

**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  
ІІІ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ  
КОНФЕРЕНЦІЇ**

**“Теоретичні та експериментальні аспекти  
сучасної хімії та матеріалів”**

**20 травня 2024 р.**

**Дніпро  
“Середняк Т.К.”  
2024**

УДК 54(062.552)

Ч 58

Теоретичні та експериментальні аспекти сучасної хімії та матеріалів ТАСХ-2023: Матеріали III Міжнародної наукової конференції. 20 травня 2024 р., м. Дніпро. – Дніпро: “Середняк Т.К.”, 2024. – 216 с.

**ISBN 978-617-8139-44-5**

У збірнику представлені тези доповідей учасників заочної конференції у авторській редакції за тематиками: полімерне матеріалознавство; хімія та технологія композиційних і наноматеріалів; аналітична хімія навколишнього середовища та продуктів агровиробництва; 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 978-617-8139-44-5**

## **ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ**

### ***Голова комітету:***

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

### ***Члени програмного комітету:***

**Алієв Е.Б.**, д.т.н., старший дослідник, професор кафедри інжинірингу технічних систем ДДАЕУ;

**Баштаник П.І.**, к.т.н., доцент кафедри ТПП та ПМ НІІ УДХТУ;

**Варгалюк В.Ф.**, д.х.н., проф., проф. кафедри фізичної, органічної та неорганічної хімії ДНУ;

**Вишнікін А.Б.**, д.х.н., проф., професор кафедри аналітичної хімії та хімічної технології ДНУ, професор кафедри аналітичної хімії Університету ім. П.Й. Шафарика у м. Кошице (Словаччина);

**Голіченко О.А.**, д.х.н., проф., в.о. завідувача кафедри неорганічної хімії НІІ УДХТУ;

**Деркач О.Д.**, к.т.н., доц., завідувач кафедри ЕМТП ДДАЕУ;

**Кабат О.С.**, д.т.н., проф., завідувач кафедри інноваційної інженерії НІІ УДХТУ;

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

**Науменко О.П.**, д.т.н., проф., професор кафедри інноваційної інженерії НІІ УДХТУ;

**Новіцький Р.О.**, д.б.н., проф., завідувач кафедри ВБА ДДАЕУ;

**Пальчиков В.О.**, д.х.н., проф., директор НДІ хімії та геології ДНУ;

**Проценко В.С.**, д.х.н., проф., професор кафедри фізичної хімії НІІ УДХТУ;

**Свердліковська О.С.**, д.х.н., проф., декан факультету економіко-гуманітарних наук та права, професор каф. ТПП та ПМ НІІ УДХТУ;

**Ситар В.І.**, к.т.н., проф., професор кафедри інноваційної інженерії НІІ УДХТУ;

**Стець Н.В.** к.х.н., доц., завідувач кафедри фізичної, органічної та неорганічної хімії ДНУ;

**Черваков О.В.**, д.т.н., проф., завідувач кафедри технології природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції НІІ УДХТУ;

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

**Чурсінов Ю.О.**, д.т.н., професор кафедри харчових технологій ДДАЕУ;

**Штамбург В.Г.**, д.х.н., проф., проф. фармації та технології органічних речовин НІІ УДХТУ.

## **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ**

### ***Голова організаційного комітету:***

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

### ***Члени організаційного комітету:***

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

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

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

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

**Бойко Ю.В.**, старший викладач кафедри хімії ДДАЕУ.

## *Секція 1*

---

*Полімерне матеріалознавство*  
*Хімія та технологія*  
*композиційних і наноматеріалів*

---

**POLYIMIDE AND POLYURETHANE BASED POLYMER  
NANOCOMPOSITES WITH SPECIFIC  
ELECTROMAGNETIC PROPERTIES**

**Kozak N.<sup>1</sup>, Shantalii T.<sup>1</sup>, Matzui L.<sup>2</sup>, Kosyanchuck L.<sup>1</sup>,  
Vovchenko L.<sup>2</sup>, Dragan K.<sup>1</sup>, Antonenko O.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Institute of Macromolecular Chemistry  
of National Academy of Sciences of Ukraine,  
48 Kharkiv chaussee, 02160, Kyiv, Ukraine*

*<sup>2</sup>Facultie of Physics of Kyiv Taras Shevchenko National University,  
64/13 Volodymyrska str., 01601, Kyiv, Ukraine*

*shantaliitiana@gmail.com*

The synthesizing of new composite materials with specified electromagnetic properties based on polymer host matrices and functional fillers is an actual problem. Composite materials characterized by low levels of electromagnetic losses transparent to certain frequency ranges find application covers for various antenna devices: in ground-based radar stations, antennas for mobile communication base stations, in aircraft and surface vessels. On the other hand to reduce radiation levels, through the side borders of antenna devices, it is necessary to use EMI absorbing composite materials.

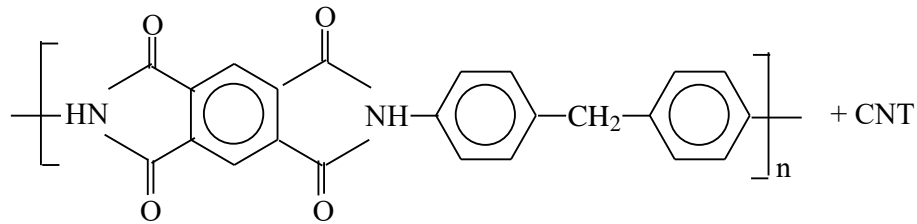
The present study analyzes two types of polymer nanocomposites – CNT filled polyimide and linear polyurethane/CNT/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> composite.

Such properties of aromatic polyimides (PI) as high heat resistance, the possibility of their long-term use at elevated temperatures, non-flammability in a wide temperature range, physic, mechanic and dielectric properties ensured interest to use of polyimides as a polymer matrix for composite materials.

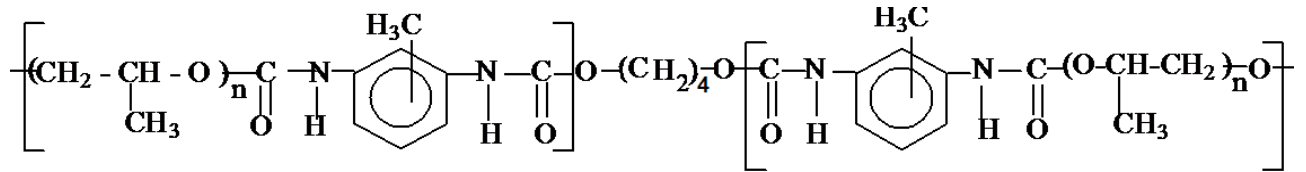
The introduction of carbon and magnetic nanofillers into the polyurethane film-forming matrix can provide the creation of advanced composite materials that are able to absorb microwave radiation, possess good mechanical characteristics and low

specific gravity as well as are resistant to various external conditions and could find use as screening and absorbing materials for electromagnetic microwave radiation.

We proposed the preparation of a nanocomposites by the method of "in situ" polymerization of 4,4'-diaminodiphenylmethane and pyromellitic dianhydride with the addition of 0.01; 0.05; 0.06; 0.08; 0.1; 0.2; 0.5; 0.7; 1.0; 3.0; 5.0 wt. % of CNT [1]. The general scheme of such nanocomposites can be presented as follows:



LPU/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> or LPU/CNT composites were obtained by introducing Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> or CNT, respectively, *in situ* into the reaction mass at the stage of elongation of macrodiisocyanate based on oligopropylene glycol (MM 1000) [2].



Formation of two-layer systems was carried out by casting the Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-containing composition on a pre-cured film of LPU/CNT composite, or on LPU film.

The study of electromagnetic properties of composites out in the frequency range of 26-37 GHz *K<sub>α</sub> band* was carried out according to [3].

The EMR absorption (A), reflection (R) and the transmission (Tr) coefficients are related by the power balance equation:

$$1 = R + A + Tr$$

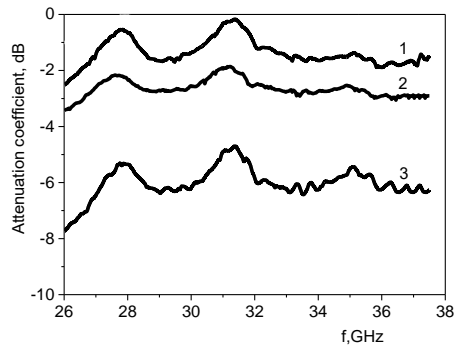
where  $R = |E_R/E_I|^2$ ,  $Tr = |E_{Tr}/E_I|^2$ ,  $E_R$ ,  $E_{Tr}$ ,  $E_I$  – are the values of electric field of reflected, transmitted and incident waves, respectively.

Reflection loss (RL) and shielding efficiency (SE<sub>T</sub>) (in dB) are determined as:

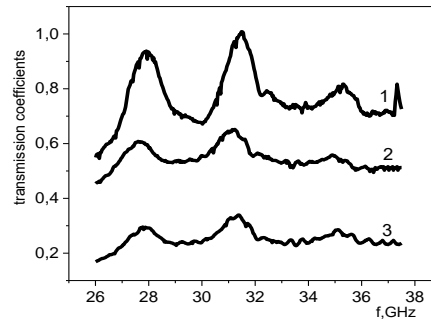
$$RL = 10 \lg R \quad \text{and} \quad SE_T = 10 \lg Tr$$

For samples polyimide with a concentration of CNT from 0.01 to 0.7 wt. % polymer films are almost completely transparent to EBM in this frequency range. As

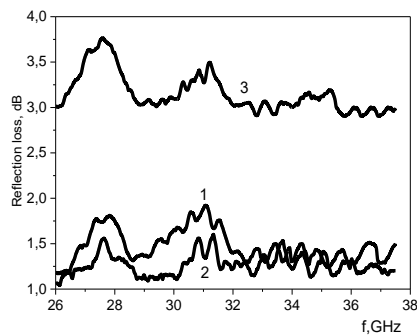
it can be seen from Figure 1, for samples with a CNT content of 0.7, 3, and 5 %, there is a clear dependence of the given values on the CNT content.



a



b



c

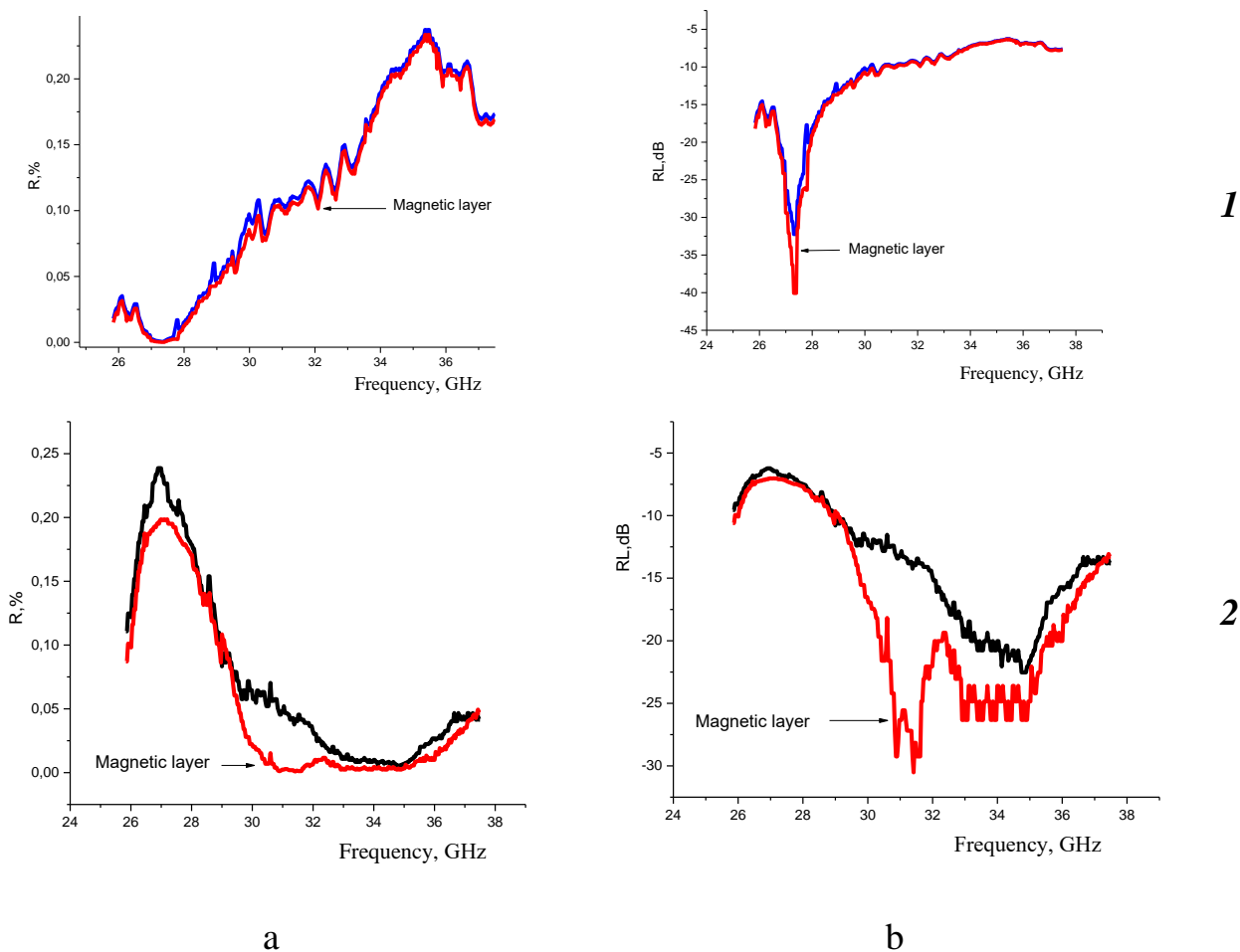
Figure 1. Frequency dependences of attenuation coefficients (a), transmission coefficients (b), reflection losses (c) for CNT-filled polyimide samples. CNT content: 1 – 0.7; 2 – 3; 3 – 5 %.

The resulting composites based on polyimide filled with a low content of CNTs (up to 5%) are radio-transparent materials. Thus based on polyimide filled with a low content of CNTs (up to 5 %) can be used for the production of protective covers for antenna systems of various purposes against the influence of external factors.

From Fig. 2 (1) it can be seen that the selected thermoplastic LPU polymer matrix is characterized by a low value of the reflection coefficient with the single sharp peculiarity in the narrow region near the value of 27 GHz. The introduction of magnetite has small effect on the frequency dependence of the reflection losses.

In the presence of CNT contained layer the reflection losses in LPU composite is noticeably changing both in frequency regions and in incident wave order penetration through the layers of the composite.

Variation of the composite structure, the type, content and combination of fillers, as well as the number and position of layers in the material allows adjusting the reflection and transmission coefficients of EMR to effectively control of composites materials interaction with EMR.



1 – LPU-free and LPU/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 2 – LPU/CNT and LPU/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

Figure 2. The frequency dependence of reflection losses of two-layer thermoplastic composites based on linear polyurethanes

#### References:

1. Y. P. Gomza, T.A. Shantali, V.D. Nesin, K.S. Dragan, V.V. Klepko. Influence carbon nanotubes on the structure peculiarity of polyimide. Polymer. J. – 2011. – T.33, No. 3. – P. 244–247.
2. L.F. Kosyanchuk, N.V. Babkina, N.V. Yarovaya, N.V. Kozak Phase separation in semi-interpenetrating polymer networks based on crosslinked poly (urethane) and linear poly (methyl methacrylate) containing iron, copper, and chromium chelates. Polymer Science Series A. – 2008. – V.50, No.4. – P. 666–677.
3. N. Kozak, L. Matzui, L. Vovchenko, L. Kosyanchuk, V. Oliynyk, O. Antonenko, Influence of coordination complexes of transition metals on EMI-shielding properties and permeability of polymer blend/carbon nanotube/nickel composites. Composites Science and Technology 2020. – 200, 108420.



**ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ОКИСНЕННЯ ПІРОЛУ  
В ПРИСУТНОСТІ КАРБОНОВИХ НАНОТРУБОК**

**Ловчицька В.С., Ковалишин Я.С., Перевізник О.Б.**

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

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

*vikoriia.lovchytska@lnu.edu.ua*

Полімери з системою спряжених подвійних зв'язків, зокрема поліпірол (PPy), завдяки особливій електронній будові володіють рядом специфічних властивостей: електричною провідністю, здатністю до оборотних хімічних або електрохімічних редокс-перетворень, залежною від порядку з'єднання мономерних ланок мікроструктурою, великою кількістю адсорбційних центрів. Це обумовлює широкі можливості використання поліпіролу та композитів на його основі, зокрема як платформ для хімічних та біологічних сенсорів, чутливих шарів в аналізі, компонентів електроактивних матеріалів джерел струму, антистатичних та антикорозійних покриттів, у фотокаталізі та ін. [1–3]. Якщо композити на основі поліпіролу використовують в системах, де можливими є редокс-процеси за його участі, часто необхідно додавати струмопровідні добавки для забезпечення доброї електричної провідності. Одним з таких додатків є карбоніві нанотрубки (CNT), які завдяки високій механічній міцності, великій питомій площі поверхні і добрій електричній провідності є визнані як один з перспективних матеріалів у багатьох галузях [4]. Композити поліпіролу з CNT можуть поєднувати переваги обох матеріалів, покращуючи їх провідність, стабільність і електрохімічну активність, збільшуючи механічну міцність та площу поверхні [5].

Синтез композитів поліпіролу з CNT здійснювали електрохімічно з 0,1 М водного розчину піролу в 2М KCl за масової частки CNT 2 % (мас. % від сумарної маси піролу та нанотрубок). Вихідна суміш піддавалась ультразвуковій обробці протягом 5 хвилин. Синтез композитів виконували на

дисковому платиновому електроді діаметром 3 мм. Допоміжним електродом слугувала платинова пластинка площею 1 см<sup>2</sup>, а електродом порівняння був насичений хлорсрібний електрод. Перемішування суміші забезпечували барботуванням крізь розчин аргону. Процес полімеризації досліджували методом циклічної вольтамперометрії, потенціал електрода змінювали в межах від -0.90 до +1.10 В за різних швидкостей сканування.

Отримані ЦВА-криві представлено на рис. 1. Потенціал окиснення піролу становить приблизно 0,96 В під час першого циклу розгортки потенціалу, який знижується до 0,92 В під час другого-третього циклів розгортки потенціалу. Це демонструє електрокаталітичні властивості плівок РРу у процесі окисної конденсації піролу. У наступних циклах сканування потенціал окиснення піролу поступово зростає. Цей факт викликаний збільшенням товщини полімерного покриття та, як наслідок, збільшенням омичного опору, на подолання якого при проходженні електричного струму потрібен додатковий стрибок потенціалу.

Максимальний струм, який спостерігається в широкому діапазоні потенціалів +0,20 – +0,80 відповідає процесу окиснення-допування РРу. Широкий мінімум біля +0.05 В відповідає зворотному процесу відновлення-дедопування та переходу полімеру у непровідну форму. У міру накопичення продуктів на поверхні електрода зростають струми окиснення і відновлення. Потенціал піку відновлення залишається практично незмінним під час сканування, тоді як потенціал піку окиснення значно зростає. Це можна пояснити тим, що відновлюється окиснена струмопровідна форма РРу і при цьому не відбувається додаткового стрибка омичного потенціалу. Під час відновлення полімер переходить у менш провідну форму. Тому під час окиснення в РР виникає омичний стрибок потенціалу, який тим більший, чим товстіше полімерне покриття.

Слід виокремити випадок, коли швидкість розгортки потенціалу була рівна 50 мВ/с (рис. 1 с). На 8–10 циклах сканування потенціалу спостерігається зменшення струмів окиснення РРу.

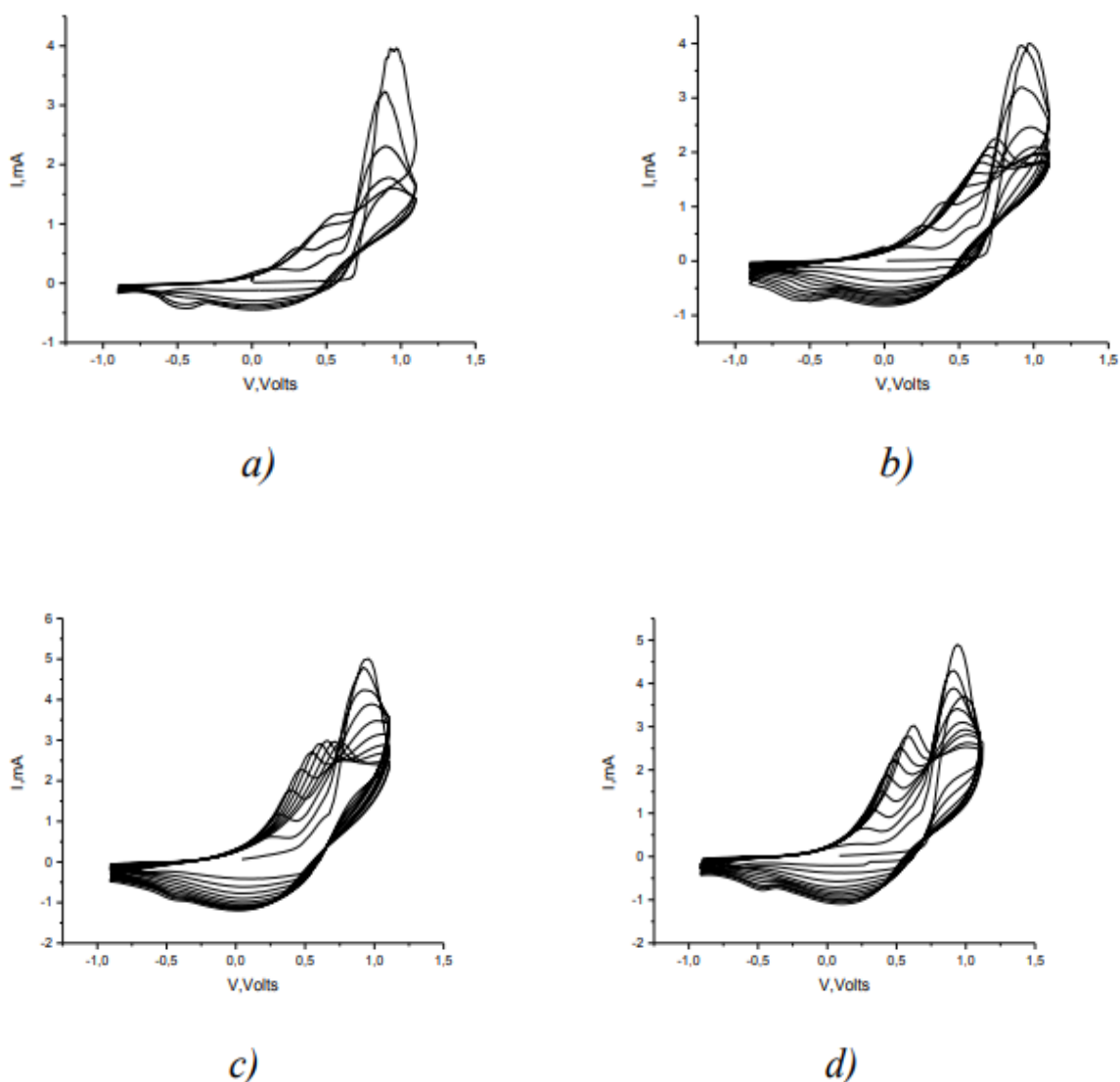


Рис. 1. ЦВА-криві платинового електроду в 0,1 М водному розчині піролу в 2 М КСl за масової частки CNT 2 %: а) – 10 мВ/с; б) – 20 мВ/с; в) – 50 мВ/с; д) – 100 мВ/с

Цей факт можна пояснити тим, під час окиснення іони легуючої домішки дифундують з поверхні РРу вглиб менш провідного полімеру, а кількість окисненого полімеру пропорційна величині струму. Якщо швидкість розгортки потенціалу низька, іони мають достатньо часу, щоб продифундувати вглиб полімерного шару. Збільшення швидкості розгортки призводить до того, що глибші шари полімеру встигають відновитись коли РРу електропровідний, але не встигають окиснюватись коли РРу малопровідний. Це призводить до зменшення пікового струму. Подальше збільшення швидкості розгортки потенціалу

веде до того, що глибші шари полімеру не встигають відновлюватись і залишаються провідними. Таким чином забезпечується покращення переносу заряду у полімерному шарі, збільшується ефективна площа поверхні електропровідної основи електрода, як наслідок зростають струми піків окиснення РРу та не так різко зростають відповідні потенціали (рис. 1 *d*).

#### Література:

1. Kumar R., Senthamaraikannan P., Saravanakumar S. S., et al. S. 8 - Electroactive polymer composites and applications, In Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering / Polymer Nanocomposite-Based Smart Materials, Editor(s): Bouhfid R., Qaiss A. K., Jawaid M. Woodhead Publishing, 2020. P. 149–156. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-103013-4.00008-X>

2. Raza S., Li X., Soyekwo F., Liao D., et al. A comprehensive overview of common conducting polymer-based nanocomposites; Recent advances in design and applications. *Europ. Polym. J.*, 160, 2021. P. 110773. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110773>

3. Youssef G. Chapter 8 - Electroactive polymers / Applied Mechanics of Polymers Properties, Processing, and Behavior. Elsevier, 2022. P. 193–220. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821078-9.00010-7>

4. Brito C. L., Silva J. V., Gonzaga R. V., et al. A Review on Carbon Nanotubes Family of Nanomaterials and Their Health Field. *ACS Omega*, 9 (8), 2024. P. 8687–8708. DOI: 10.1021/acsomega.3c08824

5. Rahaman M., Aldalbahi A. Chemical and Electrochemical Synthesis of Polypyrrole Using Carrageenan as a Dopant: Polypyrrole/Multi-Walled Carbon Nanotube Nanocomposites. *Polymers*, 10(6), 2018. P. 632. <https://doi.org/10.3390/polym10060632>

**ПРОЗОРИЙ НАПОВНЕНИЙ НАНО-SiO<sub>2</sub> ПОЛІУРЕТАН  
ЯК МАТРИЦЯ ЛАЗЕРНОГО ЕЛЕМЕНТУ, ДЕМПФЕРНИЙ МАТЕРІАЛ  
З ЕФЕКТИВНИМ ЗАХИСТОМ ВІД УФ- ВИПРОМІНЮВАННЯ**

**Косянчук Л.Ф.<sup>1</sup>, Бабкіна Н.В.<sup>1</sup>, Воронцова Л.О.<sup>1</sup>, Антоненко О.І.<sup>1</sup>,  
Козак Н.В.<sup>1</sup>, Безродний В.І.<sup>2</sup>, Безродна Т.В.<sup>2</sup>**

*Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України,*

*48, Харківське шосе, 02160, м. Київ*

*Інститут фізики НАН України,*

*46, пр. Науки, 03680, м. Київ*

*lkosyanchuk@ukr.net*

Інтерес дослідників до поліуретанів (ПУ) обумовлений їх широким спектром властивостей, які можна цілеспрямовано змінювати, варіюючи хімічною природою, структурою та складом її компонентів. Це зумовлює широкі можливості їхнього використання. Включення наночастинок в ПУ є перспективним підходом для розширення їх функціональних властивостей. Як нанонаповнювачі для органо-неорганічних полімерів привертають увагу наночастинки SiO<sub>2</sub> (нано-SiO<sub>2</sub>) завдяки їх нетоксичності, термічній стійкості, високій твердості та економічній доцільності. Можна очікувати, що їх введення в ПУ приведе до утворення матеріалу, який поєднує в собі одночасно декілька різних прикладних застосувань.

Для визначення оптимального поєднання в композиційному матеріалі таких функціональних характеристик, як прозорість, стійкість до опромінення при лазерній накачці, діапазон ефективного УФ-екранування, демпфування досліджено ПУ на основі поліетеру та ароматичного діізоціанату за його наповнення 5 і 7 мас. %. нано-SiO<sub>2</sub>.

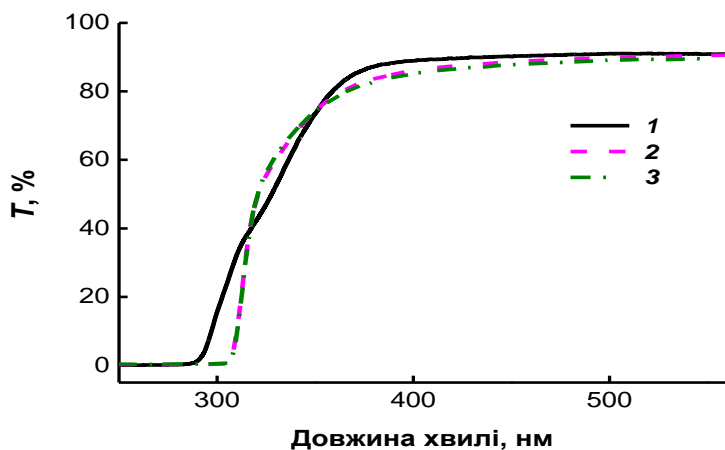


Рис. 1. Спектри пропускання вихідного ПУ та ПУ з вмістом: 1 – 0; 2 – 5; 3 – 7 мас. %  $\text{nano-SiO}_2$

батохромний зсув (до  $\sim 320$  нм) спектрів пропускання, тобто блокування УФ-випромінювання (рис. 1).

За аналізом ІЧ-спектральних характеристик наповненого  $\text{nano-SiO}_2$  ПУ прослідковано вплив нанонаповнювача при опроміненні на фотоокиснювальні процеси ПУ. Встановлено, що введення  $\text{nano-SiO}_2$  уповільнює ці процеси. Найбільш це проявляється за вмісту 7 мас.%. Можливою причиною уповільнення фотоокиснювальних та фотохімічних процесів в ПУ є утворення структурної сітки наночастинок  $\text{SiO}_2$  при такому наповненні, яка розсіює енергію опромінення та, відповідно, зменшує фотоокиснювальні процеси у полімері.

За даними динамічного механічного аналізу (ДМА) вплив опромінення ртутною лампою надвисокого тиску на ПУ зразки визначається незначним зниженням температури склування ( $T_c$ ) та зменшенням модуля пружності ( $E'$ ).

Однак, для ПУ за вмісту 5 та 7 мас.%  $\text{nano-SiO}_2$  зниження  $T_c$  після опромінення є меншим, ніж для вихідного ненаповненого ПУ (таблиця), що вказує на меншу схильність до деструкцій в наповнених композитах.

Аналіз в'язкопружної поведінки ПУ в області високоеластичності, де значення  $E'$  корелюють зі значенням густини хімічних зшивок, свідчить про те, що деструктивна дія опромінювання більш пов'язана з руйнуванням міжмолекулярних зв'язків в матеріалі, ніж хімічних зв'язків між вузлами зшивок. Для ПУ за вмісту  $\text{nano-SiO}_2$  7 мас.% суттєве зростання  $E'$  може бути наслідком

Методом УФ- і видимої спектроскопії показано, що нанонаповнені ПУ, як і вихідний ПУ, демонструють досить високий ( $\sim 90$  %) коефіцієнт пропускання в діапазоні видимих довжин хвиль. Разом з тим, ПУ характеризується ефективним блокуванням УФ випромінювання до  $\sim 290$  нм, а для наповнених ПУ спостерігається

утворення в системі просторової сітки самого наповнювача. Однак, після опромінення значення  $E'$  значно знижується. Можна припустити, що опромінення ПУ за вмісту 7 мас.% нано-SiO<sub>2</sub> може приводити до руйнування самої структурної сітки наповнювача.

Таблиця. В'язкопружні характеристики ПУ до та після опромінення

ПУ матриці	T <sub>c</sub> , °C	tanδ <sub>max</sub>	E' T=25°C, МПа	E' T=80°C, МПа
ПУ	17	1,032	17,18	3,11
ПУ*	12	1,001	7,82	3,55
ПУ-5	14	0,867	17,36	3,69
ПУ-5*	12	0,913	10,37	4,06
ПУ-7	14	0,848	24,2	6,01
ПУ-7*	11	0,902	10,28	1,91

\* – зразки після опромінення

Отримані результати вказують на можливий стабілізуючий ефект нано-наповнювача на стійкість ПУ при його використанні як активного середовища в лазерах на барвниках.

Методом ДМА також виявлено, що усі ПУ зразки мають високі значення механічних втрат (tanδ) в області склування, що підтверджує їх ефективність як демпферних матеріалів. Поліуретанові SiO<sub>2</sub>-вмісні ПУ мають ефективну демпферну здатність в діапазоні температур від –6 до 48 °C.

Оптимальне поєднання зазначених функціональних характеристик має ПУ за вмісту 7 мас. % нано-SiO<sub>2</sub>, що вказує, зокрема, на можливість його застосування як міжшарової плівки для багатшарового скла в обладнанні з вібраційним навантаженням.

**ОДЕРЖАННЯ ЛЕГКИХ ЕПОКСИДНИХ  
МЕТАЛОНАПОВНЕНИХ КОМПОЗИТИВ**

**Кучеренко А.М., Помірко О.Є., Моравський В.С.**

*Національний університет “Львівська політехніка”,*

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

*anastasiyakucherenko05@gmail.com*

Металеві наповнювачі традиційно використовуються для одержання композиційних матеріалів на основі епоксидної матриці. Частинки заліза, алюмінію, міді гарантують одержання композитів з підвищеною розмірною точністю, зносостійкістю, міцністю, кращими триботехнічними властивостями, а також надають матеріалу електро- і теплопровідні властивості. Однак, для ряду галузей промисловості, крім високих механічних властивостей, тепло- і електропровідності критичним є максимально можливе зниження маси виробів, виготовлених з полімерних композитів. Розроблення нових наповнювачів, які дозволять знизити густину композиційного матеріалу при збереженні інших властивостей, є перспективною і необхідною задачею.

Нами запропоновано спосіб одержання легких епоксидних композитів, який полягає у використанні порівняно великої кількості дрібнодисперсного наповнювача, на поверхні якого сформоване тонке металеве покриття, яке забезпечить надання композиційному матеріалу специфічних властивостей. Як наповнювач використовували металізовані частинки суспензійного полівінілхлориду [1]. Введення такого наповнювача в епоксидну смолу, навіть, у великих кількостях не позначається на зростанні густини матеріалу, при цьому, металева оболонка забезпечує надання композиту електричних властивостей.

Література:

1. Moravskiy V., Dziaman I., Suberliak S., Kuznetsova M., Tsimbalista T., Dulebova L. (2017). Research into kinetic patterns of chemical metallization of powder-like polyvinylchloride. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/12(88), 50–57.



## ВУГЛЕПЛАСТИК НА ОСНОВІ ЦИНК-ВМІСНОГО ВУГЛЕЦЕВОГО ВОЛОКНА

**Чигвінцева О.П., Рула І.В., Гончаров Д.**

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет,*

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

*diso@i.ua*

Перспективи використання і області застосування полімерних композиційних матеріалів визначаються, в першу чергу, комплексом притаманних їм властивостей. Широкий діапазон цінних властивостей ароматичних поліамідів фенілонів дозволяє створювати вироби для роботи при великих статичних і динамічних навантаженнях у широкому температурному інтервалі в умовах інтенсивного тертя. Ефективним методом поліпшення експлуатаційних характеристик поліамідних в'язучих є армування їх волокнистими наповнювачами, серед яких найбільш перспективними є вуглецеві волокна.

З метою створення нового вуглепластика (ВП) конструкційного призначення проводили армування фенілону С-2 цинк-вмісним вуглецевим волокном (Zn-BB) у кількості 17 мас. %.

Попередні дослідження термічних властивостей пластиків показали, що розроблений ВП більш термостійкий, ніж полімерна матриця: в інтервалі температур 450–800 К втрата маси ВП на 17–25 % менша, ніж у фенілону С-2 (табл. 1, рис. 1).

Таблиця 1. Термостійкість фенілону С-2 і вуглепластику на його основі

Матеріал	Температура, К						
	T <sub>0</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>15</sub>	T <sub>20</sub>	T <sub>25</sub>	T <sub>30</sub>
С-2	320	467	656	681	696	712	729
С-2 + 17 % Zn-BB	373	580	665	693	705	728	753

*Примітка: T<sub>0</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>10</sub>, T<sub>15</sub>, T<sub>20</sub>, T<sub>25</sub>, T<sub>30</sub> – температури початку та 5, 10, 15, 20, 25 і 30 % втрати маси зразків, К*

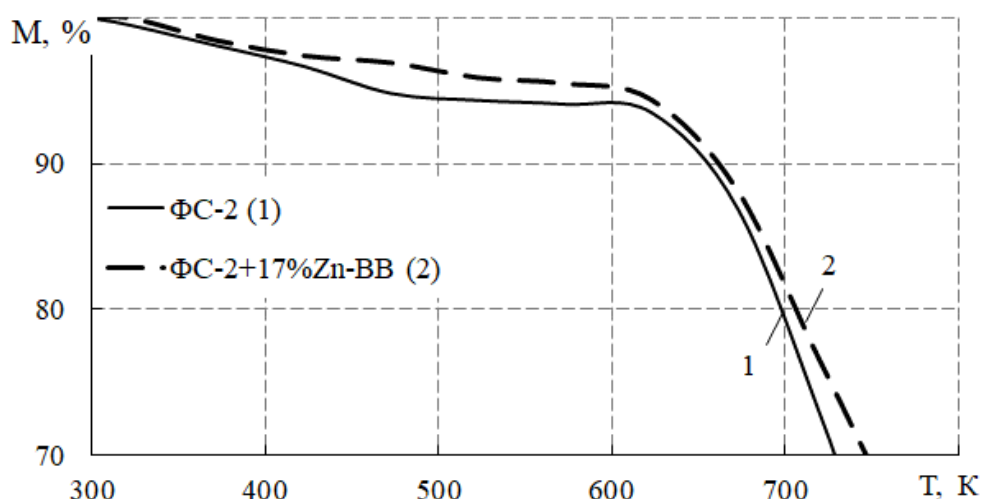


Рис. 1. Термогравіметричні криві фенілону С-2 (1) та вуглепластика (2) на його основі армованого цинк-вмісним вуглецевим волокном

Встановлено, що термічна деструкція ВП починається 580 К, в той час як фенілон С-2 втрачає 5% маси вже за температури 437 К, отже слід вважати, що розроблений композит може експлуатуватися при більш високих температурах.

Визначення можливого механізму і розрахунок кінетичних параметрів процесу термодеструкції досліджуваних пластиків здійснювали із використанням інтегральних кінетичних рівнянь різних механізмів гетерогенних процесів. Результати розрахунку вихідних параметрів термодеструкції досліджуваних зразків: коефіцієнта кореляції ( $r$ ), мінімуму функції ( $S$ ), енергії активації ( $E_{\text{акт.}}$ ), передекспоненціального множника ( $Z$ ), розраховані за програмою, розробленою для ПК, наведені в табл. 2.

Високі значення коефіцієнта кореляції (табл. 2) були отримані за кінетичними рівняннями (1, 2, 3), тому в якості основного критерію вибору оптимальної математичної моделі процесу використали мінімальне значення  $S$ . Таким чином, виходячи з даних табл. 2 встановлено, термодеструкції фенілону С-2 і ВП на його основі описує рівняння одновимірної дифузії (1):

$$k\tau = 1/2 \alpha^2$$

Таблиця 2. Кінетичні параметри термодеструкції матеріалів

Математичні рівняння процесу	$r$	$S$	$E_{акт.},$ кДж/моль	$lg Z$
С-2				
$k\tau = 1/2 \alpha^2$ (1)	0,901	0,124	61,939	-1,05
$k\tau = (1 - \alpha)\ln(1-\alpha) + \alpha$ (2)	0,893	0,203	68,457	-0,55
$k\tau = 3/2[1 - (1 - \alpha^{1/3})]^2$ (3)	0,880	0,258	77,544	-0,31
С-2 + 17 % Zn-BB				
$k\tau = 1/2 \alpha^2$ (1)	0,912	0,107	62,100	-1,147
$k\tau = (1 - \alpha)\ln(1-\alpha) + \alpha$ (2)	0,907	0,189	67,282	-0,638
$k\tau = 3/2[1 - (1 - \alpha^{1/3})]^2$ (3)	0,893	0,238	75,456	-0,623

Дослідження фізико-механічних властивостей пластиків (табл. 3) показали, що армування фенілону С-2 волокном Zn-BB підвищує його міцнісні характеристики, зокрема спостерігається зростання межі текучості при стисненні – на 14,5 МПа, модуля пружності при стисненні – на 279,2 МПа, відносна деформація при цьому знижується на 2,3%.

Таблиця 3. Фізико-механічні властивості матеріалів

Показники	Фенілон С-2	Фенілон С-2 + 17 мас.% Zn-BB
Густина, кг/м <sup>3</sup>	1307	1350
Межа текучості при стисненні ( $\sigma_{т.}$ ), МПа	210,3	224,8
Модуль пружності при стисненні $E_{ст.}$ , МПа	3313,6	3592,8
Відносна деформація $\varepsilon$ ,%	13,2	10,9

В цілому, результати проведених досліджень свідчать про позитивний вплив армування фенілону С-2 волокном Zn-BB, що дозволяє отримати ВП з поліпшеними термічними і міцнісними характеристиками.

## ВУГЛЕПЛАСТИКИ НА ОСНОВІ МЕТАЛО-ВМІСНИХ ВОЛОКОН

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

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет,*

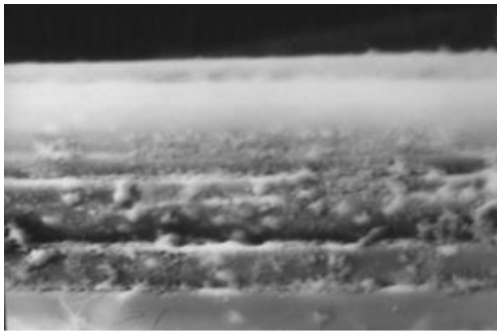
*вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро*

*diso@i.ua*

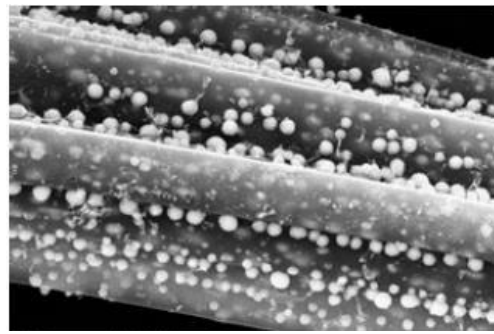
Вуглепластики – сучасні, легкі, але досить міцні матеріали, які використовуються для виготовлення виробів, що застосовується в багатьох галузях промисловості (аерокосмічна галузь, автомобілебудування, медичне обладнання, спортивний інвентар і побутова техніка та ін.). Полімерні композити на основі вуглецевих волокон (ВВ) мають високу міцність, жорсткість і малу вагу, а завдяки широким можливостям переробки і технології виробництва вуглепластики (ВП) можуть мати різну форму та габаритні розміри.

Особливістю метало-вмісних вуглецевих волокон (Me-ВВ), є наявність в їх структурі високодисперсних нанорозмірних металовмісних включень у вигляді відновлених металів, оксидів металів та їх карбідів, які надають їм покращені міцнісні, антифрикційні, магнітні, біоцидні та ін. властивості. Наявність в структурі Me-ВВ мікронного розміру (діаметр волокна – близько 6–8 мкм) нанорозмірних фаз металів і структурно-впорядкованого вуглецю надає їм комплекс нових властивостей, характерних для нанорозмірних об'єктів і надає широкі можливості їх практичного використання. Крім того, модифікація ВВ металами призводить до поліпшення їх змочування полімерним в'язучим, що забезпечує більш рівномірний розподіл волокнистого наповнювача в структурі полімерного композиту [1].

З метою створення нових ВП конструкційного призначення ароматичний поліамід фенілон С-2 армували Me-ВВ, що містять у своєму складі хром (Cr-ВВ) та мідь (Cu-ВВ) у кількості 17 мас. %. Вказані волокна (рис. 1) отримували введенням відповідних металів в структуру ВВ шляхом просочення целюлозних волокон хлоридами відповідних металів з наступною карбонізацією у струмі інертного газу.



а



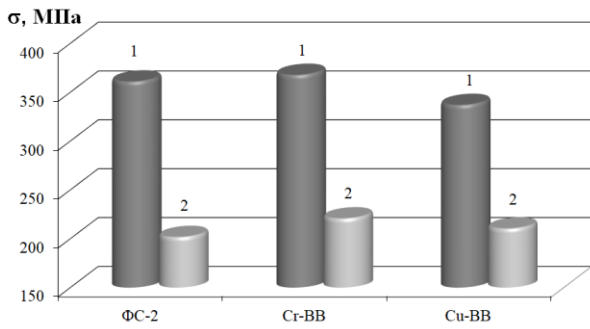
б

Рис. 1. Електронно-мікроскопічні знімки Cr-BB (а) і Cu-BB (б), отримані при температурі термічної обробки 1173 К

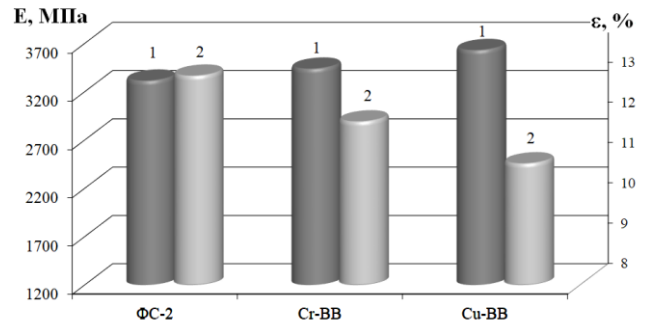
Для отримання композитів з високими міцнісними характеристиками важливим чинником є характер взаємодії полімерного в'язучого з наповнювачем. Попередніми дослідженнями встановлено, що модифікація ВВ металами сприяє рівномірному розподілу Me-BB у полімері, що призводить до поліпшення їх змочування полімерним в'язучим [1].

Аналіз впливу металів-наномодифікаторів у складі армуючого волокна на міцнісні властивості ВП, які визначали на машині FP-100, свідчив про те, що найбільш позитивний ефект досягається при армуванні вихідного полімеру Cr-BB. При армуванні фенілону С-2 Cu-BB і Cr-BB, границя текучості та модуль пружності були вищі, ніж у вихідного полімеру (рис. 2а, б). Крім того, результати фізико-механічних досліджень показали, що характер руйнування зразків фенілону С-2 і ВП на його основі був різний: одні з них руйнувались крихко з подальшим відділенням фрагментів (Cr-BB), інші з утворенням тріщин (Cu-BB), решта – (фенілон С-2) пластично за рахунок втрати стійкості [2].

Вивчення процесів тертя та зносу без змазування ВП здійснювали на дисковій машині при питомих навантаженнях  $P = 0,2-0,8$  МПа і швидкостях ковзання  $v = 1, 1,5$  і  $2$  м/с, шлях тертя складав 1000 м. Як контртіло використовувався диск, виготовлений зі сталі 45 (ГОСТ 1050-74), термообробленої до твердості 45–48 HRC з жорсткістю поверхні  $R_a = 0,16-0,32$  мкм.



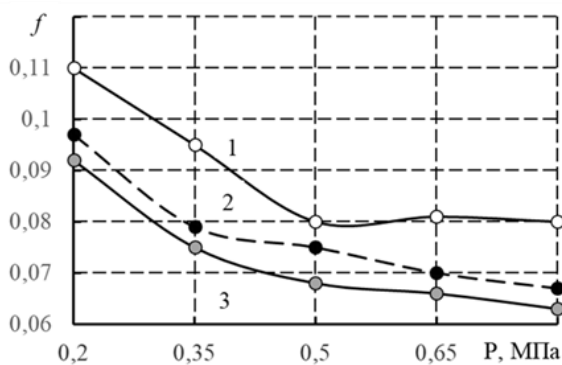
а



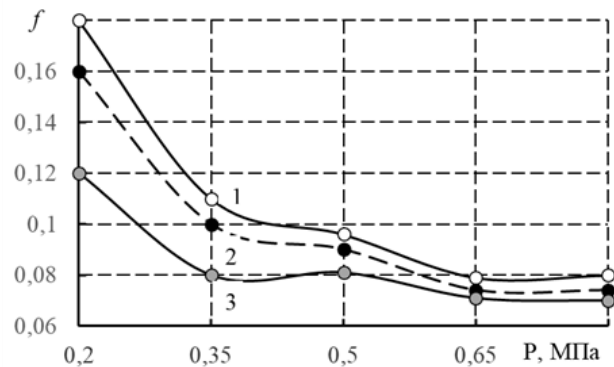
б

Рис. 2. Гістограма залежності межі міцності (1) і межі текучості (2) при стисканні (а) та модуля пружності (1) і відносної деформації (2) при стисканні (б) від складу композиції

В результаті проведених трибологічних досліджень встановлено, що в дослідженому інтервалі питомих навантажень і швидкостей ковзання зразки мали антифрикційні властивості, а більш низькі значення коефіцієнта тертя і інтенсивності лінійного зношування були характерні для ВП, армованого Cu-BB (рис. 3). Коефіцієнт тертя зразків ВП, армованих 17 мас. % Cu-BB і Cr-BB при експлуатації в умовах швидкостей ковзання 1,0–2,0 м/с при збільшенні питомого навантаження зменшувався від 0,11 до 0,06 та від 0,18 до 0,07 відповідно, а їх інтенсивність лінійного зношування зменшилась більш, ніж на 20 %.



