперсної вологи, яка в емульсійному стані різко знижує пробивну напругу.

Серед полімерних фільтруючих матеріалів особливе місце займає пористий політетрафторетилен (ПТФЕ) завдяки унікальному поєднанню властивостей: надзвичайно високій хімічній стійкості до кислот, лугів та органічних розчинників, здатності працювати в діапазоні температур від −269 °С до +260 °С, гідрофобності та високим діелектричним показникам [2, 3]. Метою роботи є дослідження формування контрольованої пористої структури ПТФЕ з використанням частково газифікованого пороутворювача $NaHCO_3$, а також встановлення функціональних характеристик фільтруючих елементів при очищенні трансформаторних олив.

Як основу використовували порошкоподібний ПТФЕ з розміром частинок < 100 мкм (щільність $\rho_{ПТФЕ}$ = $2{,}19 \cdot 10^3$ кг/м³). В якості пороутворювача

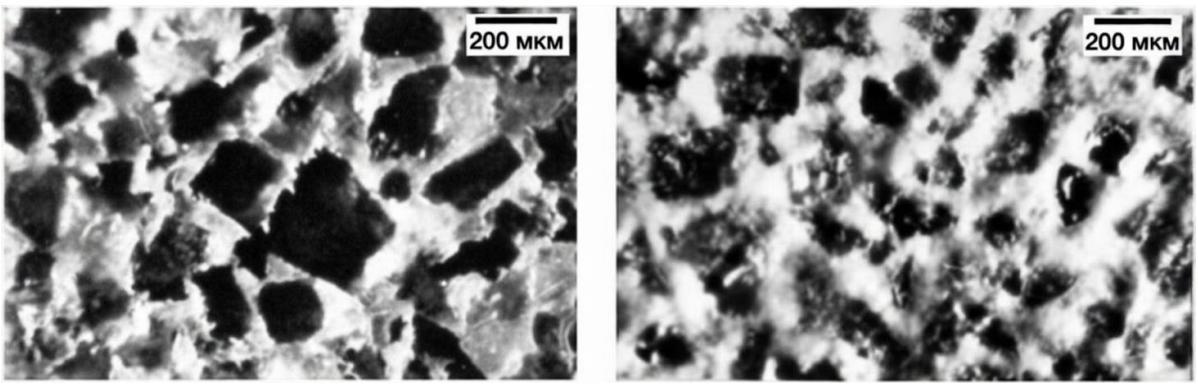
використовувався натрій гідрокарбонат ($NaHCO_3$), який має щільність $\rho = 2{,}16 \cdot 10^3$ кг/м³, близьку до щільності ПТФЕ, що забезпечує якісне змішування компонентів. Суттєва перевага $NaHCO_3$ над NaCl полягає у здатності формувати відкриту пористість при $\varphi < 70$ % завдяки ефекту часткової газифікації [3]: при нагріванні понад 60 °C відбувається розклад $NaHCO_3$ на Na_2CO_3, H_2O та CO_2. При використанні NaCl отримати пористість нижче 70 % неможливо, оскільки окремі частинки пороутворювача повністю вкриваються полімером.

Технологія виготовлення включала: змішування порошків у блендері (600 об/хв, 60 с, $t < 19$ °C), пресування при 155 ± 5 МПа, термообробку до 385 ± 5 °C з витримкою 1 год, вилуговування Na_2CO_3 у воді (40 °C) та сушіння при 100 °C протягом 12 год.

Таким методом можливо отримати вироби різної геометрії – циліндричні, дискові, у вигляді стаканів або шайб. Залежно від технології виготовлення їх пористість може становити 64–90 %, що забезпечує тонкість фільтрування у діапазоні приблизно від 0,5 до 40 мкм. Пористість визначали розрахунковим методом:

$$\varphi = (1 - \rho_V / \rho_{ПТФЕ}) \cdot 100\ \%.$$

Подальші дослідження, спрямовані на оптимізацію параметрів пористої структури для підвищення ефективності фільтрації, були проведені на пористих ПТФЕ із пористістю 65% та 75%. На рис. 1 наведено мікроструктури цих пористих ПТФЕ.



а б

Рис. 1. Мікроструктура пористих ПТФЕ з пористістю 75 (а) та 65% (б)

Вибір фільтруючих елементів з пористістю φ = 65 % та φ = 75 % для регенерації трансформаторних олив обумовлений відповідністю їх структурних характеристик вимогам до очищення діелектричних рідин. Матеріал з φ = 65 % характеризується більш щільною та звивистою пористою структурою, що забезпечує ефективне затримання дрібнодисперсних включень – продуктів окиснення, асфальто-смолистих частинок та дисперсної вологи – при прийнятному гідравлічному опорі. Матеріал з φ = 75 % має більш розвинену систему пор, що знижує гідравлічний опір і підвищує брудомісткіть забезпечуючи тривалішу роботу між регенераціями, однак дещо поступається за ступенем відсіву дрібних фракцій домішок. Матеріали з меншою пористістю (φ < 65 %) характеризуються надмірним гідравлічним опором, що робить їх непридатними для об'ємного прокачування оливи, тоді як матеріали з φ > 75 % не забезпечують необхідного ступеня очищення від критичних для електричної міцності дрібнодисперсних домішок. Таким чином, зразки з φ = 65 % та φ = 75 % утворюють оптимальну пару в досліджуваному діапазоні пористості: перший орієнтований на тонке очищення, другий – на продуктивне попереднє очи-щення з мінімальним енергетичним навантаженням на систему фільтрації.

Фільтрування трансформаторної оливи через пористі ПТФЕ елементи відбувається внаслідок проходження рідини крізь розвинену систему звивистих пор, де здійснюється механічне затримання твердих частинок, продуктів окиснення та дисперсної вологи. Результативність процесу визначається проникністю матеріалу, геометрією пористого простору, товщиною фільтруючого шару та перепадом тиску.

Завдяки розвиненій та однорідній системі пор, значному коефіцієнту звивистості й специфічним поверхневим властивостям ПТФЕ такі матеріали здатні ефективно затримувати тверді механічні частинки, а також високодисперсні включення води та продуктів окиснення, розмір яких у декілька разів менший за середній діаметр пор.

Стендові випробування фільтруючих елементів із пористістю 75% і 65% показали суттєві відмінності в ефективності очищення залежно від розмірної

групи домішок (табл. 1). Матеріал з пористістю 65% забезпечує 100 % відсів частинок крупніших за 5 мкм та 95,5 % у групі 3–5 мкм. Матеріал з пористістю 75% має високий коефіцієнт відсіву χ у групі 2–3 мкм (75,1 % проти 56,0 %), що пояснюється специфікою звивистості пор та локальною гідродинамікою потоку при більшій товщині стінки перегородки.

Таблиця 1.Коефіцієнт відсіву домішок χ (%) фільтруючими елементами ПТФЕ

Пористість ПТФЕ	Розмірна група домішок, мкм				
	0,5–1	1–2	2–3	3–5	5–10
65	25,3 %	28,5 %	56,0 %	95,5 %	100 %
75	20,4 %	25,7 %	75,1 %	79,1 %	79,5 %

Таким чином, отримані фільтруючі елементи ефективно видаляють механічні домішки, дисперсну вологу та продукти окиснення з трансформаторних олив, що підтверджено стендовими випробуваннями.

Література:

1. Kozlov V. K., Valiullina D. M., Turanova O. A. et al. Transformer Oil Degradation Mechanisms. Power Technol Eng. 2022. Vol. 56. Pp. 305–308. https://doi.org/10.1007/s10749-023-01510-2

2. Kaliuzhnyi O. B., Platkov V. Ya. The structure and properties of porous poly(tetrafluoroethylene). J. Polym. Res. 2022. Vol. 29. Pp. 32–37. https://doi.org/10.1007/s10965-022-02887-w

3. Kaliuzhnyi O. B., Platkov V. Ya. Formation of Porous Poly(tetrafluoroethylene) Using a Partially Gasified Porogen. Iran J. Mater. Sci. Eng. 2020. Vol. 17, No. 2. Pp. 13–19. https://doi.org/10.22068/ijmse.17.2.13

4. Калюжний А. Б., Платков В. Я., Калюжний Б. Г. Формування тиском структури і властивостей пористих матеріалів на основі фторопласту-4. Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. 2017. Вип. 183. С. 39–44.

УДК 621.893:678.073:629.78

РОЗРОБКА ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВУЗЛІВ ТЕРТЯ МАШИН ІЗ ВИДОБУТКУ ВОДИ НА МІСЯЦІ

Деркач О.Д., Макаренко Д.В., Муранов Є.С., Кабат О.С.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро

derkach.o@dsau.dp.ua

Вступ. Освоєння та довгострокова колонізація Місяця є однією з найважливіших науково-технічних задач космічної галузі XXI століття. Проте реалізація постійно діючих місячних станцій неможлива без використання місцевих ресурсів (In-Situ Resource Utilization – ISRU). Ключовим стратегічним ресурсом у цьому аспекті є вода, яка міститься у вигляді льоду у постійно затінених полярних кратерах Місяця. Вода необхідна для забезпечення життєдіяльності екіпажу, а також для синтезу воднево-кисневого ракетного палива безпосередньо на місячній поверхні.

На сьогодні запропоновано різні методи екстракції води, серед яких базовим вважається термічний метод (нагрівання крижаного реголіту для сублімації пари). Однак термодинамічні розрахунки показують, що сублімаційне випаровування потребує значних витрат енергії: будь-яке нагрівання з потужністю менше ніж 1000 Вт/м² дає практично нульовий вихід водяної пари. Це робить термічний спосіб енергетично неефективним на початкових етапах розгортання місячної інфраструктури.

Ефективною альтернативою є механічне розділення суміші реголіту та льоду без зміни фазового стану води (без переходу льоду в пару), що дозволяє мінімізувати сублімаційні втрати [1]. Для видобутку та транспортування такої крижаної маси необхідно використовувати автономні транспортні засоби (місячні ровери), оснащені спеціальними робочими органами (руйнівниками, подрібнювачами та шнеками).

Однією із голових наукових проблемпри проектуванні ходових систем та виконавчих механізмів таких роверів є забезпечення працездатності рухомих

з’єднань у екстремальних умовах довкілля Місяця: глибокий вакуум (де рідкі мастила миттєво випаровуються), абразивний вплив реголіту та широкий температурний діапазон (від –80 °С до +160 °С). Традиційні вузли тертя з рідким змащенням у цих умовах виходять із ладу. Вирішенням проблеми є розробка нових самозмащувальних композиційних матеріалів на основі термостійких полімерних матриць, армованих вуглецевими та іншими природними волокнами [2].

Матеріали та методи досліджень. Об’єктами дослідження є полімерні композиційні матеріали (вуглепластики), створені на основі промислово виготовлених термопластичних матриць: фторопласту-4 (Ф-4, політетрафторетилен) та ароматичного поліаміду фенілону С-2. Ці полімери мають високу хімічну стійкість та здатність зберігати механічну міцність у широкому температурному діапазоні.

Для покращення фізико-механічних і триботехнічних властивостей розроблених матеріалів застосовували дискретні вуглецеві волокна з масовим вмістом від 0 % до 40 %. Армування вуглецевими волокнами забезпечує підвищення зсувної міцності матеріалу та сприяє формуванню стійкої плівки переносу на металевому контртілі, що запобігає прямому контакту “метал – полімер” та інтенсивному зношуванню.

Виготовлення дослідних зразків здійснювали методом гарячого пресування. Триботехнічні випробування проводили в умовах сухого тертя за схемами “палець-диск” та “вал-втулка”. Визначали коефіцієнт тертя (f) та величину лінійного зношування зразків (мкм). Також досліджували вплив питомого тиску (P) та швидкості ковзання (υ) на кінетику зношування вуглепластиків на основі фенілону С-2.

Результати досліджень та їх обговорення. У ході випробувань було досліджено вплив концентрації вуглецевого волокна на триботехнічні показники композитів на основі фторопласту-4 (табл. 1).

Таблиця 1. Вплив вмісту вуглецевого волокна на триботехнічні характеристики вуглепластиків на основі фторопласту-4

Вміст вуглецевого волокна, мас. %	Коефіцієнт тертя f	Зношування, мкм
0 (чистий Ф-4)	0,09 – 0,10	343,01
10	0,16	1,24
20	0,19	1,21
30	0,20	1,08
40	0,21	0,85

Аналіз даних табл.1 свідчить, що чистий політетрафторетилен (Ф-4) за умов сухого тертя демонструє дуже низький коефіцієнт тертя (0,09-0,10), проте має високий показник зношування (343,01 мкм) через високу пластичну деформацію та холодотекучість під навантаженням. Такий матеріал є непридатним для реальних важконавантажених вузлів тертя космічної техніки.

Уведення навіть 10 % мас. вуглецевого волокна дозволяє радикально підвищити зносостійкість матеріалу: лінійний знос зменшується більш ніж у 270 разів – до 1,24 мкм. При цьому коефіцієнт тертя очікувано зростає до 0,16. Подальше наповнення фторопластової матриці вуглеволокном до 40 % мас. призводить до монотонного зниження зношування до мінімального значення 0,85 мкм (зносостійкість зростає майже у 400 разів порівняно з матрицею) при стабілізації коефіцієнта тертя у межах 0,19–0,21. Такий характер тертя пояснюється тим, що жорсткі вуглецеві волокна сприймають на себе основну частку зовнішнього навантаження, обмежуючи деформацію м’якої матриці та запобігаючи її руйнуванню.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Обґрунтовано переваги механічного розділення реголіто-крижаної суміші на Місяці без зміни фазового стану води порівняно з енерговитратними термічними методами. Розроблено нові самозмащувальні вуглепластики на основі фторопласту-4 та

передбачається, що вони здатні стабільно працювати в умовах сухого тертя у вакуумі при температурних коливаннях від –80 °С до +160 °С. Доведено, що введення вуглецевих волокон у полімерну матрицю Ф-4 дозволяє знизити зношування матеріалу майже у 400 разів при збереженні низького коефіцієнта тертя (f = 0,20).

Для завершення наукових досліджень та впровадження розроблених матеріалів у космічну техніку перспективними завданнями авторів є:

- проведення триботехнічних випробувань у спеціальних вакуумних камерах з імітацією космічного випромінювання;
- отримання зразків або якісних симуляторів місячного реголіту для оцінки його абразивного впливу на розроблені пари тертя;
- стендове визначення повного робочого ресурсу спроектованих шарнірів та підшипників у складі ходових систем прототипів місячних роверів.

Література:

1. Гусарова І.О., Осіновий Г.Г., Деркач О.Д.. Видобуток води на місяці без зміни фази льоду / XXV Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і космос». Збірник тез, НЦАОМ, Дніпро, 2023. С. 78–79.

2. Розробка композитних елементів необслуговуємих рухомих з’єднань машин і механізмів : монографія / Д.О. Макаренко, О.Д. Деркач, А.В. Гриньків, Є.С. Муранов, О.С. Кабат, В.Ю. Дудін. – Дніпро : Журфонд, 2022. – 148 с.

УДК 678.06:57.085.1

БІОСУМІСНІСТЬ ПОЛІМЕРНИХ ЛІКАРСЬКИХ ФОРМ ІЗ ДАКАРБАЗИНОМ НА ОСНОВІ ГІДРОФІЛЬНИХ ПОЛІАКРИЛАМІДНИХ ГЕЛІВ, МОДИФІКОВАНИХ ОЛІГО-N-ВІНІЛПІРОЛІДОНОМ

Кулєш Д.В., Віслогузова Т.В., Кісельова Т.О., Рожнова Р.А.

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

вул. Харківське шосе, 48, 02160, м. Київ

d_kulesh@ukr.net

Розробка полімерних лікарських систем пролонгованої дії є одним з ключових напрямів сучасної медицини та біомедичної інженерії. Особливий інтерес становлять гідрофільні гелі як носії цитостатичних препаратів, зокрема дакарбазину, завдяки їх здатності забезпечувати локальне контрольоване вивільнення діючої речовини та зменшення системної токсичності, сприяючи проведенню локальної терапії зі збільшенням ефективності самого лікування. Водночас критично важливою є оцінка біосумісності таких систем, зокрема характеру клітинних реакції в місці їх застосування.

Метою роботи було дослідження біосумісності полімерних лікарських форм з дакарбазином (ДАК) на основі гідрофільних поліакриламідних гелів (ПААГ), модифікованих оліго-N-вінілпіролідоном (ПВП), методом імплантаційного тесту. ДАК (5-(3,3-диметил-1-тріазенил)імідазол-4-карбоксамід) належить до алкілуючих цитостатичних препаратів триазенового ряду та широко використовується в клінічній онкології. Незважаючи на активне застосування, механізм його дії залишається остаточно не з’ясованим. Відомо, що ДАК взаємодіє з молекулами ДНК через механізм інтеркаляції, пригнічуючи процеси макромолекулярного біосинтезу. Іммобілізація ДАК на полімерних носіях різної природи створює передумови для розроблення біоактивних імплантатів із локальним терапевтичним ефектом, що забезпечує пролонговане вивільнення діючої речовини та може мати важливе значення для клінічного застосування, особливо в терапії локалізованих злоякісних новоутворень.

Об’єктами дослідження були:

- поліакриламідний гель, модифікований оліго-N-вінілпіролідоном з дакарбазином (ПААГ-ПВП-ДАК, 0,5 мас.%),
- контрольний зразок поліакриламідного гелю з оліго-N-вінілпіролідоном без лікарського препарату (ПААГ-ПВП).

Експериментальні дослідження проводилися на лабораторних щурах лінії Wistar масою 200-250 г. Усі маніпуляції з експериментальними тваринами проводилися з дотриманням принципів, викладених в Європейській конвенції по захисту хребетних тварин, що використовуються для експериментальних та інших цілей [1]. Модельні операції виконувалися в асептичних умовах. Шерстяний покрив в області ін’єкції видаляли стрижкою. Після обробки операційного поля антисептичним розчином робили підшкірні ін’єкції поліакриламідних гелів (ПААГ-ПВП, ПААГ-ПВП-ДАК) в область спини експериментальних тварин в кількості 1 мл. Тварин виводили з експерименту через на 1, 4 та 12 тижнів експерименту шляхом гуманної евтаназії. Дослідні зразки з оточуючими тканинами фіксували в 10% розчині формаліну та заливали в парафін після проведеної гістологічної обробки за стандартною методикою [2]. Зрізи товщиною 10-15 мкм забарвлювали гематоксиліном і еозином. Аналіз клітинних реакцій та оцінка біосумісності полімерних матеріалів проводилася шляхом дослідження гістологічних препаратів за допомогою світлової мікроскопії – мікроскоп Carl Zeiss Primo Star, мікрофото-зйомка проводилася за допомогою фотоапарату Canon PowerShot A640 з адаптером Soligor Adapter Tube for Canon **A610/A620 52 mm Tele.**

Загальні макроскопічні спостереження. Макроскопічно навколо ін’єктованих зразків на всіх термінах дослідження виявлялася сполучна тканина, що відмежовувала імплантовані зразки гелів від оточуючих тканин, за кольором і структурою не відрізнялася від тканин подалі від місця ін’єкції. Ін’єктовані зразки гелю не були спаяними зі шкірою та оточуючими тканинами, легко виділялися. Ознак некрозу, пухлинної трансформації або виражених деструк-

тивних змін не було виявлено. Поведінкові реакції тварин залишалися стабільними, що свідчить про відсутність системної токсичності.

Гістологічна характеристика клітинних реакцій на імплантовані зразки. Через 1 тиждень після імплантації контрольних зразків ПААГ-ПВП спостерігалося формування товстої незрілої сполучнотканинної капсули з вираженою запальною реакцією. Основними клітинними елементами були поліморфноядерні лейкоцити, лімфоцити, а також моноцитарно-макрофагальні елементи з вираженою фагоцитарною активністю. Характерним було явище неоваскуляризації з локальними порушеннями мікроциркуляції в окремих судинах. Через 4 тижні спостерігалося суттєве зменшення товщини капсули та зниження інтенсивності запалення. Більша частина сполучнотканинної капсули характеризувалася наявністю фібробластів веретеноподібної форми, що активно синтезували колаген та утворювали міжклітинну речовину. Через 12 тижнів спостерігалося збільшення товщини капсули, інфільтрація нейтрофілами й макрофагами. Крім того, на даному терміні дослідження спостерігалося утворення декількох шарів жирової тканини, ймовірно, задля процесу ремоделювання оточуючих тканин з боку живого організму. Формування пучків хвилястих зрілих колагенових волокон та веретеноподібних фібробластів між ними, що активно синтезували колаген спостерігалося на незначних ділянках капсули.

Для зразків ПААГ-ПВП-ДАК вже через 1 тиждень після імплантації формувалася більш зріла сполучнотканинна капсула з помірною клітинною реакцією та без виражених порушень мікроциркуляції. На окремих ділянках сполучнотканинної капсули спостерігалися локальні скупчення моноцитарно-макрофагальних елементів, нейтрофілів, була наявна слабка лімфоцитарна інфільтрація. Через 4 тижні відзначалося посилення проліферативних процесів, збільшення товщини капсули за рахунок початку активних проліферативних процесів з одночасним утворенням міжклітинної речовини навколо імплантаційного матеріалу та активізація фагоцитозу. Через 12 тижнів спостерігалося дозрівання капсули, зменшення запальної реакції та ущільнення колагенових

волокон, що свідчило про стабілізацію клітинних реакція на імплантований зразок.

Таким чином, за результатами гістологічних досліджень було встановлено, що імплантація зразка ПААГ-ПВП призводило вираженої та хвилеподібної запальної реакції з тривалим періодом ремоделювання. Встановлено, що наявність дакарбазину в складі полімерного гелю призводило до зменшення інтенсивності гострої запальної відповіді, стабілізуючи судинні реакції, сприяло більш ранньому формуванню зрілої сполучнотканинної капсули, знижує вираженість макрофагально-нейтрофільної інфільтрації.

Висновки

1. Обидва досліджувані типи полімерних систем (ПААГ-ПВП та ПААГ-ПВП-ДАК) викликали розвиток асептичної запальної реакції з формуванням сполучнотканинної капсули, що є типовою відповіддю організму на імплантацію чужорідного матеріалу.

2. Введення дакарбазину у склад ПААГ призводило до зниження інтенсивності запалення та більш стабільного перебігу репаративних процесів.

3. Полімерна форма з дакарбазином демонструвала покращену біосумісність, що проявлялася у більш швидкому формуванні сполучнотканинної капсули та зменшенні клітинної запальної відповіді.

4. Отримані результати підтверджують перспективність використання гідрофільних поліакриламідних гелів як матриць для створення локальних пролонгованих систем доставки протипухлинних препаратів.

Література:

1. European convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes. *Council of Europe*, Strasbourg; 1986, 53 p.

2. Bagrij MM, Dibrova VA, Popadinecz OG, Grishhuk MI, authors; Bagriya MM, Dibrovi VA, editor. [Metodiki morfologichnikh doslidzhen: monografiya]. Vinniczya: Nova Kniga; 2016. 328 p. Ukrainian.

Секція 2

Аналітична хімія. Інноваційні технології харчової промисловості

УДК 664.8.039

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРЯМОЇ СФЕРИФІКАЦІЇ КУЛЬОК БОБА З ЯГІДНОГО ВІДВАРУ БАРБАРИСУ

Воробець А.В., Сачко А.В., Сема О.В.

Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича

вул. М. Коцюбинського, 2, 58000, м. Чернівці

o.sema@chnu.edu.ua

Молочний чай Боба є популярним напоєм у всьому світі. У різних країнах його називають по-різному: bubble tea, боба-чай, чай із кульками тапіоки. У Європі та США набули поширення технології виготовлення кульок із фруктових соків у поєднанні з різними гелеутворювальними агентами. Зазвичай такі кульки додають до напоїв на основі чаю – з молоком або фруктовими соками. Вони можуть містити фруктові екстракти чи рослинні добавки, які надають продукту яскравого аромату та додаткових корисних властивостей, зокрема завдяки фенольним сполукам, антиоксидантам і антоціанам [1].

Існує кілька технологій сферифікації, серед яких однією з найпоширеніших є пряма сферифікація. Суть цього методу полягає в тому, що розчин із натрієвим альгінатом занурюють у ванну з кальцієвою сіллю, де й відбувається утворення кульок. Перевагами прямої сферифікації є швидкість процесу, утворення правильних сферичних форм, а також отримання тонкої, майже непомітної оболонки, яка легко розривається під час споживання. Гелева плівка з кальцієвого альгінату відрізняється пружною, злегка твердуватою текстурою [2].

Метою роботи було практичне дослідження процесу виготовлення кульок методом прямої сферифікації на основі фруктового соку, а також розробка рецептури із використанням дикорослих ягід для отримання збагаченого інноваційного продукту.

Для експерименту застосовували купажований сік «Садочок» (персик–яблуко) з додаванням альгінату натрію та лактату кальцію. Отримані кульки характеризувалися правильною округлою формою, м’якою гелеподібною обо-

лонкою, рідким наповненням після розкушування, світло-жовтим відтінком та приємним солодким смаком. Фізичні параметри визначали на основі десяти контрольних зразків: діаметр кульок коливався від 8,14 до 9,83 мм, маса – від 0,346 до 0,428 г.

Першу партію продукту зберігали в герметично закритих скляних ємностях при температурі 20 °С. Уже на п’ятий день було зафіксовано появу несвіжого, кислого запаху та ознак псування. Крім того, відмічалося незначне зменшення об’єму кульок, що свідчило про їхню фізичну нестабільність.

З метою подовження терміну придатності було використано розчин аскорбінової кислоти (pH = 3,5), який знизив ризик розвитку мікроорганізмів і уповільнив процес псування. В умовах такого середовища кульки залишалися свіжими протягом десяти днів.

Ягоди барбарису є цінною сировиною завдяки високому вмісту біологічно активних речовин. Вони містять органічні кислоти, пектини, дубильні речовини, а також вітаміни С, Е та каротиноїди. Барбарис характеризується наявністю фенольних сполук та антоціанів, що забезпечують антиоксидантну дію, сприяють зниженню рівня вільних радикалів та підвищенню стійкості організму до окисних процесів. Крім того, ягода має тонізуючі, противірусні властивості, а її використання у харчових технологіях дозволяє створювати продукти підвищеної харчової цінності з хорошими органолептичними характеристиками.

З метою підвищення харчової цінності кульок, покращення їх смакових характеристик та надання більш виразного кольору було випробувано рецептуру на основі відвару сушених ягід барбарису, який після варіння піддавали подрібненню блендером. У результаті вдалося отримати стабільні кульки, що відзначаються насиченим натуральним забарвленням (червоний), приємним кислувато-солодким смаком та вираженим ягідним ароматом. Вони мали стабільну гелеву структуру з пружною оболонкою і рідким вмістом усередині.

За результатами фізико-хімічного аналізу встановлено, що кульки характеризуються високим вмістом вологи (приблизно 85–92%), що зумовлено

рідкою консистенцією внутрішньої частини. Кислотність продукту знаходиться в межах pH 3,0–3,8, що пояснюється наявністю органічних кислот у відварах ягід барбарису. Крім того, кульки збагачені біологічно активними речовинами, серед яких фенольні сполуки (0,2–0,5% у перерахунку на суху речовину), антоціани та вітамін С. Такі дані демонструють, що кульки на основі дикорослих ягід не лише збагачують напої смаковими й ароматичними властивостями, а й можуть виконувати роль функціонального інгредієнта завдяки наявності антиоксидантів.

Отже, кульки з фруктового соку є технологічно простими та мають приємні смакові якості, проте обмежені у зберіганні, тоді як кульки на основі дикорослих ягід барбарису демонструють вищу харчову цінність, стійкіші органолептичні показники та потенціал використання як інноваційного функціонального інгредієнта у виробництві напоїв. Запропонована технологія є перспективною для комерційного використання як інгредієнт у молочних коктейлях, а також у кав'ярнях і закладах громадського харчування, що спеціалізуються на bubble tea. Такий продукт може привабити споживачів завдяки оригінальному смаку, цікавій текстурі та можливості тривалішого зберігання.

Література:

1. Liu Y., Cheng H., Wu D. Preparation of the orange flavoured "boba" ball in milk tea and its shelf-life. *Applied Sciences (Switzerland),* 2021, 11(1). PP. 2-10.

2. Yuasa, M., Tagawa, Y., Tominaga, M. The texture and preference of "mentsuyu caviar" prepared from sodium alginate and calcium lactate. *International Journal of Gastronomy and Food Science,* 18. 2019. https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2019.100178.

УДК 543.5: 661.185

ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН У ЗЛИВОВИХ СТОКАХ ТА У ВОДАХ РІЧКИ ДНІПРО В РАЙОНІ ЇХ СКИДУ

Петрушина Г.О.[1], Максимова Н.М.[2], Вишнікін А.Б.[3], Базель Я.Р.[4], Москалець В.О.[5], Басова К.М.[1]

[1]Дніпровський державний аграрно-економічний університет

вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро

[2]ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»»

Південне шосе, 80, 69008, м. Запоріжжя

[3]Дніпровський національний університет ім. О. Гончара

пр. Науки, 72, 49045, м. Дніпро

[4]Університет ім. Павла Йозефа Шафарика

вул. Мойзесова 11, Кошице, Словацька Республіка

petrushyna.h.o@dsau.dp.ua

Поверхнево-активні речовини (ПАР) широко застосовуються у складі побутових і промислових мийних засобів. На відміну від природних мийних речовин (мила), які у присутності солей кальцію, магнію та деяких інших металів утворюють малорозчинні сполуки, ПАР зберігають мийні властивості навіть у жорсткій воді. Основним шляхом надходження ПАР у природні водойми є стічні води – побутові, промислові, а також стоки від пралень, автомийок і змиви з сільськогосподарських угідь. Найвищі концентрації цих речовин зазвичай фіксуються у стоках, пов’язаних із процесами прання та миття. Такі води здебільшого містять аніоноактивні та неіоногенні ПАР, які практично не розкладаються у природному середовищі [1]. Аніоноактивні ПАР (АПАР), представлені переважно солями сульфокислот і сірчанокислих ефірів, у воді утворюють негативно заряджені іони. Неіоногенні ПАР (НПАР) у водних розчинах не дисоціюють на іони й належать до важкоруйнівних сполук, здатних накопичуватися в довкіллі.

Потрапляючи у річкові екосистеми, ПАР знижують поверхневий натяг води, утворюючи стійку плівку та піну на її поверхні. Це ускладнює розчинення

кисню та уповільнює газообмін між водою і повітрям, що може призводити до гіпоксії, загибелі риб і безхребетних, а також до порушення балансу біомаси водоростей. Окремі НПАР здатні впливати на ендокринну систему риб, знижуючи їх чисельність, і накопичуватися в організмах риб, молюсків та донних мешканців. Крім того, ПАР пригнічують діяльність бактерій і змінюють структуру мікробних угруповань, зменшуючи здатність водойм до самоочищення [2]. Вони також можуть розчиняти гідрофобні речовини та сприяти перенесенню нафтопродуктів, пестицидів і важких металів [3], що підвищує токсичність води та мобільність забруднювачів [4].

Метою роботи було дослідити воду з колектора зливових стоків у житловому районі Перемога-3 м. Дніпро та воду р. Дніпро у місці їх скиду.

Визначення концентрацій показників вод проводили у сертифікованій Науково-дослідній лабораторії гідроекології Дніпровського державного аграрно-економічного університету. Вміст АПАР та НПАР у водах визначали за ДСТУ ISO 7875-1 «Визначення аніонних ПАР методом метиленового синього» та ДСТУ ISO 7875-2 «Визначення неіоногенних ПАР із використанням реактиву Драгендорфа» відповідно.

Результати аналізу на вміст АПАР та НПАР у річковій воді (Д) та воді колектора (К), а також їх гранично допустимі концентрації (ГДК) відповідно до ДСанПіН 2.2.4-171-10 та чинних гігієнічних нормативів якості води, затверджених наказом Міністерства охорони здоров’я України від 02.05.2022 № 721 [1, 5] наведені на рис. 1. Для НПАР норматив встановлено за аналогією з неонолом АФ-14.

Отже, концентрація АПАР у воді колектора перебуває на межі допустимого рівня, тоді як вміст НПАР перевищує норматив більш, ніж у 50 разів. У річковій воді рівень АПАР не перевищує ГДК, проте концентрація НПАР є більшою за допустиму більш, ніж у 30 разів. Це свідчить про забруднення річки ПАР у зоні скиду. Підвищений вміст цих речовин у воді колектору, ймовірно, зумовлений несанкціонованим скиданням стічних вод побутового або промислового походження.

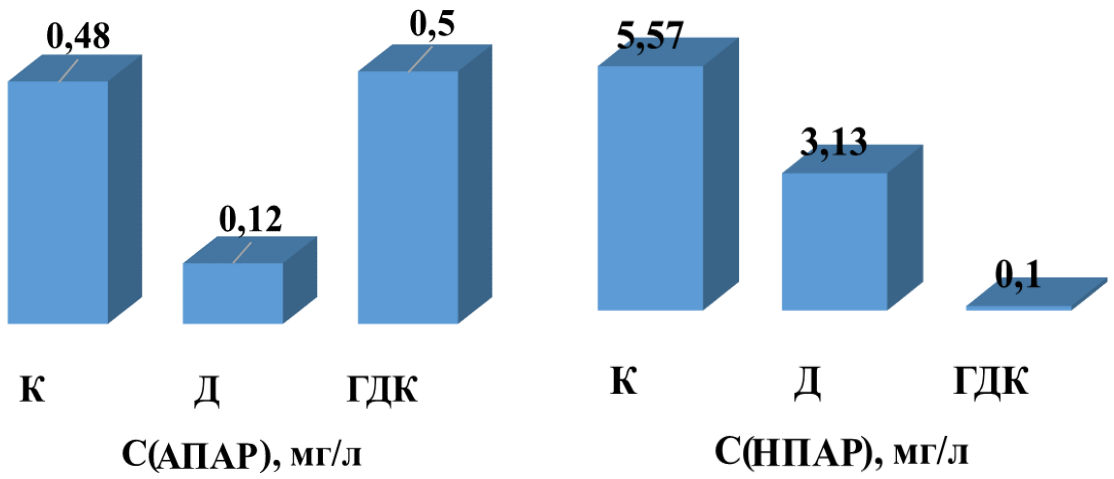


Рис. 1. Вміст АПАР та НПАР у водах колектора (К) та р. Дніпро (Д)

Література:

1. Про затвердження Гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 02.05.2022 № 721. Оновлення: 03.12.2024. Верховна Рада України: офіційний веб-сайт. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#Text (дата звернення: 15.04.2026).

2. Badmus S. O., Amusa H. K., Oyehan T. A., Saleh T. A. Environmental risks and toxicity of surfactants: overview of analysis, assessment, and remediation techniques. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2021, 28(44), 62085–62104. DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-021-16483-w.

3. Najim A. A., Radeef A. Y. Surfactants: hygiene's first line of defence against pollution Available to Purchase. J*ournal of Environmental Engineering and Science*, 2024, 19 (3), 157–176. DOI: https://doi.org/10.1680/jenes.23.00095.

4. Малько А. Поверхнево-активні речовини, як компонент антропогенного навантаження на довкілля. *Наука і техніка сьогодні*. 2023, 8 (22), 383-395. DOI: https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-8(22)-383-395.

5. Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10): наказ Міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010 № 400. Оновлення від 17.01.2025. Верховна Рада України: офіційний веб-сайт. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text (дата звернення: 15.04.2026).

УДК 663.8

НОВІТНІ АНАЛІТИЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВИН

Кічура Д. Б., Собечко І.Б.

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. Степана Бандери, 12, 79013, м. Львів

dariia.b.kichura@lpnu.ua

Розрізняють методи кількісного аналізу: гравіметричні та титриметричні; до перших слід віднести визначення: відносної густини, золи, вологи, сульфатів; до другого: визначення: цукрів, кислот (летких, тированих), азоту, альдегідів, естерів, буферності та лужності. Інструментальні методи також важливі для визначення основних характеристик виноматеріалів та вин: хроматографія, за допомогою якої визначають масову концентрацію чималої кількості різних за природою цукрів, етанолу, склад антоціанів і фенолів, вміст амінокислот, консервантів, інших допоміжних речовин, таких як: барвники (натуральні чи синтетичні), підсолоджувачі, ароматизатори, харчові добавки. До них також належать: фізичні – визначення: в'язкості, густини, сухих речовин, температури замерзання; pH. Кожен етап техно-хімічного контролю: вхідний, технологічний, вихідний – передбачає свій набір критеріїв тих чи інших показників, які у результаті дають змогу забезпечити ефективний моніторинг якості готової продукції – виноматеріалу та вина.

Більшість нелетких речовин, які є у вині, складають його екстракт – це вуглеводи, органічні кислоти, багатоатомні нелеткі спирти, які містять і гліцерин. Вуглеводи виноградного сусла посилюють солодкість столових, напівсухих, напівсолодких, десертних і міцних вин. Незброджені цукри (пентоза, арабіноза, ксилоза) пом'якшують смак столових сухих вин, фенольні речовини, впливають на колір і смак вин, приймають участь у процесах дозрівання і старіння вин і підвищують дієтичну і лікувально-профілактичну цінність. Разом з харчовими кислотами вони забезпечують типовий смак виноматеріалів і самих вин. Кислотні властивості дають можливість утворювати зі

спиртами естери, які сприяють благородному дозріванню вин під час їх витримування.

Відповідну роль у формуванні вина відіграють азотні речовини, які забезпечують приріст біомаси дріжджів, сприяють формуванню певних специфічних вин типу: токай, мадер, портейнів і хересів. Найбільш багаті на вітаміни і ферменти усі ігристі вина пляшкового способу виготовлення, червоні вина, молоді столові і особливо червоні столові вина.

Етиловий спирт – це основний компонент вина, що визначає його тип і смакові особливості, одна зі складових продукції виноробства, яка надає останній характерні органолептичні особливості, підвищує стійкість вин під час їх зберігання, гальмуючи розвиток численних мікроорганізмів. Концентрацію етилового спирту водночас із вмістом інших сполук беруть до уваги під час класифікації вин, приналежності конкретного вина до певної групи, підгрупи та типу.

Існує багато методів визначення етилового спирту: насамперед фізичні, хімічні та фізико-хімічні методи, які грунтуються на вимірюванні параметрів, які залежать від концентрації спирту у водно-спиртових розчинах. Найбільш поширені методи – метод визначення спирту за відносною густиною дистиляту, що грунтується на визначенні температури кипіння водно-спиртових сумішей; рефрактометричний метод, який полягає у вимірюванні показника заломлення дистиляту. Широко використовуються також хімічні методи визначення етилового спирту, які грунтуються на окисненні спирту калій біхроматом до оцтової кислоти.

Методи для визначення екстракту вина поділяються на прямі, що ґрунтуються на випаровуванні вина і зважуванні одержаного залишку, і непрямі, за якими екстракт визначають без випаровування вина за показниками, що змінюють свої фізичні, хімічні або фізико-хімічні властивості пропорційно до зміни концентрації нелетких речовин, що містяться у вині.

Із цукрів у винограді та вині міститься, в основному, суміш глюкози та фруктози й подекуди – сахарози. Визначення вмісту цукрів у вині належать до

основних, оскільки їх вміст характеризує тип вина та його смакові особливості. Кондиціями передбачено певний вміст цукрів у готовій продукції, і відхилення від стандарту є недопустимими.

Наявність у літературі значної кількості методів визначення цукрів іноді створює певні труднощі під час їх вибору. Зокрема рефрактометричний, ареометричний, пікномеричний для винограду і сусла; метод Бертрана для інвертного цукру; об'ємний метод прямого титрування для визначень інвертного цукру; йодометричний метод для глюкози; колориметричний метод для фруктози.

Основна частка альдегідів у вині припадає на оцтовий; інші альдегіди містяться у значно меншій кількості. Вміст оцтового альдегіду – це критерій ступеня окиснення вина, оскільки вина різних типів мають різний ступень окиснення, зумовлений певним технологічним режимом їх обробки.

Метиловий спирт − природний компонент вина, який утворюється у процесі бродіння внаслідок розщеплення пектинових речовин. Внаслідок токсичності та негативного впливу на аромат вина метиловий спирт є небажаним складником вина. Для його визначення існує багато різних методів, найбільш оптимальні серед них – аргентометричний та колориметричний.

Естери впливають на органолептичні властивості вина, тому вони відіграють важливу роль у загальній будові вина. Естери утворюються як під час бродіння (внаслідок біохімічної етерифікації), так і при витримці вина (переважно внаслідок хімічної етерифікації). Титрована кислотність – важлиий показник готової продукції, висока кислотність збільшує стійкість вина до окиснення його складових, бактеріальних захворювань і кваасів. Методики кислотно-основного титрування відрізняються переважно способами встановлення точки еквівалентності кислоти, наявні у вині, г/дм^3: винна (1,5–5), яблучна (0,05–5) і молочна (0,5–5); також оцтову (0,4–1,5), бурштинову (0,25–1,5), галактуронову (0,1–1), лимонну (цитринову) (0–0,8) та слизову (до 0,5) кислоти.

У первинному і вторинному виноробстві, починаючи з перероблення винограду і закінчуючи випуском готових вин, широко використовують диоксид сірки (сірчистий ангідрид) як антисептик і антиоксидант. Максимально допустимий загальний вміст SO_2 у вині – 200 мг/ дм^3 , вільного SO_2 – 20 мг/ дм^3. У напівпродуктах і готовій продукції виноробства є різні мінеральні речовини, серед яких можна виділити залізо, мідь, свинець.



УДК 663.252

ІННОВАЦІЇ У ПРОЦЕСАХ СТАБІЛІЗАЦІЇ ВИНОМАТЕРІАЛІВ ТА ВИН

Кічура Д. Б., Субтельний Р.О.

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. Степана Бандери, 12, 79013, м. Львів

dariia.b.kichura@lpnu.ua

Тривалість стабільності виноградних вин залежить від багатьох факторів, у першу чергу помутніть: біохімічних, мікробіологічних і фізико-хімічних, зокрема деметалізації, вилучення білкових речовин, поліцукрів, фенольних сполук і солей винної кислоти, інактивації ферментів, мікроорганізмів і створення умов, що виключають їх розвиток у продукції виноробства. Основна вимога стійких і стабільних вин – це високоякісна сировина належної цукристості. Для кожного типу вина слід використовувати особливу обробку виноматеріалів. З метою біологічної стабільності у виноробстві використовують різні методи обробки вин: γ-променями, ультразвуком, УФ та ІЧ променями і інші. Олігодинамічну дію на вино має срібло, забезпечує його стабільність, але в процесі витримки напівсолодких вин, оброблених сріблом, останнє може коагулювати і тим самим порушувати товарний вигляд продукту.

Сьогодні найбільш ефективними фізичними методами стабілізації вина є стерильний і гарячий його розлив в пляшки і термічна обробка. Холодний стерильний розлив вина гарантує біологічну стабільність тільки при повному виключенні мікрофлори у пляшках, на корках, обладнанні й трубопроводах, а також у повітрі цеху розливу. Забезпечення біологічної стабільності вин за допомогою хімічних консервантів – це найбільш простий у виноробстві. Зі всіх консервантів сьогодні двоокис сірки забезпечує стабільність вина в дозах, які мало відчутні на смак при вживанні вина. При підвищенні температури у підвалах доза вільного SO_2 повинна бути збільшена, що значно змінює смак і аромат вина і негативно відображається на здоров'ї людини, яка вживає це вино. Механізм і хімізм дії хімічних консервантів на мікроорганізми вина надзвичайно різноманітний. Одні із консервантів втрачають клітинні ферменти

шляхом взаємодії з функціональними групами ферменту, що блокує взаємодію з субстратом, приводить до бактеріостатичного або бактерицидного ефекту. Хімічні консерванти викликають дезорганізацію поверхневих структур і створюють умови, необхідні для активного обміну клітини з навколишнім середовищем, при цьому спостерігається бактеріостаз або загибель клітини. Треті паралізують розмноження клітини в аеробних умовах, тобто пригнічують брунькування. Деякі з хімічних консервантів мають специфічний вплив, який характеризується комбінованою дією на клітини залежності від внесеної дози. [1 – 5].

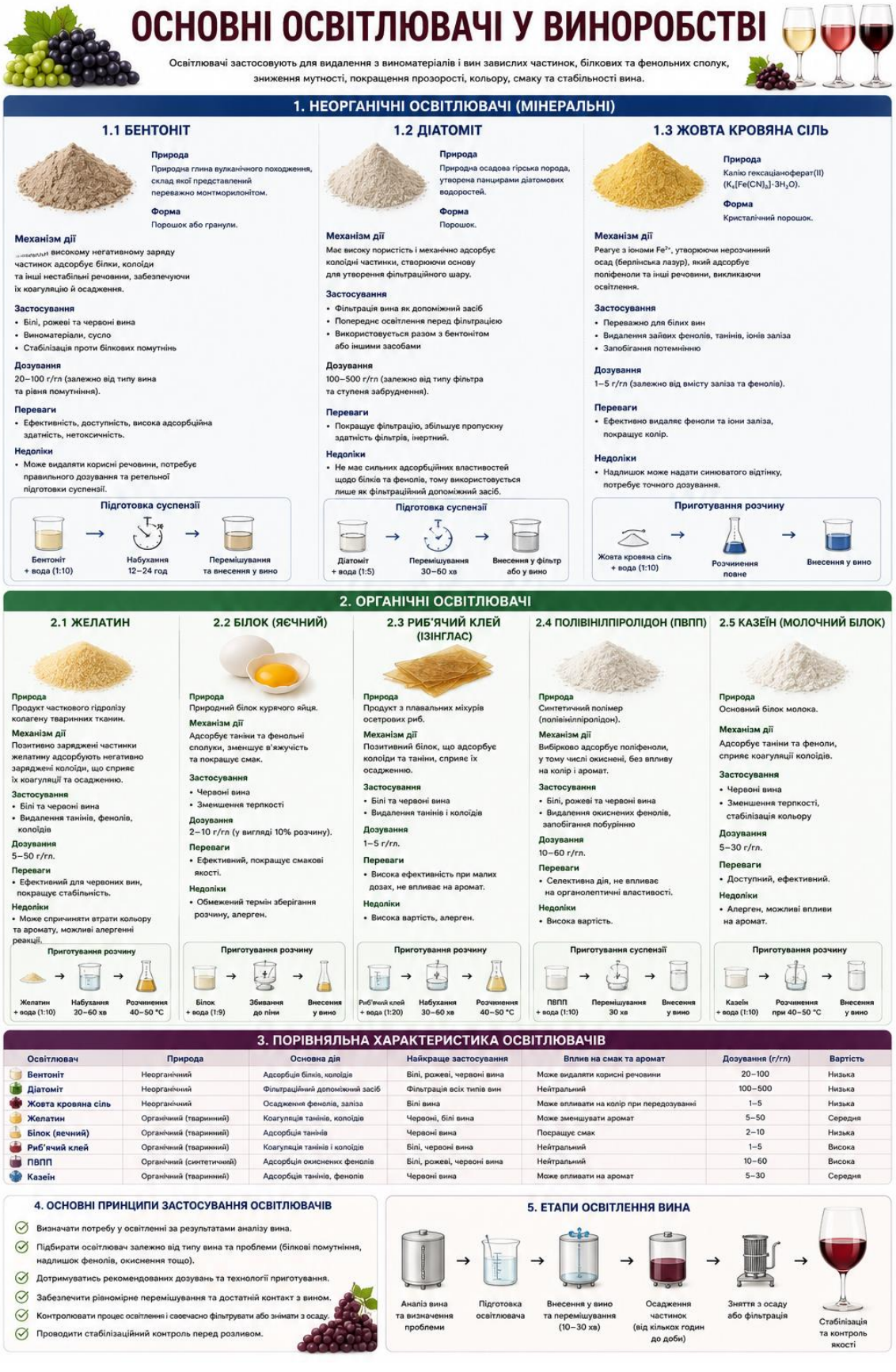
Широке застосування у виноробстві знаходить сорбінова кислота, зокрема, розмноження оцтовокислих і молочнокислих бактерій пригальмовується тільки дозою біля 1000 мг/дм^3 сорбінової кислоти. В той час дози сорбінової кислоти біля 300 мг/дм^3 вже відчутні на якісних показниках вина, а тому її застосування у виноробстві як консерванту не може вберегти вино від оцтового окиснення і молочнокислого бродіння.

Консерванти рослинного походження юглон і плюмбагін давно запропоновані у виноробстві для припинення життєдіяльності дріжджів, оцтовокислих і молочнокислих бактерій, але дозволені дози юглону не більше 0,1 мг/дм^3, плюмбагіну не більше 1 мг/дм^3 не забезпечують біологічну стабільність столових вин [5 – 8].

Найбільшого практичного значення набула обробка бентонітом або кізельгуром, й іншими речовинами у вигляді комплексних схем. З появою нових синтетичних аморфних форм оксиду кремнію (IV) почалася масова розробка і впровадження препаратів особливо чистого діоксиду кремнію різних модифікацій, спочатку для освітлення, а пізніше і для стабілізації виноматеріалів і готових вин за технологією, так званого кізельзоль – желатинового оклеювання взамін таніну.

Загалом вибір того чи іншого матеріалу для обробки залежить від виду осаду, стосовно фенольних помутніть, то тут використовують як правило органічні адсорбенти, інколи для рожевих та червоних вин можуть

використовувати жовту кров’яну сіль разом у поєднанні з органічними адсорбентами. Танін − яскравий представник усунення білкових помутніть у поєднанні з желатином та риб'ячим клеєм має хороші результати.



Оклеюючі матеріали мають консервуючі властивості, витримка вин у бочках відходить на другий план, сьогодні їх обробляють комбінованими методами для досягнення швидкого результату у промислових масштабах. Відтак, нові методи стабілізації вин і нові антисептики повинні задовільняти таким вимогам: не бути шкідливими для організму людини, яка вживає такі вина; не накопичуватись в організмі людини, як токсичні сполуки, при вживанні вина на протягом тривалого періоду малими дозами; не викликати в організмі алергічних реакцій; не впливати на бактеріальну флору людини; не чинити помітного впливу на смак, аромат і букет вина; легко піддаватися якісному і кількісному визначенню; бажано, щоб такі антисептики мали антиокислювальні

Література:

1. Бабич, І. М. Високоякісне чисте вино / І. М. Бабич, М. В. Білько, В. О. Домарецький // *Харчова і переробна промисловість*. 2005. № 7. С. 17–18.

2. Хімія та біохімія вина. Лабораторний практикум. / Під заг ред. Є. П. Шольца-Куликова. Київ.: УДУХТ. 2001. 220 с.

3. Мамай О. І., Сльозко Г. Ф., Стоянова О. В. Хімічний і технологічний контроль виноробства. Київ.: ІНКОС., 2004. 224 с.

4. Валуйко Г.Г., Домарецький В.А., Загоруйко В.О. Технологія вина. Київ : Центр навчальної літератури, 2003. 592с.

5. Методичні положення та норми продуктивності на виробництво вин та коньяків / В. В. Вітвіцький, В. І. Ковальчук, Л. П. Корніяш, А. К. Рибальченко. Київ : Украгропромпродуктивність, 2006. 357 с.

6. Зінченко В. І. Органолептичний аналіз вин / В. І. Зінченко. Київ : Виноград. Вино, 2009. 204 с.

7. Хімічний склад винограду і вина // *Виноград. Вино*. 2012. № 6. С. 10–19; 2017. № 4-5. С. 8–14.

8. Хімія і біохімія вина : підручник / В. А. Домарецький, В. О. Маринченко, М. В. Білько та ін. ; за ред. А. І. Українця; Міністерство освіти і науки України, Національний університет харчових технологій. Київ : НУХТ, 2007. 261 с.

УДК 662.917 : 662.918

ЕКЗОТЕРМІЧНІ СУМІШІ ДЛЯ БЕЗПОЛУМЕНЕВОГО НАГРІВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Суха І.В., Заремба Г.В., Сухий К.М., Бєляновська О.А.

Український державний університет науки і технологій

вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпро

ksykhyy@gmail.com

Організація автономного харчування в польових умовах набуває ключового значення протягом останнього десятиріччя. Важливим елементом функціональних систем пакування є нагрівачі на основі екзотермічних сумішей, які активуються водою і завдяки виділенню тепла при перебігу хімічної реакції дозволяють розігріти харчовий пайок без використання відкритого полум'я та електроенергії, що є особливо вирішальним в умовах обмежених ресурсів. Простий процес виробництва, компактність та низька вартість роблять суміш алюмінію та кальцій оксиду перспективним компонентом екзотермічної суміші для безполуменевих нагрівачів.

Мета даної роботи – розробити та оптимізувати склади екзотермічних сумішей для безполуменевих нагрівачів їжі на основі алюмінію, кальцій оксиду та натрій карбонату, який активується шляхом додавання води, що ініціює каскад реакцій, більшість з яких перебігають з виділенням тепла.

Виявлено, що тепловий режим екзотермічного нагрівача характеризується швидким зростанням температури та подальшим їх зниженням. Встановлено, що ефективність перебігу реакцій знижується внаслідок формування шару кальцій гідроксиду на поверхні алюмінію.

Показано, що формування лужного середовища є вирішальним фактором активації алюміній, завдяки руйнуванню пасивуючий оксидний шар та перебігу гідролізу з виділенням водню. Виявлено, що тепловий ефект і ступень перетворення зростають при збільшенні вмісту алюмінію. Встановлений оптимальний вміст алюмінію у складі екзотермічної суміші дорівнює 45 – 65 %,

УДК 631.8116631.416.2

ОПТИМІЗАЦІЯ ФОСФОРНОГО ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ ШЛЯХОМ ПРОВЕДЕННЯ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ІНКРУСТАЦІЇ НАСІННЯ ФОСФОРОВМІСНИМ ПРЕПАРАТОМ ДЕФЕНС С

Крамарьов С.М.[1], Бандура Л.П.[1], Чупіков О.М.[1], Хорошун К.О.[2], Крамарьов О.С.[3]

[1]Дніпровський державний аграрно-економічний університет

вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро

kramarov.s.m@dsau.dp.ua

[2]ПП НКФ «Імпторгсервіс», вул. Наримська 33-35, м. Дніпро

[3]ДУ Інститут зернових культур НААН України

вул. Володимира Вернадського, 14, 49009, м. Дніпро

Оскільки фосфор малорухомий у ґрунті, тому його потрібно розміщувати максимально близько біля кореневої системи: в даному випадку найкраще наносити на поверхню насіння під час проведення передпосівної інкрустації і вносити в рядок при сівбі [1]. Рослини пшениці м'якої озимої дуже чутливі до дефіциту фосфору на ранніх етапах розвитку, коли їх ще слаборозвинена коренева система має низьку здатність до засвоєння ґрунтових фосфатів. В насінні усіх без виключення рослин сільськогосподарських культур, в тому числі, і пшениці м'якої озимої, міститься фосфор в вигляді органо-мінеральної речовини фітину. На початку розвитку озима м'яка пшениця споживає фосфор, який зосереджений у насінині в складі орано-мінеральної речовини фітину. Цього ресурсу їй вистачає, щоб сформувати 2-3 листки та розвинути корінь завдовжки до 50 см. Проте первинний корінь, який був сформований за рахунок наявних фосфорних насіннєвих запасів в ґрунті, має ще невелику поглинальну здатність. Крім того, він виділяє кореневими волосками ексудати низької концентрації, які не спроможні розчиняти наявні у твердій фазі ґрунту важкодоступні фосфати лужноземельних металів. Через це молода рослина не може

засвоювати фосфор із цих мінералів. В цей період вегетації молодій рослині для належного фосфорного живлення необхідно сформувати навколо своєї кореневої системи необхідний резерв легкодоступних і добре розчинних речовин цього елемента живлення. Спочатку рослина використовує наявний в насінині фосфор, який міститься в органо-мінеральній речовині фітині. В основному фосфор фітину проросток пшениці м'якої озимої використовує в період свого гетеротрофного живлення до фази 3-х листків, коли наявні його запаси йдуть на проходження різноманітних біохімічних процесів. Відразу ж після наклювування насіння наявні в ньому резерви фосфору під час його проростання починають використовуватися для розвитку первинних коренів і тканин пагону і після їх вичерпування настає дефіцит фосфору [2]. Тому вирішення проблеми забезпечення рослин рухомими формами фосфору у початкові фази онтогенезу має надзвичайно велике наукове і практичне значення.

Методи проведення досліджень. Дослідження проводили впродовж 2023-2025 рр. на дослідному полі навчально-наукового центру Дніпровського державного аграрно-економічного університету в умовах польового досліду. Ґрунтовий покрив дослідних ділянок – чорнозем звичайний, мало гумусний, важко суглинковий на лесі (типовий для північного Степу України). Глибина гумусового профілю – 60-65 см, валовий вміст гумусу (за І.В. Тюриним) в орному шарі складає 3,8-4,0%, загального азоту – 0,23-0,24%, фосфору – 0,10-0,12% і калію – 14,3-15,4%. Кількість рухомих форм фосфору – 8,8-9,8 мг/100 г ґрунту і калію – 14,3-15,4 мг/100 г ґрунту (метод Чирикова). Клімат помірно-континентальний, посушливий, з частими південно-східними вітрами. В польових дослідах висівали насіння пшениці м'якої озимої сорту Шестопалівка. Площа посівної ділянки – 210 м^2, облікової – 100 м^2, повторність – триразова. Крім досліджуваних факторів, агротехніка у польових дослідах відповідала загально прийнятим рекомендаціям технологій вирощування зернових колосових культур.

Результати проведених досліджень. Головним напрямком вирішення цієї проблеми може бути передпосівна інкрустація посівного матеріалу. Вже тривалий час майже усі господарства проводять передпосівну інкрустацію з метою

нанесення захисної плівки та протруйників на поверхню насінини для захисту молодих рослин від різноманітних шкідників та збудників хвороб. Але кожен нанесений на насіння протруйник не тільки пригнічує розвиток патогенних мікроорганізмів та шкідників, але й також негативно впливає на ріст проростка. Тому для того щоб нівелювати негативний вплив протруйників на ріст проростків до складу інкрустуючої бакової суміші додатково потрібно вводити біологічно активні речовини і водорозчинні фосфорні солі. Джерелом таких біологічно активних речовин і водорозчинних сполук фосфору може слугувати вітчизняний препарат Дефенс С. Передпосівна обробка насіння пшениці м'якої озимої цим фосфоровмісним препаратом забезпечує проростки фосфором ще до того, як корінь почне шукати його в ґрунті. Оскільки цей фосфоровмісний препарат надзвичайно важливий в ювенільний період розвитку рослин, тому виникає необхідність у розгляді його властивостей та технології виробництва.