а



б

Рис. 3. Залежність коефіцієнта тертя від питомого навантаження зразків вуглепластиків на основі Cu-BB (а) і Cr-BB (б), досліджених при швидкостях ковзання 1,0 (крива 1), 1,5 (крива 2) і 2,0 м/с (крива 3)

Коефіцієнт тертя фенілону С-2 знаходився в межах 0,18–0,15 і мав більш високі значення у порівнянні з ВП, а інтенсивність лінійного зношування зростала від  $6,5 \cdot 10^{-9}$  до  $1,5 \cdot 10^{-8}$ .

В цілому, зносостійкість ВП була більш, ніж у 10 разів вища, ніж у вихідного полімеру. При швидкостях ковзання 1,5–2,0 м/с зразки фенілону С-2 катастрофічно зношувались і втрачали свою працездатність, в то час, як ВП стабільно працювали і мали інтенсивність лінійного зношування в межах  $5,0–3,5 \cdot 10^{-9}$ . Критерій працездатності PV зразків ВП становив 1,2 МПа · м/с, в той час як для вихідного полімеру він не перевищував 0,8 МПа · м/с [3].

Таким чином, проведений комплекс досліджень свідчив про те, що армування фенілону С-2 метало-вмісними ВВ дозволяє суттєво покращити його фізико-механічні і трибологічні властивості. Вуглепластик на основі Cr-ВВ має гарні міцнісні показники, а ВП на основі Cu-ВВ має високу зносостійкість і низький коефіцієнт тертя в широкому інтервалі режимів експлуатації, що дозволяє рекомендувати розроблені композити як матеріали конструкційного призначення.

#### Література:

1. Сафонова А.М., Шпилевская Л.Е. Металлоуглеродные волокнистые наполнители и полимерные композиции на их основе // Перспективные материалы. № 6. 2003. С. 16–20.

2. Чигвінцева О.П., Рула І.В., Бойко Ю.В. Вуглепластики на основі ароматичного поліаміду // International scientific conference «Features of innovative development in the field of technology: the comparative experience of Ukraine and the European Union»: conference proceedings, September 6–7. 2023. Wloclawek. Riga, Latvia: “Baltija Publishing”. 2023. С. 31–35.

3. Чигвінцева О.П., Рула І.В., Бойко Ю.В. Дослідження термічних і трибологічних властивостей вуглепластика на основі фенілону С-2 // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк. 2023. №73. С. 57–61.

**КВАНТОВО-ХІМІЧНІ АСПЕКТИ СТРУКТУРУВАННЯ  
ПОЛІМЕРНИХ СИСТЕМ АРАМІДНОГО ТИПУ,  
ЩО МІСТЯТЬ ГЕТАРИЛЬНІ ФРАГМЕНТИ**

**Токар А.В., Тищенко В.А., Чигвінцева О.П.**

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет,*

*вул. Сергія Єфремова, 25, 49009, м. Дніпро*

*atokar\_2004@ukr.net*

Комп'ютерне моделювання хімічних систем відкриває принципово нові можливості для вивчення особливостей будови та визначення зв'язку «структура – властивість» найрізноманітніших типів полімерних систем. При цьому варто звернути особливу увагу на здатність окремих макромолекул змінювати свою конформацію у широких межах. З одного боку, це визначає широкий спектр властивостей полімерів, а з іншого – ускладнює вивчення електронної будови цих сполук. На ранніх етапах дослідження полімерів переважно спиралися на експериментальні методи, серед яких слід відзначити дифракцію рентгенівських променів, а також спектроскопічні методи, тоді як теоретичний аналіз будувався на основі статистичної фізики твердого тіла. Останнім часом до них додалося комп'ютерне моделювання та надійні методи квантової хімії. За їх допомогою встановлюють тривимірну архітектуру полімерів, оцінюють їх різноманітні параметри та визначають структуру енергетичних рівнів [1].

Одержані дані можуть мати суттєве значення з точки зору попереднього оцінювання енергетичних ефектів міжмолекулярних взаємодій, що виникають на рівні окремих ділянок – структурних фрагментів макромолекул, включаючи можливість утворення водневих зв'язків. Зокрема, у випадку бензаніліду, що відтворює будову мономерної ланки фенілонів, матимемо справу із описаною раніше димеризованою формою (1), структуру якої наведено на рис. 1. Аналіз орбітальних взаємодій, які виникають в умовах утворення такого комплексу, свідчить про те, що основний внесок у загальну енергію стабілізації системи,



що становить не менше 17,8 кДж/моль, складають власні неподілені електронні пари атома Оксигену карбонільної групи ( $>C=O$ ), які слугують донорами електронної густини для зв'язку ( $>NH$ ) молекули партнера. Відповідні значення параметрів  $E(2)$  для перекривань типу  $n_{1,2}(O) \rightarrow \sigma^*(NH)$  становлять 15,4 та 9,5 кДж/моль і є суттєво нижчими за споріднені внутрішньомолекулярні взаємодії.

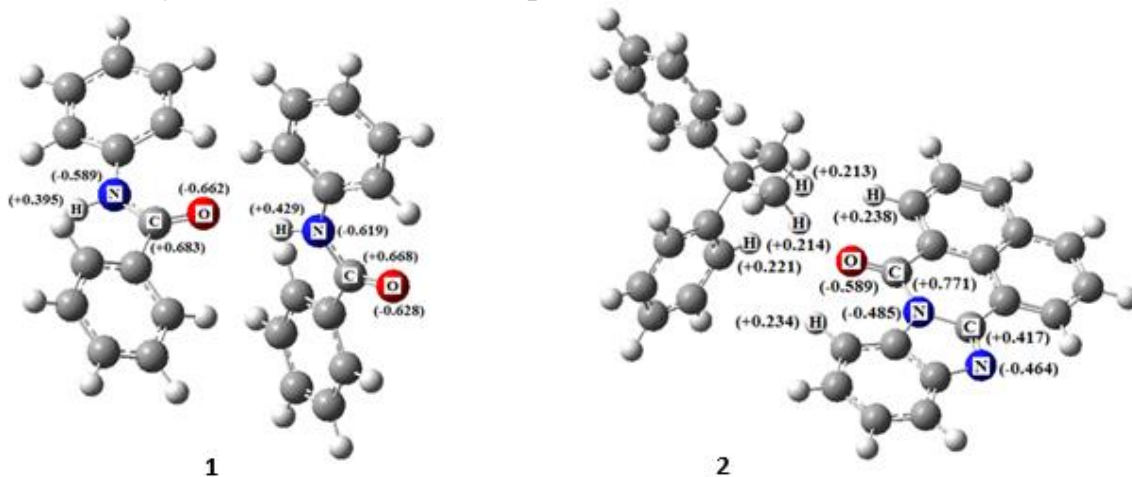


Рис. 1. Структура комплексів на основі двох молекул бензаніліду (1) та бензо[*de*]бензо[4,5]імідазо[2,1-*a*]ізохінолін-7-ону з 2,2-дифенілпропаном (2)

Для оцінки спорідненості структури, що відтворює будову жорстко-ланцюгового полігетероарилену, в якості молекули-партнера було обрано 2,2-дифенілпропан як базовий фрагмент багатьох полімерних систем, які одержують на основі бісфенолу А, а саме: діанових епоксидних смол, полікарбонату, полісульфону, поліарилату тощо. При цьому загальна енергія стабілізації системи (2) не перевищувала 5,7 кДж/моль, вказуючи тим самим на можливість утворення слабких міжмолекулярних взаємодій, переважно електростатичного характеру. Прийняття до уваги поправок на енергію нульових коливань призводило до зниження енергії в середньому на 0,9 кДж/моль, тоді як урахування похибки суперпозиції базисних наборів, навпаки, сприяло її зростанню приблизно на 2,0 кДж/моль. Для ідентифікації природи цих зв'язків у межах АІМ-теорії, нами було розраховано значення електронної густини, а також лапласіана електронної густини у (3,-1) критичних точках найменш енергомістких взаємодій з метою їх додаткової оцінки з точки зору ефективності зв'язування. Як свідчать дані, наведені у табл. 1 та на рис. 2–3, одержані топологічні параметри добре корелюють із довжинами відповідних зв'язків у всьому діапазоні наведених значень.

Таблиця 1. Деякі величини топологічних параметрів у (3,-1) критичних точках зв'язків у залежності від їх довжини (R)

Параметр	<i>DFT-B3LYP/6-311++G(d,p)</i>				
<b>Модельний комплекс (3)</b>					
$\rho$ , $e/\text{\AA}^3$	0,0187	0,0170	0,0083	0,0076	0,0042
$\nabla^2\rho$ , $e/\text{\AA}^5$	0,0174	0,0156	0,0068	0,0067	0,0028
R, $\text{\AA}$	2,193	2,246	2,523	2,600	2,997
<b>Модельний комплекс (4)</b>					
$\rho$ , $e/\text{\AA}^3$	0,0107	0,0049	0,0042	0,0030	0,0009
$\nabla^2\rho$ , $e/\text{\AA}^5$	0,0096	0,0040	0,0039	0,0021	0,0008
R, $\text{\AA}$	2,514	2,740	2,783	3,122	3,307

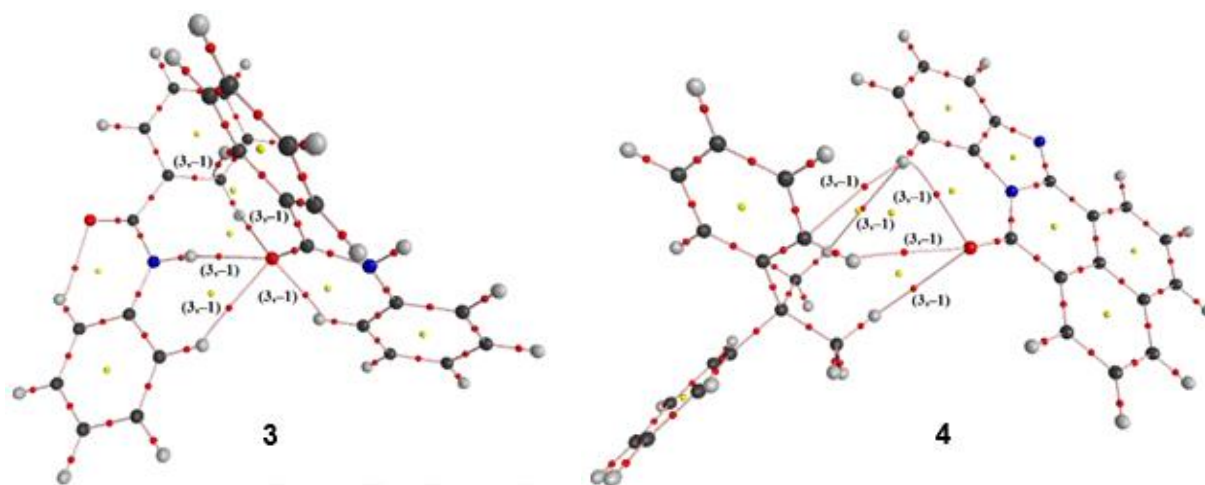


Рис. 2. Молекулярний граф 3D-моделей міжмолекулярних комплексів, візуалізований у програмі AIM2000

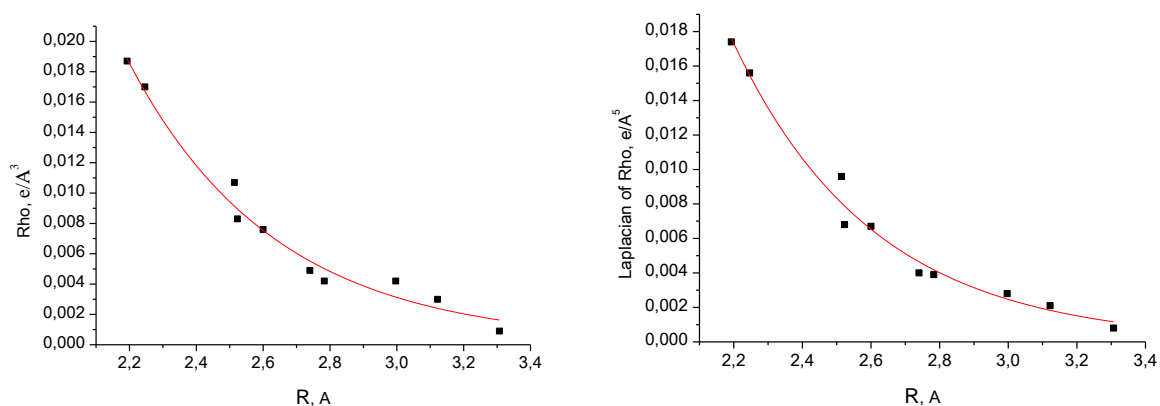


Рис. 3. Характеристичні криві електронної густини (ліворуч) та лапласіана електронної густини (праворуч) як функції міжатомних відстаней

На рис. 3 показано хід залежностей  $\rho(R)$  та  $\nabla^2\rho(R)$ , що при спробі лінеаризації вказують на наявність чіткого перегину із розмежуванням проміжних за силою водневих зв'язків та слабких ван-дер-ваальсових взаємодій на відстанях близько 2,520–2,780 Å. Одержані результати цілком узгоджуються із літературними даними, що стосуються особливостей розподілу електронної густини у молекулярних кристалах ароматичних структур, у тому числі й з урахуванням ефективних *стекінг*-взаємодій, й таким чином можуть бути використані для ідентифікації характеру окремих зв'язків:

$$\rho(R) = (2,800 \pm 2,299) \cdot \exp[(-R)/(0,438 \pm 0,076)], r = 0,981, n = 10, \quad (1)$$

$$\nabla^2\rho(R) = (3,677 \pm 1,199) \cdot \exp[(-R)/(0,411 \pm 0,024)], r = 0,985, n = 10. \quad (2)$$

Кореляційні рівняння, засновані на цих властивостях, дозволяють передбачити енергію взаємодії бензенових кілець із мінімальним значенням відносної похибки у межах даної ділянки поверхні потенційної енергії.

Особливої уваги заслуговує також визначення деяких термодинамічних параметрів, що стосуються процесів утворення та руйнування досліджуваних комплексів. Розраховані значення ентальпії, ентропії та енергії Гіббса утворення комплексу (3) становлять  $-16,1$  кДж/моль,  $-95,4$  Дж/моль·К та  $+12,4$  кДж/моль. Для комплексу (4) вони складають  $+3,1$  кДж/моль,  $-63,9$  Дж/моль·К та  $+22,1$  кДж/моль. В останньому випадку незначний внесок ентальпійного фактору добре узгоджується із невеликою енергомісткістю досліджуваних взаємодій, тоді як більш вагомий внесок ентропійної складової легко пояснюється суттєвими обмеженнями у поступальних, обертальних та коливальних ступенях свободи окремих молекул в умовах зв'язування. Останнє має бути особливо помітним при аналізі базових спектральних характеристик досліджуваних систем та потребує їх подальшого теоретичного обґрунтування.

#### Література:

1. Tokar A.V. (2023). Theoretical aspects of structuring for aramid type polymer systems containing aryl as well as hetaryl fragments: a comparative analysis. Modern aspects of natural science research in the context of sustainable development of society: Scientific monograph. Riga, Latvia: "Baltija Publishing", 2023. P. 318–337.

УДК 620.197.3

**ІНГІБУВАЛЬНА ДІЯ ОРГАНІЧНОЇ КОМПОЗИЦІЇ НАТРІЙ АЛЬГІНАТУ  
ТА ЦИНК АЦЕТАТУ В 0,1%–ВОМУ РОЗЧИНІ НАТРІЙ ХЛОРИДУ  
НА КОРОЗІЮ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ**

**Корній С.А., Сободош Н.Й.**

*Фізико-механічний інститут імені Г. В. Карпенка НАН України,*

*вул. Наукова 5, 79060, м. Львів*

*natkasobodosh@gmail.com*

Алюмінієві сплави застосовують в різних галузях промисловості через їхні багатофункціональні властивості. Однак через присутність інтерметалічної зміцнювальної фази, алюмінієві сплави схильні до локальної корозії. Для запобігання корозії алюмінієвих сплавів одним з найпростіших, технологічних та ефективних методів є використання інгібіторного захисту [1]. Актуальним завданням є створення інгібіторів корозії на основі екологічно безпечних продуктів рослинного походження, зокрема полісахаридів [2], які не спричиняють шкоду навколишньому середовищу. Тому метою роботи було дослідити ефективність захисту алюмінієвого сплаву від корозії у нейтральному хлоридовмісному середовищі шляхом створення інгібувальної композиції на основі натрію альгінату та цинку ацетату.

Для досліджень використовували зразки алюмінієвого сплаву Д16Т. Корозивним середовищем слугував 0,1%-вий розчин натрій хлориду, в який додавали органічні сполуки природний полісахарид – натрій альгінат  $((C_6H_7O_6Na)_n)$  та цинк ацетат  $((CH_3COO)_2Zn)$ . Для інгібування середовища використовували ці сполуки як окремо, так і їх композиції зі сталюю сумарною концентрацією 2 g/l. Електрохімічну поведінку зразків алюмінієвого сплаву у корозивному та інгібованих розчинах досліджували використовуючи потенціостат/гальваностат VersaStat 3 (AMETEK Scientific Instruments), насичений електрод порівняння Ag/AgCl та допоміжний платиновий електрод. Візуально зразки після корозійних випробувань оглядали за допомогою USB-мікроскопа Kronos.

Отримані результати імпедансних залежностей (рис. 1) підтверджують високі протикорозійні характеристики композиції порівняно з неінгібованим середовищем. Так, модуль імпедансу (рис. 1a) алюмінієвого сплаву за частоти змінного струму 0,1Hz в інгібованому композицією розчині після 24 h, становить  $2,8 \cdot 10^5 \Omega \cdot \text{cm}^2$ . Менш виражений інгібувальний ефект спостерігали за окремого використання цинк ацетату, тут параметр  $Z_{0,1}$  є в межах  $6,9 \cdot 10^4 \Omega \cdot \text{cm}^2$  для 24 h експозицій. Використання натрію альгінату як самостійного інгібітора корозії не забезпечує надійного захисту металу, при цьому його модуль імпедансу найнижчий та є практично на одному рівні із контрольним розчином. За присутності композиції цинк ацетату та натрій альгінату пік фазового кута (рис. 1b) алюмінієвого сплаву зміщується в бік вищих частот змінного струму та збільшується його максимум до  $80^\circ\text{C}$ , що вказує на формування на поверхні металу стійкої захисної плівки.

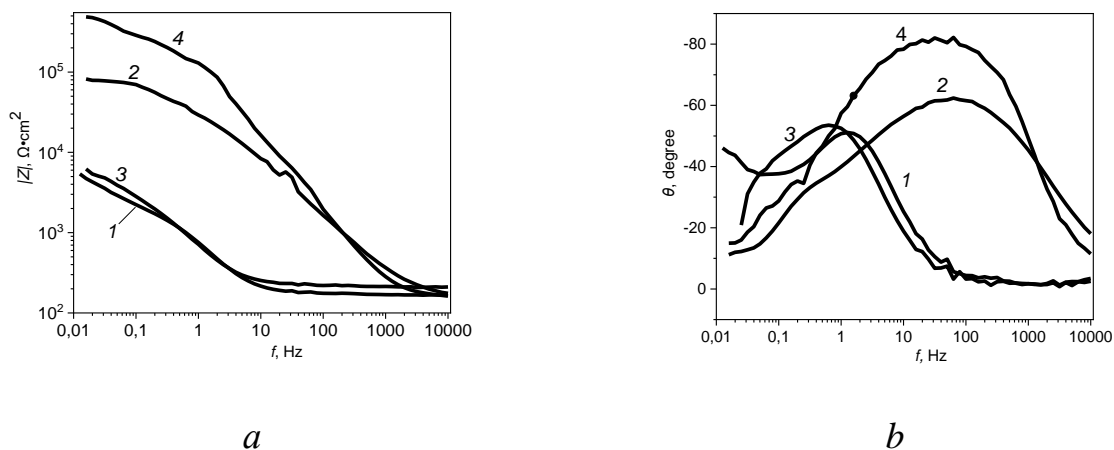


Рис. 1. Частотні залежності модуля імпедансу (a) та фазового кута (b) для сплаву Д16Т після 24 h експозиції у 0,1%-вому розчині натрій хлориду з додаванням інгібітора: 1 – неінгібоване середовище, 2 – 2 g/l цинк ацетату, 3 – 2 g/l натрій альгінату, 4 – по 1 g/l натрій альгінату та цинк ацетату

У неінгібованому корозивному середовищі (рис. 2a) та з додаванням до нього натрій альгінату (рис. 2c) на поверхні зразків за допомогою USB-мікроскопа виявили інтенсивне локальне руйнування із нагромадженням біло-сірих продуктів корозії. За додавання до корозивного розчину 2 g/l цинк ацетату поверхня сплаву набула матового відтінку (рис. 2b), тоді як за

інгібування розчину композицією натрій альгінату та цинк ацетату сплав зберігав гладку поверхню з типовим металевим блиском (рис. 2d).

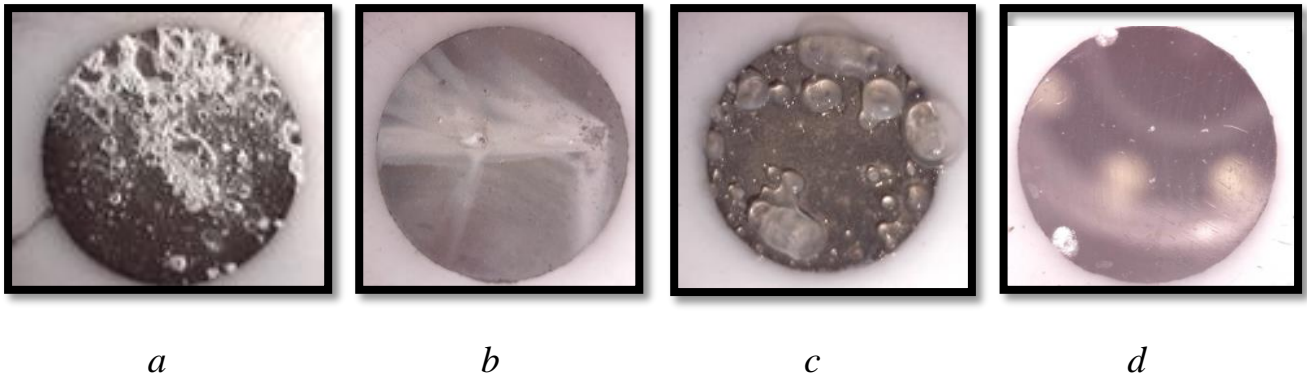


Рис. 2. Оптичне зображення поверхні сплаву Д16Т після 168 h експозиції у 0,1%-вому розчині натрій хлориду: *a* – неінгібоване середовище, *b* – 2 g/l цинк ацетату, *c* – 2 g/l натрій альгінату, *d* – по 1 g/l натрій альгінату та цинк ацетату

Отже, після проведених досліджень встановлено, що корозійна тривкість сплаву Д16Т у 0,1 %-вому розчині натрій хлориду суттєво підвищується за використання екологічно безпечної інгібувальної композиції на основі натрію альгінату та цинку ацетату. Інгібувальна дія цієї композиції полягає у тому, що молекули альгінату через свої гідроксильні і карбоксильні функціональні групи здатні адсорбуватися на поверхні алюмінієвого сплаву, формуючи захисну плівку. В той же час добавки цинк ацетату сприяють утворенню покращеної захисної плівки на алюмінієвому сплаві в інгібованому композицією хлоридному розчині.

#### Література:

1. Khlopyk O., Korniy S., Zin, I., Holovchuk M. Corrosion inhibition of aluminium alloy in NaCl solution by glycerol from biodiesel production. *Chemical Engineering Communications*. 2024. 211(1), P. 124–132.

<https://doi.org/10.1080/00986445.2023.2223126>

2. Tymus M., Zin I., Khlopyk O., Pokhmurskii V., Holovchuk M., S.Korniy Corrosion inhibition of aluminum alloy by a composition of guar gum and tartrate. *Materials Science*. 2022. 57. №.5. P. 679–687. DOI: [10.1007/s11003-022-00595-w](https://doi.org/10.1007/s11003-022-00595-w)

**РОЗРОБКА ПОЛІУРЕТАНСЕЧОВИННИХ КЛЕЙОВИХ КОМПОЗИЦІЙ  
З ДЕКАМЕТОКСИНОМ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

**Денисенко В.Д., Рожнова Р.А., Лісняк С.О.**

*Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України,*

*48 Харківське шосе, 02155, м. Київ*

*rozhnovarita@gmail.com*

В Україні щорічно виконується понад 9000 операцій з приводу грижі живота, які становлять від 7 % до (10–15) % від кількості всіх планових оперативних втручань. На сьогодні використовують методи пластики грижових дефектів з використанням полімерні сіткових імплантатів. Для їх фіксації застосовують етил- $\alpha$ -ціаноакрилатний та фібриновий клеї. Проте, відсутність антисептичних властивостей не знижує частоту виникнення інфікованих ран передньої черевної стінки після алопластики гриж живота. Тому, сучасна хірургія потребує розробки нових полімерних клейових композицій з антимікробними властивостями, які забезпечать фіксацію сітки по всій площі та стійку місцеву антисептичну дію.

Враховуючи вищенаведене, перспективним напрямком залишається створення нових медичних клейових композицій з антисептичними властивостями на основі олігоуретандіізоціанатів різної молекулярної маси та формування біологічно активних поліуретансечовинних композицій їх основі.

Відомо, що четвертинні амонійні солі, які містять хоча б одну алкільну ланку, мають поверхнево-активні та антисептичні властивості, та застосовуються як лікарські препарати. Для отримання нового біологічно активного полімерного матеріалу було обрано вітчизняний препарат – декаметоксин, який є поверхнево активною речовиною та володіє антимікробною дією по відношенню до грампозитивних та грамнегативних бактерій.

Тому, мета даного етапу роботи полягала у розробці нових медичних клейових композицій з антисептичними властивостями на основі олігоуретандіізоціанатів різної молекулярної маси та формування біологічно активних

поліуретансечовинних (ПУС) композицій з декаметоксином (ДКМ) на їх основі.

Враховуючи попередній досвід [1], було синтезовано пінополіуретансечовини (ППУС) на основі суміші олігоуретандіізоціанатів синтезованих на основі 2,4-;2,6-толуїлендіізоціанату та поліоксипропіленгліколів ПОПГ 1002 і ПОПГ 2002 у співвідношенні 1:1, та було отримано композиційні матеріали з ДКМ на їх основі, вміст якого складав 0,5 мас. % та 1,0 мас. %.

За результатами фізико-механічних випробувань (табл. 1), міцність при розриві плівкотвірних ПУС при введенні ДКМ змінюється несуттєво і для композиції ПУС-0,5ДКМ складає 2,26 МПа, а для композиції ПУС-1,0 ДКМ – 1,96 МПа, відносне подовження при розриві зберігається в межах (300–400) %, адгезійна міцність композицій збільшується приблизно в 3 рази.

Таблиця 1. Міцнісні властивості ПУС композиційних матеріалів з ДКМ

Зразки	Міцність при розриві, $\sigma$ , МПа	Відносне подовження при розриві, %	Адгезійна міцність, МПа
ПУС	1,98	330	1,07
ПУС-0,5ДКМ	2,26	295	2,80
ПУС-1,0 ДКМ	1,96	385	3,01

За даними ІЧ-спектроскопічних досліджень, спектр поглинання декаметоксину в області (3200–3600)  $\text{cm}^{-1}$  характеризується наявністю смуг поглинання (3468, 3395 та 3245)  $\text{cm}^{-1}$ , які віднесені до коливань асоційованої групи вторинних амінів. ІЧ-спектри ППУС композицій характеризуються смугами поглинання  $\nu_{\text{NH-зв'яз.}}$  – 3293  $\text{cm}^{-1}$  і  $\nu_{\text{NH-вільн}}$  – 3530  $\text{cm}^{-1}$  (рис. 1, а). Смуги поглинання 2970  $\text{cm}^{-1}$ , 2968  $\text{cm}^{-1}$  відносять до деформаційних коливань С-Н зв'язку. Наявні смуга поглинання  $\nu_{\text{C=O}}$  1726  $\text{cm}^{-1}$  СОО-груп уретанового фрагменту, смуги поглинання  $\nu_{\text{SC-O-C}}$  1092  $\text{cm}^{-1}$  та  $\nu_{\text{asC-O-C}}$  1373  $\text{cm}^{-1}$ , та смуга поглинання з максимумом 1537  $\text{cm}^{-1}$ , які відповідають коливанням  $\delta_{\text{NH}}$  уретанового фрагменту (рис. 1, б). Проте, виходячи з фрагментів ІЧ-спектрів,



знятих в частотних інтервалах (3800–2600)  $\text{cm}^{-1}$  та (800–1800)  $\text{cm}^{-1}$  при введенні ДКМ в композицію відбулися зміни: спостерігається підвищення інтенсивності смуг поглинання  $\nu_{\text{NH-зв'яз.}}$  – 3293  $\text{cm}^{-1}$  і  $\nu_{\text{NH-вільн}}$  – 3530  $\text{cm}^{-1}$  (рис. 1, а), що пов'язано зі збільшенням кількості слабо зв'язаних водневими зв'язками NH-груп.

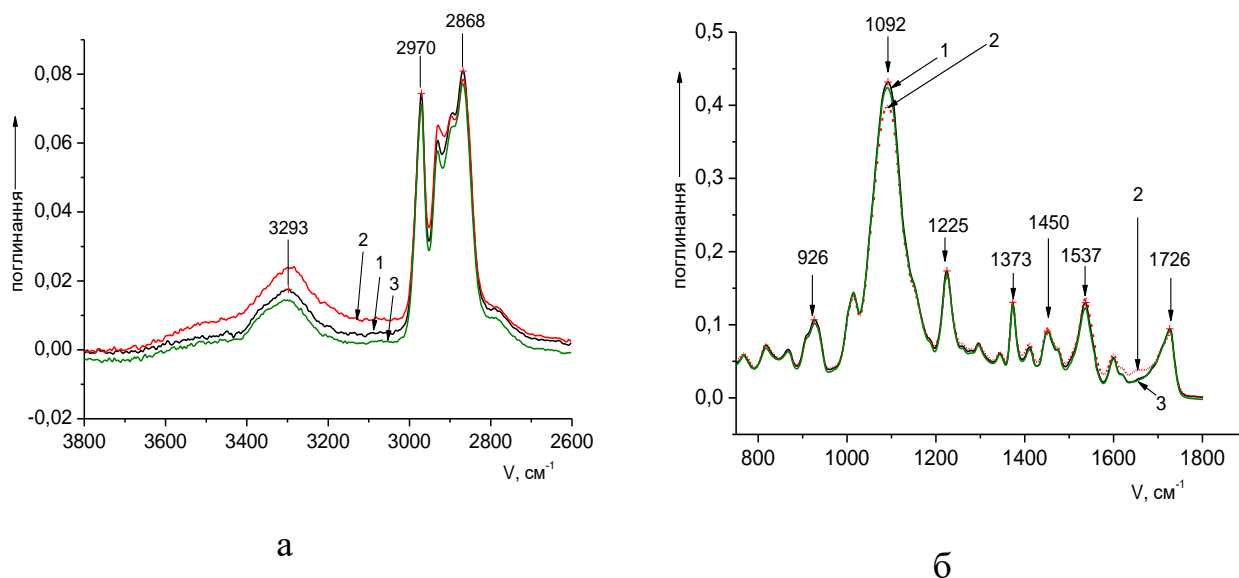


Рис. 1. Фрагменти ІЧ-спектрів ППУС композицій з ДКМ:

1 – ППУС-0,5ДМ; 2 – ППУС-1,0ДМ; 3 – ППУС

Як бачимо, в полімерному ряду зі збільшенням вмісту ДКМ спостерігається збільшення смуги 1726  $\text{cm}^{-1}$  з приблизним максимумом 1708  $\text{cm}^{-1}$  ( $\nu\text{C=O}$ ) (рис. 2, б). Це пов'язано з підсумуванням двох смуг поглинання  $\nu$  ( $\text{C=O}$ ) ДКМ та  $\nu$  ( $\text{C=O}$ ) полімерного матеріалу. Також про утворення водневих зв'язків в ряду полімерних матеріалів зі збільшенням вмісту ДКМ свідчить збільшення інтенсивності смуг поглинання в області (3000–3500)  $\text{cm}^{-1}$ .

Смуги 1450  $\text{cm}^{-1}$ , які теоретично зв'язують зі смугами коливань C-N, профіль смуг  $\delta\text{NH}$  області (1400–1500)  $\text{cm}^{-1}$  і (1300–1400)  $\text{cm}^{-1}$  без змін. Інтенсивність смуги  $\delta\text{NH}$  ( $\delta\text{NH}_{\text{уретан}} + \delta\text{NH}_{\text{сечовини}}$ ) при 1540  $\text{cm}^{-1}$  без змін. Смуги валентних коливань  $\nu\text{C-O}$  1225  $\text{cm}^{-1}$  уретанової групи ( $\text{NHCOO}$ ) без змін.

Таким чином, за результатами ІЧ-спектроскопічних досліджень введення ДКМ приводить до зміни інтенсивності смуг поглинання груп NH та C=O, які беруть участь в утворенні водневих зв'язків. Появи нових смуг поглинання не

спостерігається. Тобто, іммобілізація ДКМ відбувається за рахунок фізичних зв'язків.

За результатами теплофізичних випробувань встановлено, що вихідна ППУС має вищу температуру склування й менші значення  $\Delta C_p$  (табл. 2) порівняно з композитами з ДКМ. Тобто, введення ДКМ до ППУС знижує щільність пакування макроланцюга, внаслідок чого зростає величина вільного об'єму, що спричинює збільшення молекулярної рухливості та зниження  $T_c$ .

Таблиця 2. Теплофізичні властивості ППУС з ДКМ

Зразки	$T_c$ , °C		$\Delta C_p$ (J/(g·°C))	
	I цикл	II цикл	I цикл	II цикл
ППУС	-37,18	-47,62	0,3087	0,4023
ППУС+0,5 % ДКМ	-38,93	-49,70	0,2758	0,4134
ППУС+1,0 % ДКМ	-36,13	-50,09	0,3329	0,4188

За даними ТГА температура початку розкладання ( $T_{\text{поч розкл}}$ ) ППУС композицій з ДКМ лежить у діапазоні  $\sim(294\text{--}299)$  °C і супроводжується незначною втратою маси (0,02–0,04) %. Досліджувані ППУС термостійкі до температури (плюс) 290 °C, що дає змогу виконувати термічну стерилізацію зразків без зміни їхніх характеристик.

Таким чином, з урахуванням отриманих результатів отримані ППУС композиції з декаметоксином є перспективними з точки зору подальших їх досліджень як клейових композицій медичного призначення.

#### Література:

1. Денисенко В.Д., Галатенко Н.А., Рожнова Р.А., Нечаєва Л.Ю. (2022). Розробка та дослідження композиційних матеріалів з дакарбазином медичного призначення на основі поліуретансечовин. *Полімерний журнал*, 44(3), 222–230. <https://doi.org/10.15407/polymerj.44.03.222>

**NOVEL BRANCHED POLY(TERPHENYL PIPERIDINIUM) POLYMER**

**Tkachenko I.M., Gumenna M.A., Samoilenko T.F. Shevchenko V.V.**

*Institute of Macromolecular Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine,*

*Kharkivske Shosse 48, 02160, Kyiv, Ukraine*

*ttkachenkoim@gmail.com*

Anion exchange membrane fuel cells (AEMFCs) have garnered considerable interest as economical substitutes for conventional proton exchange membrane fuel cells, mainly due to the potential utilization of platinum-group metal-free catalysts for the oxygen reduction reaction. In the last decade, there has been significant progress in developing and investigating new materials, including anion exchange membranes (AEMs) and anion exchange ionomers (AEIs), for use in AEMFCs [1, 2].

Today, AEMs and AEIs based on poly(arylene piperidinium)s (PAPs) has drawn increasing attention as membrane materials, primarily because of their stiff aromatic backbone, high alkaline stability and tunable structure. Generally, PAPs with moderate ion exchange capacities (IECs) show a well-controlled water uptake, high hydroxide ion conductivity and chemical stability [3]. However, improving IEC of AEMs is considered a direct way to improve the OH<sup>-</sup> conductivity, but high IEC will cause a large amount of water absorption and thus damage the mechanical properties of AEMs [4]. It is known that polymers with branched architecture have received attention due to their facile one-step synthesis, distinctive shapes, and properties, rendering them suitable for large-scale production and a wide range of applications [5]. In this context the branched structure can increase the fractional free volume within AEMs and reduce the OH<sup>-</sup> transport resistance, thus reducing the dependence of OH<sup>-</sup> transport on IEC.

Here, we present a straightforward synthetic approach for the preparation of a novel quaternized poly(aryl piperidinium) polymer (QB-PTP) (Fig. 1). The polymer was synthesized by a trifluoromethanesulfonic acid catalysed polycondensation reaction of N-methyl-4-piperidone (**1**) as A2 monomer, *p*-terphenyl (**2**) as B2 monomer and 1-([1,1'-biphenyl]-4-yl)-2,2,2-trifluoroethanone (**2**) as A2B monomer.

The cationic QB-(TPT) polymer was prepared from neutral branched poly(aryl piperidine) polymer and iodomethane via the Menshutkin reaction.

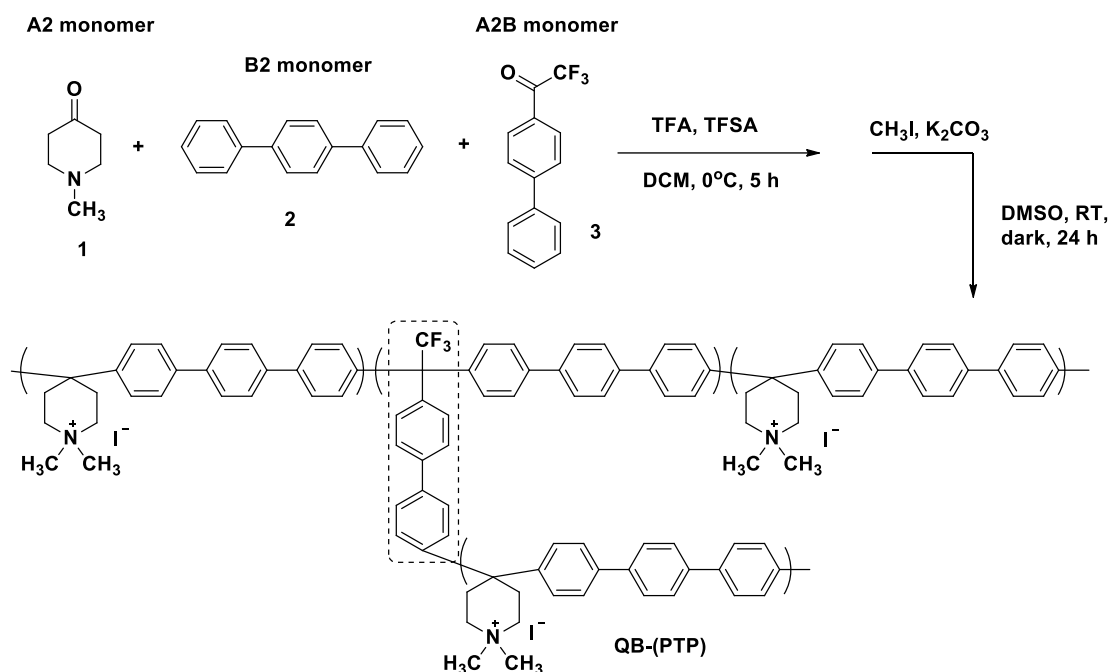


Fig. 1. Synthesis of QB-(PTP) polymer

The chemical structures of neutral B-(PTP) and ionic QB-(PTP) polymers were confirmed by <sup>1</sup>H NMR spectroscopy.

In conclusion, the primary data indicate that the QB-(PTP) polymer (in I<sup>-</sup> state) forms transparent and robust membranes from a DMSO solution. These membranes will then be converted into their OH<sup>-</sup> state, and their mechanical, physicochemical, thermal, and transport properties will be studied in the near future.

**Acknowledgements.** This work was supported by the Grant of the National Academy of Sciences of Ukraine to research laboratories/groups of young scientists (No. 28/02-2024(5)).

#### References:

1. Journal of Power Sources, 375, pp.158–169.
2. Journal of Materials Chemistry A, 6(32), 15456–15477.
3. Journal of Materials Chemistry A, 10(31), 16478–16489.
4. Journal of Colloid and Interface Science, 2023, 629, 377–387.
5. Macromolecules, 2010, 43(7), 3268–3276.

UDC 678.664

**COMPOSITE MATERIALS WITH DACARBAZINE BASED  
ON POLYURETHANEUREA WITH FRAGMENTS OF POLYVINYL  
ALCOHOL-POLYETHYLENE GLYCOL COPOLYMER  
IN THE STRUCTURE**

**Vislohuzova T.V., Rozhnova R.A., Kiselova T.O., Kozlova G.A.**

*Institute of Macromolecular Chemistry of NAS of Ukraine,*

*Kharkivske shose 48, 02160, Kyiv, Ukraine*

*rudenchyk@gmail.com*

Polyurethane ureas (PUU) are biocompatible materials that are intensively used for biomedical purposes and remain a promising polymer matrix for the creation of polymer materials of medical applications. The insertion of hydrophilic chains of polyvinyl alcohol-polyethylene glycol (PVA-PEG) copolymer into the polymer matrix may produce new hydrophilic polymer materials capable for more complete and prolonged release of the drugs. Because PVA-PEG is used in the pharmaceutical industry as a hydrophilic component that provides controlled release of drugs [1]. The drug dacarbazine (DAC), which belongs to alkylating cytostatic agents and is widely used for the treatment of metastatic melanoma [2], deserves special attention.

Therefore, the purpose of the work was to obtain composite materials with DAC based on PUU containing in the structure fragments of the PVA-PEG copolymer with different ratios of components, and to study their structure and properties.

PUU with fragments of PVA-PEG copolymer in the structure (Fig. 1) was obtained on the basis of diisocyanate prepolymer (DPP) (synthesized from polyoxypropylene glycol and 2,4-; 2,6-toluylene diisocyanate in a molar ratio of 1:2), 4,4'-diaminodiphenylmethane (DADPh) and PVA-PEG copolymer. PUU at different molar ratios of DPP:DADPh:PVA-PEG (1.0:0.7:0.3; 1.0:0.8:0.2; 1.0:0.9:0.1) were synthesized.

Composite materials containing DAC (PUU1-DAC, PUU2-DAC, PUU3-DAC) were obtained by filling PUU with PVA-PEG copolymer fragments (PUU1, PUU2, PUU3) by the drug DAC in the amount of 1 wt. %.

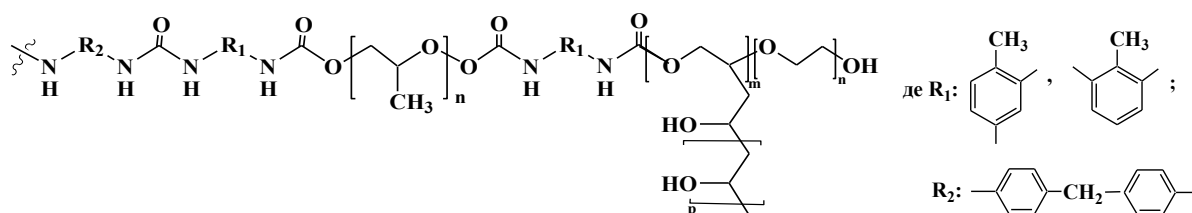


Fig. 1. Structural formula of PUU with fragments of PVA-PEG copolymer

The absence of chemical interaction of DAC with the polymer matrix was confirmed by the method of IR spectroscopy. The introduction of DAC into the PUU leads to the redistribution of intermolecular hydrogen bonds of NH groups (a decrease in the number of hydrogen-bond NH groups). Therefore, it can be concluded that the immobilization of DAC occurs due to intermolecular hydrogen bonds.

According to the results of physical-mechanical tests the introduction of DAC into the PUU causes a not significant decrease of strength ( $\sigma$ ) and relative elongation at break ( $\varepsilon$ ) (Table 1), which is probably associated with a decrease in the packing density of macrochains of the polymer matrix.

Table 1. Properties of PUU with PVA-PEG copolymer fragments in the structure and composite materials with DAC

Samples	DPP:DADPh:PVA-PEG, mole	$\sigma$ , MPa	$\varepsilon$ , %	$T_g$ , °C	$\Delta C_p$ , J/(g·°C)
PUU1	1.0:0.7:0.3	0.60	68.0	-28.41	0.3485
PUU2	1.0:0.8:0.2	0.31	47.4	-31.99	0.3389
PUU3	1.0:0.9:0.1	0.42	186.0	-17.25	0.3941
PUU1-DAC	1.0:0.7:0.3	0.31	99.0	-15.76	0.4605
PUU2-DAC	1.0:0.8:0.2	0.22	39.0	-12.50	0.4365
PUU3-DAC	1.0:0.9:0.1	0.40	152.0	-14.82	0.5429

According to DSC the investigated systems are single-phase. The introduction of DAC into the PUU causes an increase of a glass transition temperature ( $T_g$ ) and the specific heat capacity at the glass-transition temperature ( $\Delta C_p$ ) (Table 1), which can be caused by a change in chain mobility due to the introduction of the filler and is correlated with the data of physical-mechanical tests (the introduction of DAC into the PUU causes a decrease in  $\sigma$  and  $\varepsilon$ ).

According to the results of hydrophilicity studies, the water absorption values of PUU with fragments of PVA-PEG copolymer are within 7.76-15.64%. PUU with a DADPh macrochain extender, which don't contain a copolymer in the structure are characterized by low water absorption values (3.2%) [3]. Therefore, the introduction of the PVA-PEG copolymer into the PUU structure and increasing its content causes an increase in the hydrophilicity of the samples, which will contribute to the prolonged release of the drug from the polymer matrix.

Thus, composite materials with DAC based on PUU with fragments of PVA-PEG copolymer with different molar ratios of components were synthesized. The introduction of the PVA-PEG copolymer into the PUU structure and increasing its content causes an increase in the hydrophilicity of the samples, which will contribute to the prolonged release of DAC from the polymer matrix. Therefore, composites with DAC are promising materials and require follow-up biomedical research.

#### References:

1. Muschert S., Siepmann F., Leclercq B., Carlin B., Siepmann J. Drug release mechanisms from ethylcellulose: PVA-PEG graft copolymer-coated pellets. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 2009. Vol. 72. P. 130–37. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2008.12.007>

2. 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. Vol. 133, No. 2. P. 499–508. <https://doi.org/10.1038/jid.2012.273>

3. Rudenchyk T.V., Rozhnova R.A., Galatenko N.A., Kiselova T.O. Hydrophilic polyurethane ureas with cycloserine which contain in their structure the fragments of a copolymer of N-vinylpyrrolidone with vinyl alcohol: synthesis and characterization. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 2017, no. 5: 49–57.

УДК 678:547

## СИНТЕЗ, ВЛАСТИВОСТІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ДИМЕРНИХ ТА ПОЛІМЕРНИХ ІОННИХ РІДИН

Свердліковська О.С., Вовчук Б.В.

*ННІ “Український державний хіміко-технологічний університет”*

*Українського державного університету науки і технологій*

*пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро*

*o.sverdlikovska@gmail.com*

Одним з найбільш актуальних напрямків сьогодення є розробка нових димерних і полімерних матеріалів з високою іонною провідністю при збереженні рідкого стану в широкому температурному діапазоні та вирішення проблеми зниження собівартості цих сполук з використанням традиційної сировини. У зв'язку з цим розробка наукових основ підходу до створення нових мономерів та методів синтезу іонних полімерних рідин на їх основі дозволить прогнозувати їх відносний рівень властивостей, спрямований на задоволення сучасних вимог та вирішення актуальних проблем суспільства. Робота направлена на розробку принципово нових димерних і полімерних іонних рідин шляхом узагальнення існуючих теоретичних та експериментальних знань про нові класи іонних рідин. Це має наукове і практичне значення, оскільки дозволить надати необхідну інформацію для пропозиції цих сполук з метою вирішення науково-технічних проблем у різних галузях.

Попередні дослідження були спрямовані на узагальнення синтезу четвертинних амонієвих солей морфолінових похідних мономерів і полімерів, розробку методів регулювання молекулярної маси полімерів, опис поведінки поліелектролітів у розчині нових поліоненів та визначення іонної провідності водних і органічних розчинів синтетичних сполук як функції концентрації, молекулярної маси та хімічної структури. Було досліджено визначення іонної провідності як функції концентрації, молекулярної маси та хімічної структури. Це показало потенціал ефективного використання синтетичних сполук як компонентів мембран паливних елементів на основі поліелектролітних комплексів, активаторів процесу фотопроявлення та інгібіторів корозії металів.



У даній роботі вирішується актуальні питання зі створення нових димерних і полімерних матеріалів різного призначення – іонних рідин, які зберігають свій рідкий агрегатний стан у широкому діапазоні температур. Удосконалені науково-методичні підходи до синтезу димерних та полімерних іонних рідин дозволять вирішити науково-прикладну проблему створення іонних рідин з високою іонною провідністю при збереженні рідкого стану в широкому діапазоні температур, а багато існуючих димерних і полімерних іонних рідин можна буде доповнити новими дешевими сполуками з існуючої сировини. При цьому структурно-хімічна характеристика іонних рідких носіїв та виявлення кореляційних рівнянь, що встановлюють взаємозв'язок між хімічною структурою, фізико-хімічними та функціональними властивостями димерних і полімерних іонних рідин, а також науково обґрунтований підхід дасть змогу використовувати ці сполуки як розчинники для синтезу полімерів, для електрохімічних пристроїв. Планується їх ефективно застосування як модифікаторів полімерів та інших матеріалів для отримання певних характеристик.