Фосфоровмісний препарат Дефенс С багатокомпонентний і кожна речовина, яка входить до його складу виконує свою притаманну лише їй біохімічну функцію. Основним складовим елементом даного добрива є сіль калій монофосфат KH_2PO_4. Ця сіль найбільш водорозчинна і містить у своєму складі доволі високий відсоток фосфору, майже 49%, який знаходиться у складі цього добрива у найбільш доступній для рослин формі у вигляді дигідрофосфату (аніону $H_2PO_4^-$), який є легко доступний для рослин. Обробка насіння пшениці м'якої озимої цим фосфоровмісним препаратом забезпечує проростки доступним елементом ще до того, як корінь почне шукати його в ґрунті.

Але якщо поряд з протруєнням насіння під час передпосівної інкрустації провести ще й додаткове введення до складу бакової суміші фосфоровмісний препарат Дефенс-С, адсорбент БМ-нанобіочар Green і плівкоутворювач, тоді в такому разі, є можливість забезпечити рослину на більш тривалий час доступним фосфором, що, в свою чергою, сприятиме більш інтенсивному росту кореневої системи на початкових етапах онтогенезу. У складі цієї композиції адсорбент біочар утримує вологу навколо насінини, адсорбує поживні речовини та запобігає їх вимиванню. Поліетиленоксидна полімерна плівка надійно фіксує

добриво і біочар на поверхні насіння, захищаючи їх від осипання під час транспортування та висіву у ґрунт. Крім того, біочар слугує чудовим кондиціонером ризосфери, створюючи у ній сприятливі умови для розвитку ґрунтових мікроорганізмів. В даному випадку цей агротехнічний захід забезпечує зародок фосфором розпочинаючи з моменту проростання насіння. Такий комплексний підхід до передпосівної інкрустації насіння є надзвичайно ефективним елементом сучасного точного землеробства. Оскільки використання фосфору разом із біочаром та плівкоутворювачем безпосередньо на поверхні насінини вирішує головну проблему початкового періоду вегетації – проводить ліквідацію наявного дефіциту доступного фосфору, який завжди виникає в холодному або сухому ґрунті. Виконана таким чином комплексна передпосівна інкрустація формує навколо насінини так звану «капсулу комфорту». В даному випадку молода рослина не витрачає свою енергію на пошук фосфору у холодному чи сухому ґрунті. Нанесений на насіння рухомий фосфор вже на старті сприяє розвитку потужного первинного корінця і таким чином дозволяє рослинам пшениці м’якої озимої відразу, без суттєвої затримки, перейти на автономне живлення та легше перенести пізні осінні та ранні весняні стреси.

У зв’язку з наявними вище перерахованими корисними властивостями, фосфоровмісний препарат Дефенс-С в умовах сьогодення широко використовується у виробничих умовах для проведення передпосівної інкрустації зернових колосових культур в нормі 300 г/т посівного матеріалу. Основним компонентом, який входить до його складу, є найбільш водорозчинне комплексне добриво калій монофосфат KH_2PO_4, яке серед інших туків має самий низький сольовий індекс – 8. Однак, після дисоціації цієї солі на йони, аніон $H_2PO_4^-$ буде дуже повільно проникати крізь біологічні мембрани всередину цитоплазми клітини. Гальмування проникнення аніону $H_2PO_4^-$ (дигідроортофосфату) крізь біологічні мембрани зумовлене кількома об’єктивними причинами: 1. наявність негативного заряду (гідрофобний ліпідний бішар мембрани є практично непроникним для заряджених частинок (йонів); 2. гальмування проникнення гідра-

ційною оболонкою (у водному середовищі фосфат-аніони сильно гідратуються – вони оточують себе товстою оболонкою з диполів води, що значно збільшує їхній фактичний розмір); 3 відсутність вільної дифузії (через високу полярність цей йон не може розчинятися в ліпідах мембрани, тому проста дифузія для нього неможлива). Для того щоб прискорити цей процес, до складу препарату введено речовину-носій – диметилсульфоксид, завдяки якій аніон $H_2PO_4^-$ легко й безперешкодно проникає всередину цитоплазми клітини, швидко долаючи біологічні мембрани.

Поряд із низькою проникністю аніону ортофосфофатної кислоти крізь біологічну мембрану, існує інша проблема. Після вичерпання насіннєвих запасів фосфору у фітині, стартового обсягу калій монофосфату (у нормі Дефенс С 300 г/т) молодій рослині вистачає лише на 10 діб. Надалі знову розвивається дефіцит рухомих форм фосфору. Через це постає потреба збільшити норму внесення Дефенс С до складу бакової суміші для інкрустації насіння. Проте для підвищення дози цього препарату до 400 г/т, у суміш необхідно ввести додатковий компонент адсорбент – “БМ-нанобіочар Green”. Його експериментально встановлена норма становить 1 кг/т насіння. Завдяки високій своїй шпаруватості цей компонент адсорбує фосфоровмісний препарат, а потім пролонговано вивільняє його у ґрунтовий розчин. Таким чином, це поліпшує фосфорне живлення проростків, а також запобігає зростанню осмотичного тиску розчину навколо кореня до критичного рівня, захищаючи кореневі волоски від пошкоджень.

Під впливом передпосівної інкрустації насіння фосфоровмісним препаратом Дефенс С підвищується його енергія наклювування на 2,4%, проростання – на 5,0% і польова схожість – на 2,4%, що дає можливість отримати в господарствах своєчасні, дружні, рівномірні та швидкі сходи. Крім того на ділянках вар. 2. і 3 сходи в роки проведення досліджень 2023-2025 рр. з’являлись на 2-3 доби раніше у порівнянні з контрольним варіантом. За швидкого проростання насіння і формуванні проростків, сходи зазвичай з’являються на поверхні ґрунту більш дружніше, а ніж за розтягнутого періоду сівба-сходи. Головним

чином, це обумовлено, тим, що за швидкого проростання поживні речовини насіння більш повною мірою використовуються на ріст проростка і в меншій мірі витрачаються на процеси дихання, які проходять в ньому. Затримка з появою сходів на контролі навіть на 1-2 дні, в подальшому гальмує ріст і розвиток рослин в першій половині осінньої їх вегетації. Поряд з цим передпосівна інкрустація насіння фосфоровмісним препаратом дає можливість додатково отримати 1,2-2,0 ц/га зерна пшениці м'якої озимої.

Висновок. З метою ліквідації існуючого дефіциту рухомих форм фосфору в початкові фази розвитку доцільно проводити передпосівну інкрустацію насіння з введенням до складу бакової суміші фосфоровмісного препарату Дефенс С нормою 300 г/т насіння. Цей агротехнічний захід дає можливість додатково отримати приріст врожаю зерна пшениці м'якої озимої, який варіює в межах 1,2-2,0 ц/га.

Література:

1. Крамарьов С.М., Краснєнков С.В**.,** Артеменко С.Ф. Ефективність передпосівної інкрустації насіння озимих та ярих зернових культур і інокуляції сої в умовах північного Степу України. Фізіологія рослин: проблеми та перспективи т.1 /НАН України, Інститут фізіології рослин і генетики НАН України. К.: Логос, 2009. С. 331- 343.

2. Крамарьов С. М. Перспективи комплексного використання гумінових препаратів, мікроелементів в хелатній формі і препарата Марс EL для передпосівної інкрустації насіння озимих та ярих зернових культур. Мат. Міжнародної конф. «гумінові кислоти і фітогормони в рослинництві. К., 2007. С. 31-33.

УДК 628.349.094.3:661.183.6+544.723.22

ОЧИЩЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ СТІЧНИХ ВОД ВІД НІТРАТ-ІОНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ СИНТЕТИЧНИХ АНІОННИХ ГЛИН

Бутенко Е.О.

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

вул. Дм. Яворницького, 19, 49000, м. Маріуполь-Дніпро

butenko_e_o@pstu.edu

Забруднення водних ресурсів нітрат-іонами є однією з найбільш актуальних екологічних проблем сучасності, зумовленою інтенсивним розвитком сільського господарства, промисловості та урбанізацією. Традиційні методи очищення, такі як зворотний осмос, іонний обмін та біологічна денітрифікація, часто є енергоємними, коштовними або генерують вторинні забруднювачі. У цьому контексті синтетичні аніонні глини, зокрема, шаруваті подвійні гідроксиди (LDH), привертають значну увагу завдяки унікальним властивостям: високій аніонообмінній здатності, розвиненій питомій поверхні, «ефекту пам’яті» та можливості контролю складу.

У роботі узагальнено сучасні дослідження щодо синтезу LDH (методом співосадження, гідротермальним методом, із застосуванням ультразвуку), їх структурної модифікації для підвищення спорідненості до нітрат-іонів, а також механізмів адсорбції. Розглянуто кінетичні та термодинамічні моделі процесу, фактори впливу (pH, температура, конкуруючі аніони) та новітні підходи до імобілізації LDH у нанофільтраційні мембрани. Показано, що оптимізація методу синтезу дозволяє досягти адсорбційної ємності до 70 мг NO_3^-/г та більше, що робить LDH перспективними матеріалами для створення ефективних та економічно доступних систем водоочищення.

Шаруваті подвійні гідроксиди, також відомі як гідроталькітоподібні сполуки або аніонні глини, є класом матеріалів, що має загальну формулу:

$$[M(II)_{1-x}\,M(III)_x\,(OH)_2]^{x+}\,(A^{n-})_{x/n}\cdot yH_2O,$$

де: M(II) – двовалентний катіон металу (Mg^{2+}, Ni^{2+}, Zn^{2+}, Ca^{2+}, Fe^{2+} та ін.), M(III) – тривалентний катіон (Al^{3+}, Fe^{3+}, Mn^{3+} та ін.), A^{n-} – міжшаровий аніон (CO_3^{2-},

Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-} тощо), а x – мольна частка тривалентних катіонів, яка зазвичай знаходиться в межах 0,2 – 0,33.

Структура LDH базується на бруситоподібних шарах $Mg(OH)_2$, де частина двовалентних катіонів ізоморфно заміщена тривалентними. Це призводить до виникнення надлишкового позитивного заряду у гідроксидних шарах, який компенсується міжшаровими аніонами та молекулами води. Аніони розташовані у гідратованому міжшаровому просторі і утримуються слабкими електростатичними силами та водневими зв'язками, що зумовлює їх високу рухливість і здатність до іонного обміну.

Аніонообмінна здатність. Ключовими властивостями для адсорбції нітратів є аніонообмінна здатність. Заряд шарової структури LDH позитивний, що робить їх природними аніонообмінниками. Нітрат-аніони можуть заміщувати міжшарові аніони (наприклад, Cl^-), що є основним механізмом адсорбції.

«Ефект пам'яті». LDH здатні відновлювати свою шарувату структуру після прожарювання. При нагріванні до 300–500 °C відбувається дегідроксилювання та видалення міжшарових аніонів з утворенням змішаних оксидів. При поміщенні цих оксидів у водний розчин, що містить аніони, відновлюється вихідна структура LDH з інтеркальованими аніонами з розчину. Цей ефект дозволяє значно підвищити адсорбційну ємність.

Велика питома поверхня та пористість. Хоча природні глини мають обмежену поверхню, синтетичні LDH можуть бути отримані з питомою поверхнею до 242 $м^2/г$ та об'ємом пор до 0,93 $см^3/г$, що створює велику кількість активних центрів для адсорбції.

Варіативність складу. Шляхом підбору пар катіонів (Mg/Al, Mg/Fe, Ni/Fe, Zn/Al тощо), співвідношення M(II)/M(III) та типу міжшарового аніону можна цілеспрямовано змінювати властивості адсорбенту: заряд шару, відстань між шарами (базальну відстань), гідрофільність та селективність до конкретних аніонів.

Ефективність LDH для видалення нітратів критично залежить від методу синтезу, який визначає кристалічну структуру, морфологію, текступні

характеристики і розмір частинок. Найбільш поширеними є методи співосадження, гідротермальний синтез, а також комбіновані підходи. Співосадження є найбільш технологічним методом. Він передбачає одночасне додавання розчинів солей металів (M(II) та M(III)) та основи (зазвичай NaOH) при контрольованому pH.

Дослідження показують, що спосіб додавання реагентів суттєво впливає на властивості кінцевого продукту. У дослідженні MgFe/LDH, синтезованих різними методами, показано, що зразок LDH мав найвищу адсорбційну ємність при 330 K – 21,18 мг/г – порівняно зі зразками, отриманими звичайним співосадженням (5,61 мг/г) та традиційним гідротермальним методом (6,69 мг/г). Ультразвук сприяє кращому перемішуванню, запобігає локальному перенасиченню та формує більш однорідні за розміром частинки, що позитивно впливає на кінетику адсорбції.

З економічної та екологічної точки зору перспективним є використання відходів або дешевих джерел для синтезу LDH. Досліджено синтез Fe-LDH з використанням бітерну (концентрований розчин солей, що залишається після виділення NaCl із морської води) та $FeCl_3$. Оптимальними умовами синтезу для максимального видалення нітратів виявились pH 8,5–9,5, температура 50 °C та час 0,5 години. Максимальна адсорбційна ємність отриманого матеріалу становила 0, 40 ммоль/г (близько 24,8 мг/г), що перевищує показники багатьох інших адсорбентів. Це відкриває шлях до утилізації промислових відходів для виробництва ефективних сорбентів.

Висновки та перспективи. Синтетичні аніонні глини, зокрема шаруваті подвійні гідроксиди, є надзвичайно перспективним класом матеріалів для видалення нітрат-іонів зі стічних вод. Їхні унікальні властивості – висока аніонообмінна ємність, «ефект пам’яті», велика питома поверхня та можливість точного налаштування складу – дозволяють досягати високої ефективності очищення (адсорбційна ємність до 70 мг/г та більше) при відносно низькій вартості.

Метод синтезу визначає кінцеві властивості LDH: співосадження трьох розчинів та гідротермальний синтез з ультразвуковою обробкою забезпечують найкращі текступні характеристики та адсорбційну здатність.

Основними механізмами адсорбції є іонний обмін і реконструкція структури через «ефект пам'яті», причому кальциновані LDH (особливо, при 500°C) демонструють значно вищу ємність.

Кінетика адсорбції описується моделлю псевдо-другого порядку, а рівноважні дані – моделлю Ленгмюра; процес є екзотермічним та спонтанним.

Конкуруючі аніони, особливо CO_3^{2-}, суттєво знижують ефективність видалення нітратів. Інтеграція LDH у нанофільтраційні мембрани відкриває нові можливості для створення енергоефективних гібридних процесів очищення води.

Перспективи подальших досліджень включають: розробку селективних LDH з високою спорідненістю до нітратів у присутності надлишку сульфатів та карбонатів; дослідження регенерації та повторного використання LDH для зниження вартості процесу; масштабування синтезу від лабораторних до промислових об'ємів; створення композитних матеріалів (гранули, мембрани, магнітні частинки) для зручного відділення відпрацьованого адсорбенту від очищеної води; вивчення ефективності LDH для видалення нітратів з реальних стічних вод (комунальних, сільськогосподарських, промислових) в умовах пілотних установок.

Таким чином, синтетичні аніонні глини мають значний потенціал як ефективна та доступна технологія для вирішення глобальної проблеми нітратного забруднення водних ресурсів.

УДК 630*22/.23:633.875(292.486)

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМІЧНОГО РОЗКЛАДУ ДЕРЕВИНИ СТОВБУРІВ ІНТРОДУКОВАНИХ ВИДІВ ДЕРЕВ

Ситник С. А.[1], Рула І. В.[2], Голобородько К. К.[3], Іванко І. А.[3], Ловинська В. М.[2], Степанова І. Є.[3]

[11]Chemical Ecology Group, Bielefeld University

Universitätsstraße, 25, 33615, Bielefeld, Germany

svitlana.sytnyk@uni-bielefeld.de, sytnyk.s.a@dsau.dp.ua

[2]Дніпровський державний аграрно-економічний університет

вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро

[3]Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара

пр. Науки, 72, 49045, м. Дніпро

Пошук швидкорослих лісотвірних деревних видів задля відновлення порушених лісових насаджень, в тому числі з метою використання їх як альтернативних поновлюваних джерел енергії, являється нагальною потребою в усьому світі. Тому метою даної роботи було дослідження термічної деструкції деревини стовбурів дерев видів: айлант найвищий, клен ясенелистий, дуб червоний, робінія несправжньоакація. Експериментальні зразки дерев були зібрані за допомогою приростного бура (Haglöf, Швеція, 400 мм) та, для подальших досліджень, сформований змішаний зразок деревини, який складався з 3 зразків деревної серцевини відібраної на висоті стовбура 1,3 м з п’яти дерев без ознак пошкодження кожного виду однієї вікової групи [1].

Для визначення температурних режимів при яких термічна деструкція зразків відбувається найбільш інтенсивно, проводилось термогравіметричне дослідження процесів термічної деструкції у динамічному режимі із застосуванням дериватографа Q-1500 D. Досліджували зразки деревини в атмосфері повітря нормального складу (вміст кисню – 21 % об.). В усіх дослідах маса зразка становила ~ 100 мг, швидкість нагрівання – 10 °С/хв, зразок порівняння – порошок α/корунду, матеріал тиглів алунд, чутливість гальванометрів: DTA та DTG – 500 мкВ.

Енергія активації термоокиснювальної деструкції зразків була визначена за методом Бройдо [2]. Для цього розраховувалось значення подвійного

логарифма для кожної температури з використанням залежності:

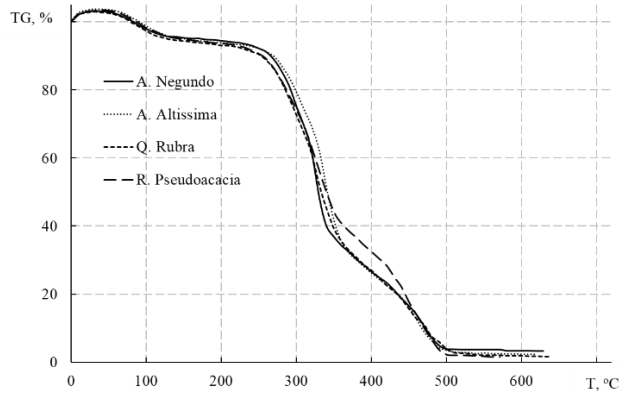
$$\ln\left(\ln\frac{100}{100-\Delta m}\right)=-\frac{E}{R}\cdot\frac{1}{T},$$

де: m – маси зразка, %; E – енергія активації, кДж/моль; R – універсальна газова стала 8,314 Дж/(моль·К); T – температура, К.

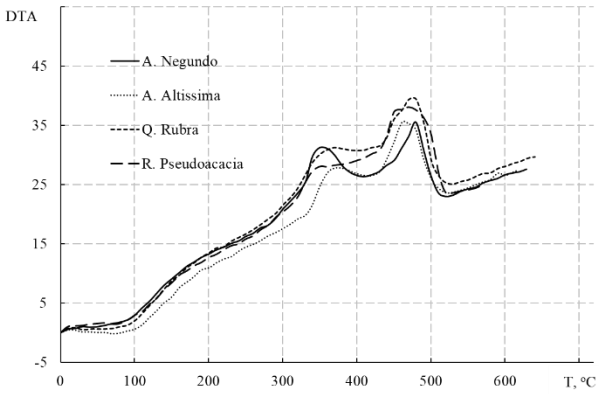
Значення енергії активації ($E_д$) визначали за формулою:

$$E_Д = tg\varphi \cdot R.$$

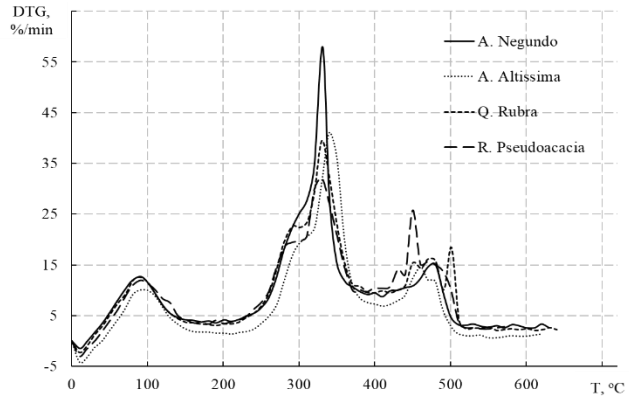
Із отриманих термограм (рис. 1) було визначено температури, при яких досягається втрата маси зразків і оцінено стадії процесів розкладу, а також відносну втрату маси при нагріванні.



а



б



в

Рис. 1. Криві термічного (а), диференціально-термічного (б) і диференційно-термогравіметричного (в) аналізів деревини в окиснювальному середовищі

Дослідження показали (табл. 1), що у зразках деревини за температур до 100 °С відбуваються ендотермічні процеси, які супроводжуються втратою хімічно незв’язаної води, а при подальшому нагріванні до 200 °С зразки втрачають конституційну воду. Також у зразках деревини, поряд з ендотермічними процесами піролізу, відбуваються екзотермічні процеси, з їх найбільш

інтенсивним перебігом при 330-340 °С, що, ймовірно, відображає руйнування складових геміцелюлози та початок руйнування найменш стабільних фрагментів лігніну. Максимальне значення енергії активації в цьому температурному діапазоні становить ~72 кДж/моль для зразків айланту найвищого, які згідно даних хімічного аналізу, мають найбільший вміст лігніну.

Таблиця 1. Термічні характеристики розкладу зразків деревини [3]

Стадія	Інтервал, °С	Екстремальна точка, °С	Максимальна швидкість, %/хв	Втрата ваги, %	$E_{акт.}$, кДж/моль
Клен ясенелистий					
I	20-120	90	12,6	3,8	65,4
II	240-390	330	57,9	64	71,9
III	390-600	460	12,3	26	24,0
Айлант найвищий					
I	20-120	100	9,9	3,4	65,5
II	240-390	340	41,1	65,3	62,8
III	390-600	450	12,3	29	27,1
Дуб червоний					
I	20-120	90	12,6	4,4	177,4
II	240-390	330	39,5	62,5	62,3
III	390-600	430-460	15,4-18,4	31,4	27,3
Робінія несправжньоакація					
I	20-120	90	11,9	3,5	114,1
II	240-390	330	32,1	58,5	56,9
III	390-600	450	25,8	36,5	41,6

Також для зразків спостерігається характерна стадія інтенсивної втрати маси при нагріванні до температур 390 °С, яка зумовлена утворенням і полум’яного горінням газоподібних продуктів. Так, згідно даних хімічного аналізу, зразки клена ясенелистого та айланта найвищого містять найбільшу кількість целюлози, яка руйнується в діапазоні приблизно 315-400 °С, це пояснює максимальну швидкість термічного розкладання даних зразків у вказаному температурному інтервалі.

Після відносної втрати маси зразків близько 60 – 70 %, йде повільніша стадія, що відбувається до 500 °C, і зумовлена вигорянням карбонізованого залишку [3]. З досліджуваних деревних порід найвищий екзотермічний ефект (T = 450–480 °C) супроводжує процес термоокиснювальної деструкції у зразках деревини дуба червоного, в той час як для клена ясенелистого термічний ефект найменший серед усіх зразків.

Втрата маси на останній стадії термодеструкції складала 26-36,5 %. Зразки дуба червоного та робінії несправжньоакації, які, згідно даних хімічного аналізу, містять найбільше речовин, що екстрагуються сумішшю спирт/толуен, а отже, містять в більшій кількості смоляні та жирні кислоти, жири та олії, естери, фітостерини та стероли, а також фенольні сполуки та деякі пігменти, відповідно для деструкції потребують більшої енергії активації (27,3 та 41,6 кДж/моль) і втрачають, порівняно з іншими зразками деревини, більший відсоток ваги саме в цьому температурному інтервалі. Так в температурному інтервалі 420–510 °C, руйнування цих речовин йде із виділенням енергії, що підтверджується наявністю значних піків для цих зразків на кривих DTG.

Таким чином, в результаті проведених досліджень була доведена кореляція між хімічним складом та характеристиками термічного розкладу зразків. Аналіз свідчить про те, що види з вищим вмістом целюлози та лігніну потребують більшої енергії активації для термоокиснювального розкладу, а досліджені види дерев є перспективними джерелами біомаси для виробництва енергії.

Література:

1. Kunakh, O., Ivanko, I., Holoborodko, K., Volkova, A., & Zhukov, O. (2023). Age estimation of black locust (Robinia pseudoacacia) based on morphometric traits. Biosystems Diversity, 31, 222–228.

2. Broido, A.A. (1969): Simple. Journal Polymer of Science, 7(3): P. 1761–1763.

3. Sytnyk, S., Rula, I., Holoborodko, K., Ivanko, I., & Lovynska, V. (2025). Chemical and thermal characterization of wood biomass from non-native tree species in the steppe zone of Ukraine. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 16(3), e25113. doi:10.15421/0225113.

Секція 3

Актуальні проблеми синтезу, структури та реакційної здатності органічних та елементоорганічних сполук

УДК 544.182

КВАНТОВО-ХІМІЧНІ АСПЕКТИ СОЛЬВАТАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ СЕРЕДОВИЩА В РОЗРАХУНКОВИХ *КОНТИНУУМ*-МЕТОДАХ

Токар А.В.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

вул. Сергія Єфремова, 25, 49009, м. Дніпро

atokar_2004@ukt.net

Комп'ютерна хімія на сьогоднішній день доволі активно займається вивченням різноманітних рідких систем. При цьому зовсім немає необхідності додатково підтверджувати цю зацікавленість, адже важливість рідин у хімії в цілому та органічній хімії зокрема є настільки очевидною, що варто лише нагадати про значні успіхи у теорії конденсованих систем, які роблять ці розрахунки принципово можливими. Більш цікавим з цієї точки зору є огляд основних доступних наразі підходів, оскільки із такого дослідження можна буде зробити важливий висновок про базові тенденції у цій специфічній галузі розрахункової хімії, поставивши тим самим у правильну перспективу головну тему цього обговорення [1].

Серед усього розмаїття загальнотеоретичних підходів слід звернути особливу увагу на *континуум*-методи. Порівняно нещодавно було знайдено цілий ряд доказів, що підкріплюють твердження про їх загальну інформативність, звичайно, у випадку правильного застосування, із одночасною можливістю щодо надання достовірної та детальної інформації, корисної саме для хімічних цілей. Квантово-хімічні версії *континуум*-моделей можуть надавати правильний опис впливу розчинника на властивості розчинених органічних речовин, зокрема енергію сольватації, а іноді й містити інформацію, одержану в тому числі з «супермолекулярного» наближення, наприклад під час включення до складу «розчиненої органічної речовини» так званої першої сольватної оболонки.

Нещодавні успіхи у сольватаційних методах переважно базуються на квантово-хімічному формулюванні основного їх різновиду, розробленого ще у

90-х рр. XX ст. При цьому ключовою формулою залишається класичне рівняння Шредінгера (1), виражене з точки зору молекулярного Гамільтоніана H^0 «розчиненої речовини» M, доповненого оператором V_{int} ефективного потенціалу взаємодії «розчинена речовина – розчинник»:

$$(H^0 + V_{int})|\Psi' >= E'|\Psi' > \quad (1),$$

де $|\Psi' >$ – це електронна хвильова функція «розчиненої речовини».

Походження цього Гамільтоніана можна пояснити у такий спосіб. Гамільтоніан всієї системи в цілому, тобто розчину, підлягає послідовному розподілу, що розбиває його з точки зору руху різних часток системи, подібно до розділення на електронні та ядерні рухи, які застосовуються у квантовому представленні окремої молекули, зокрема з позицій наближення Борна-Оппенгеймера. Аналіз формальних аспектів цієї послідовності розбиття та поділу надають феноменологічне тлумачення сольватаційного процесу, що відповідає формальному розбиттю Гамільтоніана. Удосконалення цього тлумачення помітно просунулося вперед вже наприкінці XX ст. та продемонструвало можливість його подальшого розвитку. При цьому енергетичні величини із цілком визначеним термодинамічним статусом можуть бути виражені з точки зору виділення окремих внесків. Зокрема, вільну енергію сольватації Гіббса зазвичай визначають як:

$$\Delta G_{solv} = W(M|S) + RTln\frac{(q_{rot}q_{vib}q_{trans})_g}{(q_{rot}q_{vib}q_{trans})_s} \quad (2).$$

У такому разі застосовують розділення функцій «розчиненої речовини» у газовій фазі та розчині. При цьому варто зазначити, що розділення функцій окремих молекул розчинника спеціально не береться до уваги; $W(M|S)$ іноді ще називають загальною роботою «розчиненої речовини» *M* та «розчинника» *S.* Ця величина може бути додатково розкладена наступним чином:

$$W(M|S) = \Delta G_{el} + \Delta G_{dis} + \Delta G_{rep} + \Delta G_{cav} \quad (3).$$

Електростатичний компонент вільної енергії сольватації, а саме ΔG_{el}, відноситься до загальної та оборотної роботи електростатичної поляризації *M* та *S,* тоді як доданки ΔG_{dis} та ΔG_{rep} є членами, що відносяться до ефектів дисперсії

та відштовхування, й діють між M та S; складова ΔG_{cav} є оборотною роботою утворення відповідної порожнини у розчиннику, що має власний розмір та форму, і відповідає за перебування M у S без якого-небудь залишку у вигляді порожнього простору. Перші три члени, а саме – ΔG_{el}, ΔG_{dis} та ΔG_{rep} можуть бути виражені за допомогою наведеного вище рівняння Шредінгера (1) у зручному для цього формулюванні. Слід зауважити, що з точки зору цілої низки історичних причин та деяких практичних аспектів, зазвичай вдаються до урахування лише електростатичного компоненту, тоді як оцінку інших членів розкладу здійснюють за допомогою окремих розрахунків, хоча на сучасному рівні цілком можливим є й одночасне оцінювання усього компоненту $W(M|S)$.

Інтерпретація механізму хімічного перетворення. Добре відомо, що розчинник відіграє надзвичайно важливу роль для хімічних процесів, які перебігають у розчині. У зв'язку із цим широкого застосування набув цілий ряд макроскопічних параметрів, які використовують з метою підбору кращого розчинника для кожного окремого випадку. Однак варто зазначити, що кореляція між швидкістю реакції та цими параметрами зазвичай не надає якої-небудь можливості наблизитися до загального розуміння того, як саме розчинник впливає на швидкість процесу. При цьому залучення ефектів розчинника до квантово-хімічних розрахунків здійснюється за допомогою *континуум*-методів або шляхом використання дискретних моделей. Головним результатом такого підходу є те, що розчинник не завжди слугує пасивним компонентом хімічного процесу, а доволі часто може відігравати активну роль під час перебігу реакції. Останнє слугує важливою підставою для введення координат розчинника до складу реакційної координати. У такому разі дискретне представлення розчинника із застосуванням обмеженої кількості його молекул, що створює уявлення про перебіг процесу в деякому *кластері,* насправді демонструє, що координати розчинника є важливими компонентами перехідного вектору реакційних перетворень.

При цьому ідентифікувати геометрію та енергію локальних мінімумів й сідлових точок не є цілком достатнім для повного опису статичного аспекту

механізму реакції. Доволі часто виникає необхідність у розумінні того, чому поверхня реакційного перетворення має саме таку форму, яку показано за допомогою розрахунків. Методи, що розроблені для аналізу реакцій у газовій фазі, можуть застосовуватися з цією метою лише у тих випадках, коли вони суттєво доповнені новими елементами, які передають присутність середовища. Найбільш важливими з них є нові фактори, які фактично можна звести до реактивного потенціалу розчинника Φ_σ та реактивного поля $-\nabla\Phi_\sigma$. Ці величини легко вводяться у напівкласичну картину міжмолекулярних взаємодій, яка використовується вже доволі давно. При цьому Φ_σ та $-\nabla\Phi_\sigma$ можуть бути розкладені на локальні внески, що відносяться до особливих ділянок поверхні порожнини або особливих молекулярних субодиниць, які доповнено у цьому випадку за рахунок сукупних внесків.

Застосування такого підходу по відношенню до багатьох типів хімічних процесів дозволяє вивчати каталітичні ефекти розчинника, зокрема й води, де завдяки здійсненню сегментації локалізованих орбіталей та розподілу зарядів у «розчиненій органічній речовині» вдається продемонструвати, які саме процеси часткового розриву або утворення зв’язків чи переносу протона відбуваються у певних частинах субстрату завдяки впливу розчинника, а також показати, яким чином окрема молекула води може виконувати функцію каталізатора. Звичайно, існують й інші методи теоретичного аналізу, в яких різниця енергій орбіталей та елементи матриці орбітальних взаємодій, як правило, сильно залежать від впливу розчинника. При цьому відкриваються широкі можливості щодо розробки нових розрахункових процедур та їх подальшого поглибленого теоретичного обґрунтування [2].

Література:

1. Tomasi, J. (2011). Selected features of the polarizable continuum model for the representation of solvation. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Molecular Science, 1(5), 855–867. doi: 10.1002/wcms.54

2. Mennucci, B. (2012). Polarizable Continuum Model. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Molecular Science, 2(3), 386–404. doi: 10.1002/wcms.1086

УДК 547.979:615.45:664.8

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ БІОДОСТУПНОСТІ ТА БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ КУРКУМІНУ

Китова Д.Є., Третяк С.Ю., Голіченко О.А.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

dina.yegorova@gmail.com

Куркумін [(E,E)-1,7-біс(4-гідрокси-3-метоксифеніл)-1,6-гептадієн-3,5-діон] – природна поліфенольна сполука оранжево-жовтого кольору, схвалена як харчова добавка (E-100). Завдяки антиоксидантним, антибактеріальним, протизапальним та протипухлинним властивостям куркумін є об'єктом інтенсивних досліджень у фармацевтиці, медицині та харчовій промисловості [1]. Водночас низька водорозчинність (~1 мг/мл) та хімічна нестабільність – швидкий гідроліз при фізіологічному pH з утворенням ваніліну, ферулової кислоти та ферулоілметану протягом 30 хвилин – суттєво обмежують його практичне застосування.

Одним із підходів до подолання цих обмежень є синтез координаційних сполук перехідних металів з куркуміном. Особливий інтерес становить дослідження взаємодії куркуміну з комплексними сполуками ренію(III), оскільки реній та його сполуки також мають широкий спектр біологічної активності. Таким чином, поєднання двох біоактивних компонентів в одному комплексі може забезпечити синергічний ефект [2].

Показано, що при нагріванні куркуміну з $[Re_2Cl_8]^{2-}$ у середовищі ацетонітрилу в електронному спектрі спостерігається гіпсохромний зсув характеристичної смуги з 680 нм до 640 нм та зниження її інтенсивності, що свідчить про заміщення екваторіальних галогенідних лігандів і координацію куркуміну до кластерного центра Re-Re (рис. 1). Отриманий комплекс добре розчиняється в воді та має пік в області 620 нм.

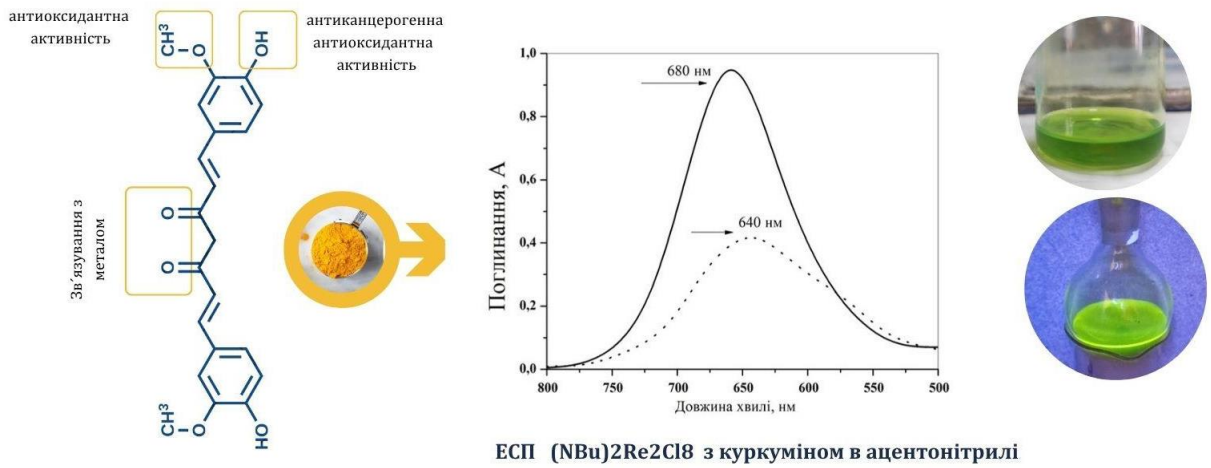


Рис. 1. Взаємодія $[Re_2Cl_8]^{2-}$ з куркуміном в ацетонітрилі

Альтернативним підходом до реалізації біологічного потенціалу куркуміну є його інкапсуляція у ліпосомальні наноносії, що одночасно підвищує стабільність молекули та забезпечує контрольоване вивільнення активної речовини [3]. Для цього були отримані наноліпосоми, навантажені куркуміном, із застосуванням поєднання насичених та ненасичених фосфоліпідів. Ефективність антиоксидантної та антимікробної дії наноліпосом куркуміну було показано на моделях зберігання різних видів плодово-овочевої продукції при температурі 4 °С (рис. 2).



Рис. 2. Метод приготування наноліпосом та обробки полуниці

Для полуниці обробка наноліпосомальним покриттям, що містить куркумін знизила втрати маси до 3,8% проти 8% у контролі на 10-ту добу та затримала мікробне ураження *Botrytis cinerea* – у контрольних зразках воно

фіксувалося вже на 6-ту добу, тоді як оброблені плоди залишалися без видимих ознак цвілі впродовж усього терміну спостереження. Для мікрозелені гороху найбільший ефект зафіксовано на 6-ту добу: втрати маси у оброблених зразків становили лише 4% проти 19% у контролі. У печериць обробка забезпечила на 10% менші втрати маси та збереження зовнішнього вигляду на 10-ту добу порівняно з необробленими зразками. Для помідорів втрати маси були помірними в обох групах (2,8% у оброблених проти 3,4% у контролі), однак ключовою відмінністю стало збереження зовнішнього вигляду: у контрольних зразків вже на 6-ту добу спостерігалося потемніння поверхні, тоді як оброблені плоди зберігали типовий товарний вигляд.

Таким чином, куркумін є багатофункціональною біоактивною сполукою, біологічний потенціал якої може бути реалізований через два принципово різні підходи. Отримані результати свідчать про перспективність подальших досліджень нанотехнологічних та координаційно-хімічних підходів для підвищення ефективності застосування природних біоактивних сполук у харчовій та фармацевтичній галузях.

Література:

1. Joshi P. et al. Curcumin: an insight into molecular pathways involved in anticancer activity. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry.* 2021. Vol. 21. P. 2420–2457.

2. Prasad, S., DuBourdieu, D., Srivastava, A., Kumar, P., & Lall, R. (2021). Metal–curcumin complexes in therapeutics: An approach to enhance pharmacological effects of curcumin. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(13), 7094.

3. Kolter M., Wittmann M., Köll-Weber M., Süss R. The suitability of liposomes for the delivery of hydrophobic drugs: a case study with curcumin. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics.* 2019. Vol. 140. P. 20–28.

УДК 547.288.4:541.122:541.132

МІЦЕЛЯРНІ ЕФЕКТИ ДИМЕРНИХ ТА МОНОМЕРНИХ ІМІДАЗОЛІЄВИХ ПАР У РЕАКЦІЯХ РОЗЩЕПЛЕННЯ ЕСТЕРІВ ФОСФОРУ ТА СІРКИ

Шумейко О.Є., Бураков М.І.

Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії

ім. Л.М. Литвиненка НАН України

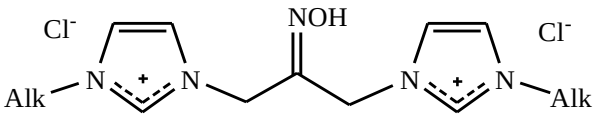
вул. Харківське шосе, 50, 02155, м. Київ

ashumeiko@ukr.net

Проведено дослідження реакційної здатності мономерних і димерних поверхнево-активних речовин (ПАР), функціоналізованих α-нуклеофільним фрагментом, дозволило отримати ряд амфіфільних функціоналізованих ПАР, які перевершують відомі на даний момент системи по ефективності розщеплення екотоксикантів. Тому, шлях підвищення ефективності систем для розщеплення екотоксикантів полягав у структурній модифікації розщеплюючого агента і використанні альтернативних способів впливу на швидкість реакції за допомогою зміни властивостей середовища, в якій вона протікає. У цьому сенсі застосування мікроорганізованого середовища (міцелярні розчини, мікроемульсії, іонні рідини, концентровані водні розчини четвертинних амонієвих солей та ін.) є найбільш раціональною системою для широкого застосування при вирішенні ряду прикладних і фундаментальних завдань. Безперечна перевага міцелярних систем, у порівнянні з іншими організованими мікрогетерогенними середовищами, полягає в тому, що кардинальна зміна властивостей середовища досягається при введенні досить невеликих кількостей міцелоутворюючих речовин (у кількостях вище критичної концентрації міцелоутворення, яка коливається в межах 10^{-6} - 10^{-2} моль $л^{-1}$). При цьому, основним компонентом таких систем, у більшості випадків, є вода, що робить їх вкрай привабливими для практичного застосування з позицій «зеленої» хімії.

Синтез функціональних детергентів на основі солей імідазолію здійснювали за розробленими нами методиками та з урахуванням літературних даних [1, 2]. Склад, структура та чистота отриманих сполук були підтверджені даними ЯМР-спектроскопії, тонкошарової хроматографії та елементного аналізу. ЯМР-спектри записувалися на приладі BRUKER Avance II 400 (400 МГц), як внутрішній стандарт використовували ТМС. Хроматографію в тонкому шарі силікагелю виконували на пластинах Merck SilicaGel 60 F254 (елюент хлороформ : метанол = 10 : 1).

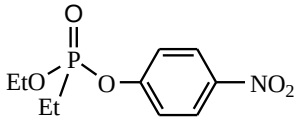
Один із підходів отримання функціоналізованих ПАР із необхідними кислотно-основними властивостями оксимної групи – введення сильних електроноакцепторних замісників. Прикладом такої структурної модифікації можуть бути детергенти (**I -III**), що мають високу основність функціональної групи і ефективно розщеплюють модельні аналоги екотоксикантів [3]:



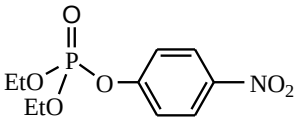
Alk = $C_{12}H_{25}$ (**I**), $C_{14}H_{29}$ (**II**), $C_{16}H_{33}$ (**III**), CH_3 (**IV**)

Детергенти (**I-III**) – представники нового класу функціоналізованих димерних ПАР. Відмінною особливістю таких ПАР, які роблять їх вкрай привабливими об'єктами дослідження, є те, що вони мають дуже низькі (порядку 10^{-5}-10^{-7} моль/л) критичні концентрації міцелоутворення [4]. Залежно від структури молекули, природи протиіону та концентрації у розчині, ці сполуки можуть утворювати цілий спектр супрамолекулярних ансамблів, що відкриває додаткові можливості впливу на швидкості хімічних реакцій. З практичної точки зору, як вже вказано вище, важливою перевагою димерних ПАР перед мономерними є те, що вони забезпечують реалізацію ефектів міцелярного каталізу при вкрай низьких концентраціях. Це дозволяє на 2-3 порядки знизити кількість введеного детергенту і, тим самим, створювати більш екологічні системи [5].

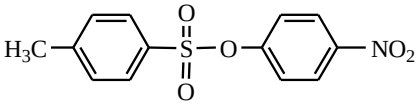
Було проаналізовано характер впливу структури ПАР, природи субстрату на міцелярні ефекти у реакціях розщеплення 4-нітрофенілових естерів фосфонової (**V**), фосфорної (**VI**) та 4-толуолсульфонової (**VII**) кислот:



V

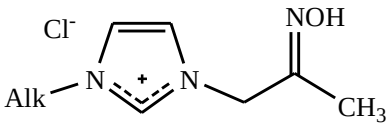


VI



VII

Отримані кінетичні закономірності реакцій розкладання субстратів у міцелах димерних ПАР (**I–III**) зіставлені з такими для їх мономерних аналогів (**VIII–XI**):



Alk = $C_{12}H_{25}$ (**VIII**), $C_{14}H_{29}$ (**IX**), $C_{16}H_{33}$ (**X**), CH_3 (**XI**)

Міцелярний каталіз або інгібування швидкостей хімічних реакцій – наслідок цілого ряду факторів, що впливають на швидкість процесу. Визначальними виступають зміни нуклеофільної реакційної здатності (зменшення полярності середовища) і кислотно-основних властивостей функціонального фрагменту, концентрування субстратів, і, нарешті, стеричні перешкоди атаці нуклеофільної групи на електронодефіцитний центр субстрату [4].

Порівняльний аналіз кінетичної поведінки та міцелярних ефектів нового класу димерних функціоналізованих ПАР (**I–III**) та їх мономерних аналогів (**VIII–X**) дозволив продемонструвати, що досліджені детергенти є супернуклеофільними реагентами та аномально швидко розщеплюють електронодефіцитні субстрати. Димерні ПАР (**I–III**) характеризуються вкрай низькими критичними концентраціями міцелоутворення (ККМ $\leq 10^{-5}$ моль/л), що дозволяє забезпечувати одні і ті ж спостережувані швидкості реакцій при концентраціях, на порядок менших, ніж у разі використання мономерних детергентів. Величина міцелярних ефектів цих ПАР залежить як від зміни реакційної здатності функціо-

нального угруповання при переносі процесу в міцелярну псевдофазу, так і від концентрування субстрату. Однак, саме другий фактор виступає визначальним. До важливих переваг димерних функціоналізованих ПАР слід віднести і відносно низьке значення pK_a оксимного угруповання ($pK_a \leq 9.0$), що дає можливість ефективно проводити реакції розщеплення субстратів-екотоксикантів у «м'яких» умовах. Таким чином, проведені кінетичні дослідження мікроорганізованих систем на основі димерних та мономерних імідазолієвих детергентів, функціоналізованих оксимним фрагментом, дозволили простежити взаємозв'язок «структура ПАР (субстрату) – міцелярні ефекти нових супернуклеофільних мікроорганізованих систем.

Література:

1. Шумейко О.Є., Кострикін М. Л., Капітанов І. В., Сердюк О.О, Бураков М.І., Попов А. Ф. Синтез функціоналізованих ПАР на основі імідазолу, піридину та алкіламінів. Укр. хім. ж. 2019. Т. 85 (8). С. 94 – 105. https://doi.org/10.33609/0041-6045.85.8.2019.94-105

2. Sarıkaya İ., Bilgen I., Ünver Y., Akbaş H. Studies on Synthesis, Characterization, Micellar Features, and Solubilization of Four Novel Cationic Gemini Surfactants. J. Chem. Eng. 2021. Vol. 66 (3). P. 1522–1532. https://doi.org/10.1021/acs.jced.1c00030

3. Shumeiko O., Korotkich M. Chemical Warfare Agents: Structure, Properties, Decontamination (Part 2). Journal of Organic and Pharmaceutical Chemistry. 2024. Vol. 22 (3). P. 10 – 23. https://doi.org/10.24959/ophcj.24.313307

4. Al-Soufi W., Novo M. A Surfactant Concentration Model for the Systematic Determination of the Critical Micellar Concentration and the Transition Width. Molecules. 2021. Vol. 26 (17). P. 5339. https://doi.org/10.3390/molecules26175339

5. Abooali D., Soleimani R. Structure-based modeling of critical micelle concentration (CMC) of anionic surfactants in brine using intelligent metho. Scientific Reports. 2023. Vol. 13 (8). P. 13361. https://doi.org/10.1038/s41598-023-40466-1

UDC 547.495:547.93

CONVERSION *N*-ALKOXY-*N*-(TRIPHENYLPHOSPHONIUM)UREA CHLORIDES AND *N*-ALKOXY-*N*-(DIMETHYLSULFONIUM)UREA CHLORIDES IN 3-ALKOXY-5-PHENYLIMIDAZOLIDINE-2,4-DIONES

Shtamburg V.G.[1], Klots E.A.[1], Kravchenko S.V.[2], Anishchenko A.A.[3], Shishkina S.V.[4]

[1]*Ukrainian State University of Science and Technologies*

Science Ave., 8, 49005, Dnipro, Ukraine

[2]*Dnipro State Agrarian and Economic University*

S. Yefremova St., 25, 49600, Dnipro, Ukraine

svtailor@ukr.net

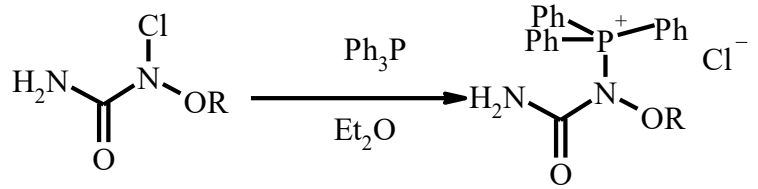
[3]*Oles Honchar Dnipro National University*

Science Ave., 72, 49050, Dnipro, Ukraine

[4]*Institute of Organic Chemistry NAS of Ukraine*

Academika Kuharya St., 5, 02094, Kyiv, Ukraine

The aim of our study was to explore the possibility of the *N*-alkoxy-*N*-(triphenylphoshonium)urea chlorides and *N*-alkoxy-*N*-(dimetylsulfonium)urea chlorides synthesis, as well as to evaluate their behavior toward with phenylglyoxal. We found that *N*-chloro-*N*-alkoxyureas **1-3** react with triphenylphosphine in anhydrous ether at room temperature, yielding unstable *N*-alkoxy-*N*-(triphenyl-phosphonium)urea chlorides **4-6**.



1-3

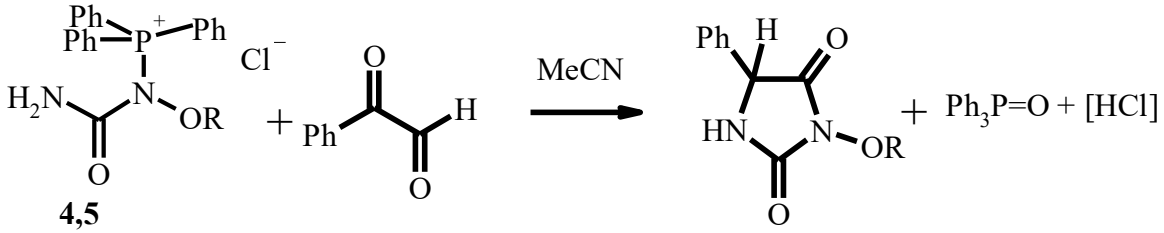
4 (81%)**, 5** (56%)**, 6** (66%)

R=Me(**1**,**4**), Bn(**2**,**5**), Et(**3**,**6**)

Compounds **3-5** are very sensitive to moisture and decompose within minutes in dry form. They are white, highly hygroscopic powders. *N*-Alkoxy-*N*-(triphenyl-phoshonium)urea chlorides **3-5** structure was confirmed by the ^{1}H, ^{31}P and ^{13}C NMR

spectra in $CDCl_3$ or CD_3CN.

The interaction of freshly distilled phenylglyoxal with freshly synthesized *N*-alkoxy-*N*-(triphenylphoshonium)urea chlorides **3**,**5** yields 3-alkoxy-5-phenylimidazolidine-2,4-diones **6**,**7** and triphenylphosphine oxide.



R= Me(**4**,**6**), Bn(**5**,**7**)

The structure of *N*-alkoxyhydantoins **6**, **7** has been confirmed by the ^{1}H and ^{13}C NMR spectroscopy. Additionally, the structure of compound **6** was confirmed by the X-ray diffraction (XRD) study.

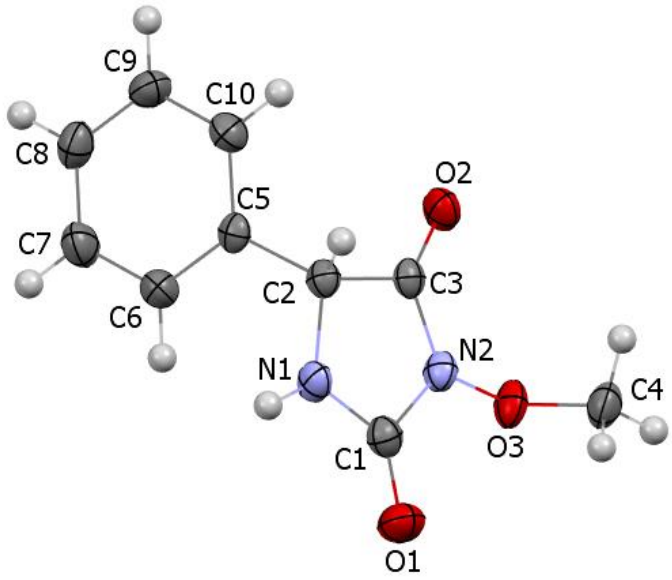
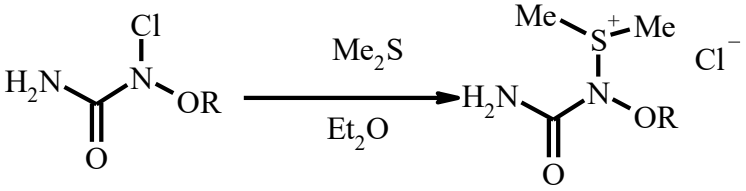


Fig. 1. Molecular structure of 3-methoxy-5-phenylimidazolidine-2,4-dione **6** according to X-ray diffraction data

In molecule **6**, the imidazolidine cycle adopts a planar conformation with a deviation of 0.017 Å. The phenyl substituent is in an equatorial position and is significantly rotated relative to the C(2)–C(3) endocyclic bond.

We found that *N*-chloro-*N*-alkoxyureas **1** and **8** react with dimethyl sulfide to give *N*-alkoxy-*N*-(dimethylsulfonium)urea chlorides **9** and **10** under anhydrous conditions in diethyl ether.



1,8

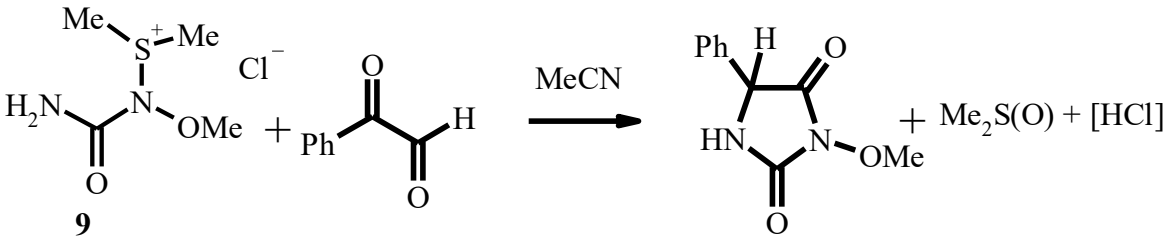
R=Me(**1**,**9**), i-Am(**8**,**10**)

9 (91%),**10** (89%)

Structure of *N*-alkoxy-*N*-(dimethylsulfonium)urea chlorides **9,10** was confirmed by the ^{1}H and ^{13}C NMR spectra in $CDCl_3$ or CD_3CN. In their ^{1}H NMR spectra there is a characteristic signal of the Me_2S+ group at 2.735–2.745 ppm. In their ^{13}C NMR spectra there is a characteristic signal of the Me_2S+ group at 39.58–40.34 ppm, as well as a signal of the C=O group at 161.81–162.38 ppm.

Compounds **9,10** are very sensitive to hydrolysis. They are decomposed by atmospheric moisture or traces of water in $(CD_3)_2SO$ to the corresponding *N*-alkoxyurea and dimethyl sulfoxide.

We have found that in the case of the interaction of freshly distilled phenylglyoxal with *N*-methoxy-*N*-(dimethylsulfonium)urea chloride **9** a mixture of 3-methoxy-5-phenylimidazolidine-2,4-dione **6** and dimethyl sulfoxide is formed.



9

82% **6**

Conclusions. Labile *N*-alkoxy-*N*-(triphenylphosphonium)urea chlorides and *N*-alkoxy-*N*-(dimethylsulfonium)urea chlorides were synthesized for the first time via the reaction of *N*-chloro-*N*-alkoxyureas with triphenylphosphine or dimethyl sulfide. Despite their high lability, these compounds can serve as useful intermediates for the synthesis of 3-alkoxy-5-arylimidazolidine-2,4-diones.

UDC 547.759.4

SYNTHESIS AND COMPUTANTIAL RESEARCH OF DOCKING INTERACTION OF CARBOXAMIDEINDOLIZINES WITH CASEIN KINASE 1δ ENZYME

Kyryl O. Bocharov [1], Oleksii Y. Kashner[2], Bogdan Grytsenko[3], Gennadiy E. Khoroshilov[2]

[1]Université Grenoble Alpes

621 Av. Centrale, 38400 Saint-Martin-d'Hères, France

[2]Luhansk National Taras Shevchenko University

Ivan Bank, 3, 36003, Poltava, Ukraine

[3]Université Côte d'Azur,

Av. Valrose, 06000 Nice, France

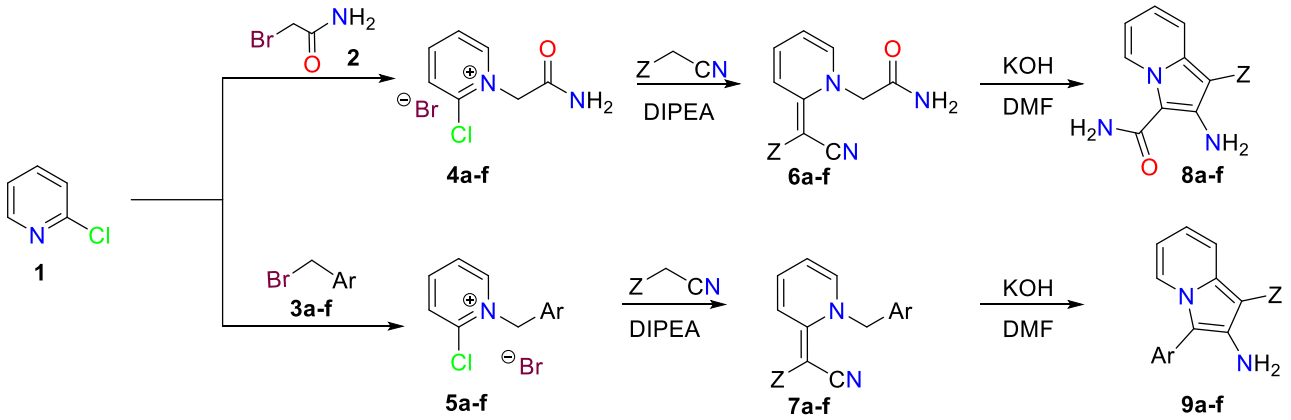
bocharov200112@gmail.com; kashner888@gmail.com;

bog.grytsenko24@gmail.com; mauglygena@gmail.com

The significance of this research topic is rooted in the pressing necessity to formulate efficacious methodologies for the synthesis of novel nitrogen-containing heterocyclic compounds, with a particular emphasis on indolizines [1–4], which are regarded as promising structural motifs for the development of pharmaceuticals. The indolizine skeleton is present in a multitude of biologically active molecules that demonstrate antimicrobial, anticancer, antioxidant, and neuroprotective properties [5]. Of particular interest are indolizine derivatives as potential inhibitors of casein kinase 1δ (CK1δ) an enzyme whose expression in the hippocampus of Alzheimer's disease patients exceeds 30-fold and contributes to the hyperphosphorylation of tau protein, leading to the formation of neurofibrillary tangles one of the primary pathological markers of the disease [6, 7].