**УДК 678:547**

## **РОЗРОБКА ПОЛІМЕРНИХ ІОННИХ РІДИН ТА ІОННИХ РІДИН ІОНЕНОВОГО ТИПУ**

**Свердліковська О.С., Потапчук М.О.**

*ННІ “Український державний хіміко-технологічний університет”*

*Українського державного університету науки і технологій*

*пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро*

*o.sverdlikovska@gmail.com*

Однією з найважливіших глобальних проблем є проблема охорони навколишнього середовища. Забруднення довкілля – зміна хімічних, механічних, фізичних, біологічних властивостей середовища, які у результаті природних чи штучних процесів. Глобальними джерелами забруднень довкілля є виробнича та побутова діяльність людини.

Існують три основні джерела забруднення атмосфери: енергетика, промисловість, транспорт. Загально визнано, що найбільше забруднює повітря

промислове виробництво. Багато технологічних процесів використовують органічні розчинники. Відомо, що це розчинники є екологічно небезпечними речовинами. Слід зазначити, що розчинники необхідні для хімічних процесів, але вони відсутні в кінцевому продукті.

«Зелена хімія» є актуальним сучасним науковим напрямом, заснованим на використанні як вихідних так і кінцевих продуктів реакцій з мінімальною токсичністю, відмові від допоміжних речовин або використанні нешкідливих, запобіганні викиду забруднень, застосуванні відновлюваної сировини.

Перспективними високомолекулярними сполуками є полііонени. Полііонени мають унікальні властивості і можуть бути рекомендовані як «зелені» розчинники. Відомо, що ефективнішим є синтез полііоненів, заснований на взаємодії третинного діаміну та дигалогеніду. При цьому реакція проводиться в одну стадію і протікає без виділення низькомолекулярних продуктів з утворенням полімеру з четвертинними амонієвими групами. Широкий набір мономерів дозволяє отримувати полімери з різною густиною заряду вздовж ланцюга полімеру та різною структурою.

Відомо застосування як мономерів аліфатичних, ароматичних, алкілароматичних так і циклічних дигалогенідів та третинних діамінів. Раніше були синтезовані полііонени на основі алкілароматичних, аліфатичних дигалогенідів та морфоліну, а також полііонени на основі епоксидних похідних 1,2-епокси-4,7-діоксононен-8.

Метою даної роботи є розробка полімерних іонних рідин та іонних рідин іоненового типу з заданими функціональними властивостями, що дозволить реалізувати їх корисні якості і здійснити спрямований вплив на процеси структуроутворення і створення якісно нових фізико-механічних та експлуатаційних характеристик полімерних пластизолей, визначення яких є необхідним для науково-обґрунтованого підходу до регулювання параметрів таких полімерних композиційних матеріалів та безпечного практичного застосування.

**ВІСКОЗИМЕТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ  
ПОЛІМЕРНИХ ІОННИХ РІДИН ІОНЕНОВОГО ТИПУ**

**Свердліковська О.С., Черваков О.В., Буркевич Б.В.,**

**Мінтян М.Ю., Бережний Д.**

*ННІ “Український державний хіміко-технологічний університет”*

*Українського державного університету науки і технологій*

*пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро*

*o.sverdlikovska@gmail.com*

У кожному окремому випадку залежно від будови вихідних мономерів необхідно встановлювати вплив розчинника на швидкість реакції утворення полімеру, враховуючи розчинність вихідних мономерів і полімерів, а також конформаційний фактор зростаючого ланцюга макромолекули полімеру в реакційному середовищі.

Висновки прогнозування поведінки макромолекул полімерних іонних рідин іоненового типу у реакційній суміші можуть вважатися за доцільні з практичної точки зору, тому що дозволяють обґрунтовано підходити до удосконалення методології синтезу полімерних іонних рідин іоненового типу (ПІР).

У роботі досліджено залежність приведеної в'язкості різних за будовою полімерів від складу суміші етанол–вода (рис. 1). Зі збільшенням вмісту етанолу в суміші етанол–вода приведена в'язкість для ПІР С-4-1 і С-4-4 (криві 3, 4, рис. 1) збільшується до вмісту етанолу 30–50 об.%. Ці залежності характеризуються одним максимумом. Залежність приведеної в'язкості ПІР С-1-1 (крива 1, рис. 1) ця залежність має максимум і мінімум: при вмісті етанолу до 30 об.% і 50 об.% спостерігається зростання приведеної в'язкості, далі – незначне зниження в'язкості, а при подальшому збільшенні концентрації етанолу вище 70 об. % значення приведеної в'язкості знову різко зростає.

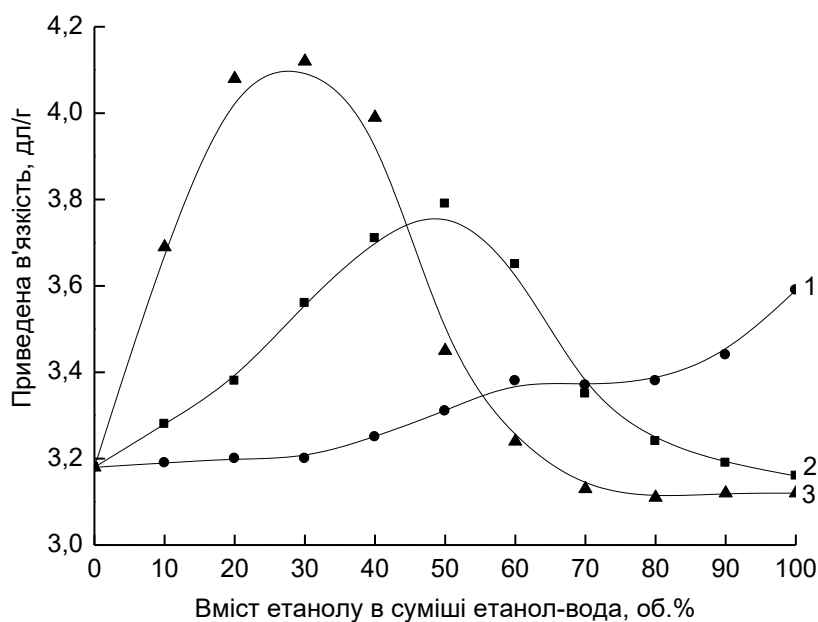


Рис. 1. Залежність приведеної в'язкості розчину полімерних іонних рідин іоненового типу від складу розчинника етанол – вода при концентрації полімеру 0,1 г/дл: 1 – С-1-1; 2 –С-4-1; 3 – С-4-4

Характер залежності приведеної в'язкості полімерних іонних рідин іоненового типу від складу суміші етанол-вода вказують на: зниження в'язкості полімеру зумовлено пригніченням ступеня дисоціації його іоногенних груп (макромолекула набуває більш згорнутої конформації); зростання значення в'язкості полімеру у середовищі з більш низькою діелектричною проникністю – кращою розчинністю молекул органічного поліелектроліту (розгортання макромолекули полімеру). Зміна кількості органічного розчинника в суміші органічний розчинник-вода розчину полімерних іонних рідин іоненового типу приводить до пригнічення ступеня дисоціації іоногенних груп полімеру, що визначається його гідрофобністю. Це проявляється, в першу чергу, невелика кількість органічного розчинника необхідна для пригнічення дисоціації більш згорнутої макромолекули полімеру з більшою гідрофобністю, більша кількість органічного розчинника – менш згорнутої макромолекули полімеру з більшою гідрофобністю.

Виходячи із цих результатів, можна констатувати, що нові синтезовані полімерні іонні рідини іоненового типу характеризуються класичною поведінкою макромолекул поліелектроліту у водно-органічних розчинах, що є відмінною рисою четвертинної амонієвої групи.

Отримані результати свідчать, що при синтезі полімерних іонних рідин іоненового типу у водно-органічних розчинниках необхідно враховувати зміни конформації продуктів зростання ланцюга полімеру, що впливає на активність кінцевих функціональних груп. Отримані дані дозволяють стверджувати, що покращення якості розчинника для полімерних іонних рідин іоненового типу відбувається лише зі зростанням вмісту етанолу більше 50–70 об.% у суміші етанол–вода.

Слід зазначити, що при синтезі полііоненів у різних розчинниках на молекулярну масу синтезованих полімерів визначальним є такі фактори: температура, тривалість, реакційна здатність і концентрація вихідних мономерів тощо.

Результати дослідження впливу температури, при якій проводять синтез полімерних іонних рідин іоненового типу на значення приведеної в'язкості розчину отриманих полімерів показали, що максимальна молекулярна маса полімерних іонних рідин іоненового типу досягається за температури 50 °С. Криві температурної залежності приведеної в'язкості полімерних іонних рідин іоненового типу характеризуються наступними змінами і пояснюються наступним чином: різке зростання при підвищенні температури на початку процесу синтезу пов'язано зі збільшенням швидкості зростання ланцюга полімеру, далі криві проходять через максимум в області оптимальної температури реакції третинних діамінів з дігалогенідами, а зниження при збільшенні температури вище оптимальної – з побічними реакціями галогенметильних груп дігалогенідів.

У роботі встановлено, що оптимальний час синтезу полімерних іонних рідин іоненового типу з максимальною в'язкістю знаходиться в межах 14–16 годин.

У роботі також наведена залежність приведеної в'язкості синтезованих полімерних іонних рідин іоненового типу від концентрації вихідних мономерів.

Зменшення приведеної в'язкості синтезованих полімерних іонних рідин іоненового типу відбувається: для полімерних іонних рідин іоненового типу, які містять радикали аліфатичної будови при концентрації вихідних мономерів, вище 0,4 моль/л, а для полімерних іонних рідин іоненового типу, які містять радикали алкілароматичної будови – 0,5 моль/л. Визначальним фактором є збільшенням кількості й посилення внутрішньо- та міжмолекулярних взаємодій між продуктами зростання ланцюга полімеру в реакційній суміші (відбувається згортання макромолекули полімеру). Показано, що оптимальна концентрація вихідних мономерів для отримання полімерних іонних рідин іоненового типу з максимальною в'язкістю відповідає максимуму на цій залежності, положення яких визначаються будовою полімерів. Таке явище зумовлено впливом упорядкованості будови полімеру на конформацію зростаючого ланцюга його макромолекули і відповідно на активність кінцевих функціональних груп. Відмінною особливістю цього дослідження було визначення впливу наявності і кількості електронодонорних груп у ланцюзі макромолекули полімеру.

**УДК 678.049:678.049.91**

**ПОЛІВІНІЛХЛОРИДНИЙ ПЛАСТИКАТ, НАПОВНЕНИЙ  
АЛЮМОСИЛКАТНИМИ МІКРОСФЕРАМИ**

**Павленко А.А., Півоваров О.А.**

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет,*

*вул. Сергія Єфремова, 25, 49000, м. Дніпро*

*aavsaa@ukr.net, apivo@ua.fm*

Зростання темпів виробництва полімерних матеріалів та застосування у агропромисловому комплексі обумовлено високим рівнем їх технологічних, експлуатаційних і спеціальних функціональних властивостей. Високонаповнені полімерні композиції привабливі не тільки з точки зору зменшення їх собівартості та можливості утилізації вторинних полімерів, але й завдяки підвищенню рівня їх експлуатаційних властивостей [1].

Актуальною проблемою є зменшення собівартості пластикату на основі полівінілхлориду (ПВХ) за рахунок наповнення дешевими наповнювачами,

зокрема одержаних з відходів ряду виробництв [2]. Метою даної роботи є розробка і дослідження властивостей пластикатів на основі ПВХ, які наповнені алюмосилікатними мікросферами (АСМ).

Зразки пластикатів виготовляли методом вальцювання при температурі валків 160–170°C та фрикції 1,2.

Вивчено вплив АСМ на рівень технологічних та деформаційно-міцнісних властивостей, а також теплофізичних характеристик пластикату на основі ПВХ.

Результати дослідів оброблені методами математичної статистики.

Встановлено, що на рівень властивостей полімерної композиції суттєво впливає вміст АСМ. Зокрема, густина пластикату зменшилась в 1,1, міцність при розтязі – в 1,5, а відносне подовження – в 1,3 разів. При введенні у пластикат 15 мас. ч. АСМ спостерігали збільшення коефіцієнту теплопровідності в 1,5 разів, а температура розм'якшення за Віка зростала в 1,4 рази. В основному спостерігалась адитивна зміна значень характеристик пластикату.

Таким чином, в результаті проведених експериментальних досліджень виявлено, що при введенні АСМ зростає рівень технологічних та теплофізичних властивостей пластикату на основі ПВХ. Отримано матеріал, який відрізняється від відомих сферопластів низькою густиною, більш високим рівнем твердості та коефіцієнтом теплопровідності. Окрім цього, важливим ефектом застосування дешевих АСМ є зниження вартості ПВХ пластикату. Також можна зробити висновок, що досконалість форми АСМ (їх розмірна стабільність), сприяє кращому змочуванню розплавом полімеру, можливості точного прогнозування властивостей та покращує переробку отриманого композиту.

#### Література:

1. Бурдак М.О., Костенко А.Ю., Березненко Н.М., Новак Д.С., Лаврук В.І. Особливості фізико-механічних властивостей полівінілхлоридних композицій, наповнених відходами гуми // Легка промисловість. – 2018. – № 4. – С. 45–48.
2. Ларук Ю.В., Левицький В.Є. Реологічні властивості полівінілхлорид-полістирольних пластикатів // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2016. – № 841. – С. 383–387.

УДК 678.027.3; 678.742.2; 678.046.5

## ВПЛИВ ЕПОКСИДОВАНОЇ СОЄВОЇ ОЛІЇ НА ВЛАСТИВОСТІ ДЕРЕВИННО-ПОЛІМЕРНОГО КОМПОЗИТУ

Криволапов Д.С., Романченко І.Ю., Баштаник П.І., Сухий К.М.

*ННІ “Український державний хіміко-технологічний університет”*

*Українського державного університету науки і технологій*

*пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро*

*bashtanyk@i.ua*

Деревинно-полімерні композити (ДПК) виробляють комбінацією двох основних матеріалів: деревинного борошна та термопластів [1]. ДПК часто замінюють традиційні оздоблювальні матеріали завдяки властивим їм характеристикам: низькою густиною, високими механічними властивостями, біорозкладністю, низькими витратами на обробку.

Для покращення адгезії на межі поділу фаз «полімер – деревинне борошно» використовують компатибілізатори (силікати, титанати, органічні кислоти, ангідриди кислот, ізоціанати, полімерні сполуки).

Мета роботи полягала у дослідженні впливу використання як компатибілізатора епоксидованої соєвої олії на фізико-механічні властивості ДПК на основі вторинного поліетилену високої густини.

У якості об'єкта дослідження був використаний композит із таким складом: вторинний поліетилен високої густини – 30 мас. %; деревинне борошно – 54 мас. %; кальцит – 11 мас. %; поліетиленовий віск – 1,1 мас. %; стеаринова кислота – 1,1 мас. %, УФ стабілізатор та барвники – інше. Вміст епоксидованої соєвої олії (епоксидне число 6,6 %) у композиції змінювали від 0 до 3 мас. %. Технологічний процес отримання ДПК складався з наступних стадій: підготовка компонентів; сушіння та контроль якості сировини; приготування механічної суміші у лопатевому змішувачі (sky win swhl 600/1200) при 800 об/хв.; гранулювання отриманої маси у двошнековому екструдері (sky win swmsz-3) при температурі від 160 до 200 °С; екструзія терасної дошки, з якої вирізалися зразки для досліджень.



Фізико-механічні властивості ДПК в залежності від вмісту епоксидованої соєвої олії наведено у таблиці.

Таблиця. Фізико-механічні властивості ДПК  
в залежності від вмісту епоксидованої соєвої олії

Властивості	Вміст епоксидованої соєвої олії, мас. %				
	0,0	0,5	1,0	2,0	3,0
Міцність при вигині, МПа	31,6	50,8	46,7	36,4	34,2
Ударна в'язкість за Шарпі (на зразках з надрізом), кДж/м <sup>2</sup>	7,5	20,0	15,6	15,2	15,2

Аналізуючи дані таблиці, можна констатувати, що при вмісті епоксидованої соєвої олії 0,5 мас. % у деревинно-полімерному композиті покращуються його фізико-механічні властивості: ударна в'язкість за Шарпі (на зразках з надрізом) зростає майже у три рази (від 7,5 до 20,0 кДж/м<sup>2</sup>). Це можна пояснити тим, що епоксидні групи епоксидованої соєвої олії вступають у взаємодію з гідроксильними групами деревини. Слабополярні ж фрагменти жирних кислот соєвої олії добре сумісні з поліетиленом, а отже, зростає сумісність між полімером та деревиною. При збільшенні вмісту епоксидованої соєвої олії у композиті відбувається пластифікація полімерної матриці, і, як наслідок, міцність при вигині та ударна в'язкість за Шарпі зменшуються.

Таким чином, проведене дослідження показало, що застосування епоксидованої соєвої олії у якості компатибілізатора гідрофобного деревинного наповнювача дозволить отримувати вироби із ДПК з високими фізико-механічними властивостями.

#### Література:

1. Chand N., Fahim M. Wood-reinforced polymer composites. Tribol. Nat. Fiber Polym. Compos. 2021. P. 177–191.

УДК 678.675.678.84.678.048

## ФОРПОЛІМЕРИ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ АТМОСФЕРОСТІЙКИХ ГЕРМЕТИКІВ

Ситар В.І.<sup>1</sup>, Кабат О.С.<sup>1</sup>, Мітіна Н.Б.<sup>1</sup>, Клименко А.В.<sup>1</sup>,  
Zicans J.<sup>2</sup>, Merijs Meri R.<sup>2</sup>, Abele A.<sup>2</sup>, Berzins R.<sup>2</sup>

*ННІ “Український державний хіміко-технологічний університет”*

*Українського державного університету науки і технологій*

*пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро, v.sytar@ua.fm*

*<sup>2</sup>Riga Technical University, Kļipsalas Street 6A, 1048, Riga, Latvia*

У сучасності з метою економії нафтопродуктів і розширення сировинної бази ведеться пошук нових вихідних матеріалів для синтезу полімерів. В цьому плані особливий інтерес уявляють продукти, що отримують з відновлювальної рослинної сировини.

Виходячи з цих уявлень, в роботі розроблені теоретичні засади та відпрацьовані методики проведення синтезу форполімерів із використанням сполук на основі карданолу, отриманого з відновлювальної сировини, а саме шляхом екстракції з горіхової шкарлупи горіхів кеш'ю. З метою отримання сполук з кінцевими силільними групами у процесі синтезу у склад реакційної суміші вводили монофункціональні аміносилани. Отримані у процесі синтезу форполімери на основі карданолу застосовані для розробки модельних систем та виготовлення дослідної партії матеріалу. У склад композитів на основі отриманих форполімерів вводили цільові добавки з метою отримання атмосферостійких герметиків. Вміст полімерів на основі карданолу складає в межах 40 % від загальної маси матеріалу. Іншими компонентами композитів є пластифікатори, наповнювачі, каталізатори та прискорювачі адгезії. Проведено дослідження в'язкості та структури молекул отриманих полімерів із застосуванням реометрів та ІЧ-спектрометра. Розроблена методика проведення адгезійних випробувань і досліджень стійкості до дії мікроорганізмів герметиків на основі нових форполімерів.

Проведений аналіз промислових герметиків і отриманих на основі карданолу свідчить про високий рівень властивостей розроблених матеріалів і відкриває широкі можливості для застосування їх у промисловості.

УДК 678.675.678.84.678.048

**ПРОГНОЗУВАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ КОМПОЗИТНИХ  
ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ШЛЯХОМ ВИВЧЕННЯ РЕЛАКСАЦІЇ  
НАПРУЖЕНЬ ПРИ ДЕФОРМУВАННІ**

**Назаренко А.О., Ситар В.І., Чередник Д.С., Кудрявцев А.Ю.**

*ННІ “Український державний хіміко-технологічний університет”*

*Українського державного університету науки і технологій*

*пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро, v.sytar@ua.fm*

При виборі матеріалу для виготовлення деталей, що працюють під навантаженням, дуже важливим є вивчення впливу часу дії навантаження і температури. Тривала дія навантаження, а також підвищення температури, можуть приводити до руйнування матеріалу або значному деформуванню при порівняно низьких навантаженнях. Без урахування напружено-деформованого стану полімеру і його в'язко-пружних властивостей неможливо правильно підібрати матеріал для виготовлення виробів з конкретними умовами експлуатації. Регістрацію кривих релаксації проводили на прикладі, що дозволяє досліджувати деформаційні властивості полімерних матеріалів у широкому інтервалі температур.

Релаксація напружень у найбільш повній формі може бути виражена рівнянням з використанням принципу суперпозиції Больцмана. У якості досліджуваних матеріалів застосовували склопластики та композити на основі ароматичного поліаміду фенілон, які часто використовують для виготовлення деталей, що працюють при дії значних навантажень. При порівняно великих значеннях деформації на релаксаційних кривих починаючи з певного моменту часу швидкість релаксації стає постійною. Отримані теоретичні залежності можуть бути використані при обробці результатів вимірювання показників механічних властивостей полімерних матеріалів, коли визначаються зміни деформації у часі при дії різних навантажень. Отримані результати дозволяють оцінити механічні властивості полімерних композитів в області напружень і деформацій, що уявляє інтерес, і прогнозувати їх працездатність у конкретних умовах експлуатації.

**РОЗРОБКА ПОЛІМЕРНО-КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ  
КОНСТРУКЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

**Деркач О.Д.<sup>1</sup>, Макаренко Д.О.<sup>1</sup>, Сукачов В.В.<sup>1</sup>,**

**Кабат О.С.<sup>1,2</sup>, Баштанник П.І.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Дніпровський державний аграрно-економічний університет,  
вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро*

*<sup>2</sup> ННІ “Український державний хіміко-технологічний університет”  
Українського державного університету науки і технологій  
пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро,*

*derkach.o.d@dsau.dp.ua, makarenko.d.o@dsau.dp.ua*

Полімерно-композитні матеріали (ПКМ) конструкційного призначення широко застосовуються закордонними виробниками техніки та обладнання. Більшість полімерних матеріалів, що використовуються промисловістю України – імпортна сировина. Забезпечення вітчизняного машинобудування виробами із ПКМ є актуальним завданням сьогодення. У машинобудуванні набув поширення аліфатичний поліамід 6. Проте, його механічні властивості у певній мірі обмежують сферу використання. Одним із шляхів поліпшення характеристик поліаміду 6 є введення в його структуру наповнювачів: волокнистих матеріалів, порошоків та ін. Це дозволяє одержувати більш високі показники міцності, зносостійкості та довговічності.

Для створення конструкційних ПКМ на основі аліфатичного поліаміду 6, було введено в матрицю наповнювачі: волокно (ВВ) та мастило ПМС-400. Їх вводили за допомогою модернізованого одношнекового екструдера ЕКГ-45 за температури 260 °С. Отримували ПКМ різного складу, умовні позначення яких мають вигляд ВПА-6-20-1, де ВПА – вуглепластик на основі поліаміду-6; 20 – масова доля ВВ та 1 – масова доля мастила ПМС-400.

Методи дослідження. Ударну в'язкість досліджували за методом Шарпі ISO 179/2D. Дослідження міцнісних характеристик здійснювали на випробу-

вальной машині FP-100 згідно ГОСТ 4651-82. Вологопоглинання ПКМ вимірювали за ГОСТ 4650-80, метод «А».

Результати дослідження межі текучості та ударної в'язкості (рис. 1) показують, що зі збільшенням концентрації ВВ спостерігається зростання межі текучості одержаних ПКМ, що пов'язано із ефектом армування матриці полімеру ВВ. Введення мастила ПМС-400 в структуру ПКМ призводить до зменшення цього параметра.

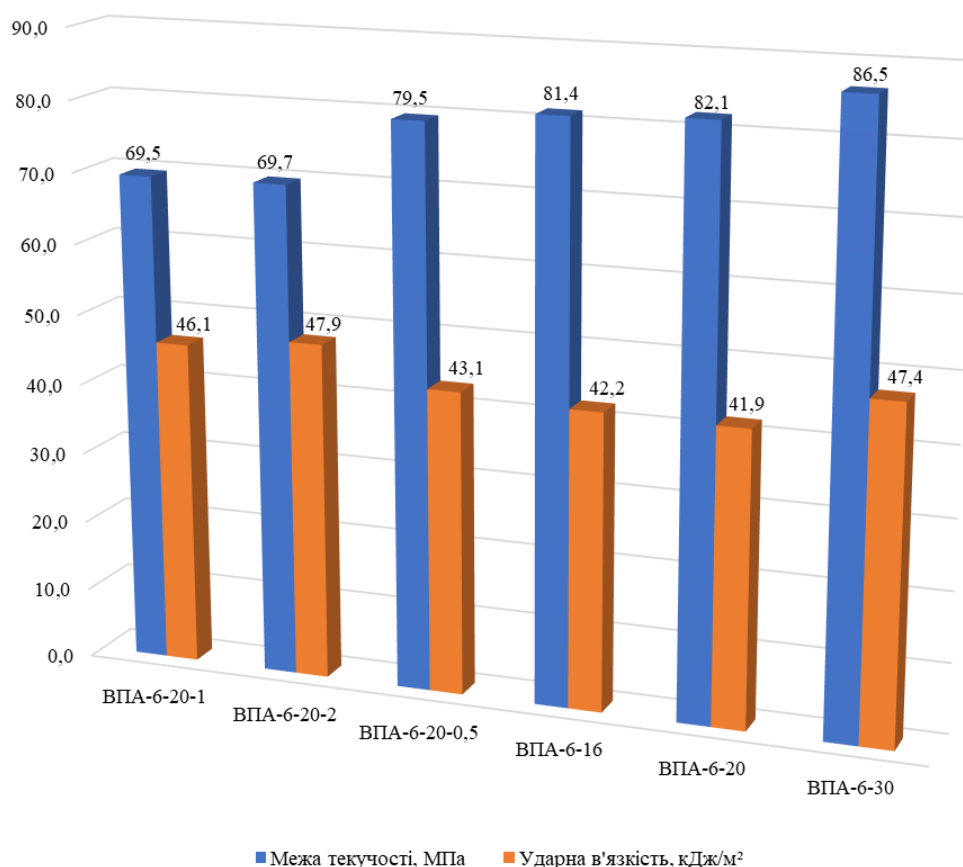


Рис. 1. Залежність межі текучості та ударної в'язкості від вмісту компонентів в матриці поліаміду 6

Встановлено, що введення мастила ПМС-400 в структуру ПКМ призводить до зростання ударної в'язкості. Введення 2 мас. % ПМС-400 у ВПА-6-20 дозволяє одержати матеріал, що має ударну в'язкість на рівні з матеріалом, що містить 30 мас. % ВВ. Це дозволяє зменшити собівартість ПКМ без погіршення його характеристик.

Однією з негативних властивостей ПКМ на основі поліаміду 6 є їх гігроскопічність. Тому, для підвищення довговічності деталей, виготовлених з таких ПКМ, необхідно виконувати заходи для захисту їх від негативного впливу вологи. Для вирішення цього завдання в структуру ПКМ вводили мастило ПМС-400. Результати дослідження вологопоглинання розроблених матеріалів наведено на рис. 2.

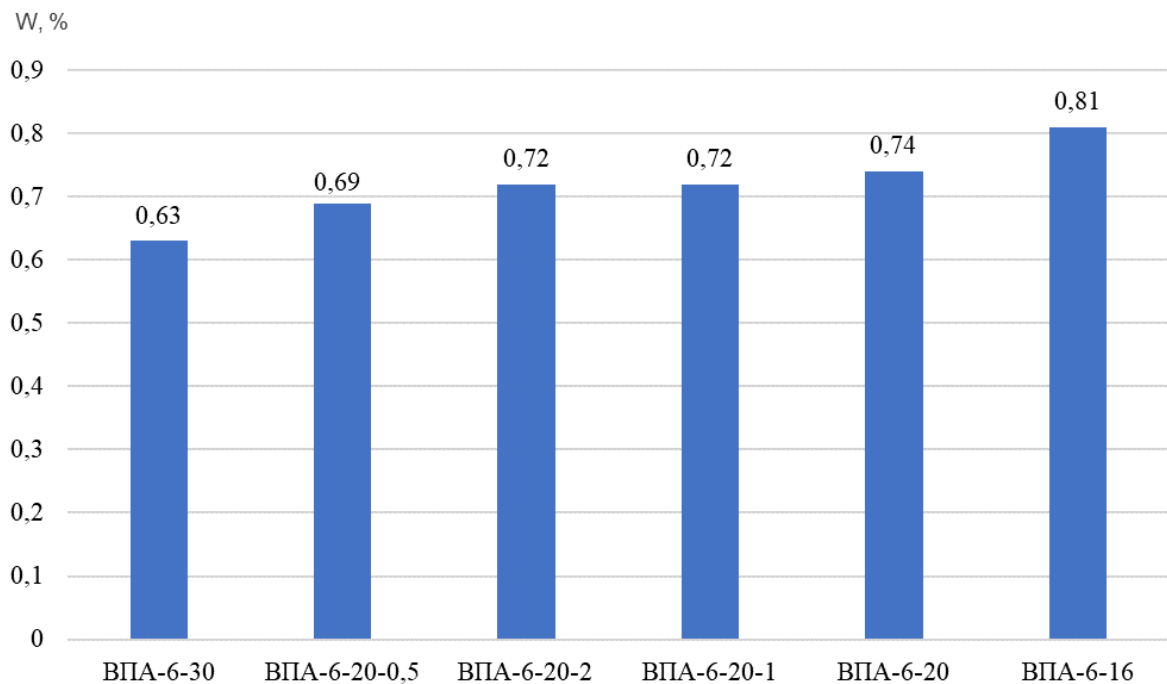


Рис. 2. Вологопоглинання розроблених ПКМ

Враховуючи одержані результати, можна зробити висновок, що введення мастила ПМС-400 у кількості до 2 мас. % не забезпечує суттєвого зниження вологопоглинання ПКМ. Саме вміст поліаміду 6, має ключовий вплив, на досліджуваний показник.

Отже, розроблені вуглепластики вітчизняного виробництва мають достатні фізико-механічні властивості для застосування в рухомих з'єднаннях сільсько-господарської техніки: сівалок та посівних комплексів, зернозбиральних комбайнів, ґрунтообробної техніки, конвеєрів тощо. За допомогою екструдера ЕКГ-45 з модернізованими конструктивно-технологічними елементами забезпечено отримання вуглепластиків зі властивостями, адаптованими до умов експлуатації конкретних трибосистем.

**МЕХАНІЗМ ФОРМУВАННЯ ПОРИСТОЇ СТРУКТУРИ  
ПОЛІТЕТРАФТОРЕТИЛЕНУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ  
ГІДРОКАРБОНАТУ НАТРІЮ В ЯКОСТІ ПОРОУТВОРЮВАЧА**

**Калюжний О.Б.<sup>1</sup>, Платков В.Я.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Державний біотехнологічний університет,*

*вул. Алчевських 44, 61002, м. Харків*

*albokal1976@gmail.com*

*<sup>2</sup>Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля*

*вул. Іоанна Павла II, 17, 01042, м. Київ*

На даний час існує велика кількість методів отримання пористих полімерів, заснованих на хімічних, фізичних та хіміко-фізичних процесах. При отриманні об'ємних пористих полімерних матеріалів часто використовують різні пороутворювачі, які додають до полімеру з подальшим розчиненням, випаровуванням або вигорянням [1].

При формуванні контрольованих порових структур в якості пороутворювачів використовують розчинні неорганічні матеріали. Недоліком розчинних пороутворювачів є неможливість отримання відкритої пористості ( $\phi$ ) при малих значеннях ( $\phi < 70\%$ ) [2].

Цікавить випробувати пороутворювач, який при виготовленні об'ємних пористих полімерів частково газифікується, що може дозволити отримати відкриту пористість при малих її значеннях, а тверда фракція пороутворювача, що залишилася у заготівках (зберігає геометрію порового простору), буде видалена вилуговуванням.

Пористі полімерні матеріали виготовлялися шляхом попередньої підготовки суміші порошків пороутворювача та полімеру, їх змішування, пресування, термообробки, вилуговування пороутворювача та сушіння [1].

В якості основи пористого полімерного матеріалу використовувався порошкоподібний політетрафторетилен (ПТФЕ) з розміром частинок  $< 100$  мкм та щільністю  $2,19 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. В якості пороутворювача, який частково газифі-

кується, був обраний гідрокарбонат натрію ( $\text{NaHCO}_3$ ). Раніше  $\text{NaHCO}_3$  використовувався як вилуговувемий пороутворювач [3], але як частково газифікований пороутворювач не використовувався. Щільність  $\text{NaHCO}_3$  близька до щільності ПТФЕ і становить  $2,16 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , що дозволяє отримати якісне змішування компонентів. При нагріванні більш ніж  $60 \text{ }^\circ\text{C}$   $\text{NaHCO}_3$  переходить у карбонат натрію ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) з виділенням води та вуглекислого газу. Натрій карбонат має високу температуру плавлення ( $852 \text{ }^\circ\text{C}$ ) і добре розчинний у воді.

Суміші з різним співвідношенням ПТФЕ та  $\text{NaHCO}_3$  готувалися в лабораторному блендері при частоті обертання ножів  $600 \text{ об/хв}$  протягом  $60 \text{ с}$  за температури менше ніж  $19 \text{ }^\circ\text{C}$ . З приготовлених сумішей шляхом пресування у прес-формі з внутрішнім діаметром ( $D$ )  $40 \text{ мм}$  з витримкою  $30 \text{ с}$  при тиску  $155 \pm 5 \text{ МПа}$  були отримані напівфабрикати у вигляді дисків товщиною ( $h$ )  $12 \pm 0,1 \text{ мм}$  [4]. Отримані напівфабрикати нагрівалися з піччю до температури  $t = 385 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  (в інтервалі температур  $60 \div 200 \text{ }^\circ\text{C}$  відбувалася часткова газифікація  $\text{NaHCO}_3$ ), витримувалися за цієї температури протягом  $1 \text{ години}$  та охолоджувалися з піччю. Тверда фракція пороутворювача  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , що залишилася в напівфабрикатах та утворилася при частковій газифікації  $\text{NaHCO}_3$ , видалялася розчиненням у воді при  $t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Остаточною стадією приготування пористих ПТФЕ було їх сушіння при  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  протягом  $12 \text{ год}$ .

Маси компонентів суміші, напівфабрикатів та пористих ПТФЕ ( $m$ ) визначалися з точністю  $\pm 0,05 \text{ г}$ , а розміри напівфабрикатів та пористих ПТФЕ –  $\pm 0,01 \text{ мм}$ . В даній роботі пористість матеріалів визначалася розрахунковим методом:

$$\varphi = \left(1 - \frac{\rho_V}{\rho_{\text{ПТФЕ}}}\right) \cdot 100, \% \quad (1)$$

де  $\rho_V$  – об'ємна щільність напівфабрикатів після пресування та термообробки, а також пористих ПТФЕ, отриманих після вилуговування та сушіння ( $\rho_V = 4m/\pi D^2 h$ ),  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho_{\text{ПТФЕ}}$  – щільність ПТФЕ,  $\text{кг/м}^3$ .

З метою встановлення можливості використання  $\text{NaHCO}_3$  як пороутворювача для отримання пористого ПТФЕ була приготовлена їх суміш з рівним



ваговим співвідношенням, яка в подальшому піддавалася пресуванню і термообробці. Після вилуговування пороутворювача і сушіння було отримано пористий ПТФЕ з кінцевою пористістю 52,37%. Зазначимо, що при використанні NaCl в якості пороутворювача не вдавалося отримати пористий ПТФЕ з пористістю менше ніж 70%, тому що окремі частинки пороутворювача повністю покривалася полімером, і видалення їх шляхом вилуговування ставало неможливим.

Вивчено формування порових структур ПТФЕ пороутворювачем  $\text{NaHCO}_3$  в інтервалі концентрацій від 50 до 90 % за масою. Для різних вагових співвідношень компонентів суміші були розраховані об'ємна щільність та пористість напівфабрикатів після пресування ( $\varphi_p$ ), термообробки ( $\varphi_t$ ), вилуговування та сушіння, тобто для пористого ПТФЕ ( $\varphi_{\text{птфе}}$ ), які наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Об'ємна щільність та пористість на різних етапах обробки сумішей з різним змістом  $\text{NaHCO}_3$

Вміст $\text{NaHCO}_3$ у суміші, % за масою	Етапи обробки					
	Після пресування		Після термообробки		Після вилуговування та сушіння	
	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\varphi_p$ , %	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\varphi_t$ , %	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\varphi_{\text{птфе}}$ , %
50	2,20	0,04	1,68	23,64	1,05	52,37
60	2,13	3,18	1,63	26,09	0,86	60,76
65	2,11	3,98	1,59	27,74	0,76	65,28
70	2,11	4,08	1,54	29,80	0,66	70,16
75	2,10	4,64	1,51	31,25	0,55	75,06
80	2,07	5,89	1,47	33,38	0,47	78,50
85	2,00	8,98	1,40	36,48	—	—
90	1,99	9,41	1,37	37,81	—	—

З табл. 1 слід, що після пресування, при збільшенні вмісту  $\text{NaHCO}_3$  у суміші спостерігається зростання пористості напівфабрикатів від 0,04 до 9,41 %. Таке зростання пористості пов'язане з тим, що зі зменшенням вмісту ПТФЕ в суміші знижується її антифрикційна властивість, і, як наслідок, зростає недопресування напівфабрикатів.

Після термообробки пористість напівфабрикатів являє собою сукупність пористості, сформованої при пресуванні, та пористості, отриманої в результаті часткової газифікації пороутворювача. Збільшення вмісту пороутворювача від 50 до 90 % супроводжується зростанням пористості, утвореної частковою газифікацією від 23,6 до 37,81 %.

При вилуговуванні пористість збільшується внаслідок розчинення  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Після вилуговування та сушіння отримані пористі ПТФЕ, у яких зі збільшенням у сумішах співвідношення пороутворювача та ПТФЕ від 50 до 80 %, пористість змінювалася від 52,37 до 78,50 %. Пористі ПТФЕ, у формуванні яких використовувалося 85 і 90 % пороутворювача  $\text{NaHCO}_3$  після вилуговування стали високоеластичними і не утримували форму під час вимірювань, тому визначити їх щільність і пористість розрахунковим методом не вдалося.

Видалення  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в процесі вилуговування та наступне сушіння дозволили отримати пористі ПТФЕ з  $\phi$ , близькими до значень вмісту  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  у вихідній суміші (табл. 1). Це свідчить про те, що зміна  $\phi$  на етапах пресування та термообробки не є суттєвою при формуванні  $\phi$  пористого ПТФЕ.

#### Література:

1. Kaliuzhnyi O.B., Platkov V.Ya. The structure and properties of porous poly(tetrafluoroethylene). *J. Polym. Res.*, 2022. 29, pp. 32–37 <https://doi.org/10.1007/s10965-022-02887-w>
2. Maksimkin, A.V., Kaloshkin, S. D., Tcherdyntsev, V. V., Chukov, D. I., Stepashkin, A. A., Technologies for Manufacturing Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene-Based Porous Structures for Bone Implants. *Biomed. Eng.*, 2013. 47, pp. 73–77. <https://doi.org/10.1007/s10527-013-9338-5>
3. Kaliuzhnyi O. B., Platkov V. Ya. Formation of Porous Poly(tetrafluoroethylene) Using a Partially Gasified Porogen. *Iran J. Mater. Sci. Eng.*, 2020. 2, 17, pp. 13–19 <https://doi.org/10.22068/ijmse.17.2.13>
4. Калюжный А.Б., Платков В.Я., Калюжный Б.Г. Формирование давлением структуры и свойств пористых материалов на основе фторопласта-4. – *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*, 2017, вип. 183. с. 39–44.

## ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ ДЛЯ УКРІПЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ

Горохова А.Р.

*Національний технічний університет “Дніпровська політехніка”,*

*просп. Дмитра Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро*

*Horokhova.al.r@ntu.one*

З плином часу технології у будівництві стають все більш передовими і ефективними. Одним з найбільш обговорюваних і перспективних напрямків є використання композитних матеріалів, зокрема композитної арматури. Її використання широко поширюється в різних сферах, включаючи авіабудування, автомобільну промисловість, морське будівництво та інші галузі.

Композитна арматура складається з волокна і полімерних матеріалів, які скріплюють волокна. На поверхні композитної арматури є спеціальні спірале-подібні ребра, які допомагають зчепленню. Для обвивання використовується нитка зі скловолокна чи базальту (рис. 1).

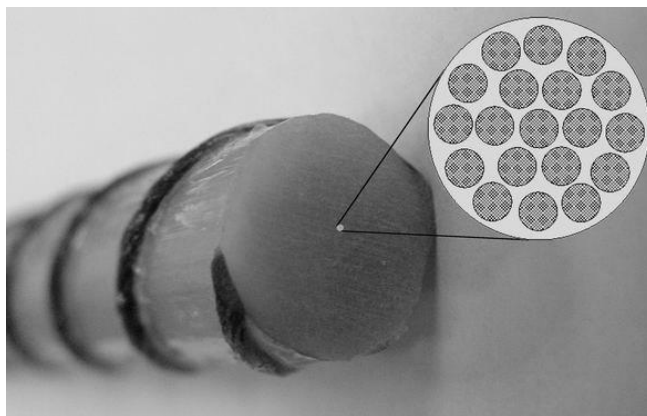


Рис. 1. Композитна арматура

Однією із головних переваг композитної арматури порівняно зі сталевую є його висока корозійна стійкість. У зоні вологості або в агресивному середовищі сталь може піддаватися корозії, що призводить до зниження міцності конструкції. Композитна арматура здатна уникнути цього проблемного явища, забезпечуючи довговічність будівельної конструкції навіть у найважчих умовах.

Порівняно зі сталевією, вага композитної арматури може бути значно легшою, що полегшує процес транспортування та монтажу. Зменшення ваги також може мати позитивний вплив на загальну масу конструкції та витрати на фундамент.

Щодо фізичних характеристик було проведено вимірювання на міцність поперечного зрізу.

Для проведення випробувань було відібрано стрижні арматури композитної зі скляних волокон MST-BAR (тип АКС-1000/50-18) з номінальним діаметром 18 мм та довжиною 1000 мм.

За нормативними вимогами до арматури композитної згідно з ДСТУ 9065:2011 на тип АКС-1000 значення тимчасового опору на розтяг – 1000 МПа. Модуль пружності  $E = 50$  ГПа.

Випробування проводились згідно з стандартом ДСТУ ISO 10406-1:2021.

Апарат для випробування на зсув (рис. 2) повинен бути сконструйований таким чином, щоб зсув у випробувальному зразку у формі стрижня відбувався у двох площинах більш-менш одночасно двома лезами (ребрами), що проходять вздовж граней, перпендикулярних до осьового напрямку випробувального зразка. Розбіжність в осьовому напрямку між верхнім і нижнім лезами повинна бути порядку 0 – 0,5 мм і бути якомога меншою. Визначена відстань між площинами зсуву повинна становити 50 мм.

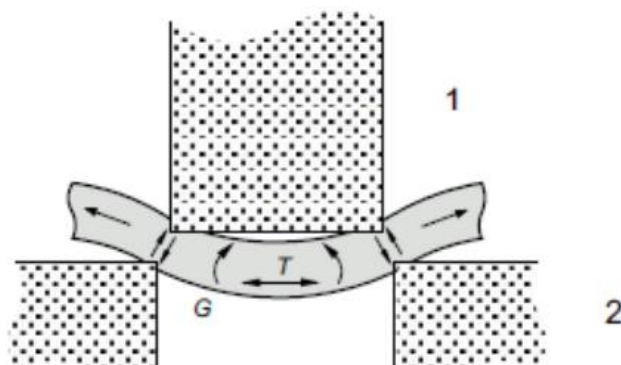


Рис. 2. Схема встановлення зразка у випробувальну машину:

1 – верхнє лезо; 2 – нижнє лезо

Міцність на зсув розраховується за формулою:

$$\tau_s = \frac{P_s}{2A}$$

де:  $P_s$  – навантаження руйнування через зсув, виражене в ньютонках;  $2A$  – номінальна площа поперечного перерізу випробувального зразка, виражена у квадратних міліметрах.

Результати випробування міцності відображено в таблиці 1.

Таблиця 1. Визначення міцності на поперечний зріз

Реєстраційні номери зразків, що підлягають випробуванню	Міцність на поперечний зріз, МПа	
	За результатами випробувань	
	Окремого зразка	Середнє
1	2	3
№ 22.11/04-15	120	119
№ 22.11/04-16	114	
№ 22.11/04-17	122	

Згідно з результатами випробувань середня міцність на поперечний зріз знаходиться у межах норми

Література:

1. ДСТУ 9065:2011 Арматура композитна для армування бетонних конструкцій. Загальні технічні умови.
2. ДСТУ ISO 10406-1:2021 Арматура композитна. Методи випробування.

**STRENGTH ASSESSMENT OF LAYERED ELASTIC ELEMENTS  
OF A FOOT PROSTHESIS**

**Arlanov V., Surzhko S., Onyshchenko S., Chechel T.**

*Dnipro University of Technology,*

*av. Dmytra Yavornytskoho, 19, 49005, Dnipro*

*onyshchenko.s.v@nmu.one*

The war in Ukraine is a hardship for many who were seriously injured and lost their limbs. According to the latest data, more than 5000 Ukrainians need prosthetics. Modern prostheses can really bring people back to full life. Thanks to the application of advanced robotics technologies, they can imitate individual movements and transmit tactile sensations. One of the key components of lower limb prostheses are elastic elements, which provide cushioning and support when walking [1]. Strength assessment of layered elastic elements becomes an urgent task in research and development in the field of foot prosthetics [2]. These elements consist of different materials and layers, each of which has its own mechanical characteristics. Understanding the strength and behavior of these elements is important to ensure the durability and performance of the prosthesis.

In the process of designing elastic elements, it is necessary to take into account such factors as optimal rigidity, strength, wear resistance and durability [3]. Assessing the strength of layered elastic elements helps determine their ability to withstand loads, avoid possible damage, and it is an important step in improving prosthetics technologies and improving the quality of life of people who need such devices [4].

Research purpose is to assess strength of layered elastic elements of a foot prosthesis. Research in this field will contribute to improving the quality and efficiency of lower extremity prostheses, providing patients with comfort and a possibility of active motor activities, and to improving the process of designing and manufacturing foot prostheses.

The following tasks are formulated and solved:

1. Conduct an analysis of materials used for manufacturing prostheses of a lower limb;
2. Develop a 3D model of a foot prosthesis and simulate a force loading process;
3. Carry out finite element analysis, which allow the selection and modification of materials, based on operating conditions of a foot prosthesis;
4. Conduct a study of layered elastic elements of a foot prosthesis.

Prosthetic materials are designed to be strong, lightweight and durable as well as user-friendly for a long duration. Prosthetic materials are an important factor when choosing a prosthesis, as they can affect comfort, durability and functionality of a device [5].

Various metals are used for limb prosthetics: aluminum, titanium, magnesium, copper, steel and many others. Each is used in varying amounts and for different applications, both pure and alloyed. Copper, iron, aluminum and nickel have been used for load-bearing structures in the past, but are now used mainly as alloys or for plating. Mechanical characteristics of materials for research are shown in Table 1.

Table 1. Mechanical characteristics of materials for research

	Carbon steel 35	Polycarbonate
Young's Modulus, N/mm <sup>2</sup>	200000	2275
Poisson's ratio	0.29	0.38
Shear modulus, N/mm <sup>2</sup>	79700	786
Density, kg/m <sup>2</sup>	7850	1200
Ultimate strength, N/mm <sup>2</sup>	420 000	68 900
Yield strength, N/mm <sup>2</sup>	350 000	62 010

For this study, a 3D model of a foot prosthesis is created, which consists of two parts (Fig. 1), which form the prosthesis supporting structure: the toe spring and the heel spring. Distribution of Mises stresses (Fig. 2), displacements and safety factor distribution in the foot prosthesis element under various boundary conditions are obtained during research.