The objective of this study was to devise a novel, efficient, cost-effective, and scalable method for synthesizing 2-amino-3-benzylindolizines (**8a-f**) [8] and 2-amino-3-carboxamidoindolizines (**9a-f**) [9]. This method is based on the reactions of

N-substituted 2-halopyridinium salts (**4,5a-f**) with CH-acids, which are acetonitrile derivatives. The synthesis of the target compounds was carried out in three stages. In the initial stage, quaternization of 2-chloropyridine (**1**) with the corresponding benzyl bromides (**3a-f**) or 2-bromoacetamide (**2**) was conducted without the utilization of a solvent at 85 °C for a duration of three hours. The second stage involved a nucleophilic vinyl substitution reaction (S_NVin) of the obtained salts with acetonitrile derivatives (CH-acids) in the presence of Huenig's base as a catalyst. At this stage, 1,2-dihydropyridine intermediates (**6,7a-f**) are formed.



Z = -CN, -$CONH_2$, 4-Py-thiazol-2-yl, -COOEt, , 4-F-C6H4-thiazol-2-yl, 4-MeO-C6H4-thiazol-2-yl

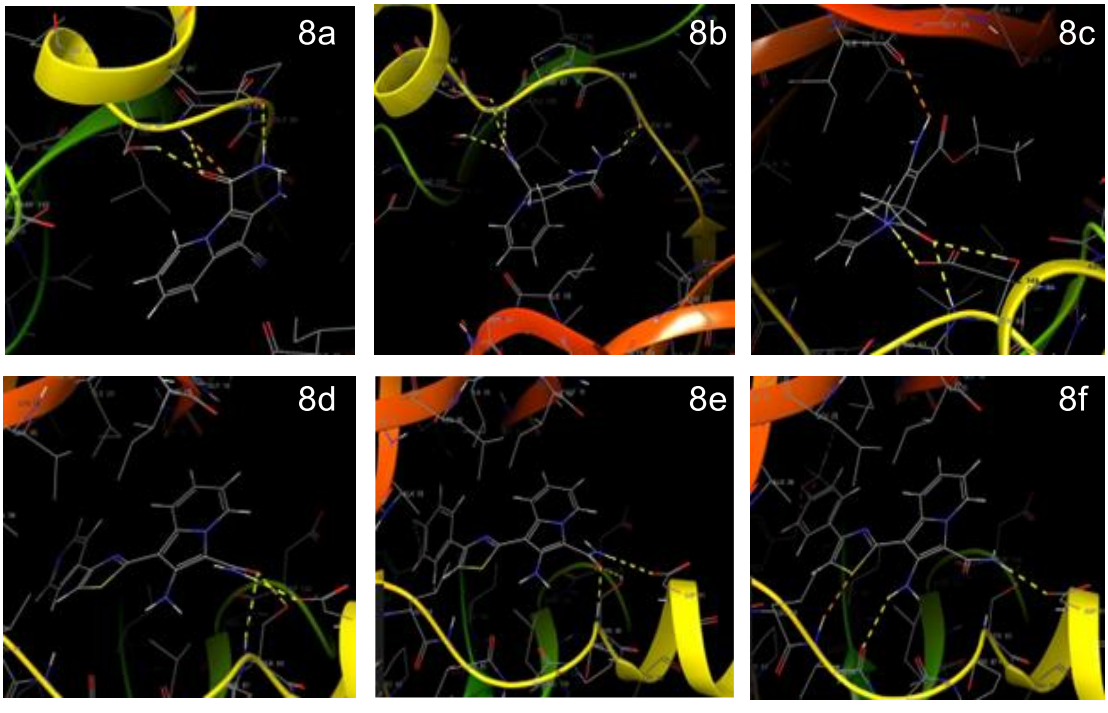
Ar = -Ph (**a**), 4-BrC_6H_4 (**b**), 3-MeC_6H_4 (**c**), 4-FC_6H_4(**d**), 4-ClC_6H_4(**e**), 4-$MeOC_6H_4$ (**f**)

The third stage of the process involves the cyclization of the resulting 1,2-dihydropyridines (**6,7a-f**) via the Thorpe–Ziegler reaction in a 10% aqueous KOH solution. The target 2-amino-3-benzyl- and 2-amino-3-carboxamidoindolizines (**8,9a-f**) were obtained in good to high yields (table 1) [9].

In order to evaluate the pharmacological potential of the synthesized compounds, molecular docking was performed using AutoDock Vina software [10] and the AMBER force field [11]. The calculated binding energies with CK1δ for the new compounds were found to be superior to those of known proprietary inhibitors. The visualization of the ligand–protein complexes confirmed the presence of stable interactions in the enzyme's active site.

Table 1. Target 2-amino-3-benzyl- and 2-amino-3-carboxamidoindolizines

№	Molecule Name	AutoDock Vina Binding Energy (kcal/mol)	AMBER Binding Energy (kcal/mol)
Patent	3-(4-fluorobenzoyl)-2-(methylamino)indolizine-1-carboxamide	-8.0	-10.2
8a	2-amino-1-cyanoindolizine-3-carboxamide	-6.9	-8.4
8b	2-aminoindolizine-1,3-dicarboxamide	-7.2	-9.1
8c	2-amino-1-(4-(pyridin-4-yl)thiazol-2-yl)indolizine-3-carboxamide	-8.2	-10.6
8d	ethyl 2-amino-3-carbamoylindolizine-1-carboxylate	-8.4	-10.9
8e	2-amino-1-(4-(4-fluorophenyl)thiazol-2-yl)indolizine-3-carboxamide	-9.3	-11.6
8f	2-amino-1-(4-(4-methoxyphenyl)thiazol-2-yl)indolizine-3-carboxamide	-9.0	-11.0



Consequently, the synthetic approach that has been developed has the potential to generate a library of new indolizine derivatives that may possess neuroprotective properties. The results obtained represent a promising contribution to the development of nitrogen-containing heterocycles as pharmaceutical agents, and the creation of new therapeutic agents for the treatment of neurodegenerative diseases, particularly Alzheimer's disease.

References:

1. Botezatu, A. V.; Furdui, B.; Busuioc, A.; Dinică, R. M. Recent Develop-ments in the Synthesis of Indolizines and Their Derivatives as Compounds of Interest in Medicinal Chemistry: A Review. Eur. J. Med. Chem. 2025, 297, 117908. https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2025.117908.

2. Badaro, J. S. A.; Wrzosek, A.; Morawski, O.; Szewczyk, A.; Deperasińska, I.; Gryko, D. T. Strongly Fluorescent Indolizine-Based Coumarin Analogs. Org. Chem. Front. 2024, 11 (23), 6627–6641. https://doi.org/10.1039/D4QO01216J.

3. Lerner, D. A.; Horowitz, P. M.; Evleth, E. M. Comparative Photophysics of Indolizine and Related Heterocyclics. J. Phys. Chem. 1977, 81 (1), 12–17. https://doi.org/10.1021/j100516a004.

4. Badaro, J. S. A.; Godlewski, B.; Gryko, D. T. Advances in the Synthesis of Indolizines and Their π-Expanded Analogues: Update 2016–2024. Org. Chem. Front. 2025, 12 (8), 2860–2907. https://doi.org/10.1039/D4QO02082K.

5. Dawood, K. M.; Abbas, A. A. Inhibitory Activities of Indolizine Derivatives: A Patent Review. Expert Opin. Ther. Pat. 2020, 30 (9), 695–714. https://doi.org/10.1080/13543776.2020.1798402.

6. Yasojima, K.; Kuret, J.; DeMaggio, A. J.; McGeer, E.; McGeer, P. L. Casein Kinase 1 Delta mRNA Is Upregulated in Alzheimer Disease Brain. Brain Res. 2000, 865 (1), 116–120. https://doi.org/10.1016/S0006-8993(00)02200-9.

7. Li, S.-S.; Dong, Y.-H.; Liu, Z.-P. Recent Advances in the Development of Casein Kinase 1 Inhibitors. Curr. Med. Chem. 2021, 28 (8), 1585–1604. https://doi.org/10.2174/0929867327666200713185413.

8. Kashner, O. Y.; Bocharov, K. O.; Khoroshilov, G. E. The Synthesis of 2-Amino-3- Benzylindolizines with Using the Mixture of Halides N-Benzyl-2-

Halogenpyridines and CH-Acids – Derivatives Acetonitrile. Tetrahedron 2024, 152, 133837. https://doi.org/10.1016/j.tet.2024.133837.

9. Kashner, O. Y.; Bocharov, K. O.; Khoroshilov, G. E. The Synthesis of 2-Amino-3-Carboxamideindolizines with Using Pyridinium Salt and C-Nucleophiles–Derivatives Acetonitrile. Results Chem. 2024, 12, 101861. https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101861.

10. Eberhardt, J.; Santos-Martins, D.; Tillack, A. F.; Forli, S. AutoDock Vina 1.2.0: New Docking Methods, Expanded Force Field, and Python Bindings. J. Chem. Inf. Model. 2021, 61 (8), 3891–3898. https://doi.org/10.1021/acs.jcim.1c00203.

11. Case, D. A.; Merz, K. M. AmberTools. J. Chem. Inf. Model. 2023, 63 (20), 6183–6191. https://doi.org/10.1021/acs.jcim.3c01153.

УДК 546.719:54-386

ВЗАЄМОДІЯ БІЯДЕРНОГО КЛАСТЕРУ РЕНІЮ(III) З БІОТИНОМ

Лєвшін В.В., Величко О.В., Голіченко О.А.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

прп. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

vladimirlevsin18@gmail.com

Біотин (рис. 1) значно зменшує утворення вільних радикалів, включаючи супероксид (O_2^-), у нейтрофілах людини, стимульованих N-форміл-метіоніл-лейцил-фенілаланіном (f-MLP), демонструючи концентраційно-залежний ефект [1]. Добавки біотину значно збільшують живу масу тіла, загальний приріст ваги та загальний вміст білка, одночасно знижуючи концентрацію глюкози, холестерину, тригліцеридів та малонового діальдегіду (МДА) у бройлерів, що зазнають оксидативного стресу [2].

Хоча у харчових продуктах біотин може перебувати у зв’язаному з білками стані, його вивільнення та перехід у вільну, біологічно активну форму здійснюється під впливом специфічних ферментів (зокрема, біотинідази). При дефіциті

біотину порушуються процеси обміну ліпідів та вуглеводів, виникають розлади функцій нервової системи, спостерігаються патологічні зміни шкірних покривів та слизових оболонок; може розвиватися специфічний дерматит та випадання волосся. За хімічною будовою біотин є циклічною сполукою, що містить імідазольне та тіофенове кільця з боковим ланцюгом валеріанової кислоти. Він має кілька активних центрів, що робить його потенційним лігандом для координації з деякими перехідними металами, такими як Co (II) та Zn (II) через карбоксильну групу або гетероатоми кілець.

Незважаючи на низьку стабільність комплексів з біологічно значущими іонами металів, ступінь взаємодії достатній для утворення специфічних структур, що підкреслює координуючі властивості трьох можливих сайтів зв'язування d-біотину: карбоксилатна група та активні центри тетрагідроімідазольного і тетрагідротіофенового кільця [3].

Металеві комплекси загалом демонструють більшу антиоксидантну та терапевтичну дію, що призвело до підвищеної уваги до хелатування між біологічно активними лігандами та перехідними металами.

Вивчення процесів взаємодії біядерного кластерного ядра Re_2^{6+} із різними лігандами становить вагомий інтерес як для фундаментальної науки, так і для прикладних розробок. Теоретична значущість зумовлена наявністю безпосереднього зв'язку метал – метал у структурі Re_2^{6+}, що значно розширює його координаційний потенціал. Практична цінність полягає в тому, що кратний зв'язок реній – реній зумовлює виражену антирадикальну, протипухлинну та антиоксидантну дію синтезованих сполук. Відтак, поєднання цього кластера з лігандами природного походження відкриває шлях до створення нових комплексів із розширеним спектром біологічної активності.

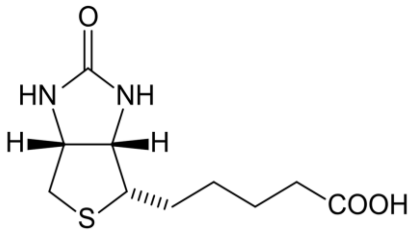


Рис. 1. Молекула Біотину

Як вихідну сполуку ренію, що містить біядерний центр Re_2^{6+}, використали тетра-н-бутиламоній октахлородиренат(III) $(NBu_4)_2Re_2Cl_8$ Реакцію між речовинами проводили у розчині ацетонітрилу CH_3CN при мольному співвідношенні реагуючих речовин: $(NBu_4)_2Re_2Cl_8$ і біотину 1:10 відповідно. Для синтезу цільової сполуки диренію(III) наважку 0,1 г ($8{,}77\cdot10^{-5}$ моль) $(NBu_4)_2Re_2Cl_8$ внесли до суміші розчиннику ацетонітрилу, потім додали наважку 0,21 г ($8{,}77\cdot10^{-4}$ моль) біотину (Bio-COOH). Суміш нагрівали до 81,6 °С до розчинення, а після охолодження додавали ДМСО. Потім перекристалізували в ацетонітрилі з метою очищення від біотину.

У Vis-спектрі (рис. 2) спостерігається максимум поглинання в області 620 нм, що може свідчити про утворення дикарбоксилату диренію(III) з цис-розташуванням екваторіальних груп. Молекули CH_3CN займають аксіальні положення у комплексній сполуці. Отримана комплексна речовина розчинна в полярних органічних розчинниках (CH_3CN, спиртах, ацетон тощо).

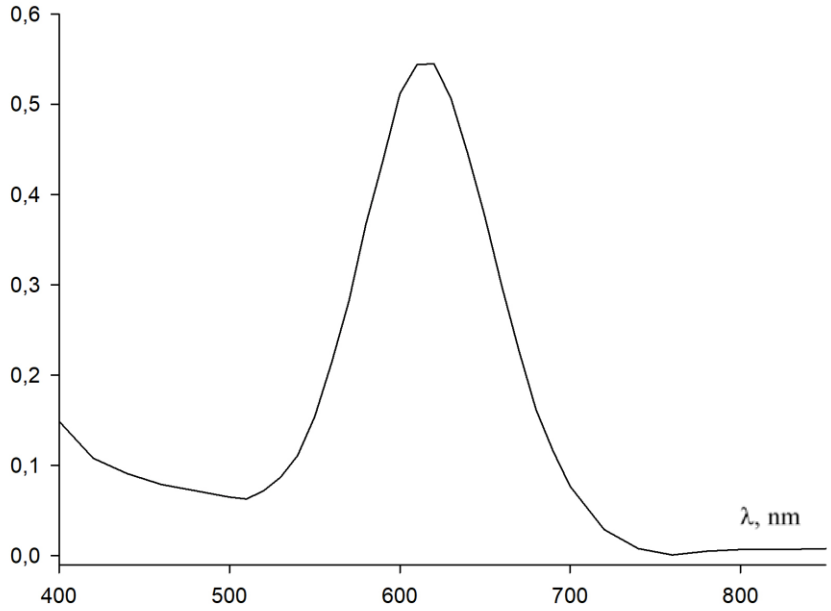


Рис. 2. Vis спектр продукту взаємодії $(NBu_4)_2Re_2Cl_8$ та біотину в CH_3CN (ε = 417 л/моль · см)

Описану взаємодію можна представити реакцією:

$(NBu_4)_2Re_2Cl_8 + 2Bio\text{-}COOH + 2CH_3CN \rightarrow$

$\rightarrow cis\text{-}[Re_2(BioCOO)_2Cl_4(CH_3CN)_2] + 2NBu_4Cl + 2HCl$

Висновок. Синтез інноваційного комплексу диренію(III) з біотином відкриває принципово нові можливості для хімії, медицини та аграрного сектору, забезпечуючи синергетичне поєднання метаболічної активності вітаміну та потужного антиоксидантного потенціалу кластерного ядра диренію(III). Завдяки наявності кратного зв’язку метал-метал у структурі ренієвого кластера, даний комплекс здатен значно активніше за звичайний біотин нейтралізовувати вільні радикали, такі як супероксид, та знижувати рівень малонового діальдегіду, що безпосередньо конвертується у збереження здоров'я живих організмів. Очікується, що комплексоутворення забезпечить кращу біодоступність біотину, стимулюючи обмін ліпідів і вуглеводів на вищому рівні, що призведе до оптимізації вмісту білка в тканинах та зниження рівня небажаного холестерину і тригліцеридів.

Література:

1.Inhibition of free radical generation by biotin. https://doi.org/10.1016/0006-2952(94)90195-3

2.The Effectiveness of Biotin (Vitamin B7) Added to the Diet in Improving the Efficiency of Productivity, and Some Physiological Traits for Broiler Chickens (Ross-308) Exposed to Oxidative Stress.Hasan Kadhim, A.; Shamkhi Noor, A.; Amer Ali, M.ISSN 0365-3439. DOI 10.22092/ARI.2022.358365.2210

3. Metal ion complexes of d-biotin in solution. Stability of the stereoselective thioether coordination. https://doi.org/10.1016/S0162-0134(00)80266-4

УДК 582.681.81:581.192

ОСОБЛИВОСТІ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК ЛИСТКІВ ВИДІВ РОДУ AESCULUS ЗА УРАЖЕННЯ CAMERARIA OHRIDELLA

Ситник С.А.[1], Голобородько К.К.[2], Ловинська В.М.[3]

[1]Chemical Ecology Group, Bielefeld University

Universitätsstraße, 25, 33615, Bielefeld, Germany

[2]Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара

пр. Науки, 72, 49045, м. Дніпро

[3]Дніпровський державний аграрно-економічний університет

вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро

sytnyk.s.a@dsau.dp.ua

Дерева роду *Aesculus* є важливими компонентами міських зелених насаджень завдяки високим декоративним властивостям, густій кроні, тривалому періоду вегетації та здатності адаптуватися до умов урбанізованого середовища. Особливе значення для озеленення міст мають види *Aesculus hippocastanum*, *Ae. pavia*, *Ae. parviflora*, *Ae. flava*, *Ae. glabra* та гібрид *Ae.* × *carnea*. Однак останніми десятиліттями декоративність каштанів значно знижується внаслідок пошкодження листків мінуючою міллю *Cameraria ohridella* (Lepidoptera, Gracillariidae), яка є одним із найнебезпечніших фітофагів для представників роду *Aesculus*. Відомо, що реакція різних видів каштанів на пошкодження фітофагом є неоднаковою та може бути пов'язана з особливостями їх хімічного складу.

Метою роботи було дослідити компонентний склад органічних сполук листків різних видів роду *Aesculus* за ураження *C. ohridella* та визначити особли-вості змін окремих груп метаболітів під впливом фітофага.

Дослідження проведено в умовах міста Дніпро на рослинах *Ae. hippocastanum*, *Ae. pavia*, *Ae. parviflora*, *Ae. flava*, *Ae. glabra* та *Ae.* × *carnea*. Для аналізу відбирали листки без ознак пошкодження та листки, уражені мінуючою міллю. Подрібнену рослинну сировину екстрагували метанол-хлороформною

сумішшю у співвідношенні 1:1 протягом 48 годин за кімнатної температури. Після фільтрування екстракти упарювали у вакуумі та проводили деривати-зацію з використанням N,O-біс-(триметилсиліл)-трифторацетаміду (BSTFA) з 5% TMS-Cl. Компонентний склад екстрактів визначали методом газової хромато-мас-спектрометрії (GC-MS) на приладі Shimadzu GCMS-QP2020. Ідентифікацію сполук проводили за допомогою бібліотеки мас-спектрів NIST-14.

В результаті досліджень у листкових екстрактах ідентифіковано 186 органічних компонентів, які були об’єднані у шість основних груп: вуглеводи, поліфеноли, стероїди, вуглеводні, жирні кислоти та інші сполуки. Найбільш представленою групою виявилися вуглеводи, які домінували у всіх досліджених видів. Серед основних компонентів цієї групи встановлено наявність сахарози, D-пінітолу, метилгалактозиду та тимол-β-D-глюкопіранозиду. Показано, що у більшості видів під впливом *C. ohridella* відбувалося збільшення частки вуглеводних компонентів. Водночас для *Ae. flava* та *Ae. parviflora* характерним було зменшення вмісту вуглеводів у пошкоджених листках порівняно з неураженими. Найменший вміст вуглеводних компонентів встановлено у *Ae. glabra*. Поліфенольні сполуки характеризувалися вираженою видовою специфічністю. У всіх досліджених зразках виявлено (2R-cis)-катехін, тоді як (2R-trans)-катехін був відсутній у пошкоджених листках *Ae. hippocastanum* та *Ae. glabra*. Для інфіко-ваних листків *Ae. flava* встановлено наявність триметилсилільного ефіру катехол-лактату та епігалокатехіну, а у *Ae. glabra* — кверцетину. Наявність зазначених компонентів лише у пошкоджених листках може свідчити про активацію захисних механізмів рослин та підвищену потенційну стійкість окремих видів до ураження фітофагом.

Вміст стероїдів, жирних кислот та вуглеводнів був значно нижчим порівняно з вуглеводами та поліфенолами. Серед жирних кислот найбільш поширеними були стеаринова, пальмітинова та нонанова кислоти. До групи вуглеводнів переважно входили фітол, сквален та n-тетрапентаконтан.

Отже, ураження *C. ohridella* суттєво впливає на компонентний склад органічних сполук листків представників роду *Aesculus*. Найбільш інформативними показниками реакції рослин на пошкодження є зміни у вмісті вуглеводів та поліфенольних сполук. Виявлені особливості можуть бути використані для оцінки стійкості видів каштанів до пошкодження мінуючою міллю та для подальшого добору перспективних видів у міському озелененні.

Література:

1. Bogoutdinova L. R., Shelepova O. V., Konovalova L. N. et al. Susceptibility of different Aesculus species to the horse chestnut leaf miner moth: Chemical composition and morphological features of leaves. Journal of Zoological and Botanical Gardens. 2024. Vol. 5. P. 691–707.

2. Materska M., Pabich M., Sachadyn-Król M. et al. The secondary metabolites profile in horse chestnut leaves infested with horse-chestnut leaf miner. Molecules. 2022. Vol. 27(17). 5471.

3. Oszmiański J., Kalisz S., Wojdyło A. The content of phenolic compounds in leaf tissues of white and red horse chestnut colonized by the horse chestnut leaf miner. Molecules. 2014. Vol. 19(9). P. 14625–14636.

4. Paterska M., Bandurska H., Dziadas M. et al. Analysis of the profile of volatile compounds during the growing season in leaves of Aesculus trees differing in susceptibility to horse chestnut leaf miner. Molecules. 2025. Vol. 30(3). 518.

5. Sytnyk S., Holoborodko K., Palchykov V. et al. Component composition of organic compounds of the assimilative apparatus of different species of the genus Aesculus affected by Cameraria ohridella. Biosystems Diversity. 2025. Vol. 33(2). e2522.

УДК 544.18+544.022+004.85

КВАНТОВО-ХІМІЧНИЙ СКРИНІНГ СПРОЄКТОВАНИХ ГЕТЕРОЦИКЛІЧНИХ ПОЛІМЕРНИХ ДИМЕРІВ У ПОЄДНАННІ З QSPR-МОДЕЛЮВАННЯМ ДЛЯ МАТЕРІАЛІВ ОРГАНІЧНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Король Н.І.[1], Мулеса О.Ю.[1,2], Симканич О.І.[1], Сливка М.В.[1]

[1]ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

вул. Підгірна, 46, 88000, м. Ужгород

[2] Public university in Prešova

17, Tovembra 3724/15, 080 01 Prešov, Slovakia

nataliya.korol@uzhnu.edu.ua

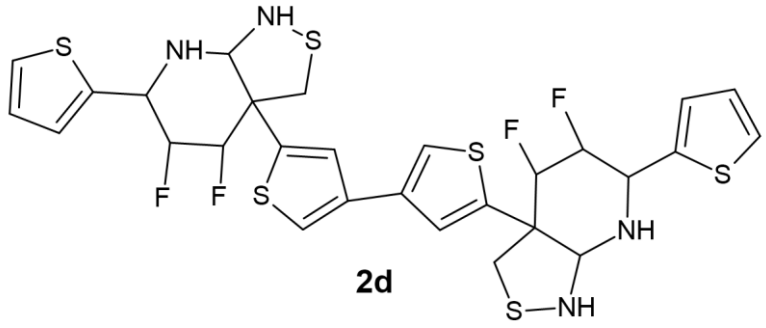
Розробка нових органічних напівпровідникових полімерів для сонячних елементів є одним із пріоритетних напрямів сучасної матеріалознавчої хімії. За останнє десятиліття ефективність перетворення енергії (PCE) одноперехідних органічних сонячних елементів зросла з 10 % до понад 19 %, проте подальший прогрес залежить від здатності раціонально досліджувати величезний хімічний простір донорно-акцепторних кополімерів [1, 2]. Машинне навчання та методи кількісних структура-властивість співвідношень (QSPR) разом із квантово-хімічними розрахунками стали невід'ємними інструментами для прискорення цього пошуку.

У даній роботі запропоновано двошаровий обчислювальний робочий процес для гетероциклічних полімерних димерів як кандидатів для застосування в органічних сонячних елементах. Перший шар включає скринінгові розрахунки в програмі GAMESS на п'яти спроєктованих парах мономер-димер (**1m-5m**; **1d-5d**), що представляють п'ять хімічно різних каркасів: тіофен-тіазол-тіофен (1, мотив класу BDT-DTzBT), дифторований тіофен-діазин (2, мотив класу фторованих бензотіадіазолів), тіофен-1,3,5-триазин (3), карбазол-бензотіазол (4) та 1,3,4-оксадіазол-тіофен (5). Другий шар реалізує QSPR-модель на основі ridge-регресії з перехресною валідацією методом виключення

по одному (LOOCV), застосовану до літературного датасету з 16 записів, що охоплює період 2016-2026 років зі значеннями PCE від 3,6 % до 19,5 %.

Квантово-хімічні розрахунки виконано на рівні HF/STO-3G для швидкого скринінгу усіх десяти спроєктованих структур. У подальшому розрахунки для мономерів повторено на рівні B3LYP/6-31G(d), що дозволило отримати фізично коректніші значення енергій граничних молекулярних орбіталей. Для аналізованих димерів (**1d-5d**) спостерігається послідовне звуження HOMO-LUMO щілини (на 3,3-11,5 еВ за HF/STO-3G) та зростання дипольного моменту (на 7,6-14,8 Д) при дімеризації, що узгоджується з теорією подовження π-сполучення [3].

Серед усіх ранжованих кандидатів димер **2d** (дифторований тіофен-діазиновий D-A димер) ідентифіковано як провідну структуру для синтезу: він поєднує найменшу витягнуту щілину (1,19 еВ за HF/STO-3G), велике значення дипольного моменту (16,04 Д) та найвищу композитну скринінгову оцінку (3,12). Структурний аналог **2d** серед літературних записів – клас BDT-тіадіазолових кополімерів – забезпечує найвищі значення PCE у наборі даних (17,2-19,1 %), що підтверджує доцільність пріоритизації **2d** для подальшого синтезу та експериментальної характеризації.



2d

QSPR-модель на основі ridge-регресії досягла показників R^2(LOOCV) = 0,860, MAE = 1,655 % та RMSE = 2,230 %, при цьому Jsc виявився домінувальним предиктором.

Таким чином, у роботі продемонстровано, що поєднання квантово-хімічного скринінгу із QSPR-моделюванням дозволяє ефективно ранжувати спроєктовані гетероциклічні полімерні димери та виділити структурно обґрунтованих

кандидатів для синтезу. Запропонований двошаровий підхід забезпечує прозорість методології, повне розкриття хімічної будови досліджуваних структур та внутрішню узгодженість прогнозів у межах малого датасету. Отримані результати створюють основу для подальшого розвитку методики, який передбачає DFT-уточнення дескрипторів димерів на рівні B3LYP/6-31G(d), розширення літературного датасету до $n \geq 50$ та експериментальну валідацію провідного кандидата 2d у стандартній архітектурі органічного сонячного елемента.

Література:

1. Yi J., Zhang G., Yu H., Yan H. Advantages, challenges and molecular design of different material types in organic photovoltaics. Nature Reviews Materials. 2024. Vol. 9. P. 46-62. DOI: 10.1038/s41578-023-00618-1.

2. Wang H., Feng J., Dong Z., Jin L., Li M., Yuan J., Li Y. Efficient screening framework for organic solar cells with deep learning and ensemble learning. npj Computational Materials. 2023. Vol. 9. Article 200. DOI: 10.1038/s41524-023-01155-9.

3. Zade S.S., Bendikov M. From oligomers to polymer: convergence in HOMO-LUMO gaps of conjugated oligomers. Organic Letters. 2006. Vol. 8, № 23. P. 5243-5246. DOI: 10.1021/ol062030y.

4. Schmidt M.W., Baldridge K.K., Boatz J.A. et al. General atomic and molecular electronic structure system. Journal of Computational Chemistry. 1993. Vol. 14, № 11. P. 1347-1363. DOI: 10.1002/jcc.540141112.

5. Hanwell M.D., Curtis D.E., Lonie D.C., Vandermeersch T., Zurek E., Hutchison G.R. Avogadro: an advanced semantic chemical editor, visualization, and analysis platform. Journal of Cheminformatics. 2012. Vol. 4. Article 17. DOI: 10.1186/1758-2946-4-17.

УДК 628.349:66.081.3:620.266

СИНТЕЗ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ З ОДЕРЖАННЯМ СОРБЕНТІВ ДЛЯ ВИЛУЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ З ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД

Іванченко А.В., Сорока О.В., Грицан Ю.І., Момот І.С.

Дніпровський державний технічний університет

вул. Дніпробудівська, 2, 51918, м. Кам'янське

ivanchenkodgtu@gmail.com

Синтез нових сорбентів з вторинної сировини для вилучення іонів важких металів є актуальним завданням хімічної інженерії. Іони плюмбуму, кадмію, міді, цинку, ніколу характеризуються токсичністю, здатністю до біоакумуляції та негативним впливом на живі організми і водні системи.

Перспективним напрямом очищення водних середовищ від іонів важки металів є використання сорбентів, синтезованих із рослинної сировини. Рослинні відходи сільськогосподарського та харчового виробництва мають низьку вартість, доступність, відновлюваність та містять природні функціональні групи, здатні зв'язувати іони важких металів. Однак природна рослинна сировина часто характеризується недостатньо розвиненою пористою структурою та обмеженою сорбційною ємністю, що зумовлює необхідність її модифікації та хімічної активації.

Раніше нами отримано синтезовані сорбенти шляхом обробки рослинної сировини кальцинованою содою. Визначено оптимальні технологічні умови синтезу адсорбентів, а саме: обробка 10 мас. % розчином Na_2CO_3 з наступною карбонізацією при температурі 400 °С упродовж 1 години. Зазначені параметри забезпечують отримання адсорбентів із характеристиками якості, що не поступаються комерційним промисловим аналогам [1, 2].

Продовженням даної роботи є синтез сорбентів на основі рослинної сировини шляхом її активації фосфатною кислотою. Хімічна активація H_3PO_4 сприяє розвитку пористої структури матеріалу, збільшенню питомої поверхні та утворенню додаткових функціональних груп на поверхні сорбенту. Під час термічної обробки фосфатна кислота виконує роль дегідратуючого агента, що

забезпечує формування мікропористої структури та підвищення адсорбційних властивостей отриманого матеріалу.

Основними етапами одержання сорбенту є підготовка рослинної сировини, її подрібнення та висушування, просочення розчином фосфатної кислоти, термічна активація при підвищених температурах, промивання та сушіння готового продукту. Вибір оптимальних умов активації – концентрації кислоти, температури та тривалості процесу – істотно впливає на фізико-хімічні характеристики сорбенту та його ефективність щодо вилучення важких металів. Отримані сорбенти характеризуються високою сорбційною здатністю щодо іонів важких металів завдяки наявності активних центрів та розвиненої пористої структури. Механізм вилучення металів включає фізичну адсорбцію, іонний обмін та комплексоутворення між функціональними групами поверхні сорбенту та іонами металів. На рисунку 1 представлено вірогідну схему взаємодії іонів важких металів із поверхнею модифікованого сорбенту.

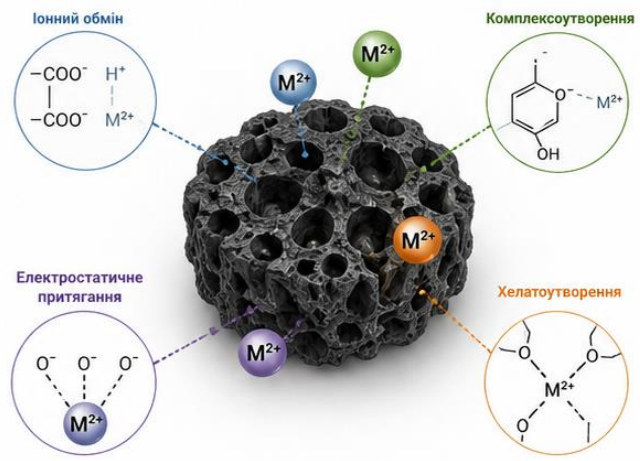


Рис. 1. Схема взаємодії іонів важких металів
із поверхнею модифікованого сорбенту

Використання активованої рослинної сировини для очищення виробничих стічних вод дозволяє не лише підвищити ефективність водоочищення, але й забезпечує утилізацію агропромислових відходів, що відповідає принципам ресурсозбереження та сталого розвитку. Розроблені сорбенти можуть бути перспективними для застосування у локальних та промислових системах очищення стічних вод.

Кислотна модифікація сприяє підвищенню структурної стійкості матеріалу у водному середовищі. Необроблена рослинна сировина зазвичай характеризується схильністю до набухання, часткового розчинення та біологічного руйнування, тоді як після кислотної обробки матеріал набуває більшої стійкості до гідролітичних процесів і механічних пошкоджень. Завдяки цьому біосорбент може ефективно застосовуватися у декількох циклах очищення без істотного зниження сорбційних властивостей.

Важливою перевагою також є зростання селективності сорбції. В результаті формування нових функціональних груп і зміни пористої структури модифіковані сорбенти здатні ефективніше селективно вилучати іони важких металів у присутності супутніх катіонів, таких як Na^+, Ca^{2+} та Mg^{2+}. Це забезпечує більш високу ефективність і точність очищення води навіть у багатокомпонентних системах складного складу.

З екологічної точки зору застосування кислотно модифікованої рослинної сировини є перспективним, оскільки забезпечує ефективну утилізацію аграрних відходів, таких як лушпиння, солома та деревні залишки, шляхом їх перетворення на цінні сорбційні матеріали.

Література:

1. Ivanchenko A., Soroka O., Yelatontsev D. Panasenko V. Heavy metal ions removal from an aqueous solution using an adsorbent derived from walnut shell: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Desalination and Water Treatment.* 2025. Vol. 321. 101048. DOI: 10.1016/j.dwt.2025.101048

2. Іванченко А.В., Сорока О.В. Спосіб очистки промислових стічних вод від іонів важких металів: пат. 155019 Україна: МПК C02F1/42. № u 2023 303112; заявл. 27.06.2023; опубл. 10.01.2024, Бюл. № 2.

Секція 4

Електроосадження металічних і полімерних покриттів. Захист від корозійного руйнування. Лакофарбові та захисні покриття

УДК 620.197.6

ІНГІБУВАННЯ КОРОЗІЇ ДЮРАЛЮМІНІЮ КОМПОЗИЦІЄЮ НА ОСНОВІ ГУМІАРАБІКУ ТА ЦИНКУ АСПАРТАТУ ЗА МЕХАНІЧНОЇ АКТИВАЦІЇ ЙОГО ПОВЕРХНІ

Хлопик О.П., Зінь І.М., Корній С.А.

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

вул. Наукова, 5, 79060, м. Львів

oliakhlopuk@gmail.com

Вступ. Алюміній та його сплави займають одне з перших місць за масштабами виробництва та застосування у промисловості. Завдяки таким вдалим поєднанням фізико-хімічних та фізико-механічних характеристик вони широко застосовують в авіа-, авто-, судно- та приладобудуванні, хімічній, харчовій, нафтогазовидобувній галузях промисловості. За звичайних умов вони відносно корозійнотривкі внаслідок утворення на їх поверхні стійкої оксидної плівки [1]. Однак часто конструкції, виготовлені з цих сплавів, експлуатують в умовах корозійної втоми, фретинг- чи трибокорозії, коли поверхнева оксидна плівка механічно пошкоджується і втрачає свої захисні властивості. Сумісна дія механічного та корозійного факторів викликає синергічний ефект, що проявляється у значній втраті матеріалу [2, 3]. У таких умовах для підвищення корозійної стійкості широко застосовують органічні та неорганічні інгібітори корозії.

На сьогодні перспективним напрямом є використання полісахаридів у поєднані в одній системі із компонентами-синергістами на основі карбоксилатів [4, 5], зокрема гуміарабіку та аспартату цинку.

Тому метою роботи було – дослідити особливості захисної дії гуміарабіку та аспартату цинку на механічно активованій поверхні алюмінієвого сплаву в 0,1 % розчині натрію хлориду.

Методика випробовування. Дослідження ефективності інгібування корозії алюмінієвого сплаву з механічно активованою поверхнею проводили на спеціальному пристрої-гільйотині згідно методики [6]. Вимірювання здійснювали за

триелектродною схемою: робочий електрод – сплав Д16Т, електрод порівняння – хлоридсрібний насичений, допоміжний – платиновий. Використо-вували зразки у вигляді дроту з діаметром 2 mm.

Вивчали густину струму анодної поляризації зразка сплаву Д16Т за потенціалу вільної корозії після його механічної активації на пристрої-гільйотині та швидкість його репасивації.

Корозійним середовищем слугував 0,1% NaCl. Як інгібітор корозії використовували композицію, що містила 1 g/l гуміарабіку та аспартату цинку (II) при рівному співвідношенню компонентів.

Результати досліджень. Встановлено (рис. 1), що в момент механічної активації зразка в корозивному середовищі густина струму різко зростала, а далі поступово зменшувалася за степеневим законом до ~ $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ mA/cm^2. Така залежність густини струму свідчить про відновлення на поверхні металу оксидної плівки за відсутності її повторної механічної активації.

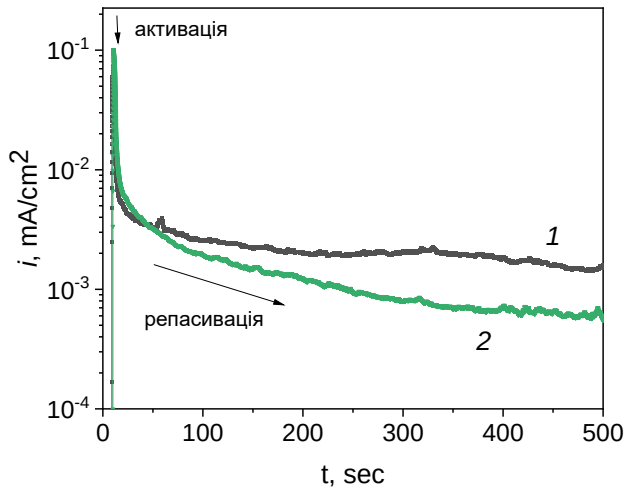


Рис. 1. Часові залежності густини струму поляризації за потенціалу вільної корозії зразка алюмінієвого сплаву після активування в 0,1% NaCl (*1*) та за додавання 1 г/л гуміарабіку та аспартату цинку *(2)*

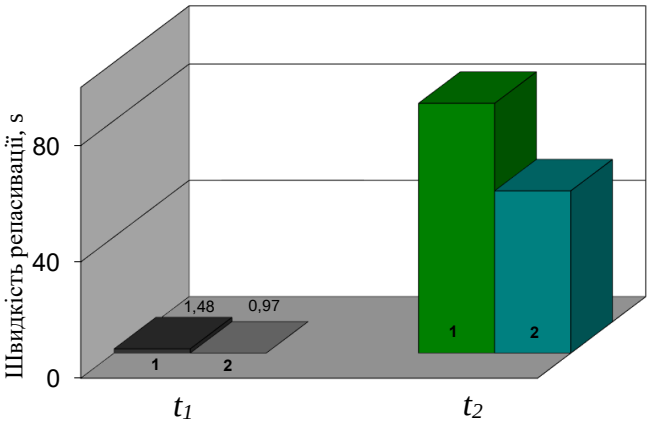


Рис. 2. Параметри репасивації t_1 і t_2 зразка алюмінієвого сплаву після його активації, отримані через експоненціальну залежність

В інгібованому композицією на основі гуміарабіку та аспартату цинку розчині зафіксували зменшення густини струму у 2,5 рази. Це вказує на формування на алюмінієвому сплаві корозійно-тривкішої поверхневої плівки, ніж звичайна оксидна.

Для теоретичного наближення кінетичних залежностей репасивації використали подвійну експоненціальну функцію [7]:

$$i = i_1 \cdot \exp(-\tau/t_1) + i_2 \cdot \exp(-\tau/t_2) + i_3,$$

де: τ – час, s; i_1 і i_2 – максимуми густин струмів двох експоненціальних кривих, mA/cm^2; t_1 і t_2 – часові константи, які характеризують швидкість зниження експоненціальної функції і i_3 – густина струму поляризації металу за статичних умов, mA/cm^2.

Перша частина подвійної експоненціальної залежності $i_1 \cdot \exp(-\tau/t_1)$ належить до відновлення оксидного шару на алюмінієвому сплаві, а друга $i_2 \cdot \exp(-\tau/t_2)$ – описує потовщення та ущільнення оксидної плівки [8].

Через отримані параметри репасивації алюмінієвого сплаву t_1 і t_2 в інгібованому композицією розчині встановлено (рис. 2), що відновлення та потовщення пасивної плівки тут протікає швидше, ніж у 0,1% хлоридному розчині. Відповідно корозія свіжоутвореної поверхні алюмінієвого сплаву гальмується швидше.

Висновки. Встановлено, що застосування композиції на основі гуміарабіку та аспартату цинку у співвідношенні компонентів 1:1 у 0,1% розчині NaCl сприяє зниженню густини струму корозії сплаву в 2,5 рази порівняно з неінгібованим середовищем. Показано, що відновлення та ущільнення пасивної плівки після механічної активації поверхні металу в інгібованому розчині відбувається приблизно у 1,5 раза швидше, що сприяє ефективнішому гальмуванню корозії свіжоутвореної поверхні.

Ця робота виконана в рамках проекту № 2025.07/0048 «Розробка нових екологічно безпечних інгібувальних композицій для захисту від трибокорозії та

корозійної втоми конструкцій з алюмінієвих сплавів» Національного фонду досліджень України.

Література:

1. Tahkashi H., Chiba M. Role of anodic oxide films in the corrosion of aluminum and its alloys // Corrosion Review. 2017. V. 36, №1. P. 35–54.

2. Zhang Z., Dandu R.S.B., Klu E.E., Cai W. A review on tribocorrosion behavior of aluminum alloys: From fundamental mechanisms to alloy design strategies // Corros. Mater. Degrad. 2023. V. 4. P. 594–622.

3. Abolusoro O.P., Akinlabi E.T. Tribocorrosion measurements and behaviour in aluminium alloys: An overview // J. Bio-Tribo-Corros. 2020. V. 6. P. 102.

4. Danyliak M.O., Korniy S.A. Corrosion inhibition of aluminum alloy by eco-friendly composition based on gum arabic and zinc acetate // Mater. Sci. 2023. V. 59. P. 83–90.

5. Korniy S.A., Zin I.M., Khlopyk O.P., Sobodosh N.Y. Corrosion inhibition of D16T aluminum alloy by sodium alginate and zinc acetate composition in neutral chloride-containing environment // Mater. Sci. 2024.V. 60. P. 109–116.

6. Патент України на корисну модель № 81047. Спосіб експрес-оцінки ефективності інгібіторів корозії за умов механічного руйнування пасивної плівки на поверхні металу / В.І. Похмурський, І.М. Зінь, А.І.Кондир, О.П. Хлопик. – Опубл. 25.06.2013; Бюл.№ 12. - 4 с.

7. Lu B.T., Luo J.L., Mohammadi F., Wang K., Wan X.M. Correlation between repassivation kinetics and corrosion rate over a passive surface in flowing slurry // Electrochimica Acta. 2008. V.53. P. 7022–7031.

8. Sin J.R. Investigation of the corrosion and tribocorrosion behaviour of metallic biomaterials: PhD Thesis, Lulee University of Technology. Lulee. 2015. 196p.

УДК 620.197.5

ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ПОЛІРУВАННЯ ТИТАНУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ЕЛЕКТРОЛІТІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ

Юхно Н. А., Ковальов С. В.

Український державний університет науки і технологій

вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпро

yuhnonik1@gmail.com

У сучасних умовах розвитку медицини, техніки та високотехнологічного виробництва зростає потреба у матеріалах із високими експлуатаційними характеристиками, серед яких титан займає провідне місце. Його застосування, зокрема в медичній галузі (імплантати, інструменти), вимагає отримання поверхонь із низькою шорсткістю та високою корозійною стійкістю. Одним із ефективних методів досягнення таких властивостей є електрохімічне полірування.

Дослідження показують, що ключову роль у процесі полірування відіграє склад електроліту, який визначає швидкість розчинення матеріалу, формування поверхні та ефективність згладжування мікронерівностей. Використання багатокомпонентних електролітів дозволяє значно підвищити якість обробки та досягти більш однорідної поверхні.

Ціль дослідження: оцінка ефективності електрохімічного полірування титану при використанні багатокомпонентних електролітів.

Методи та обладнання. Експериментальні дослідження проводили з використанням джерела постійного струму Masteram HPS3005D. Для аналізу морфології поверхні застосовували прилади Micron Alpha та ПМТ-3 з оптичною веб-камерою зі збільшенням у 100 разів. У якості електроліту використовувався розчин складу, % мас.: сірчана кислота – 60, плавікова кислота – 20 та гліцерин – 20. Щільність струму – 0,02 А/см^2. Зазначений електроліт є токсичним, однак

в умовах невеликого виробництва та при суворому дотриманні заходів безпеки може бути використаний у технологічних процесах.

Основна частина: У ході дослідження встановлено, що використання електроліту на основі сірчаної та плавікової кислот із додаванням гліцерину забезпечує ефективне згладжування мікронерівностей поверхні титану. Такий склад електроліту сприяє інтенсивному та рівномірному розчиненню виступів поверхні, що призводить до зменшення шорсткості та покращення якості полірування. Отримане покриття характеризується підвищеною однорідністю та корозійною стійкістю, що робить його перспективним для застосування в медицині, зокрема при виготовленні імплантатів та інших виробів, де важлива біосумісність і чистота поверхні.

Отримані результати підтверджують доцільність використання багато-компонентних електролітів для електрохімічного полірування титану. Подальші дослідження будуть спрямовані на оптимізацію режимів обробки та складу електроліту для підвищення ефективності процесу та розширення сфер практичного застосування, зокрема у медичній галузі.

Фінансування: Це дослідження було профінансовано за програмою "Передова наука в Україні 2026-2028" Національним фондом досліджень України, Державний реєстраційний номер: 0126U003263.

УДК 544.65

НІКЕЛЬ–ЦЕРІЙ-ВМІСНІ КОМПОЗИЦІЙНІ ПОКРИТТЯ, ОДЕРЖАНІ З НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО ЕВТЕКТИЧНОГО РОЗЧИННИКА, ЯК ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНІ ЕЛЕКТРОКАТАЛІЗАТОРИ ДЛЯ ЗЕЛЕНОЇ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Проценко В.С., Шайдеров Д.А., Сухацький О.Д., Бутиріна Т.Є.

Український державний університет науки і технологій

вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпро

Vprotsenko7@ukr.net

Розробка дешевих і водночас ефективних електрокаталізаторів для електролізу води є однією з актуальних задач сучасної зеленої водневої енергетики [1]. Перспективним шляхом розв'язання цієї задачі є електроосадження електрокаталітичних покриттів на основі нікелю, що містять впроваджені сполуки рідкісноземельних елементів, з використанням електрохімічних систем на основі низькотемпературних евтектичних розчинників [2, 3]. У даній роботі було досліджено електрохімічне осадження покриттів з евтектичного розчинника reline (евтектична суміш холін хлориду і сечовини), що містив розчинені солі $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ і $CeCl_3 \cdot 7H_2O$, та встановлено особливості мікроструктури, хімічного складу, поверхневої морфології отриманих покриттів та їх електрокаталітичної поведінки [4, 5].

Електроосадження проводили при катодній густині струму 3 мА/см^2 і температурі 70 °С за умов постійного перемішування електроліту магнітною мішалкою зі швидкістю 500 об/хв. Тривалість осадження дорівнювала 60 хвилин. Усі вольтамперні залежності в роботі реєстрували за допомогою потенціостата Reference 3000 (Gamry, США). Циклічні вольтамперограми в електролітах на основі reline записували у триелектродній скляній комірці, термостатованій при 70 °С. Робочим електродом був платиновий, впаяний у скло, допоміжним електродом слугувала нікелева пластина, квазі-електродом порівняння був срібній дріт, занурений у низькотемпературний евтектичний розчинник.

Для тестування електрокаталітичної активності використовували методи циклічної вольтамперометрії у водних розчинах 1 М NaOH або 1 М NaOH + 0,33 М $CO(NH_2)_2$. При цьому електрохімічна комірка термостатувалася (25 °С), а розчинений кисень з повітря видалявся з розчину барботажем очищеного електролітичного водню. Робочим електродом було покриття, осаджене на мідну підкладку, розташовану у пластиковій касеті. Як допоміжний електрод використовували платиновий дріт. Насичений хлорсрібний електрод слугував електродом порівняння. Омічна складова потенціалу електрода вимірювалася і автоматично компенсувалася за допомогою компенсатора, вмонтованого в потенціостат.

Поверхню осаджених вивчали методом сканувальної електронної мікроскопії. Хімічний склад поверхні покриттів визначали рентгеноспек-тральним електронно-зондовим мікроаналізом. Рентгенофазовий аналіз покриттів здійснювали за допомогою рентгенівського дифрактометра з монохроматизованим Co-Kα випромінюванням.

Було показано, що при варіюванні концентраціями іонів Ni(II) та Ce(III) у розчині для осадження на катоді формуються композиційні покриття, у яких діоксид церію *in situ* впроваджується в нанокристалічну нікелеву матрицю. При цьому середній розмір нанокристалітів, оцінений за допомогою формули Шеррера, становить приблизно 30–60 нм. За даними EDX у хімічному складі покриттів була виявлена присутність таких елементів, як нікель, церій, кисень, вуглець і азот (в окремих зразках). Максимально спостережений вміст Ce у покриттях сягав ~ 49,4 мас.% при найбільших з досліджених концентраціях солей церію і нікелю в електроліті, а поверхня ставала більш дефектною та геометрично неоднорідною, що *a priori* є сприятливим для електрокаталізу.

Методом циклічної вольтамперометрії встановлено накладання електрохімічних процесів відновлення сполук Ni та Ce в середовищі reline, а також синергетичне прискорення осадження нікелю у присутності церійвмісних частинок [5].

Отримані покриття були випробувані як електрокаталізатори реакцій виділення водню й кисню в 1 M NaOH та анодного окиснення сечовини в 1 M NaOH + 0,33 M $CO(NH_2)_2$. Зазначимо, що доцільність вивчення кінетики реакцій катодного виділення водню і анодного виділення кисню визначається тією простою обставиною, що це основні електрохімічні процеси при генеруванні "зеленого" водню шляхом електролізу води [1]. Що ж стосується реакції окислення сечовини, то вона розглядається як потенційна заміна анодного виділенню кисню з більш сприятливою енергетикою (меншими теоретичними напругами розкладання при електролізі), а отже розкриває шлях до суттєвого зниження витрат електроенергії при електролітичному синтезі водню [6].

Показано, що введення церію загалом знижує перенапругу та підвищує анодні струми на ділянці потенціалів окиснення карбаміду, при цьому ефект істотно залежить від співвідношення Ni/Ce у електроліті осадження. Найкращі результати для реакції окиснення сечовини одержано для композиційних покриттів, сформованих з електролітів, що містили 0,2–0,3 моль/дм^3 Ni(II) і 0,3–0,5 моль/дм^3 Ce(III). Впровадження церію у нікелеву електроосаджену матрицю за певних умов сприяє селективному підвищенню електрокаталітичної активності покриття у трьох розглянутих реакціях. Це підтверджує можливість керованого налаштування електрокаталітичних властивостей Ni–CeO_2 покриттів шляхом зміни складу DES-електроліту [2, 4].

Таким чином, у результаті проведення роботи встановлено, що з електроліту на основі евтектичної суміші холін хлориду і сечовини як розчинника (reline), що містить солі $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ і $CeCl_3 \cdot 7H_2O$, електрохімічно осаджуються композиційні покриття, що включають діоксид церію, впроваджений у нікелеву нанокристалічну матрицю. Впровадження CeO_2 до нікелевого покриття приводить до еволюції морфологічних паттернів поверхні і зростанню її дефектності, що сприяє підвищенню електрокаталітичної активності поверхні.

Покриття Ni–CeO_2, електроосаджені з електроліту на основі низькотемпературного евтектичного розчинника reline, можуть розглядатися як потенційні поліфункціональні електрокаталізатори для генерації зеленого водню у процесах водневої енергетики. Варіювання концентраціями солі нікелю(II) і церію(III) у ванні осадження на основі DES дозволяє проводити гнучкий і керований тюнинг електрокаталітичної поведінки.

Література:

1. Squadrito G., Maggio G., Nicita A. (2023). The green hydrogen revolution. *Renewable Energy*, 216, 119041. https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119041

2. Protsenko V.S., Shaiderov D.A., Butyrina T.E., Frolova L.A. (2026). Electrodeposition of rare-earth element-containing coatings from deep eutectic solvents: a review. *J. Solid State Electrochem*., 30. https://doi.org/10.1007/s10008-026-06586-0

3. Smith E.L., Abbott A.P., Ryder K.S. (2014). Deep eutectic solvents (DESs) and their applications. *Chem. Rev*., 114, 11060-11082. https://doi.org/10.1021/cr300162p

4. Protsenko V.S., Pavlenko L.M., Bobrova L.S., Korniy S.A., Danilov F.I. (2024). Electrodeposition of coatings from urea–choline chloride-based plating baths containing Ni(II) and Ce(III) chloride salts and electrocatalytic activity of electrodeposits towards the hydrogen evolution reaction. *J. Solid State Electrochem*., 28, 1641-1655. https://doi.org/10.1007/s10008-023-05499-6

5. Protsenko V.S., Shaiderov D.A., Sukhatskyi O.D., Korniy S.A. (2025). Electrodeposition of Ni-based composite coatings containing cerium compounds from a deep eutectic solvent and their electrocatalytic performance. *J. Chem. Technol*., 33, 1026-1044. https://doi.org/10.15421/jchemtech.v33i4.337132

6. Paygozar S., Aghdam A.S.R., Hassanizadeh E., Andaveh R., Darband G.B. (2023). Recent progress in non-noble metal-based electrocatalysts for urea-assisted electrochemical hydrogen production. *Int. J. Hydrogen Energy*, 48, 7219-7259. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.11.087

УДК 621.335

ПОКРИТТЯ МЕТАЛАМИ ТА СПЛАВАМИ ПІДГРУПИ ЗАЛІЗА ДЛЯ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНОГО ВИДІЛЕННЯ ВОДНЮ

Королянчук Д.Г.[1,2], Овчаренко В.І.[1], Малевич О.О.[1], Волчук В.М.[1]

[1]Український державний університет науки і технологій

вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпро

[2]Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова

Національної академії наук України

вул. Сімферопольська, 2а, 49600, Дніпро

kafmat@i.ua

У зв'язку з обмеженою кількістю енергоресурсів та постійним збільшенням їх споживання та вартості, дуже гостро постає питання заміни їх альтернативними джерелами. Одним з найбільш перспективних енергоносіїв є водень. Застосування водню має значні переваги, оскільки при його спалюванні утворюється лише вода:

$$H_2 + 1/2\ O_2 = H_2O \qquad (1)$$

Тобто відсутні будь які речовини, які наносять шкоду довкіллю (вуглекислий газ, парникові гази та ін.). Існує низка методів отримання водню. Одним з найбільш ефективних таких методів є електроліз води та водних розчинів. Теоретична напруга розкладання води складає 1,23 В. Однак в реальних умовах електроліз протікає при напрузі близько 2 В та більше. Переважна частина цієї величини приходиться на перенапругу виділення. Ця величина залежить від природи електродного матеріалу.

Перспективним вектором у сфері водневої енергетики, націленим на збільшення коефіцієнту корисної дії електрохімічного виділення водню, вважається застосування металевих покриттів, які відносяться до групи заліза (Fe, Co, Ni), і навіть їх композицій і сплавів. Зазначені матеріали відрізняються не тільки чудовими електрокаталітичними характеристиками, а й стійкістю до корозії, а

також можливістю спільного осадження з тугоплавкими елементами, що сприяє суттєвому зменшенню надмірної напруги при генерації водню.

При цьому, для порівняння, найменша перенапруга виділення водню спостерігається на металах платинової групи. Однак їх використання обмежено дуже високою вартістю останніх. Тому досить актуальною задачею є пошук та розробка нових матеріалів для виділення водню. У якості альтернативних матеріалів розробляються покриття металами та сплавами на основі саме підгрупи заліза.