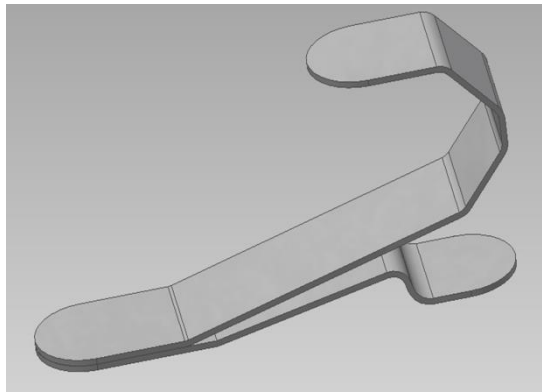


Figure 1. 3D model of foot prosthesis

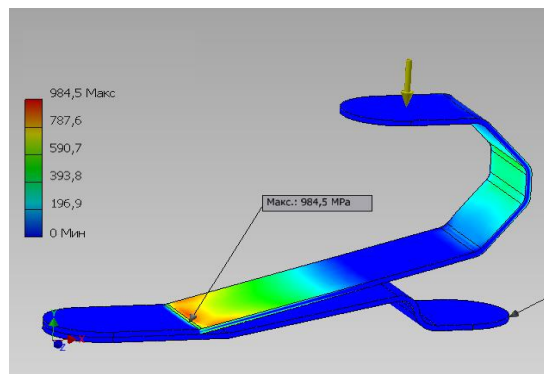


Figure 2. Distribution of Mises stresses on the foot prosthesis element

Several layers of the toe spring element are created for this study. Polycarbonate is used to create additional layers (Fig. 3), the mechanical characteristics of polycarbonate are presented in the Table 1. Distribution of Mises stress when fixed at the toe and heel and with two additional layers of polycarbonate is shown in Figure 4. The reduction of maximum Mises stresses in foot prosthesis is observed when it has two additional layers of polycarbonate.

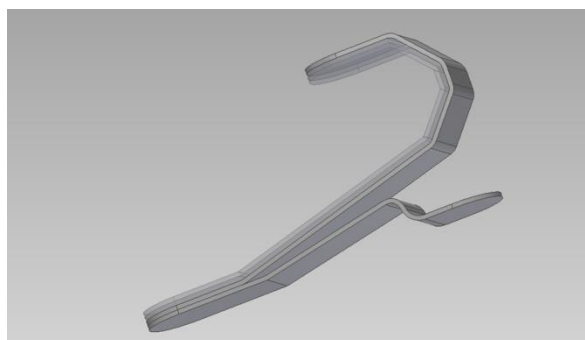


Figure 3. Foot prosthesis with 2 additional layers



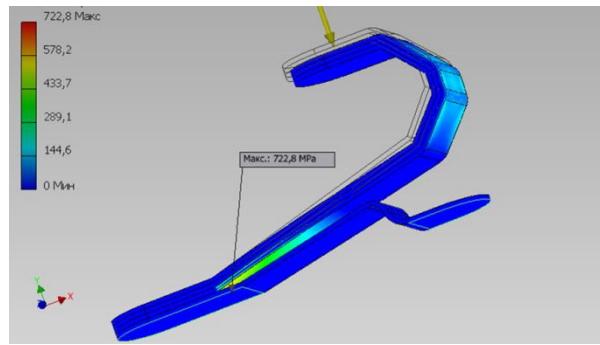


Figure 4. Distribution of Mises stress when fixed at the toe and heel and with two additional layers

A 3D computational model of layered elastic elements of foot prosthesis is constructed and studied. The most frequently used materials for manufacturing layered elastic elements of foot prosthesis are analyzed, and carbon steel 35 is chosen for the main element of the prosthesis and polycarbonate is selected for additional layers of elastic elements of foot prosthesis. A stress-strain state of the model is analyzed depending on the support phase and presence of additional layers. The linear character of dependencies of maximum stresses and displacements on useful loading in the model is established.

#### References:

1. Bionic prosthesis: a modern means of rehabilitation [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.enableme.com.ua/ua/article/bionicnij-protez-sucasnij-zasib-reabilitacii-9815>
2. Strength Assessment of layered elastic elements of a foot prosthesis. *Scientific journal "Medicine and Society"*. 2019. 2. P. 45–53.
3. DSTU 8322:2015. Medical products. Determination of requirements for biomechanical properties and mechanical strength of elastic components of lower limb prostheses. Kyiv, Ukraine.
4. Johnson, A. R., & Smith, A. R. (2020). Assessing the Strength of Layered Elastic Elements in Foot Prostheses. *Journal of Biomechanical Engineering*, 142(8), 081002.
5. [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.algeos.com/materials/prosthetic-materials>

**3D PRINTED MEMBRANES BASED ON POLYLACTIC ACID FOR  
BAROMEMBRANE SEPARATION**

**Molina L.C.A.<sup>1</sup>, De Souza Bairros L.G.<sup>1</sup>, Magalhães-Ghiotto G.A.V.<sup>1</sup>,**

**Diorio A.<sup>1</sup>, Dzyazko Yu.S.<sup>2</sup>, Bergamasco R.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>State University of Maringa,*

*Av. Colombo, 5790, Maringa, Parana 87020-900, Brazil*

*<sup>2</sup>V.I. Vernadskii Institute of General and Inorganic Chemistry,*

*Acad. Palladin ave. 32/34, Kyiv, Ukraine*

*dzyazko@gmail.com*

Nowadays the eco-friendly method of 3D-printing becomes more and more popular, since it gives a possibility to make many things, a shape and size of which can be determined by a for customer [1]. Moreover, low energy consumptions, time-cost efficiency and the absence of wastes are characteristic for this technique. Separating membranes can be also printed [2]. However, the procedure of the manufacture of membranes for pressure-driven separation is multistage and involves the printing of macroporous scaffold, production of ultrathin active layer with conventional method, and conjoining these constituents. In this work, one-stage procedure has been developed. Computer program provided layer-by-layer printing, when a distance between the PLA stripes was set as 0. The stripe width was determined with a diameter of the printer nozzle (400  $\mu\text{m}$ ). In fact, 100 % filling of the space was provided. As assumed, pores were located in the regions of stripe conjoining. Morphology of the membranes was investigated, their permeability were tested by means of filtration of deionized water, sol of Ag nanoparticles (the particles of 10 nm dominated) and also the solution of cationic dye (methylene blue, MB).

SEM image of PLA membrane shows that the face side (active layer) is rather smooth: the relief is formed by furrows, which correspond to conjoining of stripes generated by a printer (Fig. 1). The membrane "construction" is three-layer sandwich-like, a thickness of each layer is 50–200  $\mu\text{m}$  (Fig. 1).

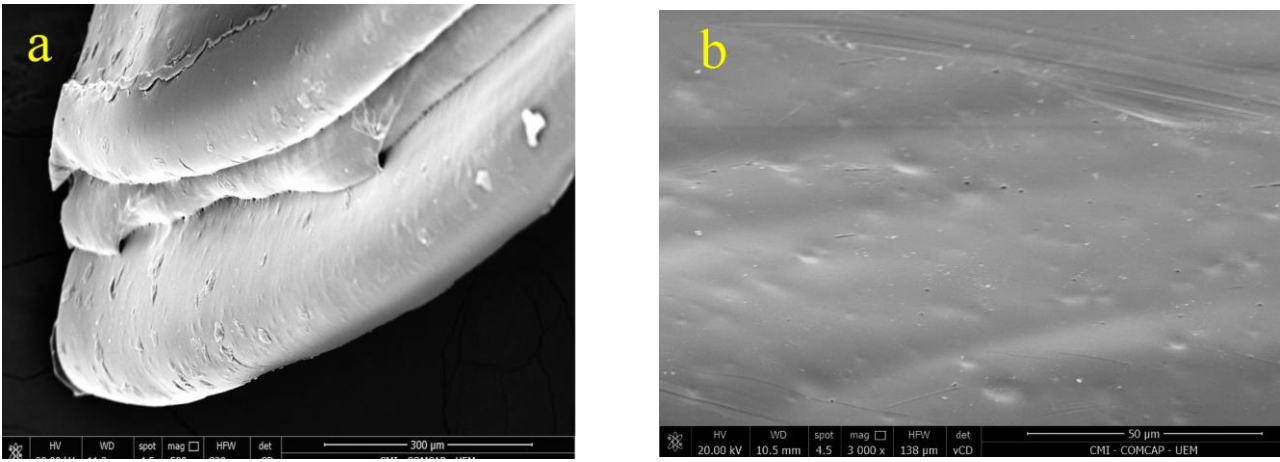


Fig. 1. Cross section (a) and face side (b) of 3d printed membrane

A size of pores, which determine the rejection ability of the membranes, are 15-21 nm (water test) and 13 nm (Ag nanoparticles). Moreover, the membrane shows resistance against pressure – a decrease of water flux ( $J$ ) is only 25 %, the compression time is about 30 min. This behavior is similar to acetylcellulose membrane modified with rigid polymer [3]. Since PLA contains a certain number of carboxyl groups, they provide intraporous electric double layers (EDLs). When EDLs are overlapped, charged species like MB can be rejected due to electric exclusion within the interval of pH 4–10. The effect of pressure on the MB retention is ambiguous: the dependence of selectivity ( $\phi$ ) on pressure drop ( $\Delta P$ ) demonstrates a minimum at 2.5 bar indicating concentration polarization (Fig. 2). This location coincides with a maximum of the  $J$ - $\Delta P$  curve. It means the dye accumulation at the membrane-solution interface resulting in reversible fouling due to precipitation. The contribution of this type of fouling into the total fouling is 37 %. The deposition on the membrane depresses the membrane permeability.

According to the model developed for concentration polarization [4], the retention is related to the permeate flux via:

$$\ln \frac{1-\phi}{\phi} = \ln \frac{1-\phi'}{\phi'} + \frac{1}{k} J \quad (1)$$

Here  $k$  is the mass transport coefficient,  $\phi'$  is the intrinsic retention:

:

$$\phi' = \frac{C' - C}{C'} \times 100\%, \quad (2)$$

where  $C'$  is the concentration near the membrane surface,  $C$  is the concentration of feed solution. The  $k$  value was estimated as  $1.4 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ , the intrinsic retention is 98 %. The average retention under high pressure is 97 %,  $C' = 150 \text{ mmol dm}^{-3}$ . This value is close to the solubility of MB in water.

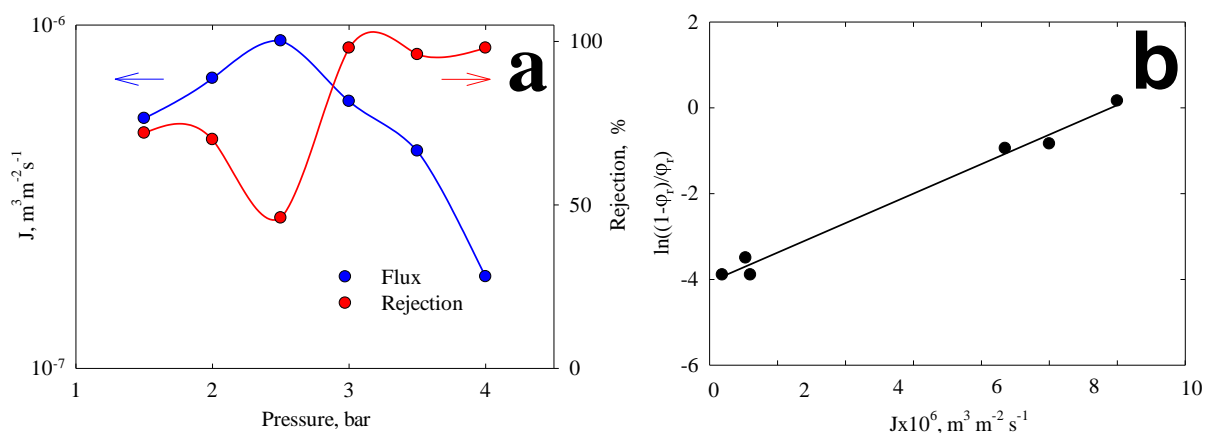


Fig. 2. Permeate flux and MB rejection as functions of pressure (a), modeling of concentration polarization (b)

Some characteristics of various PLA membranes, which were obtained according to the same technique, are given in the Table. The most reproducible data are the water flux and water contact angle. However, the fluctuations of other characteristics from average magnitudes are within one order.

Table

Reproducibility of membrane properties

Parameter	Data
Membrane thickness, mm	$0.45 \pm 0.06$
Porosity	$0.41 \pm 0.1$
d, nm	$25.0 \pm 3.5$
Water flux, $\text{L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$	$73.8 \pm 0.2$
Dye flux, $\text{L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$	$20.9 \pm 12.1$
Dye rejection, %	$91.5 \pm 3.5$
Ag rejection, %	$35.2 \pm 4.7$

Addition of 1,1 electrolyte (0.05 M NaCl) to the MB-containing solution depresses the dye retention down to 40 %, since intraporous EDLs are not overlapped. Also 13 % of NaCl are retained. Acidification of the solution down to pH 2 also deteriorates separation due to a decrease of the surface charge density of the membrane, shrinkage of EDLs and also due to transition of MB

to molecular form. In this case, the membrane performs a function of adsorption barrier. Alkalization up to pH 10 results in an increase of the concentration of co-ions

in EDLs. Moreover, the dye adsorption on the pore wall is enhanced screening the surface charge.

It should be noted that no swelling of the PLA membranes in water was recorded, the membranes are characterized by high chemical stability within the pH interval of 2–10.

To avoid concentration polarization and enhance rejection ability of the membrane, hydrophilization of its surface is recommended. This would give a possibility to perform filtration under lower pressure and expand the interval of pH, where the dye is removed practically completely. For minimization of the effect of salt addition, modifying of pores would be desirable to make them more narrow. Nevertheless, non-modified 3-d printed membranes, a surface of which is negatively charged, can be applied to the removal of humates and anionic dyes from water, and also to water disinfection. Furthermore, geometrical parameters and functional properties of 3d printed membranes have to be unified more carefully.

#### References:

1. Yanar N., Kallem P. P., Son M., Park H., Kang S., Choi H. (2020) A New era of water treatment technologies: 3D printing for membranes. *J. Ind. Eng. Chem.*, 91, 1-14, <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2020.07.043>.
2. Lee J., An J., Chua C.K. (2017) Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials. *Appl. Mater. Today*, 7, 120–133, <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2017.02.004>.
3. Molina L.C.A, Magalhães-Ghiotto G.A.V., Nichi L., Dzyazko Y.S., Bergamasco R. (2023) Membranes modified with rigid polymer for processing solutions of vegetable proteins. *Acta Periodica Technologica*, 54, 313–324. <https://doi.org/10.2298/APT2354313M>.
4. Giacobbo A., Bernardes A.M., Rosa M.J.F., Pinho M.N. (2018) Concentration polarization in ultrafiltration/nanofiltration for the recovery of polyphenols from winery wastewaters. *Membranes*, 8, 46. doi:10.3390/membranes8030046.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАСТИФІКАЦІЙНОГО ЕФЕКТУ 1-ДОДЕЦИЛ-3-  
БУТИЛІМІДАЗОЛІЙ ТЕТРАФТОРБОРАТУ НА ПОЛІАМІД 12**

**Рогальський С.П., Джужа О.В., Тарасюк О.П.,**

**Аксеновська О.А., Шиbirин О.В.**

*Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії імені В.П. Кухаря НАН України,*

*Харківське шосе, 50, 252160, м. Київ*

*sergey.rogalsky@gmail.com*

Поліамід 12 (ПА12) є цінним термопластичним полімером, який поєднує високу міцність та еластичність, низьке водопоглинання, високі бар'єрні властивості відносно вуглеводнів, а також стійкість до стирання, ультрафіолетового опромінення та дії хімічних реагентів [1]. ПА12 широко застосовують в автомобільній, електротехнічній і нафтогазовій промисловості для виробництва паливопроводів, гальмівних систем, кабельної ізоляції, шестерень і підшипників ковзання, труб для транспортування нафтопродуктів [1]. Для збільшення гнучкості ПА12 до нього додають пластифікатори, зокрема, N-бутилбензолсульфонамід (ББСА) [2]. Однак при експлуатації за підвищених температур відбувається швидка втрата пластифікатора внаслідок його міграції та випаровування, що спричиняє передчасне старіння полімерних виробів [2, 3]. Таким чином, створення нових пластифікаторів для поліамідів з низькою леткістю і підвищеною стійкістю до міграції є актуальною проблемою. Згідно з літературними даними, перспективними модифікуючими домішками до термопластичних полімерів є рідкі онієві солі, які називають іонними рідинами. Зокрема, гідрофобні солі 1,3-діалкілімідазолію з довгими алкільними замісниками мають низку унікальних властивостей, таких як відсутність леткості, висока термічна стійкість, широкий спектр антимікробної активності, низька розчинність у воді та вуглеводнях [4, 5]. Однак в літературі відсутні дані щодо застосування іонних рідин як пластифікаторів для поліамідів. У цій роботі синтезовано гідрофобну іонну рідину – 1-додецил-3-бутилімідазолій тетрафторборат (ДБІМ-ВF<sub>4</sub>) і досліджено її пластифікаційний ефект на ПА12.

Іонну рідину ДБІМ-ВF<sub>4</sub> синтезували за схемою, наведеною на рис. 1. Отримували рідину світло-коричневого кольору, яка не змішується з водою.

<sup>1</sup>H ЯМР (400 МГц, CDCl<sub>3</sub>) δ: 0.87-0.95 (м, 6H, CH<sub>3</sub>), 1.24 (м, 20H, CH<sub>2</sub>), 1.87 (м, 4H, NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>), 4.21 (м, 4H, NCH<sub>2</sub>), 7.39 (ш с, 1H, C<sub>4</sub>-H), 7.43 (ш с, 1H, C<sub>5</sub>-H), 8.87 (с, 1H, C<sub>2</sub>-H).

<sup>19</sup>F ЯМР (188 МГц, CDCl<sub>3</sub>) δ: -151.7 (с, BF<sub>4</sub>).

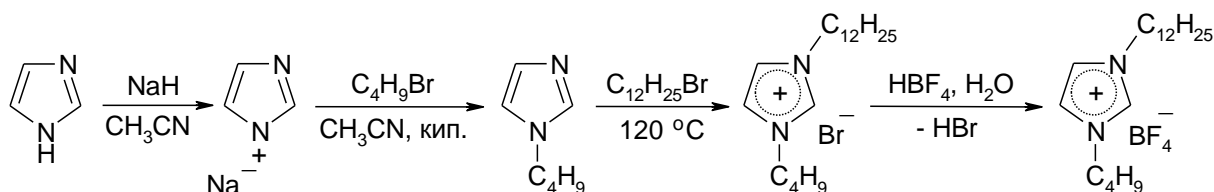


Рис. 1. Схема синтезу іонної рідини ДБІМ-ВF<sub>4</sub>

Для отримання полімерної композиції 4 г порошку ПА12 (UBE Industries) суспендували в 10 мл спиртового розчину ДБІМ-ВF<sub>4</sub> (0,7 г). Розчинник випарювали, порошок сушили за 100 °С. Полімерні плівки ПА12/ДБІМ-ВF<sub>4</sub> із вмістом іонної рідини 15% отримували гарячим пресуванням за 220 °С.

ІЧ-спектр БДІМ-ВF<sub>4</sub> (рис. 2, 1) містить смугу симетричних валентних коливань молекул Н<sub>2</sub>О при 3290 см<sup>-1</sup>, слабкі смуги валентних коливань зв'язків С-Н ароматичного кільця при 3151 і 3095 см<sup>-1</sup>, а також зв'язків NC(H)CNH при 3118 см<sup>-1</sup>. Інтенсивні смуги при 2920 і 2848 см<sup>-1</sup> відносяться до асиметричних і симетричних валентних коливань груп СН<sub>2</sub>. Смуги валентних коливань ароматичних зв'язків С=С і С=N знаходяться відповідно при 1643 і 1550 см<sup>-1</sup>. Слабка смуга при 1163 см<sup>-1</sup> відноситься до деформаційних коливань зв'язків С-Н імідазольного кільця, а інтенсивна смуга при 1051 см<sup>-1</sup> – до коливань зв'язків В-Ф тетрафторборат аніону [6]. ІЧ-спектр ПА12 (рис. 2, 2) містить характерні смуги валентних коливань груп С=О при 1631 см<sup>-1</sup>, С-Н при 1560 см<sup>-1</sup> і N-H при 3284 і 3094 см<sup>-1</sup> [5]. Інтенсивні смуги при 2916 і 2848 см<sup>-1</sup> відповідають асиметричним і симетричним валентним коливанням груп СН<sub>2</sub> [7]. В ІЧ-спектрі композиту ПА12/ДБІМ-ВF<sub>4</sub> (рис. 2, 3) спостерігається зміщення у високо-частотну область смуг поглинання груп N-H (з 3284 до 3290 см<sup>-1</sup>), С=О (з 1631

до  $1635\text{ см}^{-1}$ ), а також аніону  $\text{BF}_4^-$  (з  $1051$  до  $1066\text{ см}^{-1}$ ). Це свідчить про фізико-хімічну взаємодію між іонною рідиною і ПА12.

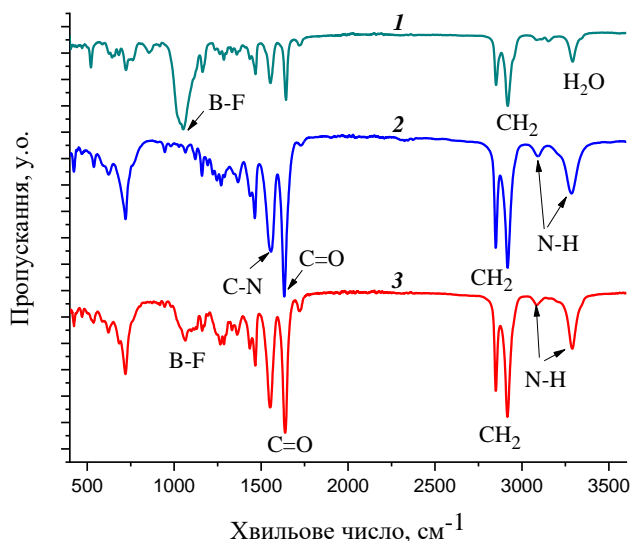


Рис. 2. ІЧ-спектри: 1 – БДІМ- $\text{BF}_4$ , 2 – ПА-12, 3 – ПА-12/ ДБІМ- $\text{BF}_4$  (15%)

На рис. 3 наведено результати теплофізичних досліджень зразків ПА12 і ПА12/ДБІМ- $\text{BF}_4$  методом диференційної сканувальної калориметрії (ДСК). Температура плавлення ПА12 становить  $182\text{ }^\circ\text{C}$ , а температура склування ( $T_g$ ) –  $37\text{ }^\circ\text{C}$  (рис. 3, крива 1). Введення до складу полімеру 15% іонної рідини суттєво зменшує температуру його плавлення (на  $15\text{ }^\circ\text{C}$ ), а також величину  $T_g$  (на  $35\text{ }^\circ\text{C}$ ) (рис. 3, крива 2). Це свідчить про високий пластифікаційний ефект ДБІМ- $\text{BF}_4$  на ПА12, близький до традиційного пластифікатора ББСА [2].

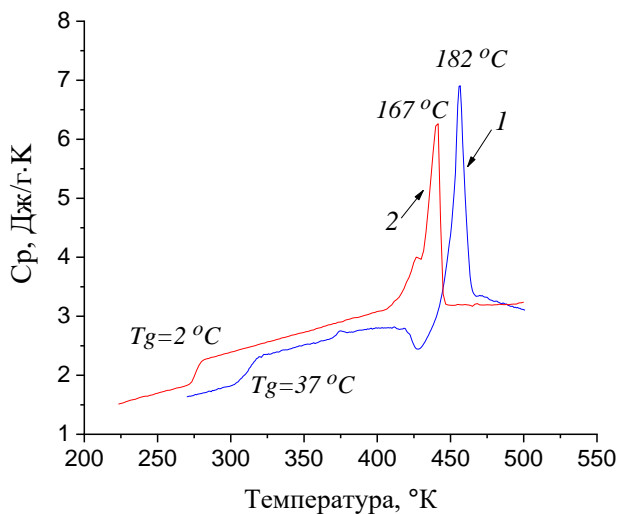


Рис. 3. ДСК криві: 1 – ПА-12, 2 – композиту ПА-12/БДІМ- $\text{BF}_4$  (15%)



В цілому, результати проведених досліджень свідчать про перспективність іонних рідин на основі довголанцюгових солей 1,3-діалкілімідазолію як альтернативних пластифікаторів для поліамідів. Потенційними перевагами таких модифікуючих домішок над традиційними є відсутність леткості, а також висока стійкість до міграції та екстракції з полімерної матриці.

#### Література:

1. Borić A., Kalendová A., Urbanek M. et al. (2019). Characterization of polyamide (PA)12 nanocomposites with montmorillonite (MMT) filler clay used for the incremental forming of sheets. *Polymers*, 11, 1248. [doi: 10.3390/polym11081248](https://doi.org/10.3390/polym11081248)
2. De Groot Ph., Devaux G., Godard P. (2002). Effect of benzenesulfonamide plasticizers on the glass-transition temperature of the semicrystalline polydodecanamide. *J. Polym. Sci.*, 40, 2208–2218. [doi: https://doi.org/10.1002/polb.10281](https://doi.org/10.1002/polb.10281)
3. Wei X.-F., Kallio K.J., Bruder S. et al. (2019). Plasticizer loss in a complex system (polyamide 12): kinetics, prediction and its effects on mechanical properties. *Polym. Degrad. Stab.*, 169, 108985. [doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2019.108985](https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2019.108985)
4. Rogalsky S., Fatyeyeva K., Lyoshina L. et al. (2014). Antimicrobial properties and thermal stability of polycarbonate modified with 1-alkyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate ionic liquids. *J. Appl. Pol. Sci.*, 131 (7), 40050. <https://doi.org/10.1002/app.40050>
5. Рогальський С.П., Каменєва Т.М., Льошина Л.Г. та ін. (2012). Антиоксидантні, антимікробні і трибологічні властивості йонної рідини 1-октил-3-метилімідазолій тетрафторборату. *Каталіз и нефтехимия*, 21, 48–54. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/KiN\\_2012\\_21\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/KiN_2012_21_9)
6. Hodyna D., Bardeau J.-F., Metelytsia L. et al. (2016) Efficient antimicrobial activity and reduced toxicity of 1-dodecyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate ionic liquid/ $\beta$ -cyclodextrin complex. *Chem. Eng. J.*, 284, 1136–1145. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.09.041>
7. Han J., Cao Z., Gao W. (2013) Remarkable sorption properties of polyamide 12 microspheres for a broad-spectrum antibacterial (triclosan) in water. *J. Mater. Chem.*, 1, 4941–4944. DOI: <https://doi.org/10.1039/C3TA00090G>

УДК 541.49, 546.73

## ПОЛІЕТЕРГУАНІДИНИ ТА ЇХ МІКРОБНА ДЕСТРУКЦІЯ

Вортман М.Я.<sup>1</sup>, Коптєва Ж.П.<sup>2</sup>, Білявська Л.О.<sup>2</sup>, Коптєва Г.Є.<sup>2</sup>,

Лемешко В.М.<sup>1</sup>, Шевченко В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України,

Харківське шосе, 48, 02160, м. Київ

<sup>2</sup>Інститут мікробіології і вірусології імені Д. Заболотного НАН України,

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

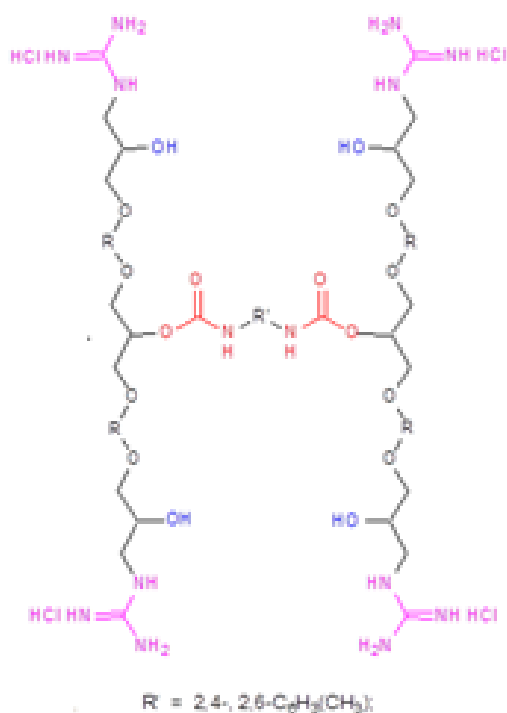
*vmar1962@i.ua*

Похідні гуанідину широко застосовуються як антисептики, інсектициди, лікарські засоби та консерванти. Відомо, що гуанідинієві полімери мають меншу токсичність у порівнянні з гуанідином і відносяться до третього класу небезпеки. За бактерицидними властивостями значну увагу привертає клас гуанідинієвих олігомерів та полімерів [1–3]. Відомо, що введення в ланцюг алкільних радикалів різної довжини приводить до збільшення бактерицидної та фунгіцидної дії отриманих сполук [4]. Алкілзамісні олігомери на основі гуанідину можуть бути використані як дезінфектанти для обробки приміщень та як добавки в полімерні композиції для захисту їх від біопшкоджень. Пошук нових перспективних матеріалів, стійких до впливу мікроорганізмів, залишається своєчасним і актуальним.

Метою роботи було створення нових полімерних матеріалів на основі гуанідину та вивчення впливу вуглеводень окиснювальних бактерій(ВОБ) на мікробну деструкцію поліетергуанідинів, а також на хімічні і фізико-механічні властивості цих речовин.

Як тест-культури використовували штами *Pseudomonas pseudoalcaligenes* 109, *Rhodococcus erythropolis* 102, *Bacillus subtilis* 138, що були виділені з пошкоджених покриттів газопроводів і зберігаються у колекції відділу загальної і ґрунтової мікробіології Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. Заболотного НАН України. Матеріалами дослідження були: поліетергуанідин та його композиція з алкілзамісним гуанідиній бромідом.

**Синтез гуанідинвмісних сітчастих поліетергуанідинів.** Отримували сітчастий композит під час тверднення композиції, яка містить бі- та трифункціональний поліетер, олігоепоксид, ізоціанатний аддукт та розчинник (матеріал 1). Вживали поліетери поліоксіпропілентріол (ММ 500) та поліоксіпропілендіол (ММ 1000), олігоепоксид Epusote 828, як ізоціанатний компонент – аддукт толуїлендіізоціанату та триметилпропану із 29–30 % ізоціанатних груп, як гуанідиновий складник – розгалужений олігомер за масового співвідношення компонентів 1:3:1,8:6:2, як розчинник – етилацетат, бутилацетат, циклогексанон, ксилол і метилетилкетон за масового співвідношення 1:1:2:0,5, відповідно. Розгалужений гуанідинвмісний олігомер можна представити наступним чином:



Під час отримання матеріалу 1 можливі такі реакції: уретаноутворення, тримеризації, формування оксизолідону, уретансечовини та олігоетера.

На першій стадії отримували епоксиретановий олігомер реакцією епоксидної смоли ЕД 20 ММ 420 з толуїлендіізоціанатом. На другій стадії до отриманого олігомеру додавали гуанідін при мольному співвідношенні компонентів 1 : 4.



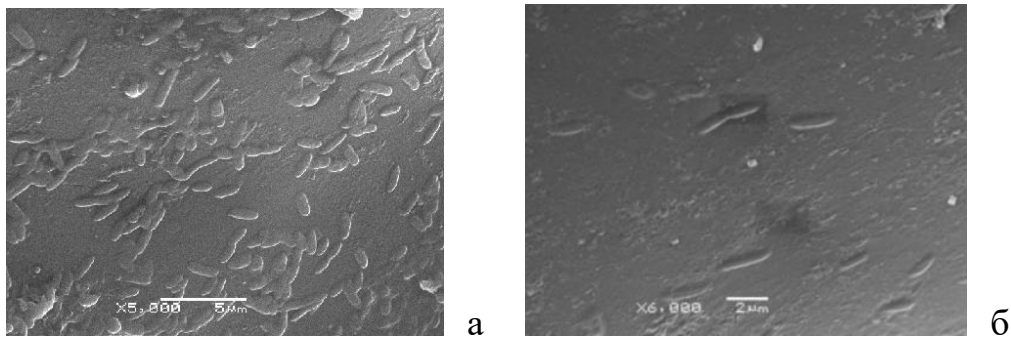


Рис. 1. Сканувальні електронні мікрофотографії біоплівки ( $\times 5\,000$ ) *Pseudomonas pseudoalcaligenes* 109: а – на поверхні поліетергуанідину; б – на поверхні поліетергуанідину, модифікованого алкілзамісним олігомерам (інгібітор корозії)

Каталазна та ліпазна активності бактерій за присутності у середовищі інгібітора корозії були значно меншими, ніж за наявності поліетергуанідину. Визначення фізико-механічних властивостей поліетергуанідинів показало, що міцність на розрив і відносне подовження незначно змінюються після впливу ВОБ. За отриманими даними найбільшої деструкції зазнав поліетергуанідин. Введення інгібітора корозії до складу останнього матеріалу привело до зменшення його деструкції (рис. 2)

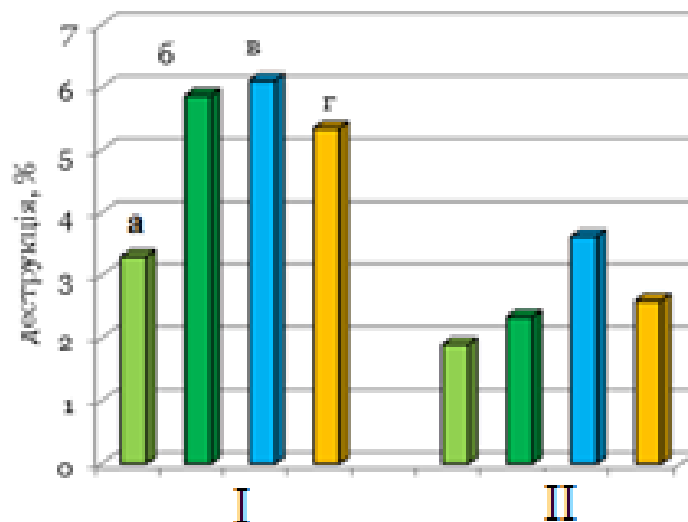


Рис. 2. Деструкція полімерних матеріалів за впливу ВОБ (%).  
 I – поліетергуанідин, II – поліетергуанідин та інгібітор корозії, а – контроль,  
 б – *Pseudomonas pseudoalcaligenes* 109, в – *Rhodococcus erythropolis* 102,  
 г – *Bacillus subtilis* 13

Отримані результати дослідження ІЧ-спектроскопії за впливом бактерій на досліджувані матеріали свідчать про те, що хімічний склад полімерів, окиснювальні процеси і руйнування ланцюгів не відбуваються. Отже досліджені матеріали є перспективними для використання їх як добавки в полімерні композиції для захисту їх від біопшкоджень. Окрім того, мікробіологічні, хімічні та фізико-механічні дані можуть також надати фундаментальну інформацію щодо розробки перспективних захисних гуанідинійвмісних покриттів.

#### Література:

1. H.N. Jung, T. Zerlin, B. Podder., H.Y. Song, *Toxicol. In Vitro* 28, 682, (2015).
2. R. Kitamaki, K. Shirai, K. Sugino *Bull. Chem. Soc. Japan*, 41, 1461, (1968).
3. M.Ya. Vortman, Yu.B. Pysmenna, A.I. Chuenko, et.all., *Mikrobiol. Z.* 82, 6, 54, (2020).
4. M.Ya. Vortman, Zh.P. Kopteva, A.E. Kopteva, et.all. *Functional Materials*, 29, 1, 107, (2022).

**УДК 678.027.74;678.742.3;678.046.3**

### **ВИКОРИСТАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ГІДРОПОННОГО СУБСТРАТУ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Терещук М.М., Оскандо В.А., Баштаник П.І.**

*ННІ “Український державний хіміко-технологічний університет”*

*Українського державного університету науки і технологій*

*пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро*

*bashtanyk@i.ua*

Гідропонний субстрат із базальтових волокон, стерильний та нейтральний, широко використовується у світі для вирощування рослин. Але після використання його треба утилізувати, бо базальтові волокна не здатні до біологічного розкладання, до того ж, на них відкладається дуже багато солей. Гідропонний субстрат – це система волокон із базальту у вигляді матів. Традиційно існує три типи розподілу волокон у матах: горизонтальний, вертикальний та мати з двох шарів волокон різної густини. В Україні для вирощування рослин гідропонним методом, застосовуються мати із базальтових волокон фірми «Cultilene», які створені із застосуванням хаотичної (X-fibre) технології (рис. 1) [1].



Рис. 1. Мати з базальтових волокон, отримані за X-fibre технологією

Для одержання композиційного матеріалу на основі поліетилену використовувався механічно очищений, попередньо прожарений при температурі 500 °С, а також непрожарений відпрацьований гідропонний субстрат фірми «Cultilene». Прожарювання необхідне для остаточного видалення коріння рослин, що вирощувались на даному субстраті. У роботі як зв'язувач використовували поліетилен низької густини 15803-020 (Азербайджан). Суміщення полімерного зв'язувача і наповнювача проводили на комбінованому екструдері при температурі 190 °С. Введення у поліолефіни наповнювачів дозволяє отримувати полімерні композиційні матеріали з цікавими технологічними та експлуатаційними характеристиками. Відпрацьований прожарений базальтовий субстрат вводили у поліетилен у кількості 10 мас. % і 20 мас. %, а непрожарений – у кількості 20 мас. %.

Із композитів методом лиття під тиском виготовляли стандартні зразки для проведення досліджень їх властивостей. Аналіз поведінки одержаних композицій показав, що відносно вихідного поліетилену низької густини, його композиції з гідропонним субстратом із базальтових волокон характеризуються достатньою текучістю, густиною, міцністю при розтязі та стійкістю до ударних навантажень..

Таким чином, з використанням відпрацьованого гідропонного субстрату із базальтових волокон отримано полімерний композиційний матеріал, який може перероблятися у вироби методом лиття під тиском.

#### Література:

1. Гідропонні мати Cultilene / <https://schetelig.com.ua/stati> / Cultilene-gidroponnie-mati-teper-dostupni-i--v-ukraine.html.

**ВОГНЕСТІЙКІСТЬ ПОКРИТТЯ РЕАКТИВНОГО ТИПУ  
В УМОВАХ ВУГЛЕВОДНЕВОЇ ПОЖЕЖІ**

**Вахітов Р.А.<sup>1</sup>, Калафат К.В.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Київський національний університет технологій та дизайну,*

*вул. Мала Шияновська, 2, 01011, м. Київ*

*r.vahitov89@gmail.com*

*<sup>2</sup>Інститут фізико-органічної хімії та вуглехімії імені Л.М. Литвиненка НАНУ*

*вул. Харківське шосе, 50, 02155, м. Київ*

Метою дослідження є порівняльне оцінювання ефективності полімерного вогнезахисного покриття реактивного типу при моделюванні сценаріїв стандартної та вуглеводневої пожеж. Вогневі випробування здійснювали у дрібномасштабній печі, як це регламентовано ДСТУ EN 16623:2015. Лінійний коефіцієнт спучення  $K$  визначали згідно з ДСТУ-Н П Б В.1.1-29:2010, міцність коксового шару вимірювали із застосуванням структурометра СТ-2. Хімічну структуру продуктів термолізу полімерних вогнезахисних покриттів вивчали за методом ІЧ-спектроскопії.

В дослідженні пропонується експериментальний протокол для оцінювання міцності спучених покриттів на сталевих пластинах при впливі стандартної та вуглеводневої пожеж. Метод оцінювання заснований на моніторингу фізичної цілісності та механічної стабільності коксового теплоізоляційного шару, який утворюється із покриття реактивного типу в умовах впливу високих температур. Встановлено, що покриття реактивного типу в умовах впливу стандартної та вуглеводневої пожежі утворює теплозахисні коксові шари, ступінь спучення, механічна міцність та адгезія яких до металевої пластинки є співрозмірними та відрізняються у середньому на 10 %. Зроблено висновок про можливість застосування дослідженого покриття Ammokote MW-120 (виробництво ТОВ «Ковлар Груп», м. Київ) для вогнезахисту сталевих конструкцій, що експлуатуються в потенційних умовах виникнення вуглеводневої пожежі.



УДК 621.926.5:539.215

## ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЗМУ ПОДРІБНЕННЯ УДАРОМ В БАРАБАННОМУ МЛИНІ НА ОСНОВІ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ

Дейнека К.Ю.

*ВСП “Рівненський технічний фаховий коледж*

*Національного університету водного господарства та природокористування”,*

*вул. Вишиванка, 35, 33027, м. Рівне*

*k.yu.deineka@niwt.edu.ua*

Задача прогнозування впливу взаємодії молоткового завантаження на процес подрібнення в барабанного млина є доволі актуальною.

У роботі [1] було запропоновано метод аналітико-експериментального моделювання зон руху зернистого завантаження у поперечному перерізі камери обертового барабана. Моделювання виконувалось шляхом побудови картин руху на основі визначення положення межі переходу пасивної зони у зону падіння [2] та параметрів зсувного шару [3]. Проте отримані результати не передбачали оцінки ударної взаємодії внутрішньомлинного завантаження на параметри процесу переважно грубого помелу.

Під час ударної взаємодії молоткового тіла, що перебуває у зоні польоту, зі зсувним шаром внутрішньомлинного завантаження відбувається стрибкоподібна кінцева зміна швидкості тіла [4]. При цьому на поверхні переходу зони польоту у зсувний шар, яка є поверхню контакту, протягом малого проміжку часу діє ударна сила.

Динамічний ефект ударної дії молоткового завантаження можна оцінити за імпульсом, роботою та потужністю сил ударної взаємодії. Імпульс характеризує інтенсивність ударної взаємодії, а робота – енергію подрібнення ударною дією. Технологічний ефект ударної дії визначається продуктивністю процесу подрібнення ударом, значення якої можна оцінити за потужністю сил ударної взаємодії.

Для наближеної реалізації такого оцінювання було застосовано питомі та абсолютні відносні аналоги динамічних параметрів ударної взаємодії. Вихідні

дані для визначення таких параметрів були одержані у спрощений спосіб за допомогою візуалізації картин руху завантаження.

Наближену математичну модель механізму подрібнення ударом в барабанному млині побудовано на основі візуалізації даних. Як аналог продуктивності подрібнення було прийнято потужність ударних сил.

Було отримано вираз для аналога відносної продуктивності ударом  $Q$ , що відповідає відносній потужності вертикальних складових сил ударної взаємодії

$$Q = \frac{h}{8\pi R} K_{fr} n_{to} \psi_{\omega}$$

де  $h$  – відстань по вертикалі від найвищої до найнижчої точки на вільній поверхні зони польоту завантаження на картині руху,  $R$  – радіус камери барабана млина,  $K_{fr} = 1 - (F_{sr} + F_{sl}/v_{sl}) / (\pi R^2 \kappa)$  – масова частка зони польоту завантаження,  $F_{sr}$  – площа твердотільної зони на картині руху завантаження,  $F_{sl}$  – площа зони зсувного шару на картині руху,  $v_{sl}$  – дилатансія зсувного шару,  $\kappa = w/(\pi R^2 L)$  – об'ємний ступінь заповнення камери завантаженням,  $w$  – об'єм порції завантаження камери у стані спокою,  $L$  – довжина камери барабана,  $n_{to} = [1 - (R_c/R)^2]/\kappa$  – оборотність руху завантаження, що відповідає кількості періодів циркуляції завантаження в камері протягом одного оберту барабана,  $R_c$  – радіальна координата центра циркуляції завантаження відносно осі обертання на картині руху,  $\psi_{\omega} = \omega/(g/R)^{0.5}$  – відносна швидкість обертання камери барабана,  $\omega$  – кутова швидкість обертання барабана,  $g$  – гравітаційне прискорення.

Величини  $h$ ,  $F_{sr}$ ,  $F_{sl}$ ,  $v_{sl}$  та  $R_c$  наближено визначались методом комп'ютерного чисельного моделювання на основі експериментальної візуалізації поведінки завантаження в камері обертового барабана шляхом фіксації через прозору торцеву стінку та подальшої комп'ютерної обробки картин руху у поперечному перерізі камери.

Алгоритм реалізації візуалізації даних полягає у здійсненні етапів:

- 1) заповнення камери барабана завантаження зі ступенем наповнення  $\kappa$ ;
- 2) досягнення усталеного режиму руху завантаження при обертанні

барабана із дискретним значенням відносної швидкості  $\psi_\omega$ ;

3) виконання відеозйомки руху завантаження та отримання картини руху;

4) виділення на картині плоских геометричних фігур, що відповідають зонам руху – тверdotільної, польоту та зсувного шару;

5) вимірювання на картині лінійних розмірів  $R$ ,  $h$ ,  $R_c$  та площ  $F_{sr}$  і  $F_{sl}$ ;

6) оцінювання значення дилатансії  $\nu_{sl}$ ,

7) обчислення значень параметрів ударної взаємодії завантаження.

Окремі отримані картини усталеного руху завантаження у камері стаціонарно обертового барабана при відносному розмірі частинок  $\psi_d = 0.0104$  та ступені заповнення  $\kappa = 0.45$  наведено на рис. 1.

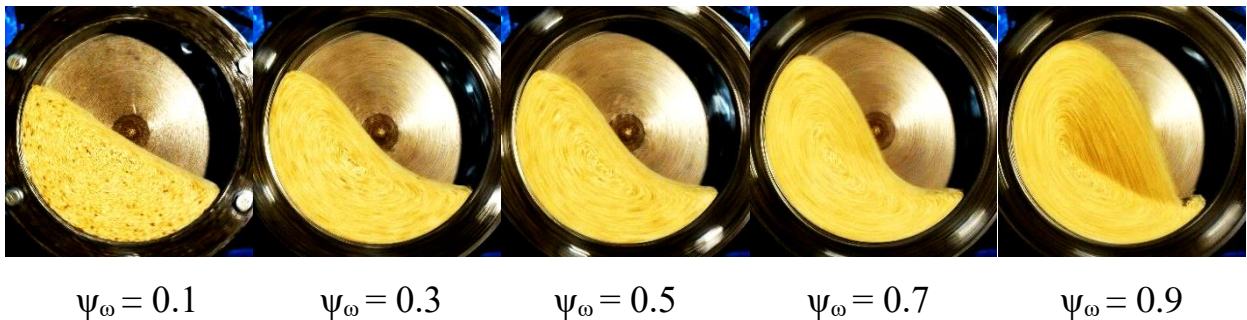


Рис. 1. Візуалізовані дані окремих картин руху завантаження

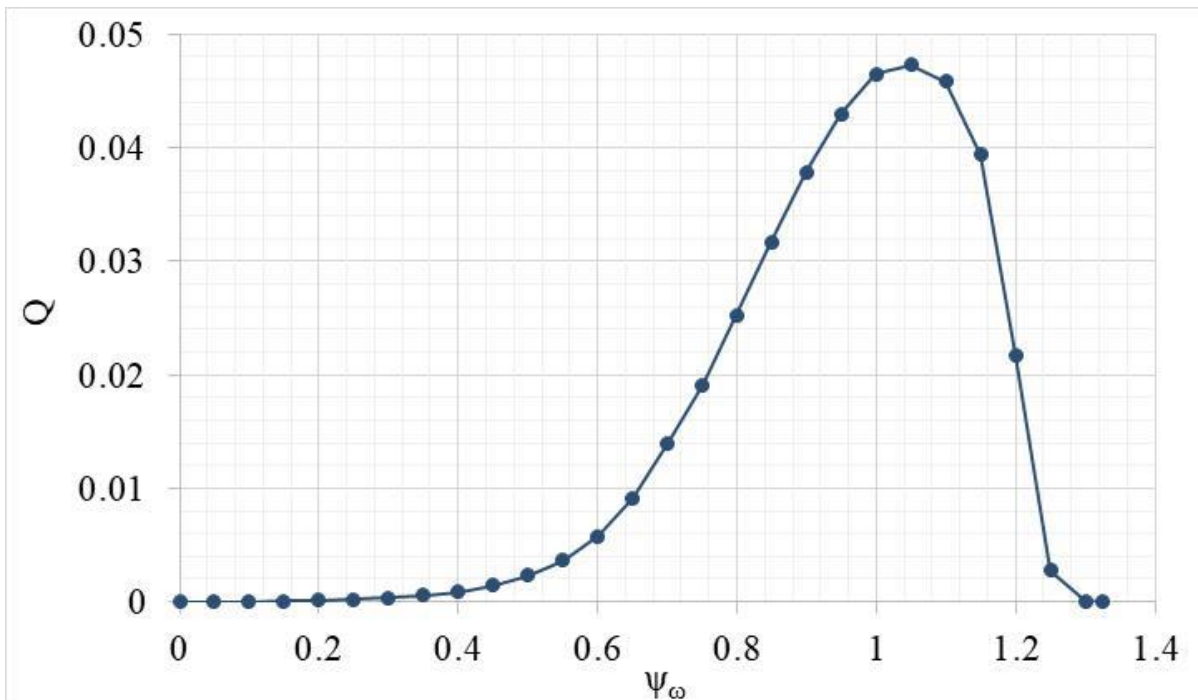


Рис. 2. Експериментальна залежність зміни  $Q$  від  $\psi_\omega$

Графік отриманої зміни аналога відносної продуктивності подрібнення ударом  $Q$  від  $\psi_{\omega}$  наведено на рис. 2.

Було встановлено, що продуктивність подрібнення ударом набуває половинних і більше, від максимальних, значень при величині відносної швидкості  $\psi_{\omega}$  від 0.75–0.8 до 1.2 (рис. 2). Натомість виявлено, що при  $\psi_{\omega} > 0.9$  здійснюється непродуктивний ударний абразивний контакт зони польоту завантаження з циліндричною поверхнею камери (рис. 1). Тому раціональним діапазоном значень відносної швидкості обертання для подрібнення в барабанному млині ударною дією можна вважати  $\psi_{\omega} = 0.75–0.9$ .