Виходячи зі складної економічної ситуації, нами були отримані електрохімічні покриття сплавом нікель-вольфрам-фосфор. Для одержання цих покриттів використовували розроблений нами електроліт наступного складу г/л: сульфамат нікелю 250-300, хлорид нікелю 25-30, борна кислота 20-30, ортофосфорна кислота 40-55, гіпофосфіт натрію 5-10, сахарин 0,5-1,5 з додаван-ням вольфрамату натрію. Нанесення електропокриттів проводили у гальвано-статичному режимі. Осадження відбувалося за температури 20-80 °С, катодна густина струму знаходилася в межах 5-20 А/дм^2. Покриття отримувались при стабільній температурі у термостаті ВБ-4. Вихід за струмом сплаву визначали за допомогою мідного кулонметра по кількості електрики, що пройшла через систему.

Встановлено, що в залежності від умов отримання, покриття можуть мати аморфну, кристалічну та аморфно-кристалічну структуру. Визначено перенапругу виділення водню у розчинах гідроксиду натрію. Виявлено, що ця величина залежить від фазового складу та структурного стану одержуваних покриттів. Якщо розглянути рівняння Тафеля, яке пов’язує перенапругу (η) електродної реакції з логарифмом густини струму (i):

$$\eta = a + b \cdot \lg i, \qquad (2)$$

де: a – коефіцієнт, пов’язаний зі струмом обміну (i_0), який відображає швидкість реакції при рівноважному потенціалі; b – коефіцієнт, який показує, на скільки вольт потрібно змінити потенціал, щоб змінити швидкість реакції (струм) у 10 разів, то величина коефіцієнту a у рівнянні (2) складає 0,2-0,35 В.

УДК 669.268

БУДОВА ТА ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ФАЗОУТВОРЕННЯ ПРОМІЖНИХ СИГМА-ФАЗ В МАТЕРІАЛАХ

Гірін О.Б.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

girin@ua.fm

Для створення нових видів матеріалів методом електрохімічного осадження, зокрема електропокриттів з поліпшеними властивостями, необхідні відомості про їхній структурний стан, фазовий склад, мікроструктуру, субструктуру, текстуру та морфологію поверхні. Цілеспрямоване управління вищевказаними структурними характеристиками можливе на основі уявлень про фазоутворення металів/сплавів в процесі їх електрохімічного осадження. Для вирішення поставленої задачі нещодавно запропонована нова концепція, що враховує проходження металами та сплавами в процесі їх електрохімічного фазоутворення проміжної стадії переохолодженого рідкого стану [1]. В основу цієї концепції покладено виявлене автором даної роботи явище електрохімічного фазоутворення металів та сплавів через стадію переохолодженого рідкого стану [2], скорочена формула якого представлена нижче:

“Встановлено невідоме раніше явище електрохімічного фазоутворення металів та сплавів через стадію переохолодженого рідкого стану, яке полягає у тому, що при електрохімічному осадженні металу або сплаву у водному середовищі на твердий катод відбувається утворення сильно переохолодженої металевої рідини у вигляді безлічі рідких кластерів атомів, що виділяються лавиноподібно в різних місцях поблизу катода або зростаючого осаду, і надшвидке її затвердіння при температурі осадження, що призводить до формування дифракційної картини аморфного стану в процесі електрохімічного осадження та зміни її на дифракційну картину кристалічного стану без

підведення теплоти, обумовлене дуже швидким (вибуховим) характером виділення металу або сплаву внаслідок ланцюгової реакції електрохімічного утворення атомів та переходом кластерів атомів або їх об’єднань з рідкого стану в більш стабільний твердий”.

Як встановлено нами в роботі [3], при електрохімічному фазоутворенні металів, що спільно осаджуються, в результаті їх хімічної взаємодії між собою утворюються проміжні фази у вигляді інтерметалідів. Цей результат стимулював постановку нових експериментів з електрохімічного фазоутворення сплавів, спрямованих на подальшу перевірку існування досліджуваного явища.

Справді, якщо електроосаджувані сплави в процесі їх фазоутворення дійсно проходять стадію рідкого стану, то інтерметаліди, які виникають між металами, що спільно осаджуються, слід розглядати як продукт виникнення і затвердіння їх об'єднаної рідкої фази. Кристалізація цієї об’єднаної рідкої фази призведе до виникнення цілком певних інтерметалідів між металами, що осаджуються, залежно від природи взаємодіючих металів.

Зокрема, широко відомо, що при кристалізації з рідкого стану металургійного розплаву перехідних металів, які мають близькі розміри атомів ($\Delta R < 8$ %), утворюються інтерметаліди у вигляді сигма-фази. Якщо припустити, що електрохімічне фазоутворення сплаву відбувається через стадію переохолодженого рідкого стану, то доказом існування даного явища буде утворення інтерметалідів у вигляді сигма-фази між перехідними металами сплаву, які мають близькі розміри атомів.

З огляду на те, що для виникнення сигма-фази необхідною умовою є незначна відмінність атомних радіусів (до 8 %) перехідних металів, що взаємодіють, в якості модельного експерименту обрали електроосаджувані сплави системи Cr-Fe з базовим елементом Cr. Ця система була обрана тому, що атомні радіуси перехідних металів (Cr і Fe), що взаємодіяли при електрохімічному фазоутворенні, розрізнюються приблизно на 1,5 % (радіус атома хрому дорівнює $1{,}28 \cdot 10^{-14}$ м, а радіус атома заліза – $1{,}26 \cdot 10^{-14}$ м).

З іншого боку, широко відомо, що виділення сигма-фази може відбуватися не лише при кристалізації, а й при тривалих витримках хромово-залізних сплавів в інтервалі температур 500-900 °С. Тому для усунення ефекту можливого виділення цієї фази в результаті дифузійних процесів, що відбуваються в твердому стані, тривалість електроосадження хромово-залізних сплавів становила лише 2 с. За такий короткий проміжок часу формування сигма-фази у твердому хромово-залізному сплаві було повністю виключено.

Склад електроліту (г/л) та режими електрокристалізації досліджуваних сплавів наступні: $Cr_2(SO_4)_3 \cdot 6H_2O$ – 180; CrO_3 – 0,5; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ – 15; NH_4CH_2COOH – 190; температура осадження – 25 °С; щільність струму – 5,0; 7,5; 10,0; 12,5; 15,0 А/дм^2; тривалість електроосадження будь-якого сплаву – 2 с.

Рентгенівський фазовий аналіз отриманих зразків виконували на модернізованому рентгенівському дифрактометрі ДРОН-3 у Cu-Kα випромінюванні (U = 30 kV та I = 20 mA). Ідентифікацію фаз виконували із використанням бази даних PDF-2 (Powder Diffraction File) Міжнародного центру дифракційних даних – ICDD (The International Centre for Diffraction Data).

В результаті було виявлено, що при електрокристалізації сплавів Cr-Fe їхній фазовий склад в залежності від режиму осадження описується двома інтерметалідами між хромом та залізом у вигляді сигма-фаз: (Fe,Cr) та FeCr (табл. 1), а також твердим розчином заліза у хромі (у невеликій кількості). При цьому виявлені сигма-фази (Fe,Cr) та FeCr мали однакову мольну частку базового елемента (Cr) 50 % і належали до різних кристалічних систем: кубічної та тетрагональної відповідно. Із збільшенням швидкості електрохімічного фазоутворення хромових сплавів частка сигма-фази (Fe,Cr) з кубічною ґраткою зменшується, а частка сигма-фази FeCr з тетрагональною ґраткою – збільшується. Такий перерозподіл часток сигма-фаз із збільшенням швидкості електрохімічного фазоутворення хромових сплавів пояснюється збільшенням ступеню відхилення системи від рівноважного стану.

Отже, виникнення двох інтерметалідів у вигляді сигма-фази між металевими елементами електрокристалізованого сплаву протягом надзвичайно

Таблиця 1. Експериментальні та довідкові дані дифракційних характеристик фаз (Fe,Cr) та FeCr в електрокристалізованих сплавах Cr-Fe, одержаних при температурі 25 °С і щільності струму 5,0 і 7,5 А/дм^2 відповідно

HKL	Експериментальні та довідкові дані (Fe,Cr)		HKL	Експериментальні та довідкові дані FeCr	
	d/n експ (нм)	d/n дов (нм)		d/n експ (нм)	d/n дов (нм)
1 0 0	0,287	0,287	4 1 0	0,2128	0,2128
1 1 0	0,201	0,202	2 0 2	0,2015	0,2015
1 1 1	0,1656	0,1656	3 3 1	0,1876	0,1877
2 0 0	0,143	0,143	5 2 2	0,1326	0,1327
1 2 0	0,129	0,128	5 3 2	0,1258	0,1258
2 1 1	0,1167	0,1167	4 1 3	0,1236	0,1236
2 2 0	0,101	0,101	5 1 3	0,1138	0,1138
Примітка. H K L – індекси дифракційного рентгенівського максимуму; d/n – міжплощинна відстань в кристалічній решітці.					

короткого проміжку часу (всього 2 с) доводить існування рідкого стану сплаву в процесі його електрохімічного фазоутворення.

Таким чином, в результаті виконаних експериментів встановлено ефект утворення інтерметалідів у вигляді сигма-фази між перехідними металевими елементами, які мають близькі розміри атомів.

Література:

1. Girin O.B. Review – Electrochemical Phase Formation via a Supercooled Liquid State Stage: Metastable Structures and Intermediate Phases. (2022). *J. Electrochem. Soc.*, 169(9), 092511 (1-39). https://doi.org/10.1149/1945-7111/ac88f9

2. Girin O.B. Electrochemical Phase Formation via a Supercooled Liquid State Stage: Phenomenon Description and Applications. (2024). *J. Solid State Electrochem.*, 28(5), 1427-1461. https://doi.org/10.1007/s10008-023-05682-9

3. Girin O.B. Reorientation of Grain Crystal Lattices in Metals/Alloys During Electrocrystallization Under the Action of Force. (2024). *Mater. Sci. Technol.*, 40(11), P. 838-843. https://doi.org/10.1177/02670836241227018

УДК 620.197.3

ПРОТИКОРОЗІЙНИЙ ЗАХИСТ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ЕКОКОМПОЗИЦІЄЮ НА ОСНОВІ КРОХМАЛЮ ТА КАЛІЙ-НАТРІЙ ТАРТРАТУ

Тимусь М.Б., Корній С.А., Федорів В.І.

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

вул. Наукова, 5,79060, м. Львів

marjana.tymus@gmail.com.ua

Вступ. Арматуру з вуглецевої сталі марки Ст3сп, яка відзначається покращеними експлуатаційними властивостями, широко застосовують для виготовлення залізобетонних конструкцій [1]. Проте під час взаємодії з корозивно-активними середовищами, в умовах експлуатації, вона зазнає корозійного руйнування. Бетонна суміш у свіжому стані характеризується високою лужністю, проте в процесі тверднення цей показник дещо знижується, внаслідок чого посилюються процеси корозійного пошкодження сталі [2]. Для підвищення захисних характеристик бетону, зокрема стосовно сталевої арматури, розроблено та досліджено низку корозійних інгібіторів-добавок. Одним із ефективних представників таких сполук є кальцій нітрат [3]. Однак, особливу увагу приділяють використанню екологічно прийнятних сполук, що є перспективними засобами інгібування корозії [4]. До таких сполук належить природний біополімер – крохмаль. Він є доступним біодеградабельним

полісахаридом, що виробляється із сировини рослинного походження та проявляє синергічні властивості в композиціях із натрієм глютаміновокислим у слабко лужних середовищах [5]. У зв'язку з цим актуальним було дослідження поведінки крохмалю в композиції з іншим співсинергістом – калій-натрій тартратом у середовищі, яке моделює поровий розчин бетону за умов пониженої лужності.

Методика досліджень та матеріали. Корозійну поведінку вуглецевої сталі Ст3сп досліджували у модельному слабко лужному розчині $Ca(OH)_2$ (pH = 10). Як інгібітори застосовували композицію крохмалю (КР) з калій-натрій тартратом (КНТ) за концентрацій від 0,5÷2,5 г/л у співвідношенні 1:1.

Електрохімічні дослідження проводили потенціодинамічним методом із використанням потенціостата Gill AC за швидкості розгортки потенціалу 2 мВ/с. Електрод порівняння – хлоридсрібний (ЭВЛ-1М1), допоміжний – платиновий, робочий електрод – сталь Ст3сп з площею поверхні 1 см². Ефективність інгібування оцінювали методом електрохімічної імпедансної спектроскопії при потенціалі відкритого кола в діапазоні частот 10000–0,01 Гц за амплітуди прикладеного сигналу 10 мВ. Перед експериментами зразки шліфували папером Р320 та знежирювали ацетоном.

Отримані імпедансні спектри після експозиції 24 та 168 год моделювали схемою $R_s(Q_{dl}R_{ct})$, де R_s та R_{ct} – опори корозійного розчину та перенесенню заряду металу, відповідно; $Y_0(Q_{dl})$ – ємність електричного подвійного шару металу, виражена через елемент сталої фази.

Інгібувальну ефективність композицій на основі крохмалю визначали за формулою:

$$\eta = \frac{R_{ct} - R_{ct0}}{R_{ct}} \cdot 100\ \%$$

де: R_{ct}, R_{ct0} – опори переносу заряду металу в середовищі з композицією на основі біополімеру та в неінгібованому слаболужному середовищі, відповідно.

Результати досліджень та їх обговорення. Досліджували композиції КР + КНТ (1:1) за концентрацій від 0,5÷2,5 г/л у співвідношенні 1:1 для визначення протикорозійних характеристик сталі в слабко лужному розчині $Ca(OH)_2$ (рис. 1). Для апроксимації імпедансних спектрів використовували еквівалентне електричне коло $R_s(Q_{dl}R_{ct})$, яке широко застосовують для аналізу

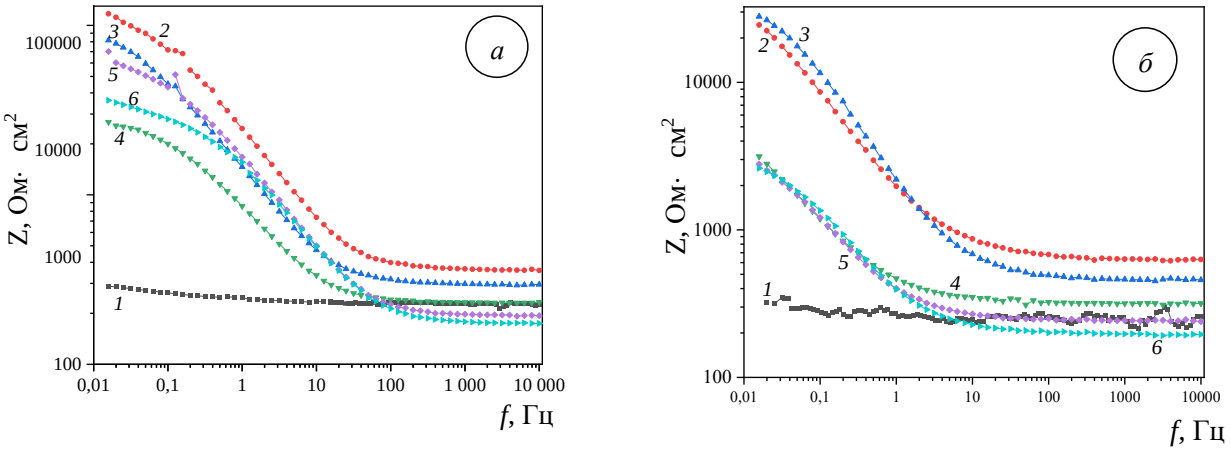


Рис. 1. Імпедансні залежності сталі після експозиції 24 (*а*) та 168 год (*б*) в слабко лужному неінгібованому розчині $Ca(OH)_2$ (1) та інгібованих синергічними композиціями КР + КНТ (1 : 1): 2 – по 0,5 г/л; 3 – по 1 г/л; 4 – по 1,5 г/л; 5 – по 2 г/л; 6 – по 2,5 г/л

електрохімічної поведінки сталі. Встановили (рис. 1*а*), що за 24 год експозиції композиції із вмістом компонентів по 0,5 та 1 г/л проявили найбільш високі інгібувальні властивості, оскільки значення модуля імпедансу $Z_{0,1}$ за частоти 0,1 Гц дорівнювали $8{,}9\cdot10^4$ та $4{,}3\cdot10^4$ Ом·см^2, поляризаційний опір металу R_{ct} = $2{,}0\cdot10^5$ і $1{,}2\cdot10^5$ Ом·см^2 відповідно (табл. 1). Спостерігали також зменшення провідності $Y_0(Q_{dl})$, що моделює ємність захисної плівки на металі, на два порядки (табл. 1) порівняно з не інгібованим $Ca(OH)_2$ середовищем. Це свідчить про утворення на поверхні досить стійкої захисної органічної плівки, яка запобігає йонізації заліза з його переходом у розчин. За більш тривалої експозиції 168 год (рис. 1*б*) інгібувальна здатність дещо падає для композицій, де вміст компонентів складав по 1,5; 2; 2,5 г/л. Ймовірно, це можна пояснити

перенасиченням розчину крохмалем (табл. 1). Слід зауважити, що всі композиції мали високі протикорозійні властивості, оскільки ступінь захисту η сягав близько 100% за експозиції 24 год і зберігав досить високі протикорозійні властивості ще й за тривалої експозиції 168 год (табл. 1).

Таблиця 1. Характеристики еквівалентного електричного кола $R_s(Q_{dl}R_{ct})$, розраховані на основі імпедансних спектрів сталі у контрольному та інгібованих композиціями КР + КНТ (1 : 1) розчинах

Номер кривої згідно рис. 1	R_{ct}, Ом · см^2	$Y_0(Q_{dl})$, sn/ Ом · см^2	$n(Q_{dl})$	R_s, Ом · см^2	η, %
24 год					
1	616	$7{,}9\cdot10^{-3}$	0,63	370	–
2	202310	$1{,}35\cdot10^{-5}$	0,85	775	100
3	116100	$3{,}07\cdot10^{-5}$	0,85	564	99
4	19673	$8{,}03\cdot10^{-5}$	0,79	373	97
5	79909	$2{,}48\cdot10^{-5}$	0,85	282	99
6	30984	$3{,}03\cdot10^{-5}$	0,81	345	98
168 год					
1	350	$1{,}58\cdot10^{-3}$	0,46	240	–
2	25600	$1{,}57\cdot10^{-4}$	0,72	740	98
3	30220	$1{,}13\cdot10^{-4}$	0,79	586	99
4	3500	$4{,}45\cdot10^{-4}$	0,68	341	90
5	2925	$7{,}17\cdot10^{-4}$	0,71	281	88
6	2640	$9{,}76\cdot10^{-4}$	0,71	231	87

Інгібувальну дію крохмалю пояснюють наявністю в його молекулярній структурі електронодонорних гідроксильних груп, які забезпечують адсорбцію полісахариду та утворення поверхневих комплексів із катіонами Fe^{3+} [6]. Проте, його поодиноке використання не сприяє інгібуванню корозії у слабко лужному середовищі [5]. У праці [7] синергізм за поєднання ксантанової камеді з тартратом пояснюють утворенням їхніми молекулами одно- або двокомпо-

нентних комплексів із катіонами заліза, що зумовлює високий захисний ефект. Оскільки ксантанова камідь та крохмаль мають певну подібність за функціональними групами, оскільки обидві речовини є полісахаридами та містять велику кількість гідроксильних груп (OH^-), тому ймовірно подібний механізм присутній і за поєднання крохмалю з калій-натрій тартратом.

Література:

1. Manual to DBN B.2.3-6-2002 "Bridges and pipes. Inspection and Testing".

2. Challenges in material recycling for postwar reconstruction / V. Troian, V. Gots, E. Keita, N. Roussel, U. Angst, R. J. Flatt. // RILEM Technical Letters. – 2022. 7:39 - P. 149 doi.org/10.21809/rilemtechlett.2022.171.

3. Dorn T., Hirsch T., Stephan D. Working mechanism of calcium nitrate as an accelerator for Portland cement hydration // J. of American Ceramic Soc. – 2023. – № 106. – P. 752–766. doi.org/10.1111/jace.18782.

4. Zehra S., Mobin M., Verma C. Biopolymers in sustainable corrosion inhibition // London; New York, Boca Raton. – 2024. – P. 263 doi.org /10.1201/9781003400059

5. Екологічно чиста інгібувальна композиція на основі крохмалю для захисту від корозії залізобетонних конструкцій у слаболужних / Тимусь М.Б., Зінь І.М., Федорів В.І., Корній С.А.// ФХММ – 2025, 61 (6), с. 48-57.

6. Umoren S. A., Eduok U. M. Application of carbohydrate polymers as corrosion inhibitors for metal substrates in different media: A review // Carbohydrate Polymers. – 2016. – V.140. – P. 314–341. doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.12.038.

7. Steel corrosion inhibition by microbial polysaccharide and tartrate mixture / S. Korniy, I. Zin, M. Tymus, O. Khlopyk, M. Holovchuk // J. of Bio- and Tribo-Corr. – 2022. – V. 8, № 1. P. 1–8. doi.org/10.1007/s40735-021-00605-5.

УДК 544.654:546.5

ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ КАТОДНОГО ВИЛУЧЕННЯ МІДІ З КИСЛИХ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОЗЧИНІВ

Корчик Н.М., Буденкова Н.М., Мисіна О.І.

Національний університет водного господарства та природокористування

вул. Соборна, 11, 33000, м. Рівне

o.i.mysina@nuwm.edu.ua

Відомий спосіб очищення концентрованих стічних вод виробництва друкованих плат від іонів міді цементацією на частинках залізного порошку [1]. В кислому середовищі мідь виділяється на залізі у вигляді металевого порошку, а замість неї в розчин переходять іони заліза. Недоліком запропонованого способу є необхідність хімічного осадження іонів заліза, утворення великої кількості реагентного шламу. Подальша утилізація утвореного шламу, а саме: ущільнення, зневоднення пов’язана з матеріальними витратами. Накопичення таких шламів на територіях виробництв становить небезпеку вторинного забруднення навколишнього середовища.

Метою досліджень було знаходження раціональних технологічних параметрів катодного вилучення міді з концентрованих кислих мідьвмісних відпрацьованих технологічних розчинів (ВТР) від операцій підготовки поверхні та покриття.

Кислотно-основні (pH), окисно-відновні (Eh) властивості мідьвмісних ВТР та технологічні параметри їх обробки: густина струму, витрати струму, швидкість вилучення міді з метою очищення, регенерації, утилізації досліджувалися методами потенціометричного титрування в бездіафрагмовому електролізері з графітовими анодом та катодами з нержавіючої сталі, титану, міді прямокутної форми розміром 315 мм на 255 мм

На рис. 1 зображена функціональна схема вилучення міді з кислих ВТР із застосуванням установки катодного вилучення металів (КВМ). Розроблені

технічні завдання на розробку конструкції установок [2] з потужністю 100 і 200 л на добу (відповідно КВМ-100 і КВМ-200). Основу установки складає електролізер з корпусом, футерованим полімерним матеріалом. В корпусі електролізера розміщується блок електродів, аноди виготовлені з графітового вугілля, катоди виготовляються у комплекті: з титану, міді, оцинкованої сталі. Для адаптації установки КВМ до зміни технологічних параметрів та уникнення утворення побічних продуктів разом із основним продуктом (міді) передбачається монтаж та демонтаж катодів. З метою уніфікації установки для застосування в технологіях утилізації ВТР покриття та регенерації ВТР підготовки поверхні передбачається монтаж та демонтаж діафрагми. Для виключення вторинного забруднення ВТР, що очищуються, пропонується відмовитися від застосування в локальних циклах реагентів на всіх стадіях очищення ВТР на користь електрохімічної технології. Остання дозволяє в широких межах змінювати фізико-хімічні властивості розчину.



Рис. 1. Функціональна схема вилучення міді
з кислих відпрацьованих технологічних розчинів

Електрохімічне вилучення міді з кислих концентрованих технологічних розчинів здійснювалось електролізом в бездіафрагмовому електролізері мідьвмісних розчинів травлення з концентрацією Cu^{2+} 0,02-0,9 моль/л при наступних технологічних параметрах: витрата струму Д складає від $180 \cdot 10^3$ Кл/моль до $315 \cdot 10^3$ Кл/моль; густина струму на катоді – від 150 А/м^2 до 200 А/ м^2, t = 20–25 °С.

Для добування блискучих осадів на катоді до електроліту додають тіокарбамід, сульфанол, нафталін, дисульфокислоту, поліакриламід. Відпрацьовані технологічні розчини містять продукти конденсації моносахаридів або полісахаридів, похідні амінів тощо. В результаті досліджень впливу домішок органічного походження на катодні процеси вилучення міді із кислих ВТР було встановлено, що для матового міднення (покриття, які не містять домішок органічного походження) при концентраціях 0,94 моль/л – 0,1 моль/л витрата струму Д складає від $164 \cdot 10^3$ Кл/моль до $315 \cdot 10^3$ Кл/моль (середнє значення – 239,5 Кл/моль). При цьому ступінь вилучення (в межах концентрацій 0,94 моль/л – 0,04 моль/л) складає 96%. Для блискучого міднення при концентраціях від 0,71 моль/л – 0,04 моль/л витрата струму Д складає від $180 \cdot 10^3$ Кл/моль до $315 \cdot 10^3$ Кл/моль. При цьому ступінь вилучення (в межах концентрацій 0,71 моль/л – 0,04 моль/л) складає 97%. Встановлений вплив органічних домішок на катодні процеси вилучення міді з кислих ВТР, а саме збільшення ступеня вилучення міді та зменшення середнього значення витрати струму на один моль.

На рис. 2 представлені дані щодо зміни концентрації міді від витрати струму від операцій матового та блискучого міднення.

В результаті проведених досліджень [3] у дослідно-промислових умовах визначені витрати струму, густина струму, витрати струму на 1 моль, за яких цей процес є енергетично вигідним. Для підтримання низько температурного режиму рекомендовано проводити процес електролізу при помірних густинах струму на катоді, що складає не більше 200 А/м^2.

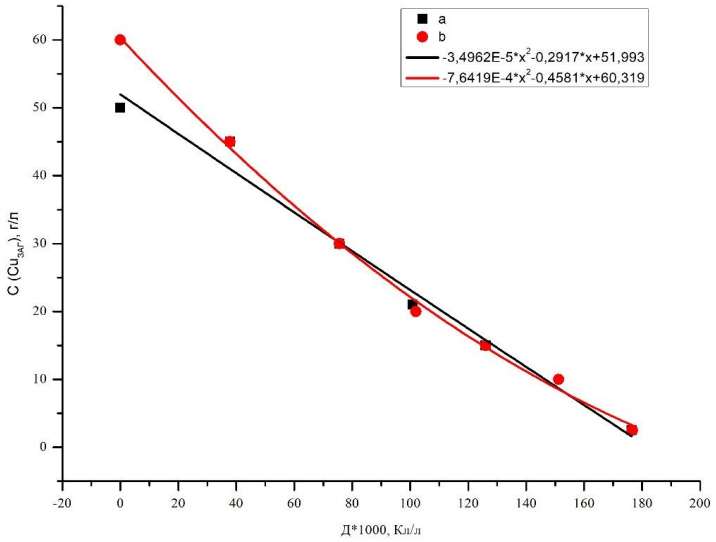


Рис. 2. Зміна концентрації міді від витрати струму від операцій матового та блискучого міднення: *a* – матове міднення; *b* – блискуче міднення

Покращення процесу та уніфікація обладнання досягається шляхом монтажу та демонтажу катодів, діафрагми в залежності від того, який вид ВТР обробляється і в якому режимі електролізу працює установка. Доочищення розчинів від міді відбувається на поверхні залізних ошурок, що дозволяє проводити електроліз тільки в енергетично вигідних умовах.

Література:

1. Зоря О., Терновцев О., Зоря Д. Очищення концентрованих стічних вод виробництва друкованих плат від іонів міді. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2021. № 35. С. 11–20. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2021.35.11-20

2. Корчик Н. М., Буденкова Н. М., Сень О. М. Електрохімічні процеси вилучення металів з відходів гальванічного виробництва. *Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць.* Рівне: НУВГП. 2013. Вип. 3(63), С. 133–141.

3. Yatskov M., Korchyk N., Budenkova N., Mysina O., Kovalchuk S. (2025). Determining basic technological parameters for the process of electrochemical extraction of copper from acid sulfate concentrated technological solutions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies,* 5(10(137)), 41–51. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.341531

УДК 620.193.4:620.197.3:678.746.2

МОДЕЛЬ ЗАХИСНОЇ ПЛІВКИ НА МЕТАЛІ У КИСЛИХ РОЗЧИНАХ ХІТОЗАНУ ТА ФІТИНОВОЇ КИСЛОТИ

Мамренко О.С., Чигиринець О.Е.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

пр. Берестейський, 37, 03056, м. Київ

mamrenkoas@gmail.com

Актуальність досліджень. Одним із важливих питань сьогодення є надійність та працездатність металевого обладнання та металоконструкцій підприємств у різних галузях промисловості, що працюють у агресивних середовищах. Газо-нафтовидобувна промисловість відрізняється не тільки високою металоємністю, але і надзвичайно агресивними середовищами, в яких експлуатується обладнання. У нафтогазових родовищах України пластові води насичені в основному вуглекислим газом, що підвищує агресивність середовищ за рахунок збільшення кислотності. Останнім часом відмічається поява і сірководню, який виникає в основному внаслідок забруднення свердловин мікроорганізмами. Все це в сукупності призводить до швидкого виходу із ладу металевого обладнання, що значно підвищує витрати на ремонт та собівартість видобутку. Тому актуальним напрям-ком є розробка способів зниження швидкості корозійного руйнування в умовах газо- та нафтовидобутку.