Апробація засвідчила ефективність застосування комп'ютерної візуалізації даних для оцінювання динамічних та технологічних аналогів ударної взаємодії елементів внутрішньокамерного завантаження барабанного млина. Верифікація результатів моделювання реалізована порівнянням із чисельними даними технічних стандартів (ISO/IEC Standard No. 924:1989) та (DIN EN Standard No. 1009–3:2020).

#### Література:

1. Naumenko Y. (2017). Modeling of flow pattern of the granular fill in the cross section of a rotating chamber. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5, 1(89), 59–69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110444>
2. Naumenko Y. (2017). Modeling of fracture of the quasi solid-body zone of motion of the granular fill in a rotating chamber. *EEJET*, 2, 1(86), 50–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96477>
3. Naumenko Y., Sivko V. (2017). The rotating chamber granular fill shear layer simulation. *EEJET*, 4, 7(88), 57–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.107242>
4. Науменко Ю. В., Дейнека К. Ю. Теоретичні основи робочих процесів машин барабанного типу: Монографія. Рівне: НУВГП, 2014. 531 с.
5. Naumenko Y., Deineka K. (2023). Building a model of the impact grinding mechanism in a tumbling mill based on data visualization. *EEJET*, 3, 7(123), 65–73. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.283073>

**СИНТЕЗ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІАНІЛІНА  
ТА КОМПОЗИТА ГЛАУКОНІТ/ПОЛІАНІЛІН**

**Сидорко М.С., Палка С.О., Яцишин М.М., Зелінський А.В., Решетняк О.В.**

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

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

*Mariia.Sydorko@lnu.edu.ua*

Серед синтетичних полімерів чільне місце посідає поліанілін (ПАН) – важливий представник класу електропровідних полімерів [1]. Для ПАН властиві три форми–стани, а саме лейкоемеральдин (ЛЕм) – повністю відновлений стан, емеральдин (Ем) – частково окиснений стан і пернігранілін (ПНАн) – повністю окиснений стан. Поліанілін у цих формах–станах може за певних умов перебувати як у виді основ, так і солей відповідних кислот. Найбільш стабільними формами–станами є емеральдинова основа та емеральдинова сіль. ПАН має різне застосування і є поширеним полімером, який використовують дослідники [1]. Ще одним із важливих застосувань поліаніліну є адсорбція іонів важких металів серед яких і хром. Аміно- ( $-NH-$ ) та іміно- ( $-N=$ ) функціональні групи макромолекул ПАН завдяки наявності електронної пари атомів нітрогену є активними адсорбційними центрами катіонів, а завдяки протонуванню ці групи набувають стану ( $-NH^+-$ ) і ( $-N^+=$ ) і стають адсорбентами аніонів [2]. Низька вартість реагентів, простота синтезу, швидке добування-дедобування, здатність до окисно-відновних перетворень, екологічність, тощо, роблять ПАН перспективним адсорбентом для очищення вод різного походження та призначення.

Поліанілін зазвичай отримують хімічним окисненням аніліну у водних розчинах неорганічних чи органічних кислот у вигляді порошку зеленого чи темно-зеленого кольору з різним ступенем дисперсності. Для розширення меж застосування ПАН часто поєднують із різними матеріалами у вигляді поверхневих покриттів на економічно вигідних і багаторазових матрицях-носіях [3]. До числа подібних матеріалів належать і природні мінерали та мінеральні глини серед яких і глауконіт.

Глауконіт (Гл) – складний водно-силікатний мінерал з хімічною формулою  $((K,Na,Ca)(Fe^{3+},Al,Mg,Fe^{2+}))_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$  зустрічається на деяких теренах України. Мінерал Гл має шарувату структуру 2:1, один октаедричний шар затиснутий між двома тетраедричними шарами (шари Т-О-Т). Октаедричні центри зазвичай містять більше  $Fe^{3+}$ , ніж  $Al^{3+}$ . Вміст катіонів  $Fe^{3+}$  може бути відповідальним за його властивості, оскільки він зазвичай знаходиться в кількості, більшій, ніж  $Fe^{2+}$  [4]. Однією із цінних властивостей Гл є наявність в його складі феруму, який може брати участь в адсорбційному процесі.

Нами за методикою [5] синтезовано зразки ПАН, а також композити на основі Гл та ПАН (Гл/ПАН) за різних співвідношень Гл:ПАН, а саме 1:1, 2:1, 5:1 і 10:1. Глауконіт в цих композитах в основному слугує матрицею-носієм мікро- та наночастинок ПАН, осаджених *in situ*, в процесі хімічної окиснювальної полімеризації аніліну. Фізико-хімічні властивості зразків Гл/ПАН, досліджені за допомогою сучасних методів аналізу та порівняні зі зразком ПАН, синтезованого в аналогічних умовах.

Адсорбцію Cr(VI) зразком ПАН та зразком Гл/ПАН (1 : 1) досліджували за концентрацій його водних розчинів: 100, 200, 300, 400 та 500 мг/л. Маса адсорбента становила 0,1 г, а об'єм розчину – 10 мл. На рис. 1 зображено кінетичні залежності адсорбції Cr(VI) у виді оксіаніона  $Cr_2O_7^{2-}$ , досліджуваними зразками.

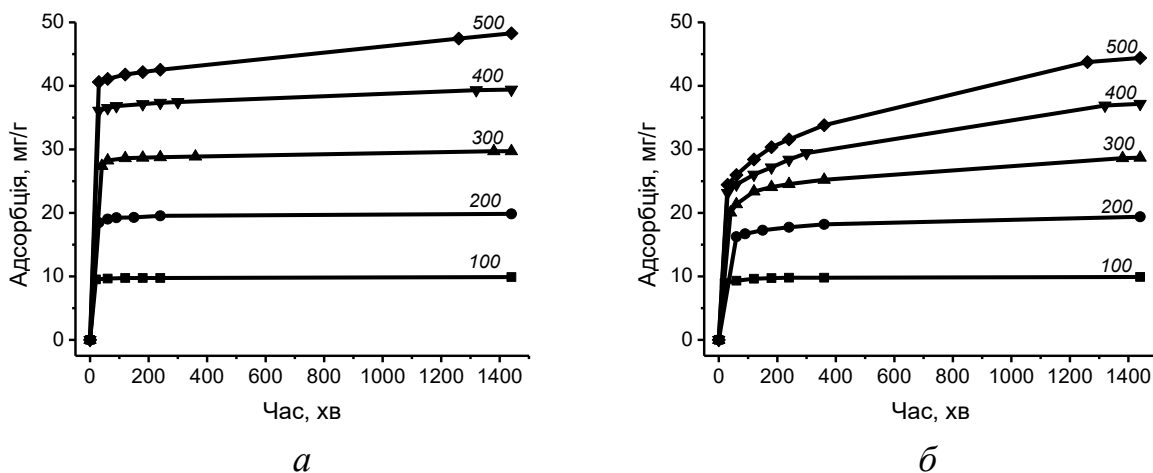


Рис. 1. Кінетика адсорбції Cr(VI) зразками ПАН – а та Гл/ПАН (1:1) – б.

Концентрацій Cr(VI) вказані на полі рисунків

Відмінність у ході кінетичних кривих адсорбції зразком Гл/ПАН зумовлена зміною механізму адсорбції і очевидно участі в ній частинок глауконіту.

На рис. 2, як приклад, зображено енерго-дисперсійні спектри зразків ПАН та Гл/ПАН після адсорбції Cr(VI) із розчину концентрації 300 мг/л та відповідної підготовки для аналізів. Як бачимо у складі адсорбентів наявний хром і сліди калію. Наявність хрому у розчинах після адсорбції не виявлена.

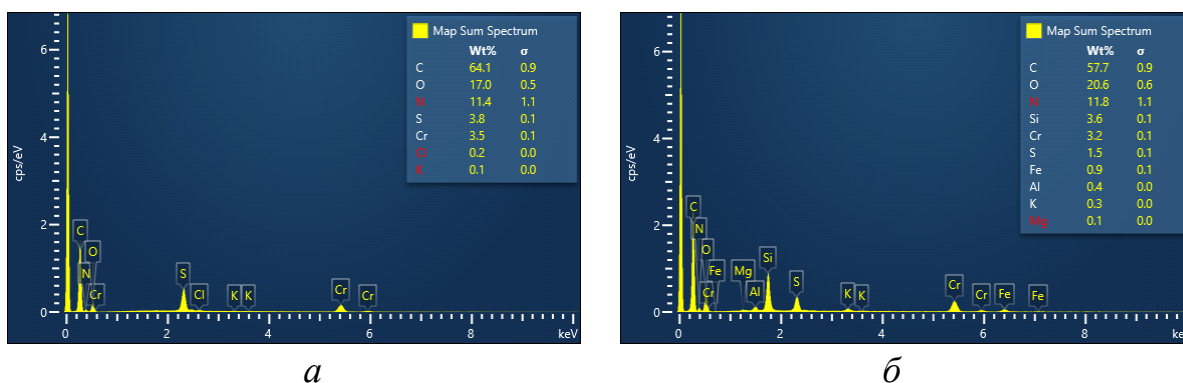


Рис. 2. Енерго-дисперсійні спектри зразків ПАН – *а* та Гл/ПАН (1:1) – *б* після адсорбції Cr(VI)

На початкових стадіях (1–30 хв) адсорбція  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  носить переважно електростатичний характер. Однак, практично паралельно з фізичною адсорбцією відбувається відновлення Cr(VI) до Cr(III) з окисненням емеральдинової форми-стану ПАН до пернігранілінової форми. Підтвердженням цьому слугує добра узгодженість адсорбційного процесу з ізотермою адсорбції Ленгмюра, що також підтверджує і псевдо другий порядок кінетичного рівняння цього процесу. Відновлені катіони Cr(III) зв'язуються (хелатуванням) полімерними макромолекулами, що забезпечує малі ризики його подальшого викиду в навколишнє середовище.

Адсорбційна ємність зразка ПАН, визначена за умов проведення експерименту, становить ~50 мг/г, а адсорбційна ємність зразка Гл/ПАН ~45 мг/г. Однак, враховуючи, що основним адсорбентом є поліанілін, вміст якого в композиті Гл/ПАН становить ~45 %, можна стверджувати як про підвищення ефективності поліанілінового шару, так і можливої участі частинок глауконіту в адсорбційному процесі.

За результатами дослідження як розчинів після адсорбції, так і адсорбентів після відповідної підготовки за допомогою X-флуоресцентного аналізу показано, що практично весь хром зосереджений після адсорбції в частинках дисперсних адсорбентів ПАН та Гл/ПАН.

Досліджені адсорбенти можуть бути використані для очищення води від наявності оксіаніонів Cr(VI) та катіонів Cr(III).

#### Література:

1. Ćirić-Marjanović G. (2013). Recent advances in polyaniline research: Polymerization mechanisms, structural aspects, properties and applications. *Synth. Met.*, 177, 1-47. <https://doi:10.1016/j.synthmet.2013.06.004>
2. Wu H., Wang Q., Fei G.T., Xu S.H., Guo X., Zhang L.D. (2018). Preparation of Hollow Polyaniline Micro/Nanospheres and Their Removal Capacity of Cr (VI) from Wastewater. *Nanoscale Res. Lett.*, 13(10), 401-419. [https://doi: 10.1186/s11671-018-2815-8](https://doi:10.1186/s11671-018-2815-8)
3. Qiu B., Xu C., Sun D., Qiang W., Hongbo G., Xin Z., Brandon L.W., Jack H., Thomas C.H., Zhanhu G., Suying W. (2015). Polyaniline coating with various substrates for hexavalentchromium removal. *Appl. Surf. Sci.*, 334, 7-14. <https://doi:10.1016/j.apsusc.2014.07.039>
4. Singla R., Alex T.C., Kumar R. (2020). On mechanical activation of glauconite: physicochemical changes, alterations in cation exchange capacity and mechanisms. *Powder Technol.*, 360, 337-351. <https://doi:10.1016/j.powtec.2019.10.035>
5. Сидорко М. С., Яцишин М. М., Марчук І. Є., Зелінський А. В., Решетняк О. В. (2023). Композит цеоліт/поліанілін: синтез та адсорбційні властивості стосовно Cr(VI) із водних розчинів. *Полімерний журнал*. 45(1), 69-78. [https://doi: 10.15407/polymerj.45.01.069](https://doi:10.15407/polymerj.45.01.069)



УДК 544.723:546.766

## СИНТЕЗ ПОЛІАНІЛІНУ У ВОДНИХ РОЗЧИНАХ ФОСФАТНОЇ КИСЛОТИ

Нестерівська С.П., Матвійчук Г.І., Яцишин М.М.,  
Зелінський А.В., Решетняк О.В.

*Львівський національний університет імені Івана Франка,*

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

*solomia2104@gmail.com*

Електропровідні полімери (ЕПП) основними представниками яких є поліанілін (ПАН), політіофен (ПТФ), поліпірол (ППі) знайшли широке застосування, як от: екрани електромагнітних перешкод, акумуляторні батареї, фотоелектричні елементи, газороздільні мембрани, датчики хімічних та біохімічних сенсорів, компоненти антикорозійних покриттів, адсорбенти важких металів та органічних барвників [1–4] та багато інших.

Поліанілін є найбільш вивченим і популярним ЕПП серед дослідників різних наукових галузей та напрямків. Широкий спектр фізико-хімічних властивостей поліаніліну унікальними з яких є строга впорядкованість структури, множина форм-станів та здатність до швидкої їхньої зміни, економічність, різноманітність та простота способів синтезу, множина морфологій отриманих частинок [1–3].

Нами синтезовано зразки ПАН у 1,0 М водних розчинах ортофосфорної кислоти ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). За допомогою сучасних методів досліджено деякі їхні властивості, а саме морфологію, склад та структуру.

Для досліджень використовували: скануючий електронний мікроскоп (СЕМ) TESCAN VEGA3 (з BSE та SE детекторами) та інфрачервоний спектрофотометр (ІЧ-ФП) SHIMADZU Q ATR-S.

Синтез зразків ПАН проводили за стандартною методикою хімічного окиснення аніліну амонійпероксодисульфатом (АПС). Зразки після синтезу промивали дистильованою водою (зразок М.С.1), дистильованою водою, етанолом та ацетоном (зразок М.С.2).

На рис. 1 наведено СЕМ-зображення синтезованих зразків. Як бачимо між морфологією порошкоподібних зразків простежується відмінність. Зразок М.С.1 (рис. 1, а) складається із агрегованих нанорозмірних утворень різної форми. Зразок М.С.2 (рис. 1, а) є більш однорідним за формою частинок і менш агрегованим. Зразки ПАН є однофазовими утвореннями. Як бачимо з СЕМ-зображень рис. 1, зразки різняться своєю морфологією.

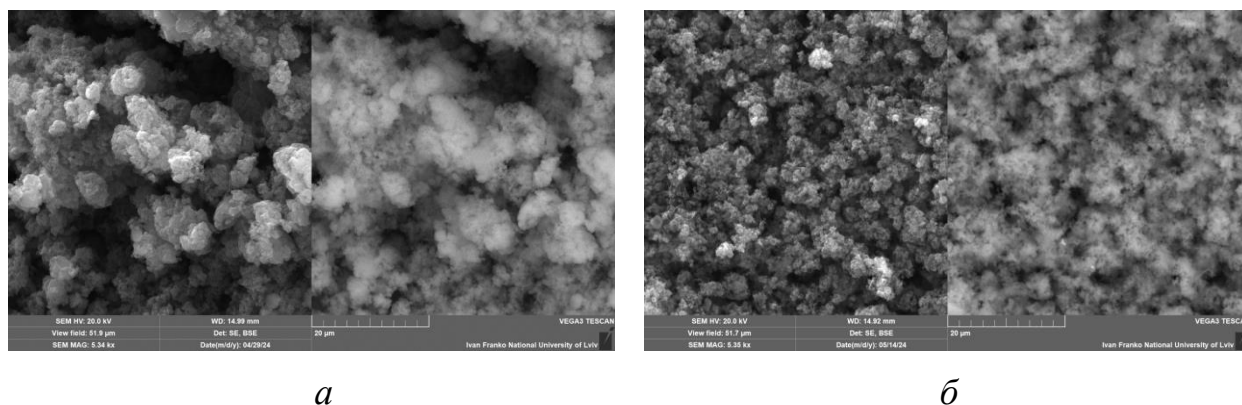


Рис. 1. СЕМ-зображення зразків: *а* – М.С.1; *б* – М.С.2. (Ліве BSE, праве SE)

На рис. 2 зображено енергодисперсійні спектри (ЕД-спектри) зразків ПАН з яких бачимо, що їхній хімічний склад є практично однаковим за вмістом елементів властивим для поліаніліну. Наявність сульфуру (S) та кисню (O) в обох зразках зумовлена сульфат іоном – продуктом відновлення АПС.

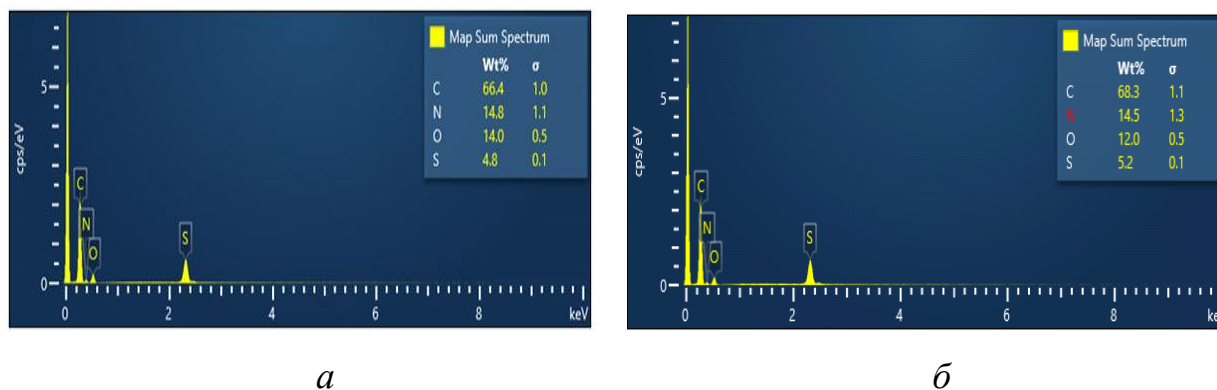


Рис. 2. ЕД-спектри зразків ПАН: *а* – М.С.1; *б* – М.С.2

На рис. 3 зображено ІЧ–ФП-спектри зразків поліаніліну. Характеристичні смуги відповідають поліаніліну [5]. Як бачимо спектри зразків є дещо відмінними, що зумовлено структурними особливостями. Очевидно, що на вигляд ІЧ–ФП спектрів вплинув процес їхнього промивання від олігомерів ПАН та реагентів.

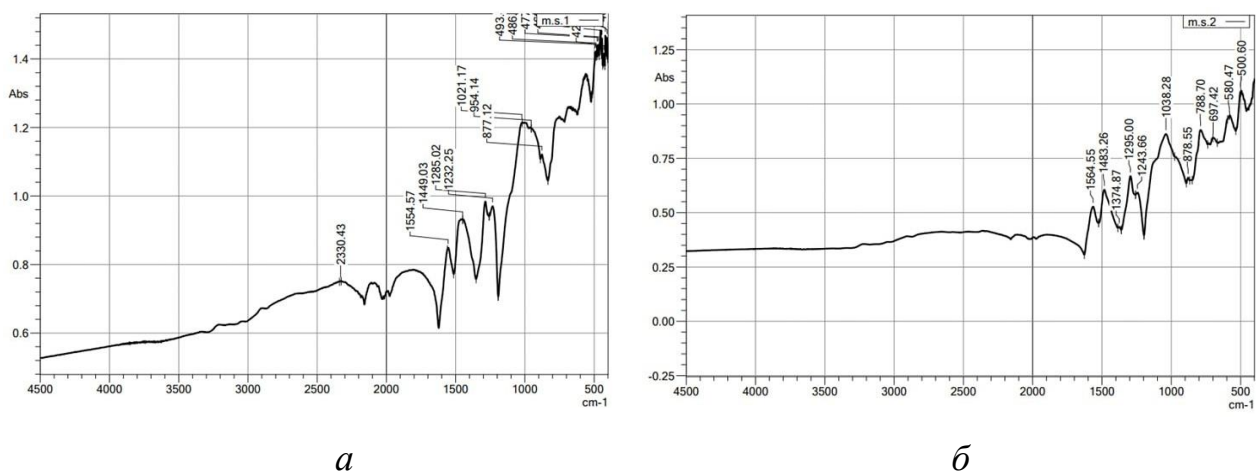


Рис. 3. ІЧ–ФП-спектри зразків: *a* – M.S.1; *б* – M.S.

Наведені вище результати демонструють, що хоча отримані зразки ПАН, синтезовані за однакової концентрації  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , мають подібні основи, але відрізняються специфічними молекулярними структурами, які, як очікується, можуть впливати на їхні адсорбційні властивості.

#### Література:

1. Ćirić-Marjanović G. (2013). Recent advances in polyaniline research: Polymerization mechanisms, structural aspects, properties and applications. *Synth. Met.*, 177, 1-47. <https://doi:10.1016/j.synthmet.2013.06.004>
2. Beygisangchin M., Rashid S.A, Shafie S., Sadrolhosseini A.R., Lim H.N. (2021). Preparations, Properties, and Applications of Polyaniline and Polyaniline Thin Films – A Review. *Polymers*, 13, 2003. <https://doi:10.3390/polym13122003>
3. Stejskal J. (2020). Interaction of conducting polymers, polyaniline and polypyrrole, with organic dyes: polymer morphology control, dye adsorption and photocatalytic decomposition. *Chem. Pap.*, 74, 1-54. <https://doi:10.1007/s11696-019-00982-9>
4. Samadi A., Xie M., Li J., Shon H., Zheng C., Zhao S. (2021). Polyaniline-based adsorbents for aqueous pollutants removal: A review. *Chem. Eng. J.*, 418, 129425. <https://doi:10.1016/j.cej.2021.129425>
5. Zhou T., Li C., Jin H., Lian Y., Han W. (2017). Effective Adsorption/ Reduction of Cr(VI) Oxyanion by Halloysite@Polyaniline Hybrid Nanotubes. *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 9(7), 6030-6043. <https://doi:10.1021/acsami.6b14079>

УДК 544.773.432: 547.995.1

## МОДИФІКАЦІЯ БЕНТОНІТУ ХІТОЗАНОМ

Будішевська О.Г., Кочубей В.В., Калачук В.В.

*Національний університет “Львівська політехніка”*

*вул. С. Бандери, 12, 79013, м. Львів*

*olha.h.budishevaska@lpnu.ua*

Останнім часом велика увага приділяється новим матеріалам на основі природних нетоксичних, біодеградабельних, біосумісних сполук. Бентонітові глини, основною частиною яких є монтморилоніт широко використовують для створення композиційних адсорбентів для очищення стічних вод та питної води, у харчовій промисловості, для створення лікувальних засобів, як наповнювачі косметичних засобів тощо. Модифікацію бентонітових глин часто здійснюють сорбцією катіонактивних ПАР та катіонних полісахаридів, таких, як хітин або хітозан.

Метою представленої роботи була модифікація збагаченого монтморилонітом бентоніту (ЗБ) сорбцією хітозану (Хіт) на частинках ЗБ у водних суспензіях. Досліджували ефективність сорбції в залежності від концентрації Хіт та рН середовища.

Згідно протоколу випробувань вихідного бентоніту масова частка піщаної фракції складала 3,82 %, глинистої складової – 82,6 %, монтморилоніту – 75,5 %. Бентоніт збагачували монтморилонітом (ММТ) методом седиментації грубодисперсної фази [1 **Ошибка! Закладка не определена.**].

Модифікацію частинок суспензії ЗБ хітозаном із СД 82% та Мм 30106 Да здійснювали сорбцією колоїдно розчинених макромолекул Хіт у водному середовищі. У суспензіях ЗБ встановлювали необхідний рН додаванням водних розчинів HCl або NaOH.

Кількість сорбованого Хіт визначали за допомогою комплексного термічного аналізу зразків модифікованого ЗБ та порівнювали з не модифікованим ЗБ. Для аналізу використовували дериватограф Q-1500 системи “Паулік – Паулік – Ердей” фірми МОМ (Угорщина).

Процес сорбції Хіт у водному середовищі на частинках суспензії ЗБ супроводжується флокуляцією, а Хіт виступає як флокулянт водної суспензії [2]. Тому дослідження флокуляції суспензій з низьким вмістом ЗБ нами обрано як фактор оцінки сорбції Хіт на частинках ЗБ. Так як метою роботи є одержання ЗБ з модифікованою хітозаном поверхнею частинок, дослідження процесу осадження дозволило визначити оптимальні умови одержання осадженого модифікованого ЗБ. Кінетику осадження у суспензіях ЗБ хітозаном досліджували спектрофотометрично за допомогою світлофотометра ULAB 102UV СРЕКТРОФТОМЕТЕР та програмного забезпечення до нього. Для цього встановлювали залежність оптичної густини від часу за  $\lambda$  560 нм, за різних концентрацій Хіт та рН середовища.

На рис. 1 представлені кінетичні криві залежності оптичної густини суспензії ЗБ (при сталому вмісті збагаченого бентоніту у суспензії – 0,125 %) від концентрації Хіт. З рисунку видно, що після додавання Хіт у суспензію ЗБ спостерігається дві стадії освітлення. У перші хвилини спостерігали збільшення оптичної густини, що зумовлено утворенням великої кількості дрібних флокул та зростання мутності суміші.

На другій стадії достатньо важкі флокули осідають під дією гравітації. Наведені кінетичні криві свідчать, що швидкість осідання залежить від концентрації Хіт у межах 18 мг/л – 28 мг/л (при вмісті ЗБ у суспензії 0,125 %, рН 5,3 та  $18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

За концентрації Хіт 28 мг/л, яка є оптимальною, відбувається швидка флокуляція частинок у суспензії з рН 5–5,5. Менше цієї концентрації флокуляція не відбувається унаслідок недостатчі макромолекул Хіт для зв'язування частинок у флокули, та при концентрації Хіт більше оптимальної флокуляція також не відбувається унаслідок стабілізації твердих частинок суспензії адсорбованими макромолекулами Хіт.

Методами спектрофотометрії та термічного аналізу також показано, що сорбція Хіт на частинках ЗБ суттєво залежить від рН середовища водної суспензії.

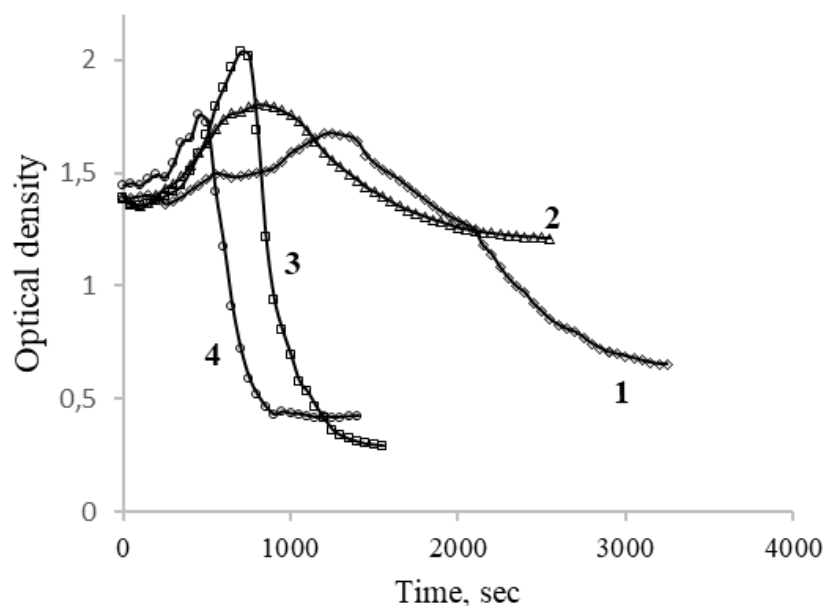


Рис. 1. Кінетика освітлення 0,125 % суспензії ЗБ з рН 5,3 у присутності Хіт різної концентрації: 1 – 18 мг/л, 2 – 20 мг/л, 3 – 25 мг/л, 4 – 28 мг/л

Встановлено, що при сталих вмісті ЗБ та концентрації Хіт у лужному середовищі – за рН > 9, сорбція Хіт суттєво збільшується, що зумовлено зменшенням протонування аміногруп Хіт, унаслідок чого зменшується його розчинність та збільшується сорбція макромолекул на твердій поверхні частинок. Крім цього, за рН > 9 дисоціація Al-OH груп, розташованих на бокових гранях кристалів ММТ збільшується, що сприяє взаємодії негативних поверхонь ММЕ з макрокатионами Хіт.

Одержаний бентоніт, модифікований Хіт використано як наповнювач при створенні косметичного крему, що дозволило збільшити зволожувальні властивості косметичного засобу у порівнянні з не модифікованим ЗБ та забезпечити збільшення бактерицидних властивостей наповнювача.

#### Література:

1. Kochubei, V.; Yaremchuk, Y.; Malovanyu, M.; Yaholnyk, S.; Slyuzar, A. (2018). Perspectives of Treatment of Water Environments from Pollutants with Ultrasound-Activated Bentonites. *Chem. Chem. Technol.*, 17(4), 870–877. <https://doi.org/10.23939/chcht17.04.870>
2. Budishevskaya, O.H., Kochubei, V.V., Kostyk, O.A. (2023). Chitosan and cationic starch as a flocculants for the dispersion of silicon dioxide. *J.Chem. Technol.*, 31(3), 651–662. doi: 10.15421/jchemtech.v31i3.279904

**УДК 678.4**

**ДОСЛІДЖЕННЯ СПОЖИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГУМОВИХ ВИРОБІВ  
ТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ КОМПЛЕКТАЦІЇ ТРАНСПОРТУ**

**Ващенко І. Ю., Рижкова Г.А.**

*Університет імені Альфреда Нобеля,*

*вулиця Січеславська Набережна, 18, м. Дніпро, 49000*

*vashch2002@gmail.com*

Гумові технічні вироби (ГТВ) застосовують практично у всіх областях господарювання. В більшості випадків надійність і довговічність конструкцій, машин і механізмів лімітуються надійністю і довговічністю комплектуючих гумових виробів, тому такими важливими є правильний вибір типу і конструкції, монтаж і експлуатація гумових технічних виробів. Автомобіль та інші транспортні засоби, поєднують в своїй конструкції велику кількість різних матеріалів, які повинні слідувати за модою та технологіями, що постійно змінюються. Без гумових елементів сучасні транспортні засоби існувати не можуть.

Одним з найважливіших резервів зростання ефективності виробництва ГТВ є покращення підвищення споживних властивостей гумової продукції, підвищення надійності та довговічності машин, обладнання та приладів.

Проаналізовано технологічний процес виготовлення формових гумових виробів технічного призначення для комплектації транспорту на прикладі роботи ПрАТ «Каучук» з метою пошуку напрямків покращення їх споживних властивостей. Показано доцільність контролю параметрів технологічного процесу на різних етапах для отримання високоякісних виробів. Проаналізовано комплекс властивостей гумових сумішей для виготовлення ущільнювачів різного типу та віброамортизаторів.

Встановлено також, що споживні властивості гумових виробів визначаються не комплексом механічних властивостей матеріалів, але й зовнішнім виглядом гумовотехнічних виробів. Проаналізовано залежність якості готової продукції від чистоти формуючої поверхні прес-форм. Показано, що при

використанні гумових сумішей на основі неполярних карболанцюгових ненасичених еластомерів, наприклад, поліізопрени, нагар на поверхні утворюється більш частіше за рахунок більшої схильності до деструкції, ніж при використанні полярних еластомерів, наприклад, бутадієн-нітрильних. На підставі аналізу науково-технічної літератури запропоновано підвищувати вміст добавок, які будуть запобігати деструкції макромолекул, а також використання певного типу устаткування для ефективного очищення поверхні форм.

Споживні властивості гумових виробів залежать також від собівартості продукції. Також актуальним на теперішній час є покращення екологічності самих гумових виробів. Проаналізовано шляхи зниження собівартості виробів за рахунок використання у складі еластомерних композицій продуктів рециклінгу гумових виробів. Показано доцільність використання модифікованої гумової крихти, яка дозволяє знижувати вміст дороговартісної основи гумової суміші – каучуку, при збереженні комплексу основних механічних показників гум. При цьому для оброблення поверхні гумової крихти використали екологічно безпечні поверхнево-активні речовини, які отримано на основі поновлювальної сировини рослинного та тваринного походження, зокрема етери жирних кислот (ЕЖК). Для покращення екологічності, з точки зору споживних властивостей гумових виробів, можна також запропонувати провести додаткові дослідження на підприємстві з метою повної або часткової заміни деяких інгредієнтів на компоненти, отримані на основі сировини рослинного або тваринного походження. Це можуть бути, наприклад, наповнювачі, пластифікатори або компоненти вулканізуючої групи.

Таким чином, аналіз результатів дослідження споживних властивостей гумових виробів технічного призначення для комплектації транспорту показав можливі шляхи вдосконалення як технологічного процесу виготовлення товарної продукції, так і складу еластомерних матеріалів на основі яких вона виробляється.



**УДК: 677.1/.2**

**HYDROGEL NANOCOMPOSITES FOR AGROTECHNOLOGICAL  
USE BASED ON CALCIUM ALGINATE AND GELATIN**

**Samchenko Yu.<sup>1</sup>, Samchenko K.<sup>2</sup>, Goncharuk O.<sup>1,3</sup>, Kernosenko L.<sup>1</sup>,  
Pasmurtceva N.<sup>1</sup>, Poltoratska T.<sup>1</sup>, Vorotytskyi P.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*F.D. Ovcharenko Institute of Biocolloidal Chemistry of NAS of Ukraine, Kyiv,  
Ukraine, yu1sam@yahoo.com*

<sup>2</sup>*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic  
Institute", Kyiv, Ukraine, samchenko.kateryna@lll.kpi.ua*

<sup>3</sup>*Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Lublin, Poland,  
iscgoncharuk@ukr.net*

Over the past few years, the attention of researchers has been increasingly drawn to natural polymers, which compare favorably with synthetic polymers primarily due to the absence of toxic effects on humans and the environment [1]. Sodium alginate is one of the most widely used natural polymers, derived from brown marine algae, and some bacteria (e.g. *Pseudomonas* and *Azotobacter*) [2]. The polymer chains of alginates consist of  $\beta$ -D-mannuronic acid (M-blocks) and  $\alpha$ -L-guluronic acid (G-blocks) connected by (1 $\rightarrow$ 4) glycosidic bonds [3]. The interaction of alginates with multivalent cations, primarily calcium cations, leads to the formation of biodegradable gels. Polymerization is based on crosslinking of copolymers through ionic bonds between  $\text{Ca}^{2+}$  cations and alginate anions. The range of properties, in particular, mechanical and diffusion properties, inherent in alginate gels can be significantly expanded by obtaining mixed polymers and nanocomposites. In particular, gelatin is one of the candidates for improving the functional properties of alginate.

Sodium alginate is widely used in various fields of life sciences due to its biocompatibility, non-toxicity, pH sensitivity, biodegradability, chemical versatility which allows it for further modification and ability to form a thermally stable gel under mild conditions when it comes in contact with divalent or trivalent cations like  $\text{Ca}^{2+}$  [4]. The unique properties of sodium alginate enable it to be widely used

polymer in the food and pharmaceutical industries. However, the alginate hydrogel matrix suffers from some limitations, including less mechanical strength, low encapsulation efficiency, and burst release of encapsulated compounds at intestinal pH. Hence, in order to overcome these limitations, several studies have been performed by blending sodium alginate with other biopolymers. gelatin seems to be one of the promising candidates for improving the properties of alginate.

Unlike the polysaccharide alginate, gelatin is a protein. Along with biocompatibility and non-toxicity, it has a wide range of useful properties, including film-forming ability and pH sensitivity. Unlike alginate, calcium ions or other multivalent metals are not able to provide spatial crosslinking of gelatin [5], however, this proved to be possible using glutaraldehyde.

Alginic acid sodium salt from brown algae, medium viscosity (viscosity  $\geq 2000$  cP (Sigma-Aldrich), Alginic acid sodium salt from brown algae, low viscosity (viscosity 4-12 cP (Sigma-Aldrich), Calcium chloride ( $\text{CaCl}_2$ , 97 %, Sigma-Aldrich), gelatine from cold water fish skin, (Gel, Sigma-Aldrich), were used as received without further purification. Distilled water was used as a solvent in all experiments.

Uniform beads based on alginate-gelatin mixture (with gelatin content varied from 0,125 to 3 %) were synthesized by the way of extruding of polymers mixture into the crosslinking agents solution. The size of the resulting beads can be controlled by varying the diameter of the nozzle. The cross-linking solution was prepared by mixing calcium chloride and glutaraldehyde to make their concentration 2 and 0.2 % wt., respectively.

The FTIR spectra were recorded in the range of 400–4000  $\text{cm}^{-1}$  at room temperature using a Shimadzu IRAffinity-1S spectrometer equipped with GS10800-X QuestsR ATR Diamond accessory (Fig.1).

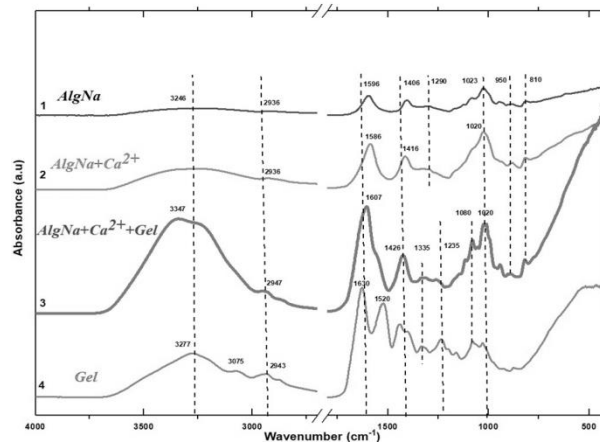


Fig.1. The FTIR spectra of mixed gel based on alginate and gelatin

Swelling  $Q$  (g/g) of hydrogels was determined by the weight method using the formula:

$$Q = \frac{(m_{sw} - m_{dry})}{m_{dry}}$$

where  $m_{sw}$ ,  $m_{dry}$  are masses of the swollen gel and dry xerogel, respectively.

It is demonstrated that with the increase in the content of gelatin in a mixture with alginate, the equilibrium degree of swelling of the mixed polymer increases, and the most noticeably specified effect is manifested in relation to alginate with low density (Fig. 2).

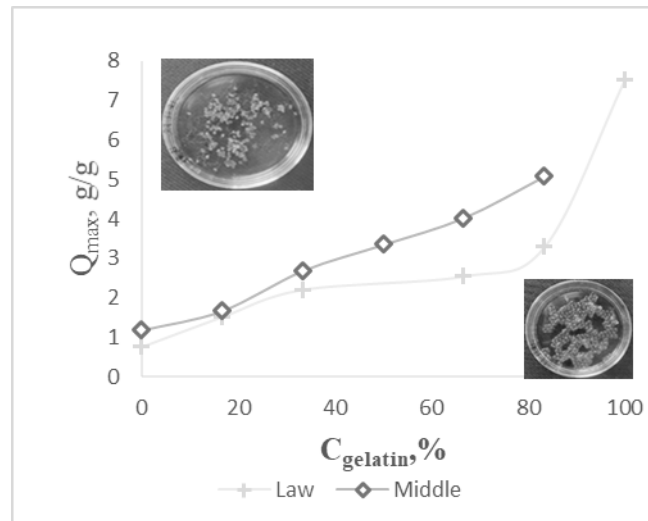


Fig. 2.  $Q$  maximal dependence on the concentration of gelatin in the mixture with alginate

The microphotographs (SEM) of mixed gel based on alginate and gelatin is presented on Fig. 3.

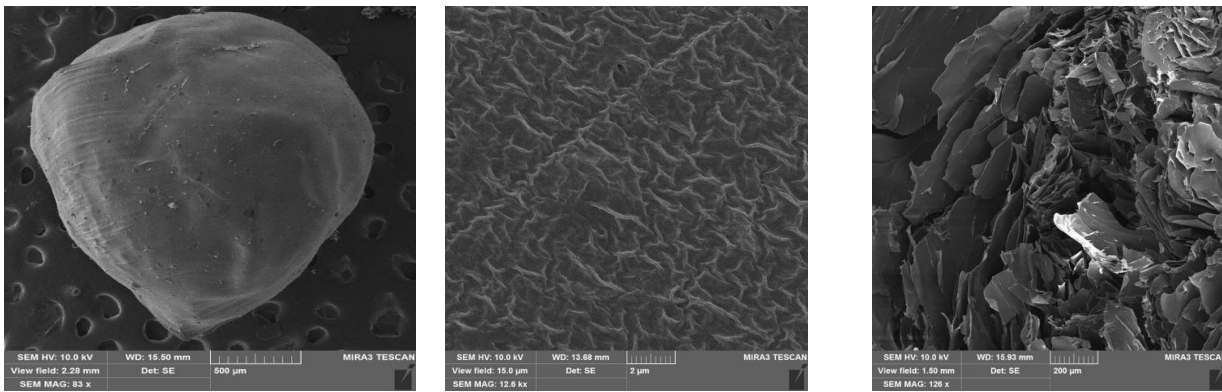


Fig. 3. The appearance of a mixed bead obtained on the basis of alginate and gelatin (a) and morphology of its surface (b) and fracture (c)

Acknowledgements. The authors O.G. and Y.S. are grateful for the financial support from Polish Academy of Sciences, and the National Academy of Sciences of the USA within a Long-term program for Ukrainian scientists (project “Biocompatible hybrid hydrogels with functional inorganic fillers for strengthening plant vegetation”).

#### References:

1. Sánchez-Cid P, Jiménez-Rosado M, Romero A, Pérez-Puyana V. Novel Trends in Hydrogel Development for Biomedical Applications: A Review. *Polymers (Basel)*. 2022 Jul 26;14(15):3023. doi: 10.3390/polym14153023.
2. Gomathi, T.; Susi, S.; Abirami, D.; Sudha, P.N. Size Optimization And Thermal Studies on Calcium Alginate Nanoparticles. *IOSR J. Pharm.* 2017, 48, 1-7
3. Susana M Cardoso, Manuel A Coimbra, J. A Lopes da Silva, Calcium-mediated gelation of an olive pomace pectic extract, *Carbohydrate Polymers*, Volume 52, Issue 2, 2003, Pages 125-133, [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(02\)00299-0](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)00299-0)
4. Anupam Apoorva, Arun Prabhu Rameshbabu, Swagata Dasgupta, Santanu Dhara, Manchikanti Padmavati Novel pH-sensitive alginate hydrogel delivery system reinforced with gum tragacanth for intestinal targeting of nutraceuticals, *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 147, 2020, Pages 675-687, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.027>
5. Zheng, X.J. et al. (2012), “Preparation and properties of sisal microfibril/gelatin biomass composites”, *Composites: Part A*, 43, 45-52.

## *Секція 2*

---

*Аналітична хімія навколишнього  
середовища та продуктів  
агровиробництва.*

*Інноваційні технології харчової  
промисловості*

---

**THE BIOCHAR IMPACT ON MISCANTHUS  
BIOMASS QUALITY AS BIOFUEL FEEDSTOCK**

**Kharytonov M.<sup>1</sup>, Klimkina I.<sup>1</sup>, Martynova N.<sup>2</sup>,  
Rula I.<sup>1</sup>, Sumiatina O.<sup>1</sup>, Gispert M.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Dnipro State Agrarian and Economic University,  
Serhiia Yefremova Str., 25, 49600, Dnipro, Ukraine*

<sup>2</sup>*Oles Honchar Dnipro National University,  
Nauki Avenue, 72, 49045, Dnipro, Ukraine*

<sup>3</sup>*Girona University, Plaça de Sant Domènec, 3, 17004, Girona, Spain*

*kharytonov.m.m@dsau.dp.ua*

Results of some researchers showed benefit of biochar application to soils on crop productivity (Verheijen et al, 2009; Scislowska et al., 2015). The greatest positive effects with regard to soil analyses were seen in acidic (14%) and neutral pH soils (13%), and in soils with a coarse (10%) or medium texture (13%). However, the difference in the results of field and vegetation experiments almost always takes place. In addition, it is necessary to take into account the genetic characteristics of plants. It is known that biochars have the ability to immobilize heavy metals, thereby reducing their mobility and bioavailability in contaminated soils. In our experiment, this effect was observed as well. The heavy metal content in leaves and stems has reduced by an average of 10–25 %. The main differences are mainly in the duration of the process of thermal degradation, the rate of some stages passing and in the amount of non-combustible residue. There is an obvious lack of data on the thermal characteristics of plant biomass grown on substrates with the addition of biochar.

Pot trial was carried out. *Miscanthus × giganteus* was grown in the vegetation containers with two types of marginal soils: low humus black soil (BS) and red-brown clay (RBC). Meadow black soil was taken in top of salinated stratum (0–20 cm) in flood plain of Kilchen river (Samara river tributary). Red brown clay was taken from quarry board 15 years ago to create reclaimed mine land in site near Blagodatnaya coal mining tailing in Pavlogradsky district (Western Donbass coal mining region). 40 cm stratum of red brown clay was replaced over salinated and

polluted with heavy metals stratum consisting of 4 m mass of mining rocks mix (Klimkina et al., 2018; Kharytonov & Kroik, 2011). Biochar was applied to test its effect on plant growth, the ability of plants to accumulate of heavy metals and the thermal characteristics of biomass. Treatments included control and nutshell biochar (3 % by weight). The thermal characteristics of biomass were studied by thermogravimetric analysis. The analysis was performed using the derivatograph Q-1500D of the “F. Paulik-J. Paulik-L. Erdey” system. Differential mass loss and heating effects were recorded. The results of the measurements were processed with the software package supplied with the device. Samples of biomass were analyzed dynamically at a heating rate of 10°C/min in an air atmosphere. The mass of samples was 100 mg. The reference substance was aluminum oxide.

It was revealed that growth parameters of *Miscanthus* were higher on the black soil compared with the red-brown clay.

The plant ability to accumulate of heavy metals depend on both genetic features and chemical and physical properties of the soil. Thermogravimetric analysis was carried out to assess the effect of biochar on the thermal characteristics of energy crops biomass. According to the results obtained, the process of thermal decomposition of *Miscanthus* biomass took place in four stages. The first stage was characterized by endothermic processes caused by the water and volatile components evaporation. In the leaf biomass, this phase began earlier than in stems, and lasted longer. Besides, rate and mass loss were higher. In plants grown on the red-brown clay, temperature range was shorter (55(70)–150 °C) than in plants grown on the black soil. However, the process was more active in leaves taken from black soil and in stems taken from red-brown clay.

The phase of exothermic hemicelluloses decomposition proceeded in the temperature range 150–270 °C. The degradation rate was higher in plant biomass grown on the red-brown clay. One peak was observed in this region. The weight loss varied in leaves from 17.4% (BS) to 17.6% (RBC), in stems from 20.2 % (BS) to 26.5 % (RBC).

The third stage of termolysis (260–390°C) was associated with cellulose and lignin destruction. One peak of cellulose decomposition (28.2–28.8 %/min) occurred

at the temperature 290–300 °C. The lignin degradation passed without pronounced peaks.

During the fourth stage lignin thermal destruction was completed and carbonate residue burning took place. On the black soil, more complete combustion was observed in leaf biomass, where the share of residual mass was 5.06 % versus 10.4 % on the red-brown clay. Conversely, the stem biomass taken from clay burned better than that taken from black soil.

The addition of biochar had a slight effect on thermolysis passing. So, duration of the process has grown shorter. The rate of thermal degradation in the leaf biomass was greater, which is especially noticeable in the region of hemicelluloses destruction (Fig. 1). However, if the share of residual mass in biomass from red-brown clay was reduced by 24.1 %, then in the biomass from black soil more complete combustion was not observed.

In the stem biomass a pronounced increase in the thermolysis rate was noted in the region of volatile components evaporation (on the black soil) and during the cellulose decomposition (Fig. 2). Besides, under the impact of biochar, biomass combustion was more complete (by 5.1 % on the red-brown clay and by 30 % on the black soil). According to the activation energy data (Table 1), the addition of biochar led to a decrease in the thermal stability of the biomass at the initial stage of destruction (by 14.4–22.6 %) and an increase at the stage of main components decomposition (by 4.5–6.3 %).