Одним із перспективних методів є використання інгібіторів корозії. Проте більшість відомих інгібіторів корозії для таких середовищ є, як правило, хімічно синтезованими сполуками, які можуть наносити загрозу оточуючому середовищу. Тому останнім часом перспективним напрямком є пошук інгібуючих речовин, які б були біодоступними та відповідали сучасним напрям-кам сталого розвитку.

До найбільш цікавих речовин належить хітозан, який отримують шляхом деацетилювання хітину, основного компоненту панцирів ракоподібних, комах та

ін. Хімічна структура хітозану обумовлює його інгібуючі властивості відносно корозії металу [1]. Маючи позитивний заряд на молекулі завдяки протонуванню аміногруп у кислих розчинах, він має відмінну здатність до адсорбції на поверхні металу. Однак, його недостатня ефективність потребує створення синергетичних комбінацій з іншими добавками, які мають в своїй структурі атоми-донори електронів, такі як N, O, S та P. Таким вимогам відповідає фітинова кислота ($C_6H_{18}O_{24}P_6$) – органічна фосфорнокисла сполука, що екстрагується із рослин [2].

Мета роботи. Моделювання структури захисної плівки на металі з хітозану та фітинової кислоти в оцтово-хлоридному розчині без та за умов насичення сірководнем, що імітує умови експлуатації металевого обладнання у нафтогазовидобувній промисловості.

Методика досліджень. Корозійні дослідження сталі марки X52 (L360) проводили протягом 96 годин у розчині NACE TM 0284-2026, який складався з 0,5%-вого розчину оцтової кислоти і 5%-вого розчину натрій хлориду гравіметричним методом без та за умови насичення сірководнем. В якості інгібітору корозії досліджено суміш хітозану і фітинової кислоти за концентрацій 500 та 200 ppm відповідно.

Результати досліджень. В роботі вивчали вплив сірководню у водному кислому середовищі на ефективність захисної дії суміші «зелених добавок» інгібуючої дії. Отримані результати показали, що у розчині NACE корозійний процес досить значний, ступінь захисту сталі сумішшю інгібіторів складає всього 9%. Проте у розчині NACE, який був насичений сірководнем, ступінь захисту склав близько 53%, що у декілька разів більше. Отриманий результат пояснюється тим, що у насиченому сірководнем розчині на поверхні металу адсорбуються іони HS^-, які, за рахунок більш високої концентрації негативного заряду на поверхні металу, створюють так званий «місток», який сильніше притягує молекули хітозану. При цьому молекули фітинової кислоти додатково ущільнюють адсорбційний шар, що сприяє покращенню його захисних

властивостей. Без сірководню адсорбційний шар є недостатньо заповненим, а отже – мало захисним. Схема структури адсорбційного шару на поверхні металу без сірководню і з ним представлена на рис. 1.

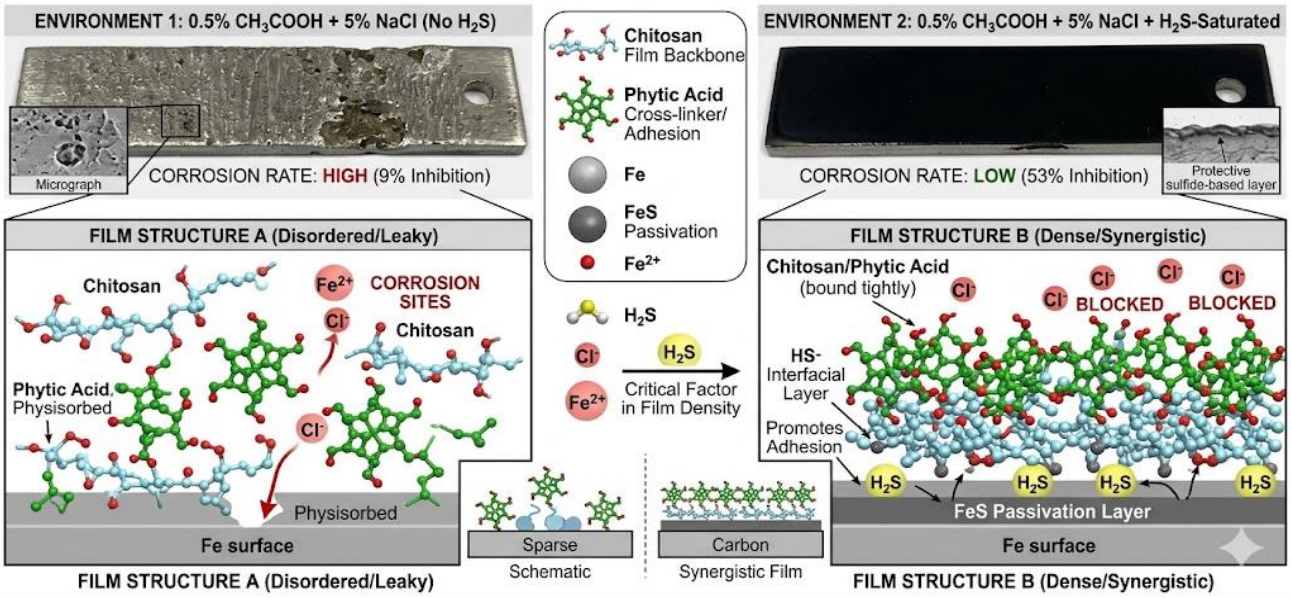


Рис. 1. Модель структури адсорбційного шару на металі в оцтово-хлоридному розчині за присутності хітозану та фітинової кислоти

Висновки. Перспективним напрямком захисту у сірководневих середовищах можуть слугувати синергічні суміші, в тому числі на основі хітозану та фітинової кислоти за рахунок покращення адсорбційних властивостей хітозану в присутності іонів HS^-.

Література:

1. Umoren, S. A.; Banera, M. J.; Alonso-Garcia,; T. C.; Gervasi, A.; Mirífico, M. V. Inhibition of mild steel corrosion in HCl solution using chitosan. *Cellulose*. 2013, 20, 2529. https://doi:10.1007/s10570-013-0021-5

2. Gao X., Zhao C., Lu H., Gao F., Ma H. Influence of phytic acid on the corrosion behavior of iron under acidic and neutral conditions. *Electrochimica Acta*, 2014, 150. 188-196. https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.09.160

УДК 678.026:678.674:620.197

МОДИФІКУВАННЯ ПОЛІЕСТЕРНИХ ЗВ'ЯЗНИХ ФУНКЦІЙНОАКТИВНИМИ ДОДАТКАМИ ДЛЯ БАГАТОШАРОВИХ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ

Масюк А.С., Катрук Д.С., Кечур Д.І., Кисіль Д.Б.

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. Степана Бандери, 12, 79013, м. Львів

andrii.s.masiuk@lpnu.ua

Сучасний розвиток захисних композиційних матеріалів для військової і цивільної техніки потребує створення полімерних покриттів із комплексом регульованих експлуатаційних, теплофізичних та електрофізичних властивостей. Особливий інтерес викликають багатошарові композиційні покриття на основі поліестерних реакційноздатних зв'язних, модифікованих функційноактивними додатками та електропровідними наповнювачами, здатними забезпечувати ефективну взаємодію з електромагнітним випромінюванням у широкому діапазоні частот.

Для модифікування поліестерних систем використовували функційноактивні додатки різної природи: епоксидовану соєву оливу, полівінілбутираль, а також електропровідні наповнювачі – графіт та сажу. Використання таких додатків дозволяє регулювати міжфазні взаємодії у системі «полімерна матриця – наповнювач», покращувати технологічну сумісність компонентів, впливати на процеси структуроутворення та морфологію композиційних покриттів.

Нижній шар покриття формували на основі ненасиченої поліестерної смоли, модифікованої порожнистими скляними мікросферами та полівінілбутиралем. Порожнисті мікросфери забезпечують зниження густини та теплопровідності композиції, а також формування бар'єрних властивостей покриття. Полівінілбутираль використовується як адгезійний модифікатор і компатибілізатор, що сприяє покращенню змочування металевої поверхні та зниженню внутрішніх напружень у композиції. Для верхнього функціонального шару

використано поліестерний гелькоут, модифікований графітом та технічним вуглецем.

Використання графіту та технічного вуглецю дозволяє формувати систему провідних міжчастинкових контактів у полімерній матриці, що сприяє зміні електрофізичних характеристик композиції та підвищує здатність покриття до взаємодії з електромагнітним випромінюванням. Додавання технічного вуглецю забезпечує зниження перколяційного порогу та стабілізацію провідної структури композиційного шару.

Встановлено, що зі збільшенням вмісту порожнистих скляних мікросфер у нижньому шарі в межах 5–20 мас.% спостерігається зниження густини та ефективної теплопровідності композиції. Введення полівінілбутиралю у кількості 1–3 мас. % сприяє підвищенню адгезійної міцності та ударної в'язкості покриття за рахунок формування додаткових полярних міжмолекулярних взаємодій у системі «полімер – наповнювач – метал». Для верхнього шару встановлено, що введення графіту в межах 5–10 мас.% та технічного вуглецю в кількості 1–5 мас.% забезпечує формування стабільної провідної структури композиції.

Таким чином, оптимізація концентраційного співвідношення мікросфер, полівінілбутиралю, графіту та технічного вуглецю дозволяє цілеспрямовано регулювати адгезійні, теплофізичні та електрофізичні властивості багатошарового поліестерного покриття.

Фінансування. Роботу виконано за рахунок конкурсу Національного Фонду Досліджень України коштами гранту Президента України для підтримки наукових досліджень і розробок молодих учених-докторантів (до 35 років включно) 2025.04/0002 «Нові багатошарові композиційні покриття для маскування військової техніки».

АВТОРСЬКИЙ ПОКАЖЧИК

А

Антоненко Г.О. 63

Б

Базель Я.Р. 118

Балуєв Р. 89

Бандура Л.П. 130

Баскевич О.С. 31

Басова К.М. 118

Баштаник П.І. 59, 63, 65

Бєляновська О.А. 129

Бойко Ю.В. 32, 36

Бородюк К.М. 9

Буденкова Н.М. 198

Бураков М.І. 152

Бутенко Е.О. 136

Бутиріна Т.Є. 183

В

Варваренко С.М. 9

Величко О.В. 163

Вишнікін А.Б. 118

Вислогузова Т.В. 5, 110

Волчук В.М. 187

Воробець А.В. 115

Вортман М.Я. 16

Г

Гірін О.Б. 189

Гладир І.І. 96

Голіченко О.А. 149, 163

Голобородько К. К. 140, 167

Грицан Ю.І. 173

Гриценко Т.О. 100

Д

Даниляк М.-О.М. 29

Деркач О.Д. 106

Дзязько Ю.С. 73, 77

Дутка В. 81

Дутка Ю. 81

З

Заремба Г.В. 59, 129

Зінь І.М. 177

І

Іванко І. А. 140

Іванченко А.В. 173
Іутинська Г.О. 16
К
Кабат О.С. 36, 89, 106
Калюжний О. Б. 102
Катрук Д.С. 205
Кечур Д.І. 205
Кисіль Д.Б. 205
Китова Д.Є. 149
Кісельова Т.О. 110
Кічура Д. Б. 121, 125
Клепко В.В. 19
Ковалишин Я.С. 23
Ковальов С. В. 181
Козирко Д.В. 27
Козлова Г.А. 96
Коптєва Г.Є. 16
Коптєва Ж.П. 16
Корнієнко І.С. 13
Корній С.А. 29, 177, 193
Король Н.І. 170
Королянчук Д.Г. 187
Корчик Н.М. 198
Крамарьов О.С. 130
Крамарьов С.М. 130
Криволапов Д.С. 65
Куделко К.О. 77
Кудлай П.С. 39
Кудрявцев Ю.О. 27
Кулєш Д.В. 110
Л
Лемешко В.М. 16
Лєвшін В.В. 163
Лиходід К. 81
Лісняк С.О. 96
Ловинська В.М. 140, 167
Ловчицька В.С. 23
М
Майкович О.В. 9
Макаренко Д.В. 106
Максимова Н.М. 118
Малевич О.О. 187

Мамренко О.С. 202
Марченко М. М. 102
Марчук І.Є. 23
Масюк А.С. 205
Мисіна О.І. 198
Мідяна Г. 81
Молоков В.С. 27
Момот І.С. 173
Моравський В.С. 100
Москалець В.О. 118
Мулеса О.Ю. 170
Муранов Є.С. 106

Н

Надашкевич З.Я. 9
Назаренко А.О. 27
Назарець Д.С. 36
Наражайко Л.Ф. 5
Несін С.Д. 19
Нечаєва Л.Ю. 5

О

Овчаренко В.І. 187
Оскандо В.А. 63

П

Перлова О.В. 73
Петрушина Г.О. 118
Платков В. Я. 102
Потапчук М.О. 11, 13
Прокопенко Н.І. 31
Проценко В.С. 183

Р

Рождественська Л.М. 77
Рожнова Р.А. 5, 96, 110
Рула І. В. 32, 140

С

Сачко А.В. 115
Свердліковська О.С. 11, 13
Сема О.В. 115
Симканич О.І. 170
Ситар В.І. 27
Ситник С. А. 140, 167
Сливка М.В. 170
Собечко І.Б. 121
Сорока О.В. 173
Степанова І. Є. 140

Субтельний Р.О. 125

Сукачов В.В. 47, 51, 54

Суха І.В. 65, 129

Сухацький О.Д. 183

Сухий К.М. 59, 63, 65, 129

Т

Тимусь М.Б. 193

Токар А.В. 145

Третяк С.Ю. 149

Ф

Федорів В.І. 193

Фролова Л.А. 31

Х

Хлопик О.П. 177

Хом'як М.В. 100

Хомутов А.В. 59

Хорошун К.О. 130

Ч

Чигвінцева О.П. 32, 39

Чигиринець О.Е. 202

Чміленко В.В. 77

Чупіков О.М. 130

Ш

Шайдеров Д.А. 183

Шанталій Т.А. 19

Шевченко В.В. 16

Шехов І.А. 36

Шумейко О.Є. 152

Ю

Юхно Н. А. 181

A

Anishchenko A.A. 156

Astapenko O.O. 85

B

Berezhnytska O.S. 94

Bergamasco R. 69

Bocharov K.O. 159

C

Chyhvintseva O. 35

D

Dašić P. 35

Deineka K.Yu. 90

Deineka I.O. 90

Denysenko V.D. 85

Dzyazko Yu.S. 69

G

Grytsenko B. 159

I

Ivakha N.B. 94

K

Kashner O.Y. 159

Khoroshilov G.E. 159

Klots E.A. 156

Kravchenko S.V. 156

M

Molina L.C.A. 69

N

Naumenko Yu.V. 90

P

Pacola Gonçalves I. 69

Pini Pereira P. 69

R

Ribeiro A.C. 69

Rohovtsov O.O. 94

Rozhnov A.S. 85

S

Shevchenko V.V. 43

Shishkina S.V. 156

Shtamburg V.G. 156

T

Takse M.O. 43

Tkachenko I.M. 43

Z

Zabchyk S.V. 90

З М І С Т

Секція 1. Полімерне матеріалознавство.
Хімія та технологія композиційних і наноматеріалів 4

Віслогузова Т.В., Рожнова Р.А., Нечаєва Л.Ю., Наражайко Л.Ф.
Біосумісні гідрогелеві матеріали з пролонгованим вивільненням дакарбазину 5

Майкович О.В., Бородюк К.М., Надашкевич З.Я., Варваренко С.М.
Макропористий матеріал на основі желатину альгінату натрію для терапії ран 9

Потапчук М.О., Свердліковська О.С.
Іонно-керована гідрогелева капсула як система регулювання вологозабезпечення та живлення рослин 11

Потапчук М.О., Корнієнко І.С., Свердліковська О.С.
Модифікація полімерних композиційних матеріалів полімерними іонними рідинами функціонального призначення 13

Вортман М.Я., Коптєва Ж.П., Коптєва Г.Є.,
Іутинська Г.О., Лемешко В.М., Шевченко В.В.
Поліетергаунідинуретанакрилат та його стійкість до мікробної деструкції 16

Шанталій Т.А., Несін С.Д., Клепко В.В.
Діелектричні властивості поліімідних нанокомпозитів на основі тетраетоксисилану та метилтриетоксисилану і карбонанотрубок . . . 19

Ковалишин Я.С., Ловчицька В.С., Марчук І.Є.
Модифікація поверхні графіту Відновленням діазонієвих солей 23

Козирко Д.В., Ситар В.І., Молоков В.С.,
Назаренко А.О., Кудрявцев Ю.О.
Визначення меж сумісності ароматичного поліаміду з лінійними кремнійорганічними модифікаторами 27

Даниляк М.-О.М., Корній С.А.
Вплив протикорозійної добавки на основі природного мінералу монтморилоніту на корозію арматурної сталі в модельному середовищі пористого бетону, забрудненого хлоридами 29

Фролова Л.А., Прокопенко Н.І., Баскевич О.С.
Дослідження структурних, магнітних, оптичних властивостей полімерних композитів ПВС-$CoFe_2O_4$-CeO_2 31
Чигвінцева О.П., Рула І.В., Бойко Ю.В.
Органопластики на основі ароматичних поліамідів 32
Olha Chyhvintseva, Predrag Dašić
Physical-mechanical characteristics of composites based on polyarylate . . 35
Кабат О.С., Бойко Ю.В., Назарець Д.С., Шехов І.А.
Визначення меж експлуатації композиту на основі ароматичного поліаміду і гібридного наповнювача 36
Чигвінцева О.П., Кудлай П.С.
Створення матеріалів із заданими властивостями в агрономії 39
Takse M.O., Tkachenko I.M., Shevchenko V.V.
Quantitative validation of azobenzene switching efficiency in fluorinated main-chain poly(arylene ether)s using a tailored molecular model 43
Сукачов В.В.
Полімерні композиційні матеріали на основі полісилоксануретанів. Синтез олігомерних кремнійорганічних карбофункціональних α-спиртів 47
Сукачов В.В.
Полімерні композиційні матеріали на основі полісилоксануретанів. Синтез і дослідження полісилоксануретанових покриттів 51
Сукачов В.В.
Синтез і дослідження термічної деструкції кремнійорганічних уретанів 54
Хомутов А.В., Баштаник П.І., Заремба Г.В., Сухий К.М.
Базальтопластики на основі модифікованого поліаміду 59
Антоненко Г.О, Баштаник П.І., Оскандо В.А., Сухий К.М.
Базальтопластики з комбінованим наповнювачем на основі поліпропілену 63
Криволапов Д.С., Баштаник П.І., Сухий К.М., Суха І.В.
Регулювання механічних властивостей деревинно-полімерних композитів 65

Pini Pereira P., Pacola Gonçalves I., Molina L.C.A.,
Dzyazko Yu.S., Ribeiro A.C., Bergamasco R.
3D printed uf membranes produced from polylactic acids for decolorization of aqueous solutions 69
Перлова О.В., Дзязько Ю.С.
Полімер-неорганічні волокнисті іоніти для адсорбційного вилучення сполук U(VI) із водних розчинів 73
Чміленко В.В., Дзязько Ю.С., Рождественська Л.М., Куделко К.О.
Особливості модифікування полімерних мембран для фільтраційного розділення 77
Дутка В., Мідяна Г., Дутка Ю., Лиходід К.
Особливості полімеризації вінілових мономерів за наявності високодисперсного кліноптілоліту 81
Denysenko V.D., Rozhnov A.S., Astapenko O.O.
Study of the biodegradation of polyurethane ureas as bioresorbable membranes for GBR 85
Балуєв Р., Кабат О.
Особливості тертя та зношування пари фторполімер - сталь при змащуванні поліметилсилоксановою рідиною 89
Deineka K.Yu., Deineka I.O., Naumenko Yu.V., Zabchyk S.V.
Evaluation of the influence of rotation speed on the energy consumption of impact, compression and abrasion processes in a tumbling mill 90
Ivakha N.B., Berezhnytska O.S., Rohovtsov O.O.
Hybrid systems based on ytterbium(III) curcuminate 94
Лісняк С.О., Гладир І.І., Козлова Г.А., Рожнова Р.А.
Синтез та дослідження ізоціануратвмісних пінополіуретансечовин з хлоргексидином 96
Гриценко Т.О., Моравський В.С., Хом'як М.В.
Структура та властивості полівінілпіролідонвмісних гідрогелевих матеріалів з комбінованою матрицею 100
Калюжний О. Б., Платков В. Я., Марченко М. М.
Пористий політетрафторетилен для фільтрації та регенерації трансформаторних олив 102

Деркач О.Д., Макаренко Д.В., Муранов Ю.В., Кабат О.С.
Розробка полімерних композиційних матеріалів для вузлів тертя машин із видобутку води на Місяці 106
Кулєш Д.В., Вислогузова Т.В., Кісельова Т.О., Рожнова Р.А.
Біосумісність полімерних лікарських форм із дакарбазином на основі гідрофільних поліакриламідних гелів, модифікованих оліго-N-вінілпіролідоном 110
Секція 2. Аналітична хімія. Інноваційні технології харчової промисловості 114
Воробець А.В., Сачко А.В., Сема О.В.
Інноваційні технології прямої сферифікації кульок боба з ягідного відвару барбарису 115
Петрушина Г.О., Максимова Н.М., Вишнікін А.Б., Базель Я.Р., Москалець В.О., Басова К.М.
Дослідження вмісту поверхнево-активних речовин у зливових стоках та у водах річки Дніпро в районі їх скиду 118
Кічура Д. Б., Собечко І.Б.
Новітні аналітичні рішення для інструментальної оцінки якості вин . . 121
Кічура Д. Б., Субтельний Р.О.
Інновації у процесах стабілізації виноматеріалів та вин 125
Суха І.В., Заремба Г.В., Сухий К.М., Бєляновська О.А.
Екзотермічні суміші для безполуменевого нагрівання харчових продуктів 129
Крамарьов С.М., Бандура Л.П., Чупіков О.М., Хорошун К.О., Крамарьов О.С.
Оптимізація фосфорного живлення рослин пшениці м’якої озимої шляхом проведення передпосівної інкрустації насіння фосфоровмісним препаратом Дефенс С 130
Бутенко Е.О.
Очищення сільськогосподарських стічних вод від нітрат-іонів за допомогою синтетичних аніонних глин 136

Ситник С. А., Рула І. В., Голобородько К. К., Іванко І. А., Ловинська В. М., Степанова І. Є.
Дослідження характеристик термічного розкладу деревини стовбурів інтродукованих видів дерев 140
Секція 3. Актуальні проблеми синтезу, структури та реакційної здатності органічних та елементоорганічних сполук 144
Токар А.В.
Квантово-хімічні аспекти сольватаційних ефектів середовища в розрахункових *континуум*-методах 145
Китова Д.Є., Третяк С.Ю., Голіченко О.А.
Експериментальні підходи до підвищення біодоступності та біологічної активності куркуміну 149
Шумейко О.Є., Бураков М.І.
Міцелярні ефекти димерних та мономерних імідазолієвих пар у реакціях розщеплення естерів фосфору та сірки 152
Shtamburg V.G., Klots E.A., Kravchenko S.V., Anishchenko A.A., Shishkina S.V.
Conversion *N*-alkoxy-*N*-(triphenylphosphonium)urea chlorides and *N*-alkoxy-*N*-(dimethylsulfonium)urea chlorides in 3-alkoxy-5-phenylimidazolidine-2,4-diones 156
Bocharov K.O., Kashner O.Y., Grytsenko B., Khoroshilov G.E.
Synthesis and computantial research of docking interaction of carboxamideindolizines with casein kinase 1δ enzyme 159
Лєвшін В.В., Величко О.В., Голіченко О.А.
Взаємодія біядерного кластеру ренію(III) з біотином 163
Ситник С.А., Голобородько К.К., Ловинська В.М.
Особливості компонентного складу органічних сполук листків видів роду Aesculus за ураження Cameraria ohridella 167
Король Н.І., Мулеса О.Ю., Симканич О.І., Сливка М.В.
Квантово-хімічний скринінг спроєктованих гетероциклічних полімерних димерів у поєднанні з QSPR-моделюванням для матеріалів органічних сонячних елементів 170
Іванченко А.В., Сорока О.В., Грицан Ю.І., Момот І.С.
Синтез рослинної сировини з одержанням сорбентів для вилучення важких металів з виробничих стічних вод 173

Секція 4. Електроосадження металічних і полімерних покриттів. Захист від корозійного руйнування. Лакофарбові та захисні покриття 176

Хлопик О.П., Зінь І.М., Корній С.А.
Інгібування корозіїї дюралюмінію композицією на основі гуміарабіку та цинку аспартату за механічної активації його поверхні 177

Юхно Н. А., Ковальов С. В.
Електрохімічне полірування титану із застосуванням багатокомпонентних електролітів для покращення якості поверхні . . 181

Проценко В.С., Шайдеров Д.А., Сухацький О.Д., Бутиріна Т.Є.
Нікель–церій-вмісні композиційні покриття, одержані з низькотемпературного евтектичного розчинника, як поліфункціональні електрокаталізатори для зеленої водневої енергетики 183

Королянчук Д.Г., Овчаренко В.І., Малевич О.О., Волчук В.М.
Покриття металами та сплавами підгрупи заліза для електролітичного виділення водню 187

Гірін О.Б.
Будова та електрохімічне фазоутворення проміжних сигма-фаз в матеріалах 189

Тимусь М.Б., Корній С.А., Федорів В.І.
Протикорозійний захист залізобетонних конструкцій екокомпозицією на основі крохмалю та калій-натрій тартрату 193

Корчик Н.М., Буденкова Н.М., Мисіна О.І.
Дослідно-промислові дослідження катодного вилучення міді з кислих відпрацьованих технологічних розчинів 198

Мамренко О.С., Чигиринець О.Е.
Модель захисної плівки на металі у кислих розчинах хітозану та фітинової кислоти 202

Масюк А.С., Катрук Д.С., Кечур Д.І., Кисіль Д.Б.
Модифікування поліестерних зв’язних функційноактивними додатками для багатошарових захисних покриттів 205

Авторський покажчик 207

У конференції взяли участь 165 викладачів, науковців, аспірантів і студентів із 36 навчальних, наукових закладів та приватних підприємств 19 міст України та зарубіжжя

№ з/п	Назва ВНЗ	Місто
1	Chemical Ecology Group, Bielefeld University	Bielefeld, Germany
2	Pavol Josef Šafárik University in Košice	Košice, Slovak Republic
3	State University of Maringá	Maringá, Brazil
4	Université Côte d'Azur	Nice, France
5	Public university in Prešova	Prešov, Slovakia
6	Université Grenoble Alpes	Saint-Martin-d'Hères, France
7	Academy of Professional Studies Sumadija - Departament Trstenik	Trstenik, Serbia
8	Дніпровський державний аграрно-економічний університет	Дніпро
9	Дніпровський національний університет ім. О. Гончара	
10	ДУ Інститут зернових культур НААН України	
11	Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України	
12	ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет» Українського державного університету науки і технологій	
13	ПП НКФ «Імпторгсервіс»	
14	ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»»	Запоріжжя
15	Дніпровський державний технічний університет	Кам’янське
16	Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України	Київ
17	Інститут мікробіології та вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України	
18	Інститут органічної хімії НАН України	
19	Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України	

20	Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України	
21	Національний медичний університет ім. О.О. Богомолець	
22	Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»	
23	Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля	
24	Інституту фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України	Львів
25	Львівський державний університет безпеки життєдіяльності	
26	Львівський національний університет ім. Івана Франка	
27	Національний університет «Львівська політехніка»	
28	Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України	
29	ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»	Маріуполь-Дніпро
30	Одеський національний університет імені І. І. Мечникова	Одеса
31	Луганський національний університет ім. Т. Шевченка	Полтава
32	ВСП «Рівненський технічний фаховий коледж Національного університету водного господарства та природокористування»	Рівне
33	Національний університет водного господарства та природокористування	
34	ДВНЗ «Ужгородський національний університет»	Ужгород
35	Державний біотехнологічний університет	Харків
36	Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича	Чернівці

Наукове видання

МАТЕРІАЛИ
V МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

“Теоретичні та експериментальні аспекти сучасної хімії та матеріалів”

ТАСХ 2026

Відповідальні за випуск – Чигвінцева О.П., Рула І.В.

Підписано до друку 20.05.2026 р.
Формат 60 × 80/16. Папір офс.
Ум. друк. арк. 12,8. Обл. вид. арк. 8,8. Тираж 100 прим. Зам. № 13397

Видавець «ФОП Середняк Т.К.», 49000, Дніпро, 18, а/с 1212
Свідоцтво про внесення суб’єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 4379 від 02.08.2012.
Ідентифікатор видавця в системі ISBN 8923
49000, Дніпро, 18, а/с 1212
тел. (096)-308-00-38, (056)-798-04-00
E-mail: 7980400@gmail.com

Віддруковано на базі поліграфічно-видавничого центру «Кавун»
49018, Дніпро, 18, а/с 1212
тел. (066)-55-312-55, (056)-798-22-47
E-mail: arbuz.in.ua@gmail.com
www.arbuz.in.ua