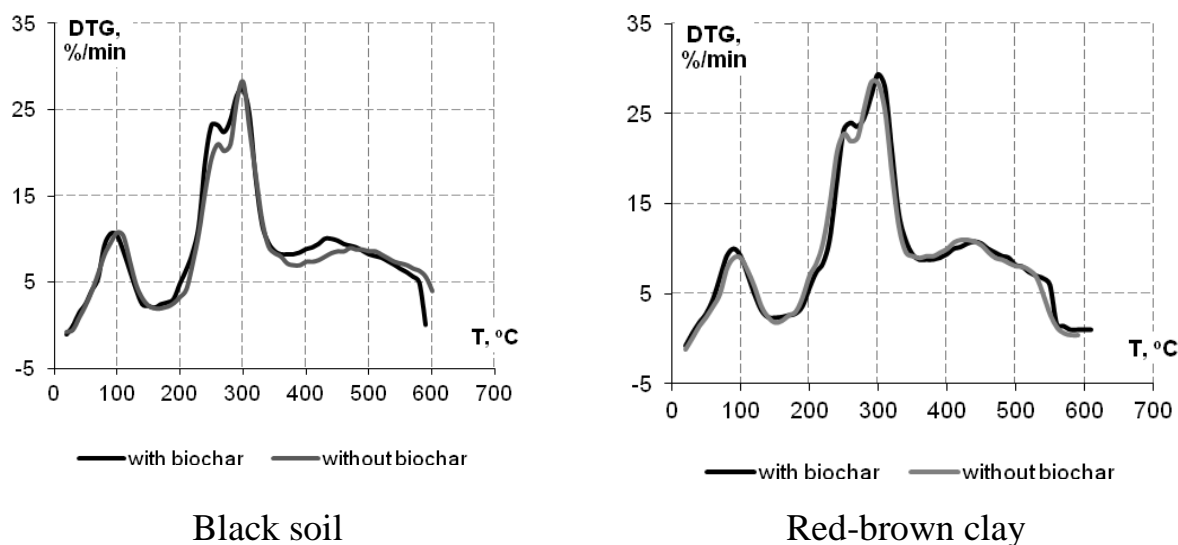
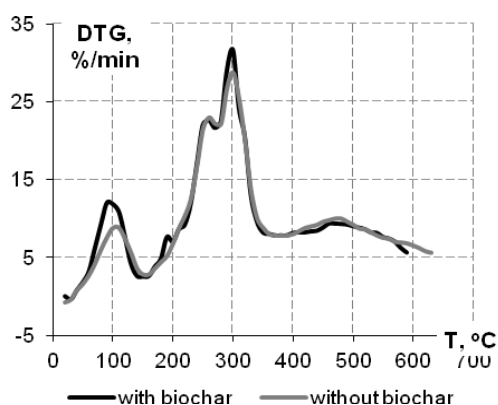
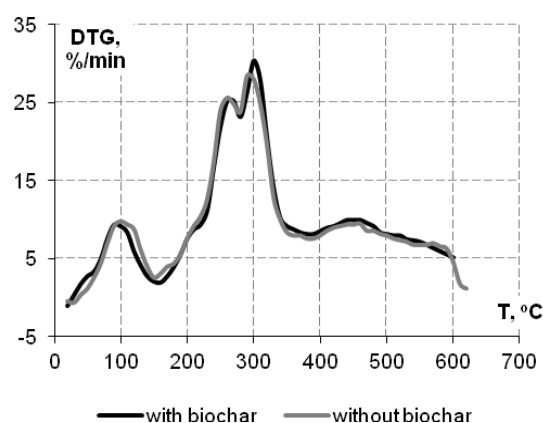


Fig. 1. DTG curves of *Miscanthus* thermolysis in the leaf biomass





Black soil



Red-brown clay

Fig. 2. DTG curves of Miscanthus thermolysis in the stem biomass

Table 1. Activation energy of Miscanthus biomass thermal decomposition

Experiment variant	Leaf		Stem	
	Activation energy, kJ/mol		Activation energy, kJ/mol	
	Initial	Main components	Initial	Main components
Black soil without biochar	89,88	40,16	78,23	43,48
Black soil with biochar	76,93	41,97	62,80	39,51
Red-brown clay without biochar	78,16	42,32	55,69	42,03
Red-brown clay with biochar	60,50	44,23	53,88	44,68

Biochar indirectly affects the thermal characteristics of Miscanthus biomass. Different soils have their own distinct physical and chemical properties depending on the nature of mineral and organic components, their relative amounts and the ways in which minerals and organic matter interact. By-turn, soil characteristics affect the thermal behavior of plant biomass. Adding biochar can change these properties and, thus, have an impact upon plant growth, development and biomass quality. However, in our experiment, the biochar influence on the thermal features of Miscanthus biomass was insignificant.

#### References:

1. Klimkina I., Kharytonov M., Zhukov O. (2018). Trend Analysis of Water-Soluble Salts Leaching Along Surfaces of Reclaimed Mine Dumps in Western Donbass (Ukraine) / Environmental Research, Engineering and Management, Vol. 74, No 2:82–93, doi: 10.5755/j01.arem.74.2.19940

2. Kharytonov M.M., Kroik A.A. (2011). Environmental Security of Solid Wastes in the Western Donbas Coal Mining Region, Ukraine. *Environmental Security and Ecoterrorism*, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, H. Alpas et al. (eds.), P.129–138. doi: 10.1007/978-94-007-1235-5\_10

3. Scislowska M., Wlodarczyk R., Kobylecki R., Bis Z. (2015). Biochar to improve the quality and productivity of soils. *Journal of Ecological Engineering*, 16(3), 31–35. <https://doi.org/10.12911/22998993/2802>

4. Verheijen F.G.A., Jeffery S., Bastos A.C., van der Velde M., and Diafas, I. (2009). Biochar Application to Soils - A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg. <https://doi.org/10.2788/472>

**УДК 577.1+577.11+577.2+581.1**

**ПОШУК НОВИХ РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ РОСЛИН СПАРЖОВОЇ  
КВАСОЛІ (*PHASEOLUS VULGARIS L.*) СОРТУ БІЛОЗЕРНА  
СЕРЕД ПОХІДНИХ ПІРИМІДИНУ**

**Циганкова В.А., Андрусевич Я.В., Копіч В.М.,**

**Василенко Н.М., Пільо С.Г., Броварець В.С.**

*Відділ хімії біоактивних азотовмісних гетероциклічних основ*

*Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії імені В.П. Кухаря НАН України,*

*вул. Академіка Кухаря, 1, 02094, м. Київ*

*vtsygankova@ukr.net*

Актуальною проблемою сучасного сільського господарства є розробка нових ефективних регуляторів росту важливої зерно-бобової культури спаржової квасолі (*Phaseolus vulgaris L.*). На сьогоднішній день для покращення росту та розвитку рослин квасолі в період вегетації, підвищення їх урожайності та адаптації до абіотичних та біотичних стресових факторів широко застосовуються добрива та природні біорегулятори [1, 2]. Вельми перспективним напрямком є створення нових регуляторів росту рослин на основі синтетичних сполук, похідних піримідину, які здатні виявляти фізіологічні ефекти, подібні до рослинних гормонів ауксинів і цитокінінів, покращуючи проростання

насіння, формування та ріст пагонів рослин, коренів і квіток, посилюючи фотосинтетичні процеси в листках рослин [3, 4]. На даний час відомі синтетичні сполуки, створені на основі похідних піримідину, такі як Метіур та Каметур (натрієва та калієва солі 6-метил-2-меркапто-4-гідроксипіримідину) використовуються як нові екологічно безпечні регулятори росту рослин для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур та підвищення їх адаптації до абіотичних стресових факторів [4]. Одночасно проводиться скринінг регуляторів росту рослин серед нових синтетичних сполук – похідних піримідину.

Метою проведеної нами роботи було пошук нових регуляторів росту рослин спаржової квасолі (*Phaseolus vulgaris* L.) сорту Білозерна серед синтетичних низькомолекулярних гетероциклічних сполук, похідних піримідину, синтезованих в Інституті біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України: №1 – 2-етилсульфаніл-6-метилпіримідин-4-ол, №2 – 6-метил-2-пропіл-сульфанілпіримідин-4-ол, №3 – 2-бензилсульфаніл-6-метилпіримідин-4-ол, №4 – 2-ізопропіл-6-метил-піримідин-4-ол, №5 – 4-гідроксипіримідин-2-тіолят натрію, №6 – 2-метилсульфанілпіримідин-4-ол, №7 – 2-бензилсульфанілпіримідин-4-ол.

Вплив синтетичних сполук, похідних піримідину №1 – 7, застосованих у концентрації  $10^{-6}$  М на ріст та розвиток рослин квасолі порівнювали з впливом фітогормону ауксину ІОК (1*H*-індол-3-оцтова кислота) та синтетичних регуляторів росту рослин Метіуром та Каметуrom, створених на основі похідних натрієвої та калієвої солей 6-метил-2-меркапто-4-гідроксипіримідину, застосованих у аналогічній концентрації. Контрольні рослини квасолі оброблювали дистильованою водою. Досліджували морфометричні показники рослин квасолі (середню довжину пагонів і коренів (мм), середню кількість коренів (шт.)) відповідно керівництву [5].

Проведені дослідження показали, що дія синтетичних сполук, похідних піримідину на ріст та розвиток рослин квасолі протягом періоду вегетації була подібною до дії ауксину ІОК та регуляторів росту рослин Метіуру та Каметуру.

Морфометричні показники 2-тижневих рослин квасолі, оброблених ауксином ІОК, перевищували аналогічні показники контрольних рослин: середня довжина пагонів – на 86,79 %, середня довжина коренів – на 182,35 %, середня кількість коренів – на 161,36 %, відповідно (рис. 1).

Морфометричні показники 2-тижневих рослин квасолі, оброблених синтетичними регуляторами росту рослин Метіуром та Каметуром, перевищували аналогічні показники контрольних рослин: середня довжина пагонів – на 70,75–94,34 %, середня довжина коренів – на 229,41–235,29 %, середня кількість коренів – на 200–245,45 %, відповідно (рис. 1).

Морфометричні показники 2-тижневих рослин квасолі, оброблених найбільш активними з досліджуваних синтетичних сполук, похідних піримідину № 1, 4, 5, 6 та 7, перевищували аналогічні показники контрольних рослин: середня довжина пагонів – на 41,51–105,66 %, середня довжина коренів – на 229,41–288,24 %, середня кількість коренів – на 154,55–284,09 % відповідно (рис. 1).

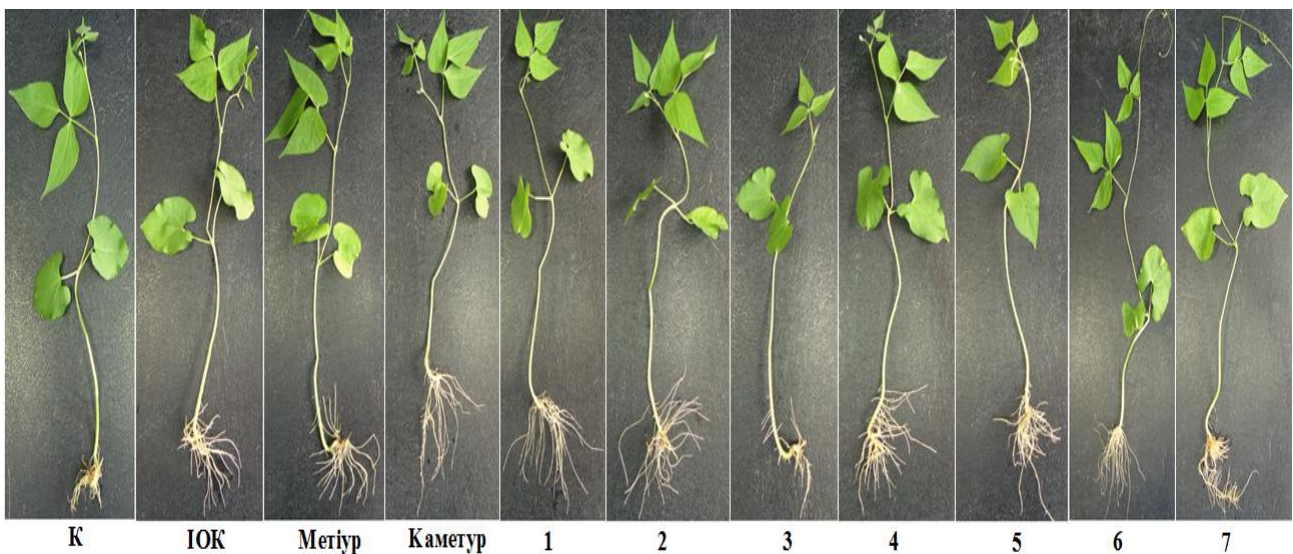


Рис. 1. Вплив ауксину ІОК, похідних 6-метил-2-меркапто-4-гідроксипіримідину натрієвої та калієвої солей (Метіур та Каметур) та синтетичних сполук, похідних піримідину (№ 1– 7), застосованих у концентрації  $10^{-6}$  М, ріст та розвиток рослин спаржової квасолі (*Phaseolus vulgaris* L.) сорту Білозерна, порівняно з контрольними рослинами (К)

Рістрегулююча дія синтетичних сполук, похідних піримідину залежала від їх хімічної будови. Найбільшу рістрегулюючу активність виявили сполуки № 1, 4, 5, 6 та 7, які містять замісники в хімічних структурах: сполука № 1 містить етилтіогрупу у положенні 2, гідроксильну групу у положенні 4 і метильну групу у положенні 6; сполука № 4 містить ізопропільний замісник у положенні 2, гідроксильну групу у положенні 4 і метильну групу у положенні 6; сполука № 5 є натрієвою сіллю 4-гідроксипіримідин-2-тіоляту; сполука № 6 містить метилтіогрупу у положенні 2 і гідроксильну групу у положенні 4; сполука № 7 містить бензилтіогрупу у положенні 2 і гідроксильну групу у положенні 4.

Зниження активності у синтетичних сполук, похідних піримідину № 2 та 3 пов'язано з наявністю замісників в їх хімічних структурах: сполука № 2 містить пропілтіогрупу у положенні 2, гідроксильну групу у положенні 4 і метильну групу у положенні 6; сполука № 3 містить бензилтіогрупу у положенні 2, гідроксильну групу у положенні 4 і метильну групу у положенні 6.

Відібрані найбільш біологічно активні синтетичні сполуки, похідні піримідину запропоновано використовувати як нові регулятори росту рослин спаржової квасолі (*Phaseolus vulgaris* L.) сорту Білозерна.

#### Література:

1. Turuko M., Mohammed A. (2014). Effect of Different Phosphorus Fertilizer Rates on Growth, Dry Matter Yield and Yield Components of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *World Journal of Agricultural Research*, 2(3), 88–92.

2. Sharma D., Rana D. K., Shah K.N., Singh V. and Tanuja. (2017). Effect of various concentrations of bio-regulators and humic acid on growth, yield and quality of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Contender under subtropical condition of Garhwal hills. *Plant Archives*, 17(1), 647–650.

3. Tsygankova V.A., Andrusevich Ya.V., Shtompel O.I., Solomyanny R. M., Hurenko A.O., Frasinuk M.S., Mrug G.P., Shablykin O.V., Pilyo S.G., Kornienko A.M. & Brovarets V. S. New Auxin and Cytokinin Related Compounds Based on Synthetic Low Molecular Weight Heterocycles, Chapter 16,

In: Aftab T. (Ed.) Auxins, Cytokinins and Gibberellins Signaling in Plants, Signaling and Communication in Plants, Springer Nature Switzerland AG, 2022, 353–377.

4. Циганкова В.А., Броварець В.С., Ємець А.І., Блюм Я.Б. Перспективи розробки в Україні регуляторів росту рослин на основі азолів, азинів та їх конденсованих похідних. Синтез і біоактивність функціоналізованих азотовмісних гетероциклів / за ред. А.І. Вовка. Київ: Інтерсервіс, 2021. С. 246–287.

5. Voytsehovska O.V., Kapustyan A.V., Kosik O.I., Musienko M.M., Olkhovich O.P., Panyuta O.O., Parshikova T.V., Glorious P.S. Plant Physiology: Praktykum. Ed. Parshikova T.V. Lutsk: Teren, 2010. 420 p.

**УДК 543.3+502**

**МОНІТОРИНГ СТАНУ ВОД р. ДНІПРО У МІСЦІ СКИДУ  
СТІЧНИХ ВОД З КОЛЕКТОРА**

**Петрушина Г.О.<sup>1</sup>, Максимова Н.М.<sup>2</sup>, Вишнікін А.Б.<sup>3</sup>, Базель Я.Р.<sup>3</sup>**

*<sup>1</sup>Дніпровський державний аграрно-економічний університет,*

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

*<sup>2</sup>Технічний університет “МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА”,*

*Південне шосе, 80, 69008, м. Запоріжжя*

*<sup>3</sup>Університет Павла Йозефа Шафаріка в Кошицях,*

*вул. Мойзесова 11, м. Кошице, Словацька Республіка*

*petrushyna.h.o@dsau.dp.ua*

Запас питної води є обмеженим і з кожним роком її якість погіршується, зокрема внаслідок антропогенного впливу [1]. Забезпечення прісною питною водою населення залишається актуальною задачею. Найбільшого впливу від діяльності людини зазнають природні водойми великих промислових міст. Неочищені або недостатньо очищені стічні води, зокрема побутові, промислові, сільськогосподарського комплексу є основними джерелами забруднення поверхневих вод. Поверхневі стоки, такі як дощові, зливові води, води, що утворюються під час танення снігів, є також джерелами забруднення поверхневих вод солями, нафтопродуктами тощо. Несанкційні скиди до зливових

колекторів стічних вод від підприємств та населення обумовлює неможливість контролю небезпечних речовин, що потрапляють у поверхневі води. Зі стічними водами та поверхневими стоками до води водойми окрім завислих речовин потрапляє також значна кількість органічних сполук, внаслідок чого підвищуються каламутність, кольоровість, концентрації нітрогеновмісних речовин та хлоридів, бактеріальне забруднення, окиснюваність і біохімічна потреба у кисні (БПК), зменшується кількість розчиненого кисню у воді [1].

Метою роботи є оцінка якості вод, відібраних з колектору та р. Дніпро. Відбір проб води проводили з колектору, який виходить у р. Дніпро в районі житлового масиву Перемога-3 м. Дніпро, та у р. Дніпро на 20 м вище виходу колектора відповідно до ГОСТ 17.1.5.05-85 «Загальні вимоги до відбору проб поверхневих і морських вод, льоду й атмосферних опадів». Дослідили вміст хлоридів, карбонатів та сухого залишку. Визначення сухого залишку проводили за МВВ 081/12-0109-03, карбонатів та хлоридів – за ДСТУ ISO 9963-2:2007 та МВВ 081/12-0004-01 відповідно.

Результати досліджень наведені у таблиці:

Вода	Сухий залишок, мг/л	Карбонати, мг/л	Хлориди, мг/л
р. Дніпро	398,7	244,0	26,8
Колектор	878,6	292,8	113,6
Допустиме значення [2]	1000 – 1500	Не нормується	350

Сухий залишок є характеристикою загальної кількості розчинених у воді органічних і неорганічних речовин. Зазвичай цей параметр використовується для визначення загальної мінералізації води, яка зумовлена в основному природними чинниками, такими як геологічні умови району походження вод та рівень розчинності мінералів порід. Основним джерелом надходження у воду карбонатів і хлоридів є розчинення мінералів. Високий вміст цих іонів у воді обумовлений антропогенним впливом.

Вміст розчинених речовин у воді стоків підземних вод є більше ніж вдвічі більшим, ніж у воді р. Дніпро. Також вміст хлоридів у воді колектора в 4 рази

більший, ніж у річкові воді. На відміну від цих двох показників, вміст карбонатів у даних зразках практично не відрізняється. Таким чином, результати аналізу відповідають вимогам, що висуваються за даним показником для вод питного призначення [2]. Достатньо великий вміст неорганічних солей є характерним для підземних вод та не вказує на відхилення від санітарних норм.

#### Література:

1. Олексієнко О. Ю., Попова В. В. Оцінка якості питних вод з різних джерел водопостачання. *Технології та інжиніринг*, № 5, 2021. С.37–47.
2. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10). 2010.

#### УДК 504.1

### **ВИКОРИСТАННЯ СИНТЕТИЧНИХ ШАРУВАТИХ ПОДВІЙНИХ ГИДРОКСИДІВ ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ НАФТОПРОДУКТІВ ЗІ СТІЧНИХ ВОД**

**Бутенко Е.О.**

*ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет”*,

*вул. Дмитра Яворницького, 19, 49600, м. Дніпро*

*butenko\_e\_o@pstu.edu*

В роботі розглянуті сорбційні методи доочищення стічних вод від нафтопродуктів. Слід відзначити, що способи очищення нафтовмісних стоків та їх ефективність багато в чому залежать від методів транспортування стоків від місця утворення до майданчика очисних споруд, тому що у воді відбуваються зміни, які істотно погіршують і ускладнюють процеси очищення.

Нафта і нафтопродукти є одними з найбільш поширених забруднювачів довкілля. Незважаючи на вдосконалення виробництв та безвідходних технологій, промислові стічні води вміщують достатньо велику кількість нафтопродуктів.

Найбільш ефективним методом доочищення стічних вод від нафтопродуктів є сорбційний метод очищення. На практиці для очищення води переважно застосовуються фільтри. В якості поглинаючих речовин для фільтрів



застосовуються різні природні та штучні сорбенти. Для очищення стічних вод, що містять нафту та нафтопродукти, в основному використовувалися різні природні матеріали чи матеріали, вироблені їх. До традиційних видів можна віднести вуглецеві сорбенти, цеоліти, глини, пісок та ін. [1–3]. Деякі сорбенти, такі як активоване вугілля, досить коштовні, хоч і ефективні в очищенні, інші не завжди спроможні впоратися із поставленими на них завданнями [4, 5].

Тому задачею досліджень було розробити ефективні та доступні сорбенти для доочищення стічних вод за нафтопродуктами до рівня ГДК. Дані сорбенти повинні відрізнятися дешевизною і не повинно існувати перешкод з процесами утилізації відпрацьованих сорбентів.

Найбільш перспективним є використання синтетичних шаруватих подвійних гідроксидів змінного складу для доочищення стічних вод від нафтопродуктів. Магній-алюмінієві шаруваті подвійні гідроксиди змінного складу як сорбенти, є перспективними сорбентами для очищення низько концентрованих нафтопродуктів. Висока питома поверхня, необхідний розмір пір, які підлаштовуються під розмір забруднювача, дозволяє поглинати розчинені у воді нафтопродукти з тією ж ефективністю, що й активоване вугілля.

Шаруваті подвійні гідроксиди поєднують у собі властивості мінеральних і синтетичних сорбентів і в цьому сенсі є унікальним продуктом, здатним стати некоштовним і високоефективним заміником активованого вугілля, а також таких сорбентів-замінників активованого вугілля як природні термовугілля, торфи, високозольні сланці, кокси та напівкокси. Крім того, не існує також проблем з безпечним похованням відпрацьованих сорбентів.

В результаті наукових досліджень наведено результати сорбційного очищення стічних вод від нафтопродуктів. Вивчено закономірності адсорбції нафтопродуктів з водних розчинів з використанням шаруватих подвійних гідроксидів різного складу, які легко синтезувати з відходів хімічного виробництва, із заданим розмір пір. Визначено кінетичні та сорбційні характеристики процесу сорбції, необхідні для виконання інженерних розрахунків. Доведено високу ефективність очищення стічних вод, забезпечено їх якість відповідно до

рівня ГДК. На підставі проведених досліджень рекомендовано технологічне рішення щодо доочищення стічних вод від нафтопродуктів із використанням синтезованих шаруватих подвійних гідроксидів різного складу і з заданим розміром пір.

#### Література:

1. Бутенко Е.О., Капустін О.Є. Технология и экономика ликвидации лигниновых отвалов (Производство лигниноугольных брикетов и углеродных сорбентов) (Обзор) // Saarbrücken :LapLambert Academic Publishing, 2020. – P. 53.
2. Бутенко Е.О., Волошин В.С., Ярошук К.П. Проблемы и перспективы дезактивации и утилизации экологически опасных объектов на примере г. Мариуполя // Екологічна безпека:проблеми та шляхи вирішення: XV Міжнар. науково-практ. конф. (Харків, 9–13 вересня 2019 р.): зб. наук. статей. – Харків, 2019. – С. 117–120.
3. Butenko E. Sorption reseaches on the removal of the bond ammonia from the wastewater // Építôanyag = Journal of Silicate Based and Composite Materials = Epitoanyag. – 2019. –Vol. 71, N 3. – P. 84–86.
4. Butenko E. The use of layered double hydroxides of variable composition forpost-treatment of industrial wastewater from metallurgical enterprises // IV Міжнародна науково-практична конференція «Авіація, промисловість, суспільство».– (Кременчук, 18 травня 2023). / Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ. – Кременчук, 2023. – С. 394–396.
5. Butenko E., Kapustin A., Kapustina O. Kinetics and products composition of catalytichydration of ethyleneoxide in the presence of layered double hydroxides // Építôanyag = Journal of Silicate Based and Composite Materials = Epitoanyag. – 2021. – Vol. 73, N 1. – P. 9–12.

**ХІМІЧНЕ КОНСЕРВУВАННЯ ТА СУШІННЯ ЗЕРНА  
ПІДВИЩЕНОЇ ВОЛОГОСТІ**

**Чурсінов Ю.О, Калина В.С, Троєкурова В.О.**

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет,*

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

*chursinov.yu.o@dsau.dp.ua; kalyna.v.s@dsau.dp.ua;*

*troieкурова.v.o@dsau.dp.ua*

Зерно і насіння – це живі організми, в яких відбуваються життєві процеси і якщо умови закладання зерна і його зберігання не відповідають умовам, наприклад, підвищена вологість, засміченість, підвищена зараженість мікроорганізмами та шкідниками – все це неминуче призводить до значних витрат у масі продукції та зниження її якості.

Способи зберігання або консервування зернопродуктів, які застосовують на практиці, ґрунтуються на частковому або повному припиненні біологічних процесів, що відбуваються у зерні.

В нашому дослідженні розглянемо два варіанти зберігання зерна: за допомогою хімічної обробки і з використанням процесів часткового зневоднення продукту, тобто сушінням.

Хімічне консервування зерна з метою його зберігання відбувається із використанням різних хімічних речовин, що впливає на перехід зернової маси до стану анабіозу чи біозу. В такому випадку, припиняються усі біологічні зміни, гальмуються дихальні функції зерна та життєдіяльності мікроорганізмів, таких як гриби, дріжджі, бактерії.

В основному у сільськогосподарському виробництві використовують для хімічного захисту продовольчого, насінневого та фуражного зерна такі методи як протруювання і консервування зернових мас підвищеної вологості. В якості консервантів переважно використовують жирні кислоти: оцтову, мурашину і пропіонову, а також і суміш цих кислот.

Встановлені норми витрат, наприклад, для пропіонової кислоти ця норма становить 0,7%–2,1% і залежить від стану вологості зернової маси. Результати важливі, тому що після обробки зерно може зберігатися в подальшому від 6 до 12 місяців і його згодують тваринам після обробки на плющильних машинах.

Але, як досягнути позитивних результатів для збереження насінневого та продовольчого зерна підвищеної вологості? Для цього розглянемо процеси сушіння різними методами. Головними умовами цих методів є те, що для зернових злакових культур гранична вологість, до якої повинно бути просушене зерно, повинна складати 14 – 14,5 %, а для насіння соняшника 7 – 8 % [1, 2].

Зерно сушать агентом сушіння, який являє собою підігріте у калориферах зовнішнє повітря або суміш атмосферного повітря з гарячими продуктами газоподібного чи рідкого палива. У прямоточних або рециркуляційних сушарках зерно проходить через шахту один раз, сушиться і після цього повністю випускається із сушарки [2].

В рециркуляційних сушарках частина підсушеного зерна багаторазово циркулює по замкнутому контуру, проходячи циклічно стадії змішування з сухим зерном, відлежування суміші та її підсушування.

Існує технологічний регламент сушіння при якому необхідно дотримуватися режимів сушіння зерна, виконувати норми продуктивності, показників економії палива та електроенергії.

При сушінні зерна у високотемпературних сушарках при температурі теплоносія 130–150 °С, верхня частина зернівки підсушується, а всередині зернівки вологи більше, вона нагрівається і швидко переміщується у вигляді пари до верхньої частини, що може призвести до розтріскування поверхневих зернових оболонок. В цьому випадку зерно як насіннєве не відповідає якості, а у випадку продовольчого – є велика імовірність набрання більшої вологості через тріщини, а також проникнення шкідників.

Інструкцією при сушінні зерна для виробництва крупи у прямоточних сушарках передбачено зниження вологості проводити не вище 3% за один пропуск; проса та гречки – 2,0 – 3,0 %; ячменю – 3,5 – 4,0 %; кукурудзи – 4,0 –

4,5 %; пшениці – не більше 6 %. Тобто, при сушінні пшениці з початковою підвищеною вологістю 22% неможливо за один прохід у сушарці довести вологість до 14,0 – 14,5 % (це 7,5 – 8,0 %), так як уся партія буде зіпсована за рахунок розтріскування зернівок [1]. У цьому випадку необхідно обов'язково робити два проходи зерна через шахту високотемпературної сушарки, що потребує збільшення теплових та енерговитрат на одиницю зернової продукції, що призводить до збільшення собівартості [2].

Дослідження показали, що можлива розробка такого способу сушіння зерна підвищеної вологості, який дійсно буде забезпечувати якісне сушіння з позитивними техніко-економічними показниками. Досягнути цього можливо за рахунок комплексного двоступеневого сушіння зерна підвищеної вологості в теплових сушарках при температурі агенту сушіння 130–150 °С в залежності від продовольчої зернової культури зі зниженням вологості не вище 6 % за один прохід з подальшим, на другому етапі, використанням активного вентилявання повітрям навколишнього середовища температурою в межах 18 – 28 °С до зниження вологості до стандартних значень 14,0 – 14,5 %.

Для проведення випробувань нами обрана високотемпературна сушарка шахтного типу, яка працює в умовах діючого підприємства та система активного вентилявання зерна.

Робота проводилася за наступною методикою. Зерно пшениці підвищеної вологості 22% пропускали безперервно через шахтну сушарку, на якій встановлювали режим сушіння з температурою теплоносія 145 °С. Регулювали продуктивність таким чином, що на виході з сушарки за один прохід отримали вологість зерна 16 %. При цьому значення зняття вологості із зерна підвищеної вологості не перевищувало величину 6 %, яка рекомендована нормами, щоб не відбувалося псування зерна за рахунок розтріскування. Далі зерно перевантажували у бункер активного вентилявання, яке проводили повітрям навколишнього середовища температурою 24 °С тривалістю 8 годин, що дало можливість отримати кінцеву вологість зерна 14 %.

В цьому випробуванні ми не використовували повторні проходи зерна через шахтну сушарку, не спалювали додатково газ на виробку теплоносія.

Аналіз отриманих даних показав, що впровадження способу комплексного сушіння зерна підвищеної вологості дозволить зберегти великі обсяги зерна від псування, значно підвищити техніко-економічні показники процесу сушіння зерна і знизити на 4 – 6 % собівартість готової продукції в агропромисловому виробництві та харчоконцентратній промисловості.

#### Література:

1. Станкевич Г.М., Шаповаленко. О.І. Інструкція по сушінню продовольчого кормового зерна, насіння олійних культур та експлуатації зерносушарок. Одеса – Київ, 1997.

2. Патент № 68192. Спосіб приготування сухого насіння соняшника для лущення «соняшне зерня». Якобчук Л.В. опубл. 15.07.2004.

**УДК 641**

## **ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АВОКАДО У ТЕХНОЛОГІЇ ВІВСЯНОГО ПЕЧИВА**

**Сема О.В., Вакар Л.І.**

*Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,*

*вул. Коцюбинського, 2, 58012, м. Чернівці*

*o.sema@chnu.edu.ua*

Здобне печиво є популярним продуктом харчування, але має підвищену калорійність за рахунок високого вмісту жиру, який виконує роль структуроутворювача тіста та кондитерських виробів. Хоча сучасні прагнення до споживання продуктів зі зменшеною калорійністю та підвищеною харчовою цінністю потребують інноваційних рішень за рахунок використання нової нетрадиційної сировини з підвищеним вмістом незамінних амінокислот, мінеральних речовин, вітамінів та інших біологічно-активних мікронутрієнтів [1].

Використання рослинного сировини в сирому вигляді або у вигляді фруктових порошоків сприяє підвищенню біологічної цінності, збільшує асортимент і

покрощує поживні властивості кондитерських виробів. Сьогодні розробники та виробники кондитерських виробів переглядають свій асортимент. До прикладу, науковцями [2] проведено удосконалення технології вівсяного печива з стевією та яблучними харчовими волокнами. Їх показники якості не поступаються традиційному вівсяному печиву за технологічними та харчовими властивостями. Додатки не тільки покращують якість готового продукту, а й мають позитивний вплив на організм людини. Печиво збагачене мікроелементами, вітаміни та іншими цінними речовинами.

Авокадо – вид високоякісної та дешевої рослинної сировини з високою біологічною цінністю, містить майже повний спектр необхідних вітамінів і мінералів, а також корисні жири та клітковину. Фрукт містить у своєму складі лецитин, хлорофіл, потужний антиоксидант глутатіон і олеїнова кислота, яка допомагає розщеплювати накопичення «поганого» холестерину в крові [3].

На смак авокадо нагадує суміш пюре із зелені і вершкового масла, часто з горіховим присмаком. Поєднуючи його з різними продуктами, можна відтворити чудові смакові властивості.

В даній роботі була розроблена нова рецептура вівсяного печива з використанням плодів авокадо з метою часткової або повної заміни вершкового масла.

При проведенні пробних лабораторних випікань використовували борошно пшеничне (ДСТУ 46.004-99), вівсяні пластівці (ДСТУ 2900:2006), цукор білий кристалічний (ДСТУ 4623:2006), яйця курячі харчові (ДСТУ 5028:2008), масло солодко вершкове (ДСТУ 4445:2005), авокадо сорту Hass.

Виготовлені три зразки вівсяного печива: перший зразок – контрольний – класичний (використання вершкового масла у повній рецептурній кількості), другий зразок – комбінований (з частковою заміною вершкового масла на плід авокадо у співвідношенні 1:1), третій зразок – новий (з повною заміною вершкового масла на авокадо).

Технологічна схема виготовлення вівсяного печива із частковою або повною заміною вершкового масла включає в себе наступні стадії: підготовка

сировини, приготування тіста, формування, випікання, охолодження, фасування та пакування.

Органолептичний аналіз вівсяного печива проводили згідно ДСТУ 3781:2014 «Печиво. Загальні технічні умови». У дослідних зразках спостерігається зміна кольору на світло-коричневий, покращується консистенція, стає більш пористою структура, з'являється хрусткість, приємний аромат та смак. Вироби були правильної форми та повністю пропеченими.

Відмінність виготовлених зразків у вираженості смаків: печиво з класичним рецептом було сухе, порівняно з печивом комбінованим або з повною заміною вершкового масла на пюре авокадо.

В табл. 1 представлені результати фізико-хімічних досліджень показників якості вівсяного печива.

Таблиця 1. Фізико-хімічні показники якості вівсяного печива

№	Показник якості	Зразки печива		
		контрольний	комбінований	новий
1	Вологість, %	13,34	17,01	20,04
2	Масова частка жиру в перерахунку на суху речовину, %	20,00	13,45	7,20

За фізико-хімічними показниками спостерігається зростання вологості майже на 30 % у порівнянні із контрольним зразком. При повній заміні масла спостерігається найвищий вміст вологи. Це можна пояснити високим вмістом вологи в пюре авокадо, що було використане.

Суттєвою перевагою авокадо який у своєму складі містить рослинні жири, на відміну від жирів тваринного походження, є легке засвоєння і відсутність холестерину. Ліпіди авокадо представлені переважно тригліцеридами (85 %); решта 15 % припадають на моно- і дигліцериди, фосфоліпіди та гліколіпіди. Введення пюре авокадо замість вершкового масла у рецептурі вівсяного печива призводить до зниження вмісту жиру у готових виробах в 2–2,5 рази.



У зв'язку з тим, калорійність вівсяного печива виготовленого на основі пюре авокадо зменшується більше ніж на 20 %, то такий виріб можна називати “виробом пониженої калорійності”.

Література:

1. Оболкіна В. І., Ємельянова Н. О., Своєволіна Г. В., Бондарчук О. В. Нові технології борошняних виробів з використанням солодових продуктів злакових культур. *Продукти та інгредієнти*. 2009. № 11. С. 16–18.

2. Сюткіна О. В., Бондар Н. П., Корецька І. Л. Нові види вівсяного печива підвищеної харчової та біологічної цінності. *Хлібопекарська і кондитерська промисловість України*. 2013. С. 9–12.

3. Codex Alimentarius. Standard for avocado CXS 197-1995.  
<https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/>.

**УДК 637**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ  
НА ВЛАСТИВОСТІ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ**

**Ковальчук В.М.<sup>1</sup>, Земелько М.Л.<sup>1</sup>, Бухкало С.І.<sup>2</sup>**

*ННІ “Український державний хіміко-технологічний університет”*

*Українського державного університету науки і технологій*

*пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро*

<sup>2</sup>*Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”,*

*вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків*

*kovalchukvika15@gmail.com*

В сучасній технології виробництва м'ясних продуктів передбачено використання різних добавок, які поліпшують структурно-механічні властивості. Це важливо, оскільки правильно підібрана текстура робить продукт більш привабливим з естетичної точки зору, що сприяє привертанню уваги споживача. Крім того, текстура впливає на загальне сприйняття смаку продукту та допомагає сформуванню перше враження про його якість.

Зростаюча свідомість споживачів щодо здорового способу життя та харчування ставить перед виробниками м'ясних виробів завдання створення

продуктів, які б не лише задовольняли смакові побажання, але й підвищували харчову цінність та були б корисними для здоров'я.

Додавання функціональних компонентів сприятиме поліпшенню консистенції продуктів та зменшенню собівартості готового продукту.

Відомо, що введення харчових волокон у рецептуру реструктурованих м'ясопродуктів, напівфабрикатів та емульгованих ковбасних виробів відбувається завдяки їх здатності підвищувати вологозв'язувальну, вологоутримувальну та жирутримувальну здатність фаршів, без негативного впливу на органолептичні показники [1].

Якщо волокна містяться в готовому продукті у значній кількості то вони нормалізують ліпідно-вуглеводний обмін, збільшують час виведення зі шлунку як рідкої, так і твердої їжі, таким чином наповнюючи шлунок та підтримуючи відчуття ситості [2].

В роботі досліджено вплив функціональних компонентів на структурно-механічні властивості м'ясних виробів.

За класичну рецептуру обрано варену ковбасу I сорту «Любительську» згідно з ДСТУ 4436:2005 Ковбаси варені, сосиски, сардельки, хліби м'ясні.

Зміна Результат текстури м'ясного виробу в залежності від кількості функціональної добавки наведено на рис. 1.

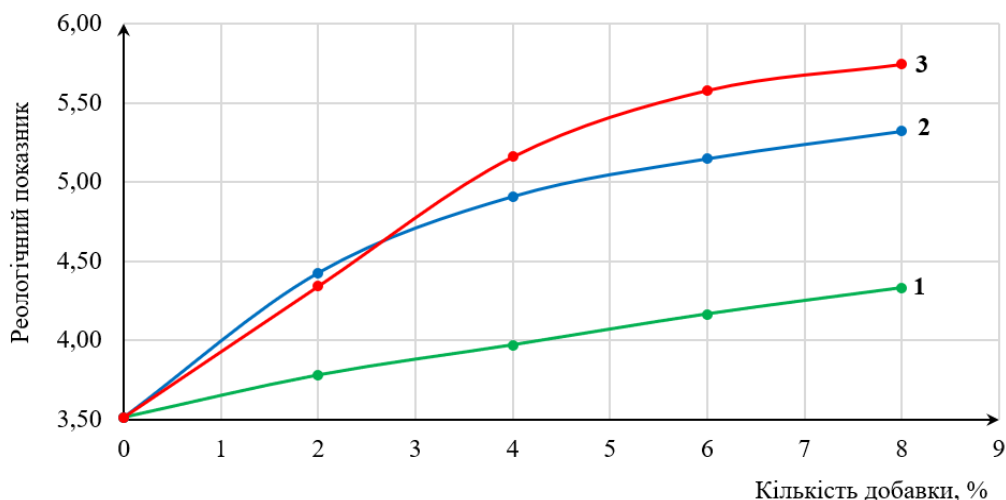


Рис. 1. Зміна текстури м'ясного виробу в залежності від кількості функціональної добавки: 1 – м'ясний виріб з додаванням картопляного крохмалю; 2 – м'ясний виріб з додаванням яблучної клітковини; 3 – м'ясний виріб з додаванням псиліуму

За реологічними показниками було виявлено, що найбільша м'якість твердість та міцність спостерігається у зразку з додаванням псиліуму в порівнянні з контрольним зразком та іншими функціональними добавками.

Варто зазначити що застосування клітковини дає позитивний ефект, при збільшенні виходу продукту та зменшення виділення води при вакуумуванні. Також така функціональна добавка сприяє рівномірному розподілу жиру в продукті, що дає отримати стійку емульсію [3].

Під час дослідження було помічено, що додавання клітковини потенційно зменшує кількість нітриту у м'ясних виробках. Це може бути обумовлене її впливом на окиснення або поглинання нітриту, а також на швидкість його перетворення в нітрозаміщені сполуки. Однак, для точного розуміння цього процесу потрібні додаткові наукові дослідження.

#### Література:

1. Ivanov, S., Pasichniy, V., Strashinskiy, I., Marinin, A., Fursik, O., & Krepak, V. (2014). Polufabrikaty iz myasa indeyki s ispolzovaniem teksturoformiruyuschih napolniteley. *Himiya i tehnologiya pischi*, 2(48), 25–33.
2. J.H. Choe, H.Y. Kim Effects of swelled pig skin with various natural vinegars on quality characteristics of traditional Korean blood sausages (Sundae) *Food Sci. Biotechnol*, 25 (2016), pp. 1605–1611.
3. Куш Р., Топчій О., Гончаренко Т. Використання харчових волокон у виробництві посічених напівфабрикатів. Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді - вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті», м. Київ, 2 берез. 2020 р. К. – 2020. С. 254.

## МЕТОДИ ЗБИРАННЯ ТА СОРТУВАННЯ РОСЛИННИХ ЗАЛИШКІВ

**Науменко О.П., Кулініч М.А.**

*ННІ “Український державний хіміко-технологічний університет”*

*Українського державного університету науки і технологій*

*пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро*

*kulinichma1803@gmail.com*

Збір рослинних залишків відіграє важливу роль у діяльності сільсько-господарських підприємств та інших галузей, де рослинні матеріали є основним ресурсом. Цей процес дозволяє зберегти поживні речовини, покращити якість ґрунту, запобігти поширенню шкідників та хвороб, а також зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Дослідження процесу та обладнання для збору рослинних залишків допоможе вдосконалити цей процес, забезпечити оптимальні умови для збору та використання рослинних залишків.

Процес збору рослинних залишків визначається типом культур, їхньою структурою, фізичними властивостями, а також цілями та завданнями збору. Збір рослинних залишків може проводитися ручним способом, за допомогою механічних пристроїв або спеціалізованих машин. Ручний збір відбувається за допомогою працівників, які збирають рослинні залишки вручну та складають їх у відповідні контейнери або пакети. Цей метод має свої переваги, такі як гнучкість та можливість точного вибору рослинних залишків, але водночас є праце затратним та неефективним з точки зору масштабу та швидкості збору [2–3].

Для автоматизації процесу збору рослинних залишків використовуються різні типи обладнання. Один з найпоширеніших типів – це механічні пристрої, що працюють на основі рухомих частин, таких як лапи, валки або косарки, які розрізають рослинні залишки та збирають їх у спеціальні візки або контейнери. Цей тип обладнання має переваги у великих площах збору та швидкості роботи, але може бути обмежений у використанні на нерівних або мінливих поверхнях.

Кожен метод збору рослинних залишків та тип обладнання має свої переваги та недоліки. Наприклад, ручний збір дозволяє точно вибирати рослинні залишки, але може бути обмежений у швидкості та масштабу збору. Механічні пристрої забезпечують автоматизацію процесу та велику швидкість збору, але можуть бути неефективними на нерівних або мінливих поверхнях. Важливо ретельно оцінити переваги та недоліки кожного методу та обладнання, а також врахувати специфіку конкретного проекту збору рослинних залишків.

В умовах невеликої площі садових чи присадибних ділянок функціональна та маркетингова привабливість збирачу опалого листя з електричним живлення очевидна – надлегка вага, простота конструкції та доступність у експлуатації. Така схема найбільш ефективно функціонує в процесі нагнітання повітря, тобто працюючи як мітла чи граблі. Але при перемиканні на процес всмоктування, який супроводжують процеси відсорткування важких предметів та подрібнювання опалого листя, ефективність знижує у рази, залежно від типу й вологості листя.

На садових чи присадибних ділянках опале листя переважно знаходиться між кущами та деревами, а не на спеціально підготовлених газонах чи доріжках. Ефективність реалізації процесу всмоктування, незалежно від наявності процесів відсорткування та подрібнювання, окрім фізико-технічних параметрів опалого листя значно залежить від рельєфу поверхні обробки.

Щодо недоліків, які властиві електричним агрегатам, то вони всім відомі. Область дії пирососа дуже обмежена довжиною електричного кабелю. Крім того, потужність і рівень продуктивності таких пристроїв незначні. Тим не менш, їх працездатності цілком вистачає на те, щоб обробити типову присадибну ділянку, площа якої не більше п'ятнадцяти соток. [1–3]

Застосування опалого листя в якості сировини дозволить усунути існуючий в даний час конфлікт інтересів. Істотними позитивними факторами виробництва і застосування біопалива є поліпшення екологічної обстановки, зниження шкідливого впливу на організм людини, зниження забрудненості навколишнього середовища і, як наслідок, зниження захворюваності та супутніх витрат на медичне обслуговування. [4]

## Література:

1. Bainbridge, D. A. Use of acorns for food in California: past, present and future, San Luis Obispo, CA.: Symposium on Multiple-use Management of California's Hardwoods, archived from the original on, retrieved 11 July 2015.
2. Исследование влияния на городскую среду опавших листьев / А. Д. Безруких, А. С. Веденский. // Юный ученый. 2017. № 4 (13). - С. 84–85.
3. Marketing component of resource-saving environmental technologies of fallen leaves utilization / О.Р. Naumenko, М.А. Kulinich, К.О. Plakhotin, О.О. Naumenko// Економічний вісник. Дніпро: ДНВЗ УДХТУ, 2022. №16(2). – С.137-143.DOI: 10.32434/2415-3974-2022-16-2-137-143.
4. Удосконалення технології отримання технічного етанолу з альтернативної сировини. Режим Доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/udoskonalennya-tehnologiyi-otrimannya-tehnichnogo-etanolu-z-alternativnoyi-sirovini>

## УДК 631.1

### АНАЛІЗ СПОЖИВЧОЇ ЦІННОСТІ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ ОЗДОРОВЧОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Городянюк В.С., Лакіза О.В.

*ННІ “Український державний хіміко-технологічний університет”*

*Українського державного університету науки і технологій*

*пр. Науки, 8, 49000, м. Дніпро*

*gvladislav1509@gmail.com, 0665278949ol@gmail.com*

Концепція оздоровчого харчування вже не нова, однак лише зараз вона набуває популярності. Харчові продукти оздоровчого призначення компенсують дефіцит біологічно активних компонентів в організмі, а також підтримують нормальну функціональну активність органів і систем, знижують ризик різноманітних захворювань і можуть споживатися регулярно у складі звичайного раціону харчування. Важливий показник таких продуктів – їх склад. Саме наявність функціональних інгредієнтів надає можливість нормалізувати й регулювати конкретні функції та біохімічні реакції організму.

Відомо, що в насінні льону містяться 3 групи сполук, що характеризуються специфічною біологічною дією і функціональними властивостями: полінена-

сичені жирні кислоти родини  $\omega$ -3, розчинні харчові волокна у вигляді слизей і лігнани, що справляють фітоестрогенну дію [1].

Хімічний склад насіння льону відрізняється тим, що в насінні льону міститься білок в межах 20...30 %, а самі білки є лімітованими за лізином. Вони характеризуються високим коефіцієнтом перетравлюваності (89,6 %) і біологічною цінністю (77,4 %). Вміст харчових волокон досягає 28 % від маси насіння зі співвідношенням розчинних і нерозчинних фракцій від 20:80 % до 40:60 %. Головними фракціями серед харчових волокон насіння льону є целюлоза, слизи і лігнін. Харчові волокна допомагають контролювати апетит і рівень глюкози у крові та зменшують кількість ліпідів крові. Таким чином, харчові волокна знижують ризик серцевих хвороб, діабету, ожиріння і запальних процесів [2].

Представлено результати оптимізації складу і властивостей булочок оздоровчого призначення з додаванням льняного шроту. Проведено лабораторну випічку булочок з заміною пшеничного борошна на льняний шрот в кількостях 0; 3; 5; 7 та 10 %. Рецепт зразків булочок «Домашня» включала борошно, шрот, дріжджі, яйця курячі, молоко, цукор, сіль та ванілін. В контрольні зразки льняний шрот не додавався. Випікання виконували з електрообігрівом при температурі 180–190 °С протягом 14–16 хв.

Бальна оцінка органолептичних показників булочок з різним вмістом льняного шроту наведена у таблиці 1.

Таблиця 1. Бальна оцінка булочок з різним вмістом льняного шроту

Показник	Контроль	Вміст льняного шроту, %			
		3	5	7	10
Стан поверхні	4	5	5	4	4
Забарвлення скоринки	5	5	5	5	4
Колір м'якушки	4	4	5	4	3
Структура пористості	4	4	4	4	3
Аромат	4	4	5	5	5
Смак	5	5	5	5	4
Розжовуваність м'якушки	5	5	5	4	3

Результати дослідження, які відображені в таблиці 1, свідчать про те, що в порівнянні з контрольним зразком застосування льняного шроту у кількості 3–5 % дозволяє покращити органолептичні показники готових виробів.

Основні фізико-хімічні показники якості булочок з лляним шротом оздоровчого призначення представлені в таблиці 2.

Таблиця 2. Фізико-хімічні показники якості булочок з додаванням льняного шроту

Показник	Контроль	Вміст льняного шроту, %			
		3	5	7	10
Вологість, %	31,76	32,65	32,86	34,56	36,03
Кислотність, град	2,15	2,15	2,20	2,20	2,25
Пористість, %	78,4	81,3	78,2	74,8	71,6

Як свідчать дані таблиці 2, збільшення концентрації льняного шроту до 5 % забезпечує значення вологості м'якушки не вище 34 %, суттєво не змінює кислотність готових виробів, а також збільшення льняного шроту в межах 3–5 % дозволяє забезпечити необхідний рівень пористості м'якушки – не менше 68 % згідно вимог НТД [3].

У таблиці 3 наведено результати розрахунку харчової цінності зразків булочок з додаванням льняного шроту.

Таблиця 3. Харчова цінність зразків булочок

Зразок, г	Контроль	3%	5%	7%	10%
Білки	10,02	10,50	10,04	11,02	11,68
Жири	1,90	2,10	2,08	2,37	2,63
Вуглеводи	73,90	72,19	65,97	67,71	66,71
Калорійність, ккал/100 г	352,78	349,66	322,76	336,25	337,23

Як свідчать результати досліджень, збільшення концентрації льняного шроту дозволяє значно підвищити вміст білків, жирів та одночасно зменшити вміст вуглеводів і знизити калорійність булочок.



## Література:

1. Лабораторний практикум з технології хлібопекарного та макаронного виробництв / за редакцією Дробот В.І. // Навчальний посібник. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 341с.
2. Лакіза О.В. Ефективність застосування високобілкових функціональних продуктів у виробництві булочок / О.В. Лакіза, К.П. Маслікова, М.В. Іщенко // Зернові продукти і комбікорми. – 2018. - №70. – С. 25–29.
3. ДСТУ 4585:2021 Вироби хлібобулочні здобні. Загальні технічні умови. – Чинний від 2021-12-01. Київ: Держстандарт України, 2021.

**UDC 543.42:628.1.032**

**DETECTION OF LITHIUM IN AQUEOUS SOLUTIONS AND NATURAL WATERS USING LASER-INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY  
Goncharova I.<sup>1,2</sup>, Rouquier Ph.<sup>1</sup>, Guichaoua D.<sup>1</sup>, Sahraoui B.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *University of Angers, UMR CNRS, Photonics Laboratory, LPHIA, SFR Matrix,  
2 Bd. Lavoisier, F-49000, Angers, France*

<sup>2</sup> *State University of Trade and Economics, Department of Commodity Science  
and Pharmacy, 19 Kyoto Str., 02156, Kyiv, Ukraine  
iryna.goncharova@univ-angers.fr*

Natural water is a complex dispersed system containing many various elements, organic and inorganic compounds, the composition and ratio of which are determined by the conditions of its formation [1].

Providing clean drinking water to the population has become a priority task around the world. However, this issue is complicated by the growing population, higher water quality standards and increasing of water contaminants, which poses a serious threat to human health and environment according to the WHO [2].

This problem is most acute today during the hostilities in Ukraine. Missile strikes not only affect people, animals, and infrastructure but also the environment. First, the level of metallic ions, various organic and inorganic contaminants in natural resources increases significantly. Unfortunately, the ecology of Ukraine will continue to feel these serious consequences of enemy shelling and fighting for several more

decades. Therefore, during the martial law and post-war recovery in Ukraine, the systematic and comprehensive monitoring of natural waters quality is a critical part of environmental management and protection.

For water quality evaluation, the general focus is on the detection of the levels of metallic ions, total phosphorus, total nitrogen, chemical oxygen demand, total organic carbon, and permanganate salt presented in water samples.

The predominant source of lithium in drinking water is groundwater that resides in rocks and soil, and which serves as the source for a drinking water supply.

Lithium is not harmful to a human being if it does not exceed the normal levels, which is sourced from drinking water and foods. But symptoms of too much lithium include nausea, dizziness, muscle weakness, fatigue, and neurological effects. Over longer time periods it can cause thyroid or kidney problems.

Military operations, rocket attacks, and explosions affect the state of natural waters in Ukraine. Due to the high temperatures, the water level decreases and the concentration of lithium and other metals in water from natural sources increases.

The most of the current detection techniques for water analysis are based on the traditional optical and mass spectroscopy measurements, require a long detection cycle, and need to use of specific chemicals which may cause secondary pollutions.

Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) is an innovative atomic emission spectroscopic technique used to determine the elemental composition of a sample by analysing the spectrum of light emitted by a laser-induced plasma. LIBS can be applied in medicine, pharmacology, agriculture, food chemistry etc. This method has several advantages, including a little sample pre-treatment, fast and easy operation, chemicals free during the process, portability, and can identify multi-state and multi-element substances simultaneously, rapidly, and remotely [3].

Experimental LIBS system includes five main components. These are a sample holder, a laser source, an optical fibre, a spectrometer, and a data analysis unit. Our research team built setup for the single-pulse LIBS consists of Nd:YAG high-power laser Continuum Minilite with a pulse duration of 10-15 ns, a repetition rate of 10 Hz,

a maximum pulse energy of 850 mJ, and output at the wavelength of 1064 nm with the USB 4000 Ocean Optics Spectrometer.

In this work we focused on the application of LIBS for the detection of lithium in natural water samples. Direct LIBS analysis in water faces the problems of droplet splashing and laser energy decay. Therefore, we used the application of chemical replacement combined with surface-enhanced LIBS (CR-SENLIBS) [4].

The experiments were conducted using LIBS for the detection of Li<sup>+</sup> ions in model solutions. The main aqueous solution of 500 µg/mL LiCl was dropped into Al alloy plate and dried on aluminium foil. LIBS spectra containing information about lithium ions were collected immediately after micro-plasma generation in visible optical spectrum region. Then, LIBS experiment for the Al plate also was conducted.

LIBS spectra were compared with theoretical LIBS database NIST of American National Institute of Standard and Technology. From the main solution of 500 µg/mL LiCl, seven working solutions with concentrations of 30–210 µg/mL LiCl were prepared by dilution with distilled water. After micro-plasma generation, we found seven LIBS spectra and built the calibration curves for the biggest wavelength of Li<sup>+</sup> ions  $\lambda_1=670.77$  nm. The limit of detection for lithium was found.

After carrying out LIBS experiments with natural waters of France and based on the calibration curves, lithium content was calculated in the Seine, Loire, and Maine rivers, as well as in the Maine, Jardin des Plants, and Saint-Nicolas lakes.

Therefore, by investing in water quality monitoring and using advanced technologies, such as laser-induced breakdown spectroscopy, it is possible better manage and protect the water resources, which are essential for public health, agriculture, and economic development. Our main goal is to help in creation of environmental sensors to assess and improve the availability and quality of water, which are essential and crucial for health and wellbeing in general around the world and especially for Ukraine in this difficult period of war.

#### References:

1. Westall F., Brack A. (2018). The importance of water for life. *Space Science Reviews*. 214(50) 23 pages. <https://doi.org/10.1007/s11214-018-0476-7>.
2. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition. Geneva: World Health Organization; 2022. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO, 584 p.

3. Khan Z. H., Ullah M. H., Rahman B., Talukder A. I. et al. (2022) Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) for trace element detection: a review. *Journal of Spectroscopy*. 2022 ID 3887038. 25 pages. <https://doi.org/10.1155/2022/3887038>.

4. Yang X. Y., Hao Z. Q., Li C. M., Li J. M., Yi R. X. et al. (2016) Sensitive determinations of Cu, Pb, Cd, and Cr elements in aqueous solutions using chemical replacement combined with surface-enhanced laser-induced breakdown spectroscopy. *Optics Express*. 24(12) 8 pages. doi:10.1364/OE.24.013410.

**УДК 631.893.543**

**ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОРТО- ТА  
ПРОФОСФАТІВ АМОНІЮ ЗА РЯДКОВОГО ЇХ ВНЕСЕННЯ В  
ПОСІВАХ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ ТА СОНЯШНИКУ**

**Крамарьов С.М., Фролов С.В., Бобошко Р.В.**

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет,*

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

*kramarov.s.m@dsau.dp.ua*

За рядкового удобрення внесені добрива завжди розміщують відносно близько від висіяного насіння, тому поживні речовини з них відразу починають поглинатись первинними корінцями молодих рослин після витрачання усіх запасів з ендосперму. В зв'язку з позиційним розташуванням в орному шарі ґрунту гранул добрив, внесених іншими способами на більшій відстані від насіння, вони будуть використовуватись для живлення рослин значно пізніше. У зв'язку з високою вартістю мінеральних добрив, основне удобрення в господарствах проводять не завжди. Підживлення виконують у міру необхідності, яка виникає за результатами ґрунтової та рослинної діагностики, а от рядкове удобрення застосовують завжди практично в усіх без винятку господарствах, причому з різним фінансовим становищем. Це пов'язано з тим, що такий агротехнічний захід забезпечує стабільний приріст врожаю в роки з різним рівнем зволоження, він є високорентабельним і не потребує великої кількості добрив. Припосівне добриво забезпечує оптимальним мінеральним живленням молоді рослини в період, коли вони ще не мають потужної кореневої системи й погано використовують поживні речовини з ґрунту. В цей період вегетації їм дуже

потрібний фосфор, оскільки серед інших елементів живлення він надзвичайно інтенсивно поглинається в період проростання зерна (рис. 1).



Рис. 1. Період онтогенезу з інтенсивним поглинанням рослинами фосфору

Період інтенсивного поглинання фосфору рослинами у початкову фазу розвитку відносно короткий і триває приблизно двадцять днів (рис. 2).



Рис. 2. Період найбільш інтенсивного поглинання рослинами із ґрунтового розчину фосфору

При сівбі зазвичай вносять мінімальну дозу. Це робиться для того, щоб уникнути у ґрунті (біля молодих коренів) високої концентрації поживних речовин. Також потрібно враховувати й ту обставину, що засвоєння фосфору з ґрунтового розчину кореневим волоском відбувається з дуже малої відстані, яка становить всього лише 1 мм.

Зважаючи на те, що фосфор найбільш ефективний в ранні фази розвитку озимих зернових культур, недостатнє фосфорне живлення можна поліпшити внесенням складних фосфоровмісних добрив. Слід зазначити, що усі рослини на початку їх онтогенезу, як правило, дуже чутливі до високих концентрацій солей, а в наступні фази розвитку ця чутливість поступово знижується. З метою підвищення доступності фосфору із гранульованих фосфоровмісних добрив

зарубіжні компанії-виробники практикують введення до складу гранул слабких органічних кислот, наприклад, лимонної кислоти. Лимонна кислота буде протидіяти хімічній взаємодії аніону  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  з катіонами дво- та тривалентних металів у ґрунтовому розчині і сприяє більш тривалій доступності фосфору для первинних корінців. Таким чином, завдяки невеликій кількості лимонної кислоти (всього лише 2–3 % від маси добрива) зростає коефіцієнт використання фосфору із фосфоровмісних добрив. Поряд із лимонною кислотою до комплексних добрив з цією метою вводять цитратні форми фосфору. З метою підвищення рівня доступності фосфору було розроблено і широко використовується у виробничих умовах для рядкового внесення вітчизняне комплексне добриво сульфоамофос. В цьому добриві в одній гранулі містяться дві солі:  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  і  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Поєднання двох солей в одній гранулі забезпечує зростання ефективності цього добрива за припосівного його внесення. Це пояснюється тим, що сульфат амонію є фізіологічно кислим добривом і зменшує ймовірність хімічної взаємодії у ґрунтовому розчині аніону  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  з дво- і тривалентними катіонами. Завдяки цьому зростає рівень доступності фосфору для молодих рослин на початку їх онтогенезу. Тому це добриво має суттєві переваги порівняно з амофосом та нітроамофоскою за рядкового їх внесення в еквівалентних дозах. За рядкового внесення гранульованих добрив первинні корінці дуже часто проникають у нижні шари ґрунту, проходячи на відстані, більшій за 1 мм, від гранул добрив, внесених при сівбі, не використовуючи при цьому рухомі форми фосфору. В результаті у ризосферній зоні навколо корневих волосків часто виникає дефіцит рухомих форм фосфору (рис. 3). Серед



Рис. 3. Формування на відстані 1 мм навколо кореневого волоска зони фосфорного виснаження

існуючого асортименту фосфорних добрив незаперечні переваги мають рідкі комплексні добрива РКД у складі яких фосфор знаходиться у вигляді поліфосфату амонію. На сьогодні фермери починають дедалі більше уваги звертати на внесення РКД для рядкового удобрення. Це, насамперед, пов'язано з тим, що у складі РКД фосфор присутній у вигляді орто- і поліфосфатів у повністю засвоюваній формі. Відомо, що традиційно внесені у вигляді гранул мінеральні добрива мають спочатку розчинитись у воді, і тільки потім вони будуть поглинуті кореневою системою рослин. Рідким добривам розчиняється у воді не потрібно, тому вони відразу дисоціюють на іони та поглинаються кореневою системою рослин. Тобто вони краще і швидше починають «працювати» на полі. Сьогодні РКД вже стали прямим заміником амофосу та інших комплексних добрив, оскільки перехід на РКД дає змогу аграрію економити до 30 % витрат на внесення добрив. Сама операція із внесення РКД відбувається набагато швидше, ніж при роботі з гранульованими добривами. Легшою є й логістика рідких добрив. Аграрії вже на власному досвіді відмітили позитивний ефект від внесення РКД і стверджують, що це найкращий варіант внесення добрив в умовах посухи і нестабільної погоди. Завдяки РКД можна при мінімальних витратах отримати максимум приросту врожаю. Для цього потрібно докорінно змінити підходи і філософію системи удобрення. Слід більше уваги приділяти не кількості внесених добрив, а збільшенню рівня засвоєння рослиною рухомих поживних речовин із ґрунту і внесених добрив. В цьому відношенні значну роль відіграє рядкове удобрення. Воно отримало значне поширення з використанням РКД в господарствах, які впроваджують у виробництво ресурсозберігаючі технології посіву: без обробітку ґрунту або з мінімальним обробітком – *No-till* і *Mini-till*.

**Висновок.** Забезпечення оптимальних умов живлення рослин на початковому етапі вегетації сприяє:

- формуванню потужнішої кореневої системи, що забезпечує надалі краще використання елементів живлення із ґрунту й основного удобрення;
- швидшому росту і розвитку рослин;
- кращому перенесенню тимчасової посухи;

Науково-обґрунтована доза внесення РКД марки 10-34-0 для рядкового удобрення в посівне ложе становить від 20 до 50 кг/га у фізичній масі.

## *Секція 3*

---

*Актуальні проблеми синтезу,  
структури та реакційної  
здатності органічних  
та елементоорганічних сполук*

---



## SYNTHESIS AND REACTIONS OF $sp^3$ -ENRICHED SULFAMOYL FLUORIDES

Aleksandrenko S.H., Dobrydnev O.V., Grygorenko O. O.

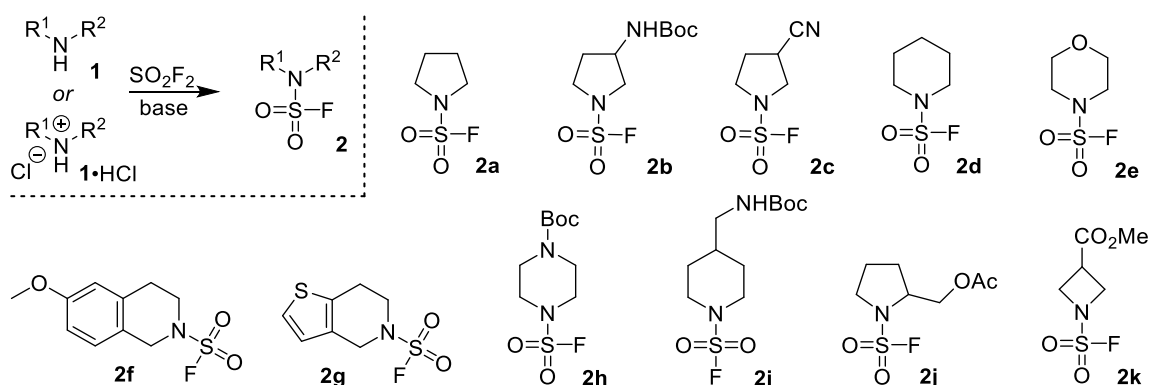
Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
Volodymyrska Str., 60, 01033, Kyiv, Ukraine

Enamine Ltd., Ukraine

phofl@ukr.net, alexey.pierrot@gmail.com, gregor@univ.kiev.ua

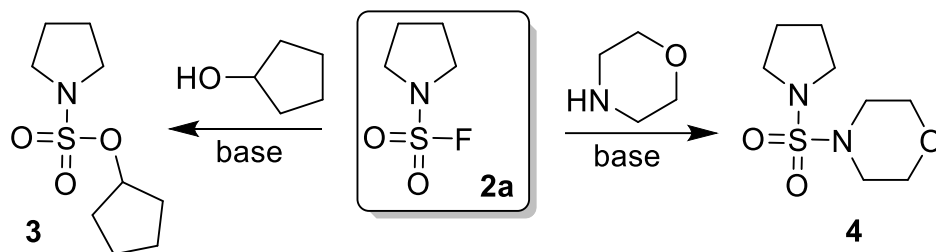
Sulfonyl fluoride fragment is a recognized synthetically useful functionality that has triggered considerable attention over the past decade and caused the exponential growth of publications on the topic. In particular, the application of sulfonyl fluorides in the reactions for Click Chemistry [1] earned their creator, Prof. K. Barry Sharpless, a Nobel Prize in 2022. On the other hand, the sulfonyl fluoride group opens an avenue for the synthesis of sulfonamides that have gained significant attention in medicinal chemistry due to their diverse biological activities and therapeutic potential. Moreover, the  $SO_2F$  group tolerates many common reactions and allows late-stage functionalization of the molecule prior to final step. Following the “*escape from flatland*” concept [2, 3], medicinal chemists have tended to use  $sp^3$ -enriched templates in drug-discovery projects. These prompted our investigation on the design and synthesis of the second generation of the sulfonyl fluoride building blocks – the corresponding  $sp^3$ -enriched sulfamoyl fluorides.

The synthesis of the target sulfamoyl fluorides was performed by reaction of the appropriate amines **1** with gaseous  $SO_2F_2$  in the presence of the base. The general procedure featured broad functional group compatibility, high product diversity, and easy accessibility of feedstocks (Scheme 1).

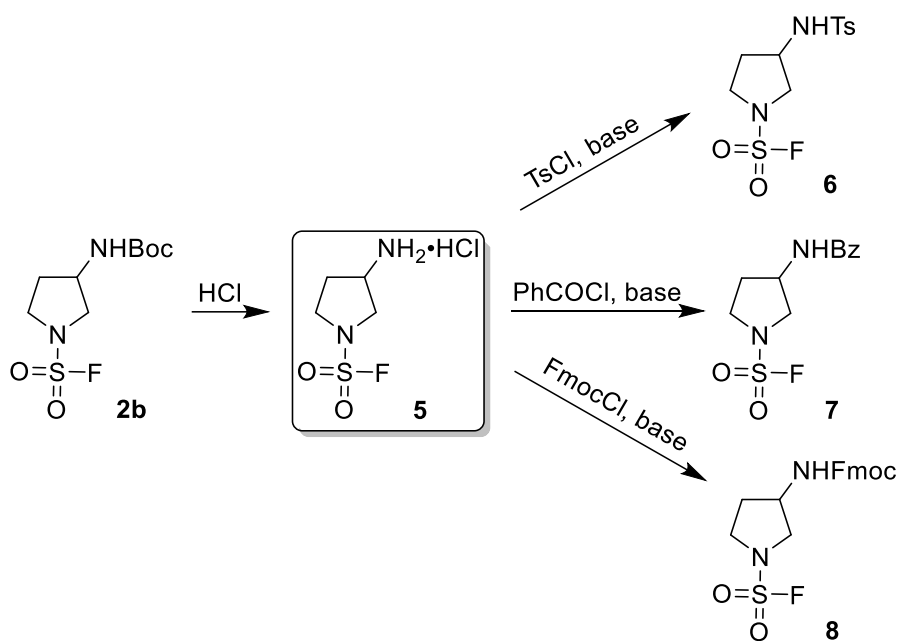


Scheme 1

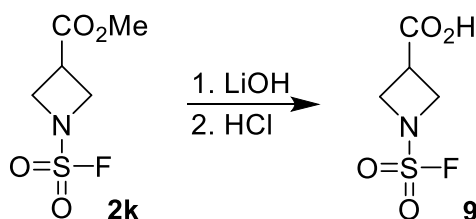
Next, we selected sulfamoyl fluorides **2a**, **2b**, **2k** to demonstrate their synthetic utility and selectivity as polyfunctional building blocks. Toward this end the reactions involving SO<sub>2</sub>F fragment and side chain functional group were performed so that the corresponding derivatives **3–9** were isolated in good to excellent yield (Schemes 2–4).



Scheme 2



Scheme 3



Scheme 4

In conclusion, we synthesized a series of *sp*<sup>3</sup>-enriched sulfamoyl fluoride-derived building blocks including those decorated with synthetically useful functional groups and demonstrated their utility as polyfunctional compounds. The practicality

and generality of the method were demonstrated by the hundred-gram-scale syntheses.

#### References:

1. Dong, J., Krasnova, L., Finn, M. G., Sharpless, K. B. Sulfur(VI) Fluoride Exchange (SuFEx): Another Good Reaction for Click Chemistry. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, 53 (36), 9430–9448.
2. Lovering, F., Bikker, J., Humblet, C. Escape from Flatland: Increasing Saturation as an Approach to Improving Clinical Success. *J. Med. Chem.* **2009**, 52 (21), 6752–6756.
3. Lovering, F. Escape from Flatland 2: Complexity and Promiscuity. *MedChemComm* **2013**, 4 (3), 515–519.

УДК 541.122:541.132:547.288.4

### ФУНКЦІОНАЛІЗАЦІЯ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ ТА БІОСУМІСНИХ ІОННИХ РІДИН

Шумейко О.Є.<sup>1,2</sup>, Карпичев Є.А.<sup>1</sup>, Бураков М.І.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії

ім. Л.М. Литвиненка НАН України,

вул. Харківське шосе, 50, 02160, м. Київ

<sup>2</sup> Інститут органічної хімії НАН України,

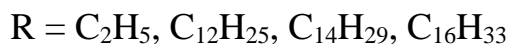
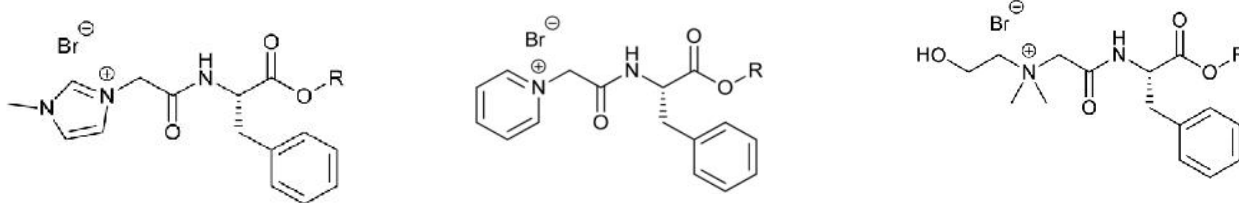
вул. Мурманська, 5, 02660, м. Київ

*ashumeiko@ukr.net*

Іонні рідини все частіше розглядаються як важлива складова “зеленої хімії” через їх специфічні властивості в якості розчинників з низькою токсичністю, а також можливості їх синтезу з поновлюваних ресурсів. Унікальні властивості поверхнево-активних іонних рідин, зокрема, аномально низька температура плавлення і/або низька температура Крафта, забезпечують очевидну перевагу таких поверхнево-активних речовин і сприяють зростанню інтересу до їх синтезу і вивченню [1].

Різні катіонні групи включали ядра піридинію, імідазолію і холінію, що дозволило провести всебічний аналіз впливу ланцюжка алкілових естерів (від C<sub>2</sub> до C<sub>16</sub>) на синтез, токсичність, здатність до біологічного розкладання та інші властивості нових поверхнево-активних іонних рідин.

Проведена робота по синтезу нових поверхнево-активних іонних рідин на основі L-фенілаланіну з використанням піридину, диметилетаноламіну і 1-метилімідазолу.



Перший етап включав в себе естерифікацію L-фенілаланіну аліфатичними спиртами з використанням *p*-толуолсульфонової кислоти, як каталізатора. Наступною стадією було алкілювання складних естерів бромацетилбромідом з утворенням відповідних алкілюючих реагентів. Останній етап включав алкілювання піридину, диметилетаноламіну і 1-метилімідазолу для отримання відповідних поверхнево-активних іонних рідин. Молекулярні структури отриманих продуктів і їх високий ступінь чистоти були підтверджені даними <sup>1</sup>H ЯМР-спектроскопії [2].

Досліджено антибактеріальні ефекти *in vitro* іонних рідин на основі лінійних алкільних естерів фенілаланіну. Отримані результати демонструють широкий спектр бактеріальної токсичності для досліджених сполук. Самі фенілаланінові складні естери не демонструють токсичність по відношенню до грамнегативних бактерій, а для іонних рідин спостерігається чітка тенденція до збільшення токсичності при подовженні алкільного ланцюга аж до певної його довжини, незалежно від катіону. Грампозитивні штами бактерій зазвичай демонструють більш високу чутливість до довжини ланцюга, ніж грамнегативні штами. Іонні рідини з довжиною ланцюга не нижче децила, знаходяться в тій області мікробної токсичності, де ліпофільність, розчинність і, отже, біодоступ-

ність знаходяться на максимумі, тому тут спостерігаються найвищі рівні бактеріальної токсичності [3].

Отримані результати можуть сприяти розробці нових ефективних амфіфілів з оптимізованою антимікробною активністю, здатних біологічно руйнуватися, які можуть використатися в якості розчинників, що мають високий потенціал рециркуляції, низьку токсичність і можливість синтезу з поновлюваних ресурсів. Це проливає світло на нові підходи до створення екологічно безпечних іонних рідин та функціоналізованих поверхнево-активних речовин [4].

#### Література:

1. Morten S., Haiß A., Westphal J., Jordan A., Kellett A., Kapitanov I., Karpichev Y., Gathergood N., Kümmerer K. (2020). Design rules for environmental biodegradability of phenylalanine alkyl ester linked ionic liquids for green chemistry. *Green Chemistry*, 22, 4498–4508. DOI: 10.1039/D0GC00918K.

2. Dewi K., Kusumahastuti A., Sihtmäe M., Kapitanov I., Karpichev Ye., Gathergood N., Kahru A. (2019). Toxicity profiling of 24 L-Phenylalanine Derived Ionic Liquids based on pyridinium, imidazolium and cholinium cations and varying alkyl chains using rapid screening *Vibrio fischeri* bioassay. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 172, P. 556–565. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.12.076..

3. Raba G., Kapitanov I., Špulák M., Vilu R., Gathergood N., Karpichev Y. (2023). Design of sustainable ionic liquids based on L-phenylalanine and L-alanine dipeptides: synthesis, toxicity and biodegradation studies. *Journal of Molecular Liquids*, 374, 121285. DOI: DOI: 10.1016/j.molliq.2023.121285.

4. Popov A., Kapitanov I., Serdyuk A., Shumeiko A. (2020). Reactivity of nucleophiles and  $\alpha$ -effect in substitution processes at electron - deficiency centers. *Укр. хім. ж.*, 86 (8), 77–100. DOI: 10.33609/2708-129X.86.8.2020.77-100.

**N-CHLORO-N-ALKOXY GEMINAL SYSTEMS IN THE SYNTHESIS  
OF THE DERIVATIVES OF PHOSPHORIC ACID**

**Shtamburg V.G.<sup>1</sup>, Kravchenko S.V.<sup>2</sup>, Klots E.A.<sup>1</sup>, Shtamburg V.V.<sup>1</sup>,  
Anishchenko A.A.<sup>3</sup>, Shishkina S.V.<sup>4</sup>, Mazepa A.V.<sup>5</sup>**

*<sup>1</sup>Ukrainian State University of Science and Technology,  
Avenue of Science, 8., 49005, Dnipro, Ukraine  
stamburg@gmail.com, klotspgf@ukr.net*

*<sup>2</sup>Dnipro State Agrarian and Economic University,  
Efremova st., 25, 49600, Dnipro, Ukraine, svtailor@ukr.net*

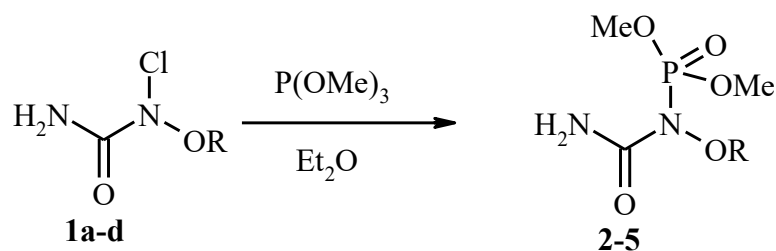
*<sup>3</sup>Oles Gonchar Dnipro National University,  
Neil Armstrong st., 25., 49050, Dnipro, Ukraine, koloxai@gmail.com*

*<sup>4</sup>Institute of Organic Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine,  
Churchill st., 5, 02098, Kyiv, Ukraine*

*<sup>5</sup>A.V. Bogatsky Physico-Chemical Institute  
of National Academy of Sciences of Ukraine,  
Luystdorfskaya Doroga st., 86, 65080, Odesa, Ukraine  
al.mazepa@ukr.net*

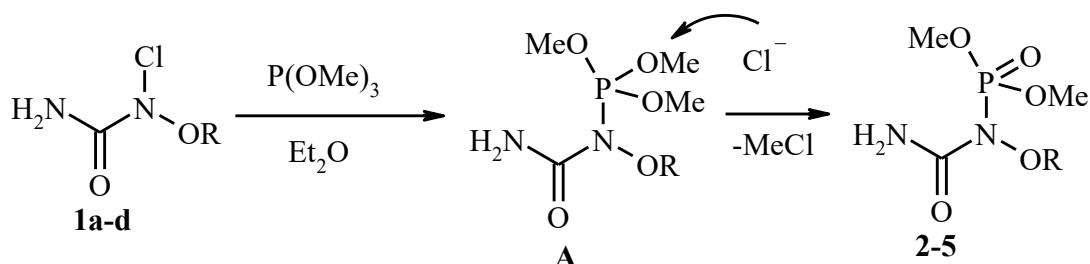
The different organic derivatives of phosphoric acid have biological activity. The different kinds of the substituted ureas use as pharmaceutical materials. The possibility of the nucleophilic substitution of the chlorine atom in *N*-alkoxy-*N*-chloroureas [1,2] and in *N*-alkoxy-*N*-chlorobenzamides [3,4] allow to create the new reaction strategies that give access to such new biological relevant scaffolds. But the interaction of *N*-alkoxy-*N*-chloroureas and *N*-alkoxy-*N*-chlorobenzamides with phosphites remained unstudied.

We have studied the interaction of different kinds of *N*-alkoxy-*N*-chloroamides with trimethyl phosphite. The *N*-alkoxy-*N*-chloroureas **1a-d** react with trimethyl phosphite in ether selectively forming the *N*-alkoxy-*N*-(dimethoxyphosphoryl)ureas **2-5** [5].



R=Me(**1a,2**), Et(**1b,3**), n-Bu(**1c,4**), i-Pr(**1d,5**)

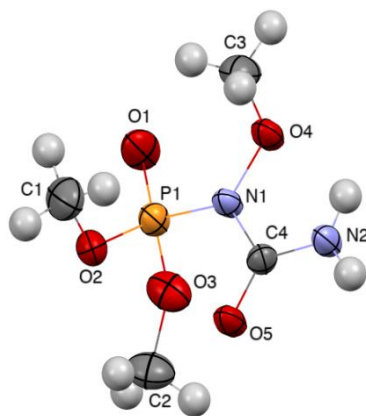
Evidently, the obtained *N*-alkoxy-*N*-(dimethoxyphosphoryl)ureas **2–5** are the products of the nucleophilic substitution at the nitrogen. It may be proposed this is another possible mechanism of *N*-alkoxy-*N*-phosphorylureas **2–5** formation.



R=Me(**2**), Et(**3**), n-Bu(**4**), i-Pr (**5**)

At the first stage the labile *N*-alkoxy-*N*-(trimethoxyphosphonium)urea chlorides **A** formed by the nucleophilic substitution at the nitrogen in the *N*-alkoxy-*N*-chloroureas **1a-c**. At the second stage the *O*-demethylation of the intermediate **A** by the chloride anion takes place (this is the kind of Arbuzov reaction).

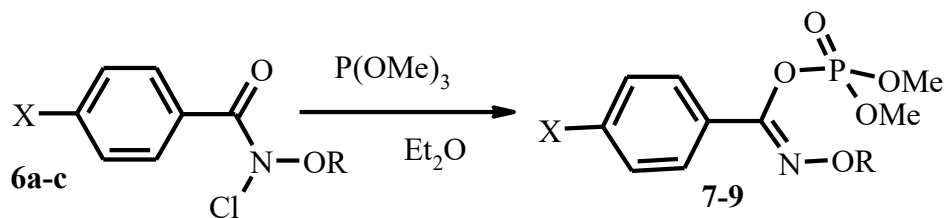
The structure of *N*-alkoxy-*N*-phosphorylureas **2–5** has been proved by the  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{13}\text{P}$  NMR spectra and mass spectra. Also, the structure of compounds **2**, **4** has been confirmed by the XRD study [5]. In compounds **2**, **4** both nitrogen atoms have planar configuration. The carbamoyl group and the N–O bond lie within the plane.



Molecular structure of *N*-methoxy-*N*-(dimethoxyphosphoryl)urea **2**

Thus, the possibility of the N–P bond formation by *N*-alkoxy-*N*-chloroureas interaction with *P*-nucleophiles had become clear. Thus ureas **2–5** may be regarded as the potential biologically active scaffolds.

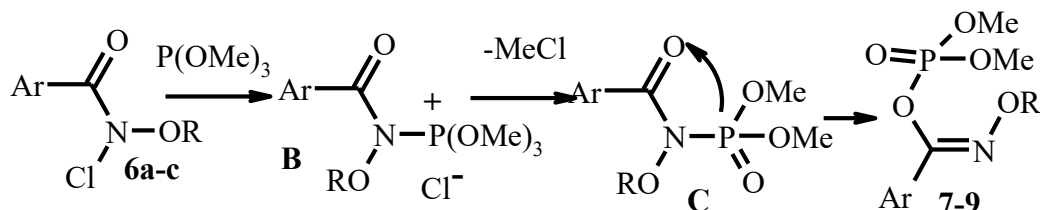
*N*-Alkoxy-*N*-chlorobenzamides **6a–c** react with trimethyl phosphite in ether leading to the selective formation of compounds **7–9**.



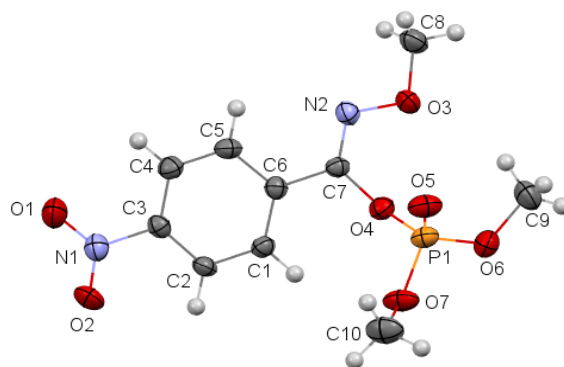
X=NO<sub>2</sub>, R=Me (**6a,7**)

X=H, R=Me(**6b,8**),Et(**6c,9**)

This is supposed to be another possible mechanism of compounds **7–9** formation. At the first stage the labile intermediates **B** formed. At the second stage the *O*-demethylation of the intermediates **B** by the chloride anion takes place (this is the kind of Arbuzov reaction). It yields the unstable intermediates **C**. Then the N–O-migration of dimethoxyphosphoryl group occurs yielding compounds **7–9**. The driving force behind this migration could be the creation of a robust P–O bond.



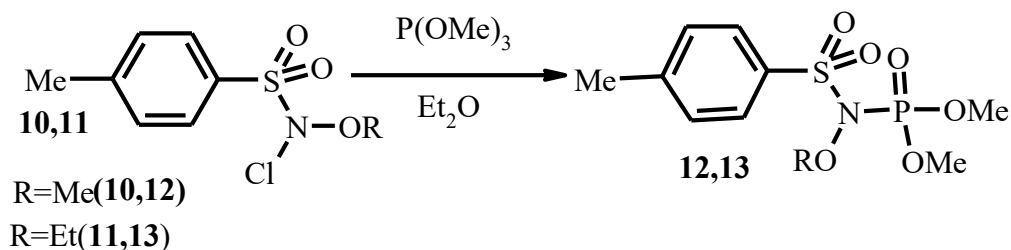
The structure of compounds **7–9** has been proved by the <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C, <sup>13</sup>P NMR spectra and mass spectra. Also, the structure of compound **7** has been confirmed by XRD study. The structure of compound **7**.





This reaction is a new synthetic pathway to *Z-N*-alkoxy-1-(dimethoxyphosphoryloxy)benzimidates.

*N*-Alkoxy-*N*-chloroarenesulfonamides **10**, **11** interact with trimethyl phosphite yielding compounds **12**, **13**.



#### References:

1. V.G. Shtamburg, O.V. Shishkin, R.I. Zubatyuk, S.V. Kravchenko, A.V. Tsygankov, A.V. Mazepa, E.A. Klots, R.G. Kostyanovsky. (2006). *N*-Chloro-*N*-alkoxyureas: synthesis, structure and properties. *Mendeleev Commun.*, 16(6), 323–325. <https://doi.org/10.1070/MC2006v016n06ABEH002382>

2. O.V. Shishkin, V. G. Shtamburg, R. I. Zubatyuk, D.A. Olefir, A.V. Tsygankov, A.V. Prosyaniuk, A.V., Mazepa, R.G. Kostyanovsky. (2009). Chiral Ureas with Two Electronegative Substituents at 1-*N* and Unusual Case of Coexisting a Pyramidal and Almost Planar 1-*N* in The Same Crystal. *Chirality*, 21(7), 642–647. <https://doi.org/10.1002/chir.20668>

3. S.A. Glover. (1998). Anomeric Amides – Structure, Properties and Reactivity. *Tetrahedron*, 54(26), 7229–7271. [https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(98\)00197-5](https://doi.org/10.1016/S0040-4020(98)00197-5)

4. S.A. Glover, A.A Rosser. (2018). Heteroatom Substitution at Amide Nitrogen – Resonance Reduction and HERON Reactions of Anomeric Amides. *Molecules*, 23(11), 2834. <https://doi.org/10.3390/molecules23112834>

5. V.G. Shtamburg, E.A. Klots, V.V. Shtamburg, A.A. Anishchenko, S.V. Shishkina, A.V. Mazepa. (2023). Nucleophilic substitution at nitrogen atom. *N*-Alkoxy-*N*-(dimethoxyphosphoryl)ureas, synthesis and structure. *J. Mol. Struct.*, vol. 1277, N 5, 134865. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.134865>.

**ВПЛИВ ПРИРОДИ АНІОНА НА ВЛАСТИВОСТІ ОЛІГОМЕРНИХ  
ПРОТОННИХ ІОННИХ РІДИН З ЧЕТВЕРТИННИМИ АМОНІЄВИМИ  
КАТІОНАМИ В ОРГАНІЧНОМУ ОБРАМЛЕННІ  
СИЛСЕСКВІОКСАНОВОГО ЯДРА**

**Гуменна М.А.<sup>1</sup>, Ткаченко І.М.<sup>1</sup>, Самойленко Т.Ф.<sup>1</sup>, Стрюцький О.В.<sup>1</sup>,  
Пилипенко А.М.<sup>1,2</sup>, Коваленко Л.Л.<sup>3</sup>, Кравченко В.В.<sup>4</sup>, Шевченко В.В.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України,*

*Харківське шосе, 48, 02155, м. Київ*

*<sup>2</sup>Донецький фізико-технічний інститут ім. О.О. Галкіна НАН України,*

*пр. Науки, 46, 03028, м. Київ*

*<sup>3</sup>Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України,*

*пр. Академіка Палладіна, 32/34, 03142, м. Київ*

*<sup>4</sup>Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії*

*ім. Л.М. Литвиненка НАН України,*

*Харківське шосе, 50, 02155, м. Київ*

*gumenna.mariana@gmail.com*

Полімерні аналоги іонних рідин (ПІР), які отримують полімеризацією низкомолекулярних протонних ІР, є перспективними протонообмінними середовищами для паливних комірок здатних функціонувати в області 100–200 °С за відсутності вологи [1, 2]. Однак внаслідок переходу в твердий агрегатний стан провідність таких ПІР падає порівняно з вихідними мономерами [2]. Останнім часом привертають увагу дослідження щодо пошуку шляхів збереження рідкого агрегатного стану таких сполук. Зокрема, розробка методів синтезу олігомерних іонних рідин (ОІР) різної молекулярної архітектури, які займають проміжне положення між низкомолекулярними іонними рідинами та їх полімерними аналогами [3]. Апротонні ОІР зіркоподібної будови на основі октаедральних олігомерних силсесквіоксанів (POSS) загальної формули  $(\text{RSiO}_{1.5})_n$ , де  $n = 8$ , використовують як електроліти для паливних комірок [4] та сонячних батарей [5]. Однак протонні сполуки такого типу здебільшого

характеризуються високими температурами плавлення і як електроліти є практично не дослідженими. Раніше нами були отримані рідкі за кімнатної температури протонні олігомерні іонні рідини на основі суміші олігомерних силсесквіоксанів з неорганічними ядрами як поліедральної, так і розгалуженої, драбинчастої, лінійної будови (OSS) [6]. Вони містять в органічному обрамленні різні типи катіонів та етансульфонат аніони як протиіони. В даній роботі досліджено вплив природи протиіону на властивості ОІР з четвертинними амонієвими групами в органічному обрамленні силсесквіоксанового ядра.

Вихідну суміш олігомерних силсесквіоксанів, які містять в органічному обрамленні епоксидні групи (OSS-Ер), синтезували згідно методики описаної в роботі [7]. Реакцією OSS-Ер з діетиламіном за співвідношення еквівалентів епоксидних та аміногруп 1:1 до органічної складової вводили один тип основних центрів – третинні аліфатичні аміногрупи (рис. 1). Отриманий олігомер OSS-NEt<sub>2</sub> за кімнатної температури є в'язкою прозорою рідиною розчинною у воді, етанолі, ДМФА, ДМСО.

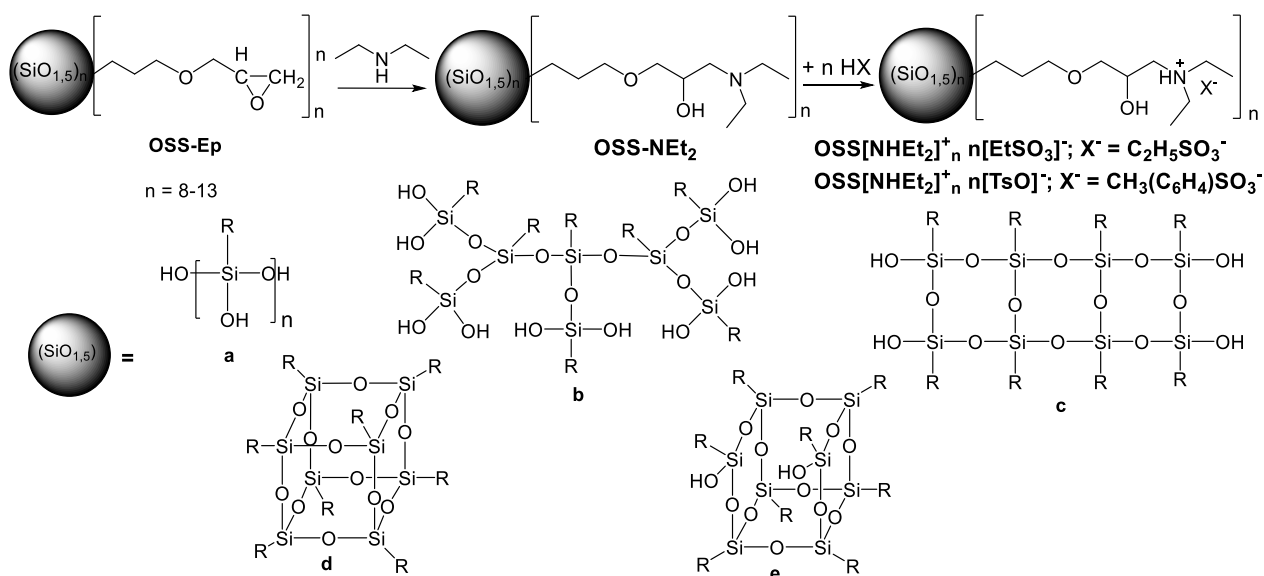


Рис. 1. Схема синтезу ОІР та будова силсесквіоксанового ядра (на прикладі октаедральних олігомерів): а. лінійна, б. розгалужена, с. драбинчаста, д. повністю конденсована та е. неповністю конденсована

ОІР синтезували повною нейтралізацією третинних аміногруп олігомеру OSS-NEt<sub>2</sub> етансульфою та *n*-толуолсульфою (рис. 1). Отримані

OSS[NHEt<sub>2</sub>]<sup>+</sup><sub>n</sub> n[EtSO<sub>3</sub>]<sup>-</sup> та OSS[NHEt<sub>2</sub>]<sup>+</sup><sub>n</sub> n[TsO]<sup>-</sup> відповідно за кімнатної температури є в'язкими рідинами розчинними у воді, етанолі, ДМФА, ДМСО. Будова OSS-NEt<sub>2</sub> та OIP на його основі досліджена методами ІЧ- та <sup>1</sup>H ЯМР спектроскопії. Згідно даних ДСК, олігомер OSS-NEt<sub>2</sub> та OIP на його основі є аморфними зі значеннями температури склування аморфної фази (T<sub>g</sub>) нижче 0 °С. Введення іонних груп в органічне обрамлення олігомеру OSS-NEt<sub>2</sub>, для якого значення T<sub>g</sub> становить -40,9 °С, залежно від природи аніону веде як до зниження енергії когезії системи для OIP OSS[NHEt<sub>2</sub>]<sup>+</sup><sub>n</sub> n[EtSO<sub>3</sub>]<sup>-</sup>, що містить етансульфонат аніон (T<sub>g</sub> = -61,5 °С) так і до її підвищення для OIP OSS[NHEt<sub>2</sub>]<sup>+</sup><sub>n</sub> n[TsO]<sup>-</sup>, що містить *n*-толуолсульфонатаніон (T<sub>g</sub> = -34,2 °С). Очевидно, що енергія когезії системи суттєво підвищується при заміні аліфатичного аніону на ароматичний. Величина провідності (σ<sub>dc</sub>) синтезованих OIP, яку досліджували методом діелектричної релаксаційної спектроскопії (ДРС) в безводних умовах в області 20–100 °С, знижується з підвищенням енергії когезії системи. Так, провідність OSS[NHEt<sub>2</sub>]<sup>+</sup><sub>n</sub> n[EtSO<sub>3</sub>]<sup>-</sup> за температури 100 °С становить 2,8·10<sup>-4</sup> См/см, тоді як провідність OSS[NHEt<sub>2</sub>]<sup>+</sup><sub>n</sub> n[TsO]<sup>-</sup> за цієї ж температури дорівнює 9,7·10<sup>-5</sup> См/см. Методом ТГА показано, що температура початку термоокиснювальної деструкції, що відповідає 5 % втрати маси (T<sub>d5%</sub>), практично не залежить від природи аніона і становить 207 °С для OSS[NHEt<sub>2</sub>]<sup>+</sup><sub>n</sub> n[EtSO<sub>3</sub>]<sup>-</sup> та 200 °С для OSS[NHEt<sub>2</sub>]<sup>+</sup><sub>n</sub> n[TsO]<sup>-</sup>.

Таким чином, розроблено метод синтезу рідких за кімнатної температури протонних катіонних OSS-OIP нейтралізацією продукту взаємодії суміші олігомерних силсесквіоксанів, що містить в органічному обрамленні епоксидні групи, та діетиламіну OSS-NEt<sub>2</sub> низькомолекулярними сульфоокислотами. Заміна аліфатичного аніону на ароматичний веде до підвищення енергії когезії системи, внаслідок чого спостерігається підвищення значення T<sub>g</sub> аморфної фази, та зниження провідності (σ<sub>dc</sub>) в безводних умовах. Досягнута величина протонної провідності робить синтезовані сполуки перспективними для створення протонообмінних мембран для паливних комірок з температурою експлуатації вище 100 °С в безводних умовах.

Робота виконана за підтримки Гранту НАН України дослідницьким лабораторіям/групам молодих вчених НАН України для проведення досліджень за пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки 2024–2025 рр. (№ 28/02-2024(5)).

#### Література:

1. Amarasekara A.S. (2016). Acidic ionic liquids. *Chemical Reviews*, 116 (10), 6133–6183. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00763>
2. Díaz M., Ortiz A., Ortiz I. (2014). Progress in the use of ionic liquids as electrolyte membranes in fuel cells. *Journal of Membrane Science*, 469, 379–396. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2014.06.033>
3. Shevchenko V.V., Stryutsky A.V., Klymenko N.S., Gumennaya M.A., Fomenko A.A., Bliznyuk V.N., Trachevsky V.V., Davydenko V.V., Tsukruk V.V. (2014). Protic and aprotic anionic oligomeric ionic liquids. *Polymer*, 55 (16), 3349–3359. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2014.04.020>
4. Elumalai V., Dharmalingam S. (2019). Octa-imidazolium POSS / quaternized polysulfone composite anion exchange membrane for alkaline fuel cell. *Polymer Composites*, 40 (4), 1536–1544. <https://doi.org/10.1002/pc.24894>
5. Čolović M., Volavšek J., Stathatos E., Čelan Korošič N., Šobak M., Jerman I. (2019). Amphiphilic POSS-based ionic liquid electrolyte additives as a boost for dye-sensitized solar cell performance. *Solar Energy*, 183, 619–631. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.03.070>
6. Shevchenko V. V., Gumenna M. A., Klimenko N. S., Stryutsky O. V., Trachevsky V. V., Kovalenko L.L., Kravchenko V. V. (2022). Protic oligosilsesquioxane dicationic ionic liquids with two types of ionic sites in organic frame. *Theoretical and experimental chemistry*, 58 (2), 143–149. <https://doi.org/10.1007/s11237-022-09732-7>
7. Matějka L., Dukh O., Brus J., Simonsick W.J., Meissner B. (2000). Cage-like structure formation during sol-gel polymerization of glycidyoxypropyltrimethoxysilane. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 270, 34–47. [https://doi.org/10.1016/S0022-3093\(00\)00074-0](https://doi.org/10.1016/S0022-3093(00)00074-0)

УДК 547.759.4

**$\pi$ -СТЕРЕОСЕЛЕКТИВНА ВЗАЄМОДІЯ 1-(2-АМІНО-2-ОКСОЕТИЛ)-2-ГАЛОГЕНОПІРИДИНІЄВОЇ СОЛІ ІЗ ПОХІДНИМИ АЦЕТОНІТРИЛУ**

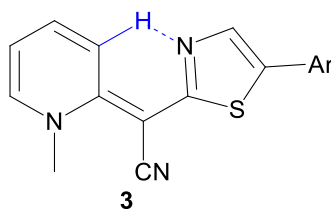
**Кашнер О.Ю., Хорошилов Г.Є., Пруднікова М.І.**

*Луганський національний університет імені Тараса Шевченка*

*вул. Коваля, 3, 36014, м. Полтава*

*kashner888@gmail.com*

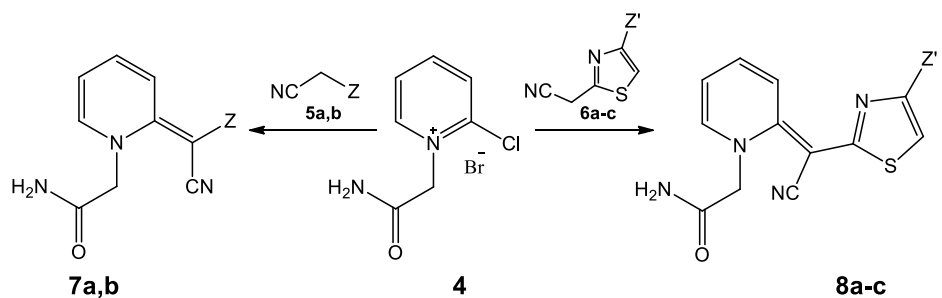
У 2008 році нами була опублікована робота, в якій було отримано ряд (*E*)-2-[*N*-метилпіридин-2(1*H*)-іліден]-2-(4-арилтіазол-2-іл)ацетонітрилів **3a-d** реакцією взаємодії йодиду *N*-метил-2-хлорпіридинію **1** з нітрилами **2** [1].



Ar = C<sub>6</sub>H<sub>5</sub> (a), 4-ClC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (b), 2-CH<sub>3</sub>OC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (c), 3-O<sub>2</sub>NC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (d)

Високу  $\pi$ -стереоселективність ми пояснювали можливістю утворення внутрішньомолекулярного водневого зв'язку (ВМВЗ) між Н-3 піридинового фрагмента молекули та атомом Нітрогену тіазольного циклу. Пізніше ця гіпотеза була підтверджена квантово-хімічними розрахунками [2].

Продовжуючи вивчення стереоселективності реакцій нуклеофільного вінільного заміщення четвертинних солей 2-галогенопіридинію із несиметричними С-нуклеофілами – похідними ацетонітрилу, нами було одержано в присутності трикратного надлишку реагенту Хуніга ряд *N*-карбоксамід-1,2-дигідропіридинів **7a,b** і **8a-c**:



Z=CONH<sub>2</sub> (a), COOEt (b)

Z'=4-Py (a), 4-FC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (b), 4-MeOC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (c)

В спектрах ЯМР  $^1\text{H}$  1,2-дигідропіридинів **7a,b** сигнали протонів Н-3 проявляються у вигляді дублетів при 8.00-8.03 м.д. з КССВ 9.1-9.3, тоді як у сполуках **8a-c** сигнали протонів Н-3 зміщуються у більш слабе поле і резонують при 8.66-8.69 м.д. у вигляді дублетів з КССВ 8.8-8.9. В спектрах ЯМР  $^{13}\text{C}$  не відбувається подвоєння сигналів, що також свідчить про утворення лише одного *E*-ізомеру сполук **7,8** (щонайменше, для сполук **8a-c** ми наполягаємо на наявності ВМВЗ, як і у сполук **3**).

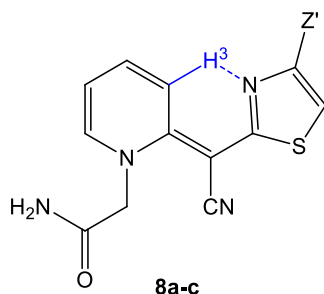
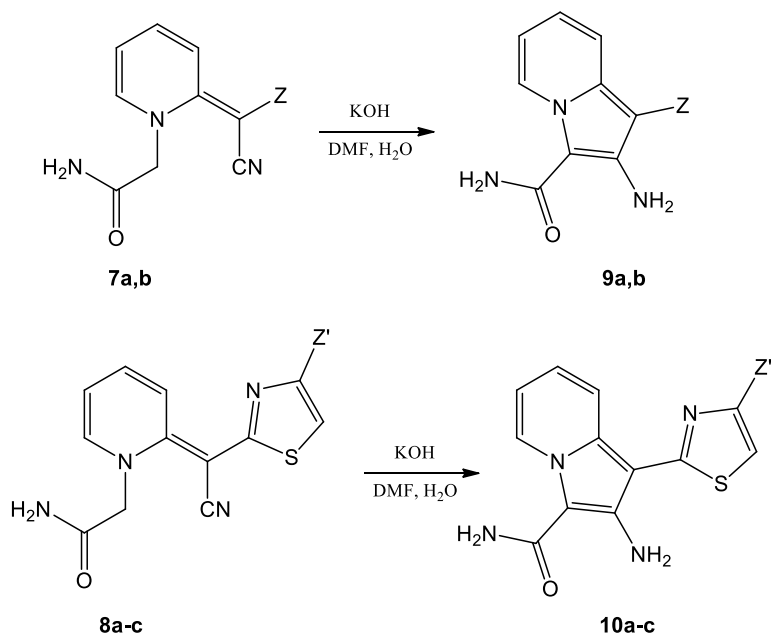
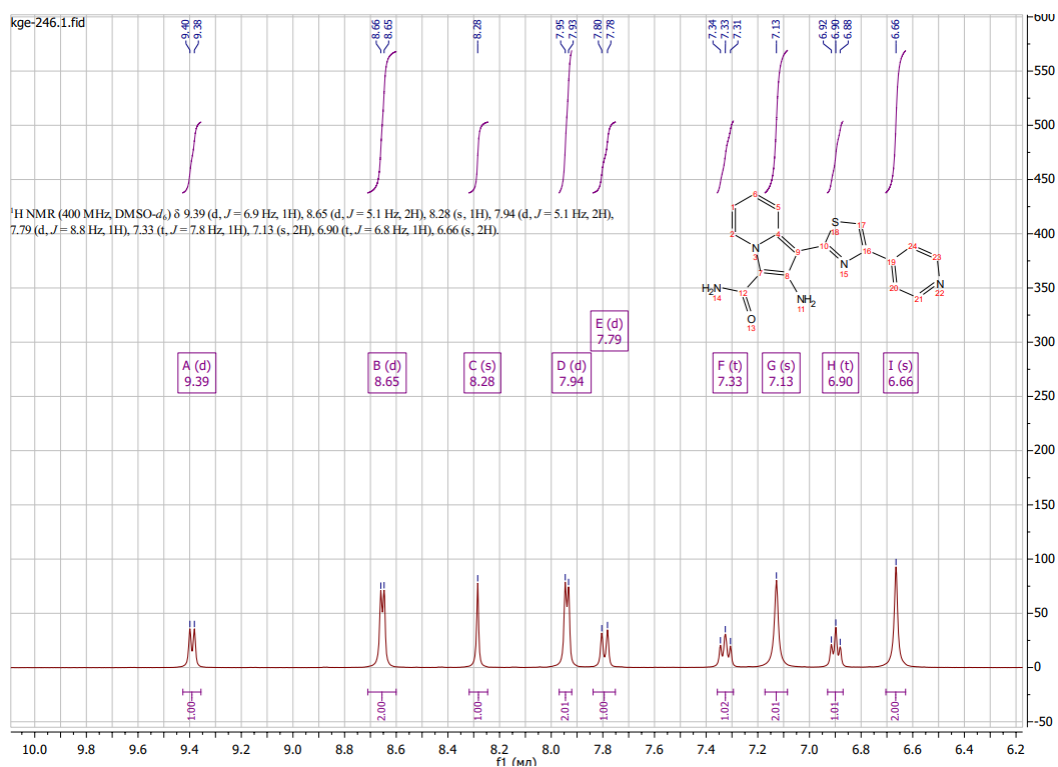
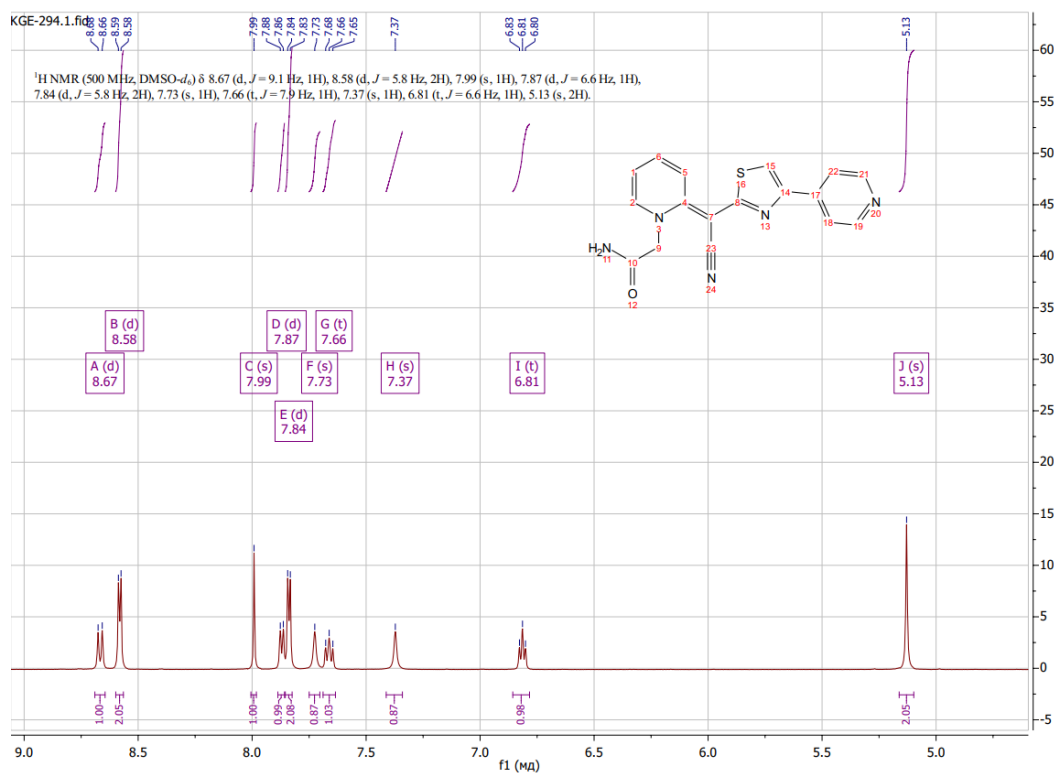


Рис. 1. Схема утворення внутрішньомолекулярного водневого зв'язку

В присутності 10%-вого водного розчину KOH у середовищі DMF відбувається циклізація за Торпом, що призводить до утворення майже кількісно відповідних індолізинів **9a,b** і **10a-c**:



В якості прикладу наводимо спектри сполук **8a** і **10a**:



### Література:

1. Khoroshilov G. E., Demchak I., Saraeva T. A. *Synthesis*. (2008). 1541.
2. Tverdokhlebo N.M.; Khoroshilov G.E.; Rozhenko A.B. *Chemistry of Nitrogen Containing Heterocycles, CNCH-2015. Book of Abstracts*. Kharkiv: Ekskluziv Publ., 2015. C. 124.



**ПРОЦЕСИ ЕЛЕКТРООСМОСУ ТА ЕЛЕКТРОСТРИКЦІЇ  
В РЕЖИМІ ДВОІМПУЛЬСНОГО ЕЛЕКТРОЛІЗУ**

**Кошель М.Д.<sup>1</sup>, Кошель С.А.<sup>1,2</sup>, Корпач С.В.<sup>1</sup>, Поліщук Ю.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Інститут транспортних систем і технологій НАН України,*

*вул. Писаржевського, 5, 49005, м. Дніпро*

<sup>2</sup>*Український державний університет науки і технологій,*

*вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпро*

*kkknd@ua.fm*

В даній роботі представлені результати математичного моделювання можливих процесів при електролізі лугів у двокамерному реакторі-електролізері. Режим електролізу складався з двох послідовних імпульсів струму – першого катодного і наступного анодного. Математична модель призначена для порівняльного аналізу впливу різних умов електролізу на співвідношення швидкостей різних процесів.

В процесі електролізу мають місце неконтрольовані процеси електроосмосу і електрострикції. Такі явища – причина відхилень стану електролізу від точних теоретичних розрахунків.

Завдання роботи полягало у знаходженні закономірностей іонного транспорту через мембрани електроміграцією і дифузією, а також електроосмосу і електрострикції. На основі одержаних даних була створена математична модель.

Процеси вивчали в двокамерному реакторі-електролізері (рис. 1). Анодна і катодна камери мають робочу висоту  $h = 7-9$  см, габаритну площу електродів  $S_{hd} = h \times d = (7-9) \times 2$  см<sup>2</sup> і об'єми  $V_o = S_{dd} \times h \approx 14$  см<sup>3</sup>. Камери відокремлені сепаратором або іонообмінною мембраною. На початок експерименту камери заповнювали розчином NaOH з сумарними початковими об'ємами  $V_o^+$ ,  $V_o^-$  по 23–25 см<sup>3</sup> і початковою концентрацією  $C_o < 0,2 \cdot 10^{-3}$  моль·см<sup>-3</sup>.

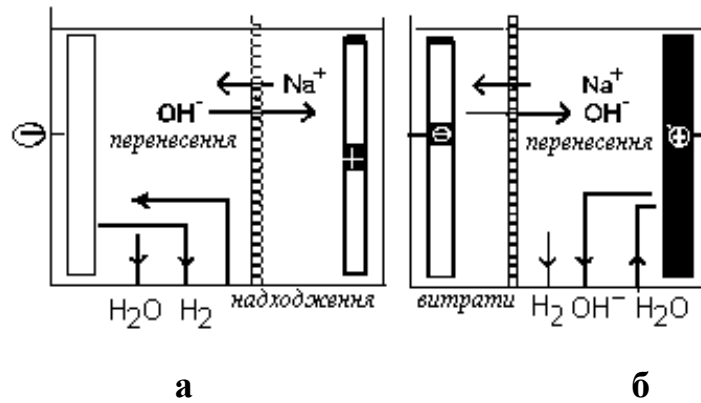
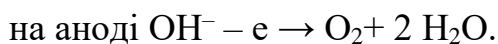
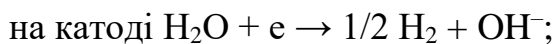


Рис. 1. Схематичне зображення процесів в двокамерному реакторі-електролізері: а, б – катодна і анодна камери

### 1. Математична модель процесів при електролізі

Основний процес – електроліз лужного розчину. В електролізері відбуваються процеси:



Процес складається з двох імпульсів струму. Перший імпульс  $I = i \cdot S_{\text{hd}}$  катодний, другий анодний, обидва по  $\tau_{\text{о}} = 30$  хвилин.

**Іонна електроміграція і електроосмос.** Іони  $\text{Na}^+(\text{K}^+)$  та  $\text{OH}^-$  мігрують через мембрану і переносять воду, формуючи електроосмотичні потоки. Дія обох протилежно направлених потоків води в гідратних оболонках іонів проявляється в формі одного параметра – швидкості електроосмотичного потоку  $\mathcal{Q} = dV^+/d\tau = -dV^-/d\tau$ . Його реальний знак напряму залежить від співвідношення швидкостей обох іонів.

Рівняння балансу об'ємних потоків компонентів в катодній камері можна записати так:

$$0 = (-J_{\text{OH}^-}^M + J_{\text{OH}^-}^R) + J_{\text{Na}^+}^M - J_{\text{H}_2\text{O}}^R \pm J_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{H}_2}, \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$$

де верхні індекси означають процеси: R – реакція; M – електроміграція;  $\text{H}_2$  – сумарний ефект вимірної зміни об'ємів розчинів в обох камерах.

Знаки складових в цьому рівнянні відповідають напрямкам відповідних потоків (процесів).

Параметр  $g_{H_2O}^{H_2}$  відіграє важливу роль оціночного критерію, який кількісно визначається безпосередньо як вимірний результат експерименту:

$$\pm g_{H_2O}^{H_2} = \pm J_{H_2O}^{H_2} \cdot C_{NaOH}, \Gamma \cdot c^{-1}$$

За рахунок можливих втрат, які неможливо виміряти окремо, він може бути як позитивним, так і негативним, тому в рівнянні знак ( $\pm$ ) означає, що визначення  $g_{H_2O}^{H_2}$  потребує спеціального аналізу для конкретних умов.

Значення параметра  $g_{H_2O}^{H_2}$  у вигляді сумарного потоку зміни маси речовин  $dm_X/dt$  для NaOH можна записати наступним чином:

$$g_{H_2O}^{H_2} = C_{NaOH, \text{моль}} \cdot (J + \mathcal{G}),$$

де  $C_{NaOH, \text{моль}}$  – концентрація NaOH, моль  $\cdot$  см<sup>-3</sup>;  $J$  – об'ємний потік, см<sup>3</sup>  $\cdot$  с<sup>-1</sup>,  $\mathcal{G}$  – електроосмотичний параметр, см<sup>3</sup>  $\cdot$  с<sup>-1</sup>.

Знак електроосмотичного параметру  $\mathcal{G}$  у кожному імпульсі є знаком напрямку потоку. Він є функцією часток, що приймають участь у балансі води, утвореної за реакцією в анодній камері, і перенесеної в гідратних оболонках іонів K<sup>+</sup> та OH<sup>-</sup>:

$$\mathcal{G} = I \cdot [ q^{OH} \cdot n^{OH} \cdot n_H^{OH} \cdot (1 - \gamma_{est}) - q^{Na} \cdot n^{Na} \cdot n_H^{Na} ] + g^{H_2O},$$

де  $\gamma_{est} = 0,15$  – частка естафетно-діркового механізму руху іонів OH<sup>-</sup>, при якому вода не переноситься;  $q$  – електрохімічний еквівалент відповідного компонента,  $I$  – значення струму на електроді,  $I = i \cdot S_{hd}$ .

Враховуючи складність, багатофакторність і невизначеність закономірностей електроосмосу, робились спроби побудувати напівемпіричні формули оцінки цього явища.

Аніони OH<sup>-</sup> вважаються гідратованими мінімально, тому можна прийняти значення  $b_{OH^-} \approx 1$ . За експериментальними даними [1] числа гідратації іонів OH<sup>-</sup> і K<sup>+</sup> радикально відрізняються від довідникових і дорівнюють, відповідно, 6–17 і 6–7. При пористості  $\gamma$  пор  $\approx 0,2$  ці міркування можна покласти в основу

виразу для підрахунку швидкості електроосмотичного потоку через мембрану таким чином:

$$Q = J_{Na^+}^M \cdot \nu^{Na^+} - 0,8 \cdot J_{OH^-}^M \cdot \nu^{OH^-}.$$

Знак  $Q$  в цьому рівнянні декларативно визначається за формальною ознакою напрямків міграції іонів і не враховує того, що числа гідратації іонів залежать від концентрації електроліту. Їх визначення є приблизним в досить широкому інтервалі. Тому напрям потоку залежить від вибору конкретних значень чисел гідратації.

**Електрострикційний ефект** ( $\varphi = EC$ ). Електрострикція – зростання щільності розташування молекул води в гідратних оболонках іонів і заряджених поверхонь. Ефект  $\varphi$  проявляється у формі зміни об'єму розчину при утворенні або зникненні розчинених речовин в процесі хімічних перетворень або перенесення через мембрану. Результат роботи математичної моделі у вигляді динаміки концентрації КОН на повному інтервалі тривалості обох імпульсів струму показано на рис. 2.

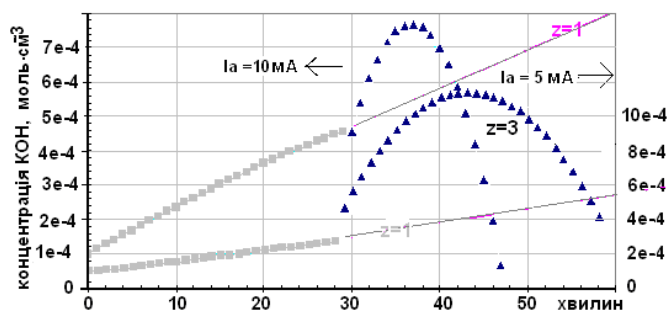


Рис. 2. Концентраційна динаміка електролізу КОН на інтервалі 60 хвилин

Формальний вираз електрострикційного ефекту має вигляд

$$1 \cdot x^2 + \left( \frac{\rho_0 \cdot C_{NaOH}^g \cdot V_{NaOH}^g}{\rho_0} \right) \cdot x - \frac{\rho_0 \cdot \rho_0 \cdot V_0}{\rho_{H_2O}} = 0.$$

Література:

1. Кошель, Н.Д. Исследование массопереноса в мембранах / Н.Д. Кошель, О.С. Ксенжек, А.С. Чередниченко, О.А. Саранин // Электрохимия. – 1977. – Т.13, №10. – С.1534–1538.

**LUMINESCENT CHARACTERISTICS OF A NUMBER OF POLYMER  
β-DIKETONATE COMPLEXES OF NEODYMIUM(III)**

**Ivakha N.B.<sup>1,2</sup>, Berezhnytska O.S.<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>V.I. Vernadsky Institute of General and Inorganic Chemistry of NAS  
of Ukraine, Akad. Palladin Avenue, 32/34, 03142, Kyiv, Ukraine*

*<sup>2</sup>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic  
Institute», Beresteysky Avenue, 03056, Kyiv, Ukraine*

*ivakhanadiia@gmail.com*

The extremely rapid development of technologies requires the research of new materials with high functional characteristics. One of such characteristics is luminescence. In particular, coordination compounds of lanthanides are considered extremely promising. As ligands, it is advisable to choose β-diketones due to the possibility of varying the substituents in such molecules in a wide range, which largely determine the properties of the complexes.

However, some disadvantages of lanthanide β-diketonate complexes should be noted, for example, their limited thermal stability and difficulty in the production of film materials. These negative aspects can be reduced by moving to polymeric materials by synthesizing metal complexes with ligands that include unsaturated bonds that can act as monomers in homo- or copolymerization reactions. However, the key is to choose the optimal ligand, which will ensure efficient transfer of excitation energy from the ligand to the metal, and will also be sufficiently active in polymerization reactions.

The authors synthesized a number of sodium salts of β-diketones with aliphatic and aromatic substituents and an unsaturated fragment in the structure, obtained coordination compounds of neodymium(III) based on them and carried out homopolymerization of these complexes. The obtained polymer compounds were investigated by spectral methods, thermal and luminescence analysis. The characteristics of polymer systems were compared.

Figure 1 shows a comparison of the emission characteristics of polymeric β-diketonate compounds with different (aromatic and aliphatic) substituents. All of

them have a characteristic appearance of the neodymium ion and consist of three transitions:  ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$  (865-902 nm),  ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$  (1063-1069 nm),  ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$  (1325–1345 nm) (Fig. 1). The splitting of the  ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$  transition into 2-5 components, depending on the type of complex, clearly indicates non-cubic symmetry of the ligand field for all compounds.

For the homopolymer  $[Nd(dmokd)_3]_n$ , there is a broadening and splitting of the lines of the main transitions of the neodymium (III) ion, which is associated with the formation of various oligomeric forms during the polymerization of the complex, since compounds with long alkyl substituents polymerize poorly due to chain breakage.

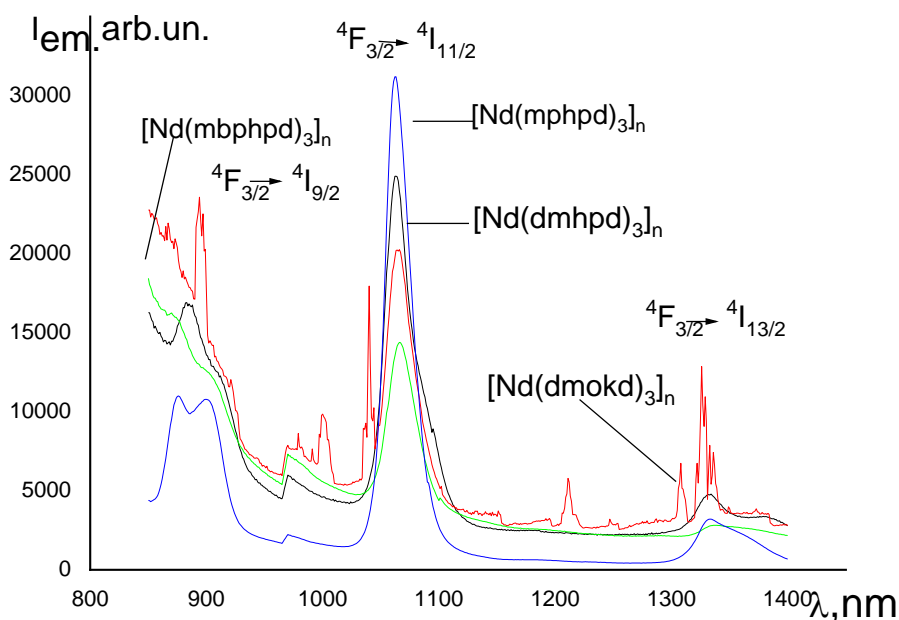


Figure 1. Emission spectra of polymeric neodymium  $\beta$ -diketonate compounds,  $\Lambda = 362$  nm

Based on the presented results, it should be noted that the radiation intensity of monoligand metallopolymer based on neodymium  $\beta$ -diketonates with substituents of different nature is quite low and almost does not differ. This is due to the low degree of polymerization due to rapid chain breakage. At the same time, several oligomeric forms can be formed, which will have a quenching effect in relation to each other. The higher emission intensity of the synthesized complexes dmhpd, dmokd is due to the linear structure of the substituents. The high energy of the triplet level of mbphpd determines the low emission intensity of monoligand complexes based on it.

**СИНТЕЗ 2-АМІНОБЕНЗАЛЬДЕГІДУ ШЛЯХОМ ВІДНОВЛЕННЯ  
АНТРАНІЛОВОЇ КИСЛОТИ ЗА ДОПОМОГОЮ  
ГРИБІВ БІЛОЇ ГНИЛІ *VJERKANDERA ADUSTA***

**Курташ Ю.Р.<sup>1</sup>, Гайдук Я.М.<sup>1</sup>, Жук Т.С.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Національний технічний університет України*

*“КПІ імені Ігоря Сікорського”*,

*просп. Берестейський, 37, 03056, м. Київ*

<sup>2</sup>*Гіссенський університет імені Юстуса Лібіха,*

*Ludwigstraße 23, 35392, Gießen, Germany*

*yuliiia.kurtash@gmail.com*

Альдегіди, зокрема орто-амінобензальдегід, є важливими сполуками в органічному синтезі через свою високу реакційну здатність. Крім того, о-амінобензальдегід відрізняється своїм приємним, дуже сильним квітковим запахом, що робить його привабливим для створення, наприклад, запашних речовин. Він є важливим компонентом у багатьох квіткових рослин.

Отримання 2-амінобензальдегіду, який є більш реактивним ніж більшість інших, є важким процесом. Зазвичай методи отримання альдегідів потребують велику кількість енергії, та складних умов, що в свою чергу веде до використання токсичних речовин та впливає на навколишнє середовище. Тому виникає потреба у дослідженні інших, більш екологічних методів отримання таких речовин.

Використання ензимів для отримання альдегідів стає все більш багатообіцяючим процесом. В цьому дослідженні ми пропонуємо перший біокаталітичний підхід до синтезу 2-амінобензальдегіду селективним відновленням антранілової кислоти з використанням культур гриба білої гнилі *V. Adusta* [1].

Експериментальний метод включає ріст прекультури гриба протягом семи днів з подальшою гомогенізацією та висіванням для глибинної культивуації. На третій день до висіяних культур додавали антранілову кислоту та поміщали на інкубаційний шейкер на два дні в умовах сталої температури та відсутності світла. Після цього відбирали проби для аналізу кожні 4 години. А для

екстракції використовували діетиловий етер [1]. Отримані продукти були очищені за допомогою колонкової хроматографії на силікагелі, а їхні структурні характеристики підтвердили за допомогою ГХ/МС та ЯМР-спектроскопії, забезпечуючи достовірність отриманого о-амінобензальдегіду.

Також під час експерименту було досліджено, що на вихід продукту впливала кількість доданого субстрату та час в який відбирались проби. Експерименти чітко показали, що час в який досягається максимальна концентрація збільшується зі збільшенням концентрації субстрату. Це може бути результатом токсичної дії антранілової кислоти на культури, що сповільнюють експресію відповідних редуктаз, або поступове розчинення антранілової кислоти при більш високих концентраціях. А також, вихід альдегіду зменшувався зі збільшенням концентрації субстрату. Крім того, присутність співрозчинників може збільшити вихід реакцій біотрансформації та, в свою чергу вплинути на вихід продукту реакції – 2-амінобензальдегіду.

Використання основної культури а не її ліофілізату, що демонструє дослідження, показує більш практичний підхід – спрощення та прискорення процесу. Більше того, використання нетоксичної, генетично не модифікованої культури як біокатализатора робить цей метод більш привабливим для використання прихильниками «зеленої хімії», та промисловими компаніями що віддають перевагу екологічним процесам.

**Висновки:** вирощування культур базидіального гриба *B. Adusta* демонструє здатність селективного відновлення антранілової кислоти до 2-амінобензадегіду із задовільним хімічним виходом і без надмірного відновлення до відповідного бензилового спирту. Цей біокаталітичний метод потенційно корисний для виробництва затребуваного ароматичного компонента з квітковим ароматом за допомогою аеробного підходу. Дослідження сприяє розвитку практики екологічної хімії та екологічно чистих промислових процесів.

#### Література:

1. Valeriia Babkina, Yana Haiduk, Yuliia Kurtash, Holger Zorn, Tatyana Zhuk, Reduction of anthranilic acid to 2-aminobenzaldehyde by the white-rot fungus *Bjerkandera adusta* DSMZ 4708, Journal of Biotechnology, **2024**, 44–48.



**АНТИРАДИКАЛЬНА АКТИВНІСТЬ КОРИЧНОЇ КИСЛОТИ****Величко О.В., Голіченко О.А., Доільніцин А. С., Третяк С.Ю.***ННІ “Український державний хіміко-технологічний університет”**Українського державного університету науки і технологій**просп. Науки, 8, 49005, м. Дніпро**tretyak.svetlana1@gmail.com*

Корична кислота проявляє антиоксидантними, антибактеріальним, проти-грибковим, протипаразитарними властивостями [1], а її похідні є важливим лікарським засобом, проявляють протипухлинну активність [2]. Вона використовується як ароматизатор мила, шампунів, прального порошку та косметичних засобів, у складі харчових добавок, у фармацевтичній промисловості, в органічному синтезі тощо. Чисту коричну кислоту можна використовувати в харчових продуктах, для консервації фруктів та овочів [3].

Антирадикальні властивості кислот вивчали в реакції з штучним 1,3,5-трифенілвердазильним радикалом (TPV), стабільним у кристалічній формі протягом декількох років за  $t$  0–6 °С. Через розчинність досліджуваних кислот та TPV як розчинник використовували метанол (х.ч.). Розчин TPV має максимум поглинання при 720 нм, а при утвореній TPV<sup>+</sup> – при 550 нм, що робить електронну абсорбцію надійним методом для вивчення перетворень у системі TPV – кислота.

Взаємодію проводили між розчином TPV та коричної кислоти при 10-кратному мольному надлишку кислоти з початковими концентраціями речовин для оптимальної реєстрації змін ЕСП з часом.

Для розрахунків витрати радикалу та утворення катіону використовували наступні формули:

$$\alpha_{\text{TPV}^\cdot} = \frac{A(\text{TPV}^\cdot_0) - A(\text{TPV}^\cdot_\tau)}{A(\text{TPV}^\cdot_0)} \cdot 100\% \quad \alpha_{\text{TPV}^+} = \frac{A(\text{TPV}^+_\tau) \cdot \varepsilon(\text{TPV}^\cdot)}{A(\text{TPV}^\cdot_0) \cdot \varepsilon(\text{TPV}^+)} \cdot 100\%$$

де  $A(\text{TPV}^\cdot_0)$  та  $A(\text{TPV}^\cdot_\tau)$  – поглинання досліджуваного розчину при 720 нм в початковий момент часу і в час  $\tau$ , відповідно;  $A(\text{TPV}^+)$  – поглинання цього ж

розчину при 550 нм в час  $\tau$ ;  $\varepsilon(\text{TPV}^\cdot)$ ,  $\varepsilon(\text{TPV}^+)$  – коефіцієнти молярного поглинання радикалу і катіону, відповідно. При розрахунках  $\alpha(\text{TPV}^+)$  та  $\alpha(\text{TPV}^\cdot)$  враховували вклад у величину  $A(\text{TPV}^\cdot)$  та  $A(\text{TPV}^+)$  поглинання комплексів при використаних концентраціях.

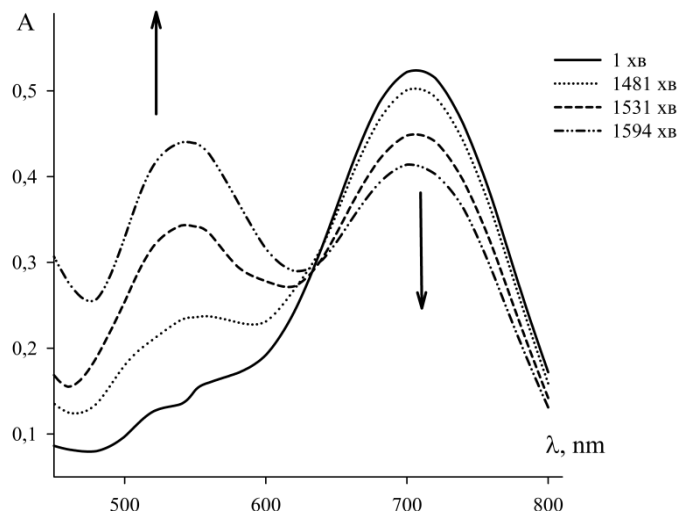


Рис. 1. ЕСП розчину  $\text{TPV}^\cdot$  ( $C_0=3,2 \cdot 10^{-4}$  моль/л)  
з коричнею кислотою ( $C_0 = 3,2 \cdot 10^{-3}$  моль/л)

З розрахунків по наведеним формулам було встановлено, що за добу в реакції з коричнею кислотою витрачається на  $\approx 20$  %  $\text{TPV}$ -радикалу, частка утвореного катіону складає 15 %. Таким чином, були досліджені антирадикальні властивості коричнею кислоти. Показано, що ця кислота нейтралізує штучний  $\text{TPV}$ -радикал, перетворюючи його на відповідний катіон.

#### Література:

1. Burt S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods - a review / *Int. J. Food Microbiol.*, 2004, 94 (3), P. 223–253.
2. Kaur P., Grewal A.S., Pandita D., Lather V. Novel Cinnamic Acid Derivatives as Potential Anticancer Agents: Synthesis, In Vitro Cytotoxicity and Molecular Docking Studies / *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 2023, 13(2), P. 150–161.
3. Ramesh K., Deachen Ch. and Palani N. Synthesis, characterization and catalytic activity of coordination polymers derived from monohydroxybenzoic acids and divalent nickel ion / *Der Chemica Sinica*, 2015, 6(8), P. 30–37.

УДК 547.426.1+547.284.3+553.611

## ВПЛИВ ПРИРОДИ КИСЛОТИ НА КАТАЛІТИЧНУ АКТИВНІСТЬ БЕНТОНІТУ В РЕАКЦІЇ ГЛІЦЕРИНУ З АЦЕТОНОМ

Давтян А.С., Левченко О.О., Камалов Г.Л.

*Фізико-хімічний інститут імені О.В. Богатського НАН України,*

*Люстдорфська дорога, 86, 65080, м. Одеса*

*araksya2103@gmail.com*

Зіставлені каталітичні властивості природного бентоніту (Bent, Дашуківське родовище, Черкаська обл.) модифікованого сульфатною (H-Bent(1)) та нітратною (H-Bent(2)) кислотами (3 моль/л, 3 год) в реакції гліцерину (GL) з ацетоном (Ac).

Бентоніт – природний глинистий мінерал, основним компонентом якого є монтморилоніт, має шарувату структуру. В елементарну комірку входять три шари, які утворюють пакет. Верхній і нижній шари пакету складаються із тетраедрів Al, SiO<sub>4</sub>. Між тетраедричними шарами розміщується шар, який складається із октаедрів Al і Fe (рис. 1).

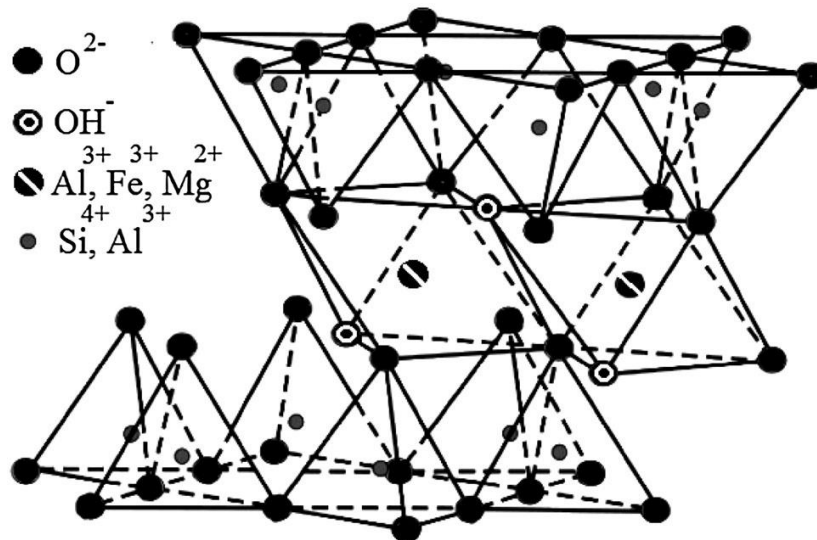


Рис. 1. Фрагмент структури бентоніту [1]

Такий тришаровий пакет має негативний заряд, який обумовлюється заміщенням тривалентних елементів (Al, Fe) в октаедричному шарі на двовалентні (Mg, Fe) або чотиривалентного елемента Si на тривалентний Al в

тетраедричному шарі. Завдяки негативному заряду на поверхні пакету розміщуються позитивно заряджені катіони ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ) [2].

При кислотній модифікації бентоніту відбуваються зміни складу та кількості катіонів лужних та лужноземельних металів, в результаті чого катіони ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ін.), що знаходяться на його поверхні, заміщуються на  $\text{H}^+$  іони кислоти [3]. В результаті відбувається збільшення загального об'єму пор за рахунок трансформації мікропор в мезопори, що пов'язано з руйнуванням октаедричного шару монтморилоніту, що містить іони  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  і  $\text{Fe}^{3+}$ .

Як видно з рис. 2, із збільшенням масової частки ( $m_{\text{кат}}$ ) для обох зразків зростає початкова швидкість витрати GL ( $W^0$ ) та його конверсія ( $Z_{\text{GL}}$ ). Помітно, що Bent модифікований нітратною кислотою проявляє більшу активність, відповідно  $W^0$  набагато вище і  $Z_{\text{GL}}$  досягає майже 100 %. Натомість для зразку модифікованого сульфатною кислотою –  $Z_{\text{GL}}$  зростає з кожним збільшенням його масової частки та досягає ~60 %.

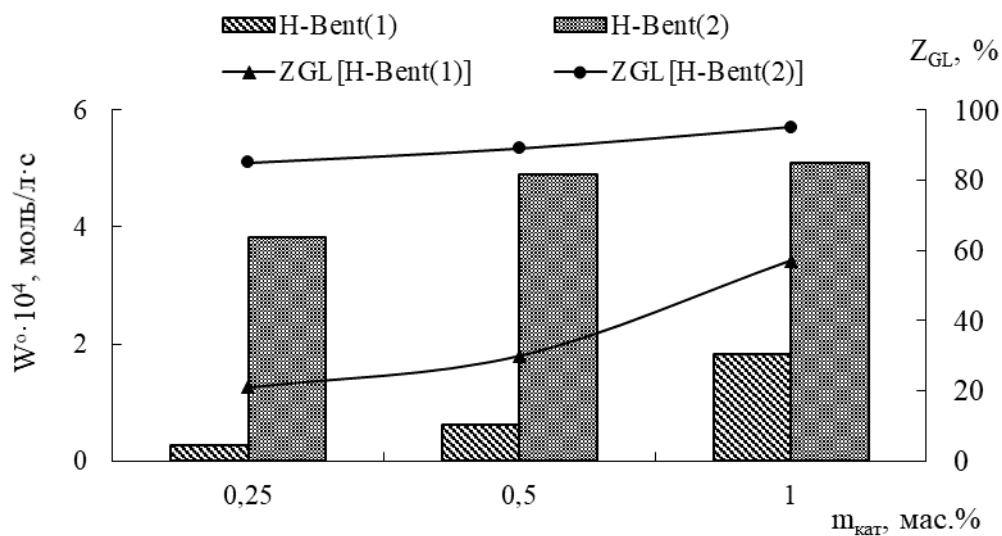


Рис. 2. Вплив масової частки каталізатору на початкову швидкість витрати гліцерину та його конверсію ( $\text{GL}:\text{Ac} = 1:25$ ,  $45\text{ }^\circ\text{C}$ , 2 год)

Також,  $W^0$  та  $Z_{\text{GL}}$ , у присутності приготовлених каталізаторів зростають із збільшенням мольної долі Ac (рис. 3) і знову ж таки більшу активність проявляє H-Bent(2) навіть на дивлячись на те, що його масова частка менше (2

мас.%) ніж для H-Bent(1) (3 мас.%). Помітно, що при найбільшому надлишку Ас (GL:Ас = 1:25) величина  $Z_{GL}$  для обох зразків співставна (>80%), тоді як  $W^o$  майже вдвічі більше у присутності H-Bent(2).

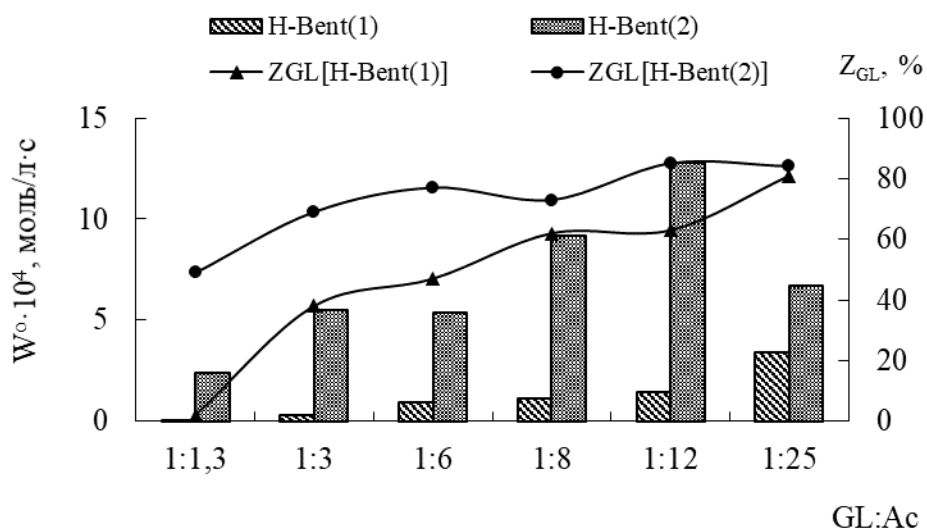


Рис. 3. Вплив мольного співвідношенні вихідних реагентів на початкову швидкість витрати гліцерину та його конверсію (45 °С, 2 год)

Таким чином, показано, що в реакції гліцерину з ацетоном, бентоніт модифікований нітратною кислотою проявляє більшу каталітичну активність, ніж зразок модифікований сульфатною кислотою.

#### Література:

1. Cherian C., Arnepalli D.N. A Critical appraisal of the role of clay mineralogy in lime stabilization. *Int. J. of Geosynth. and Ground Eng.* 2015. Vol. 1:8, P. 1–20. DOI: 10.1007/s40891-015-0009-3
2. Іщенко В.М., Колотуша Т.П., Полумбрик О.М. Використання бентонітів у харчовій промисловості. *Харчова промисловість*. 2013. № 14, С. 34–36.
3. Salem A., Karimi L. Physico-chemical variation in bentonite by sulfuric acid activation. *Korean J. Chem. Eng.* 2009. Vol. 26(4), P. 980–984. DOI: 10.1007/s11814-009-0162-2

## ДЕЯКІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПІРОЛОПІРАЗОЛОНІВ

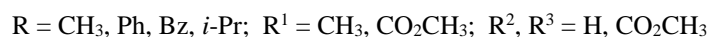
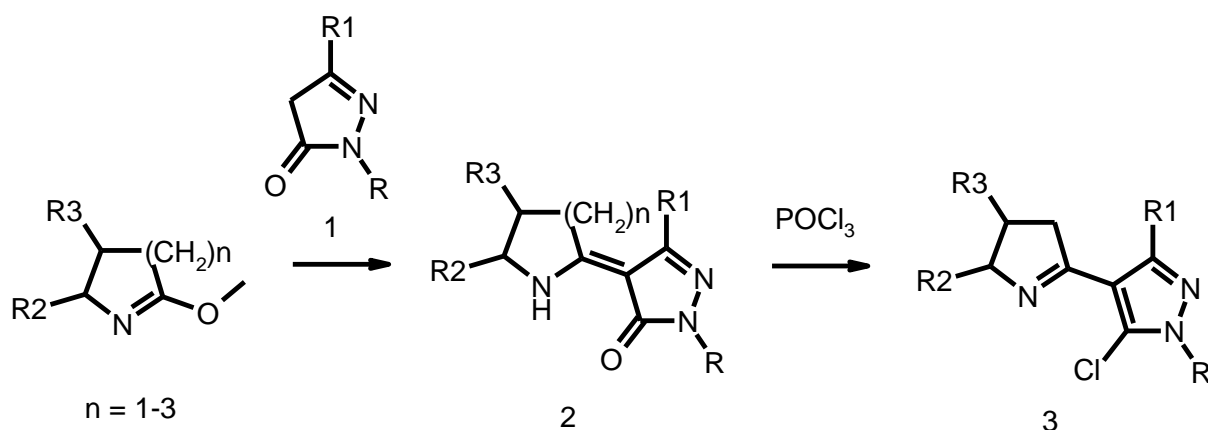
Швиденко Т.І.<sup>1\*</sup>, Назаренко К.Г.<sup>1</sup>, Філімончук С.Л.<sup>1</sup>, Костюк О.М.<sup>1</sup><sup>1</sup>Інститут органічної хімії НАН України,

вул. Академіка Кухаря, 5, 02660, м. Київ

shvidenko\_t@yahoo.com.ua

Похідні піролідину, що містять гетероциклічний фрагмент біля С(2), широко відомі як природні алкалоїди (нікотин, норнікотин) [1, 2].

У своїй роботі ми застосували метод отримання піролідинілпіразолонів, раніше детально вивчений нами по відношенню до 5-амінопіразол-3-онів [3]. 5-Метил та 5-карбоксиметил піразол-3-они ми вводили в реакцію з 20%-вим надлишком лактимного етеру при кип'ятінні у толуені протягом 6 годин. Взаємодія супроводжувалася гарними виходами незалежно від розміру насиченого циклу лактимного етеру. Для 3-карбоксиметилпіразол-5-онів оптимальними умовами для здійснення конденсації було нагрівання їх з двократним надлишком лактимного етеру без розчинника.

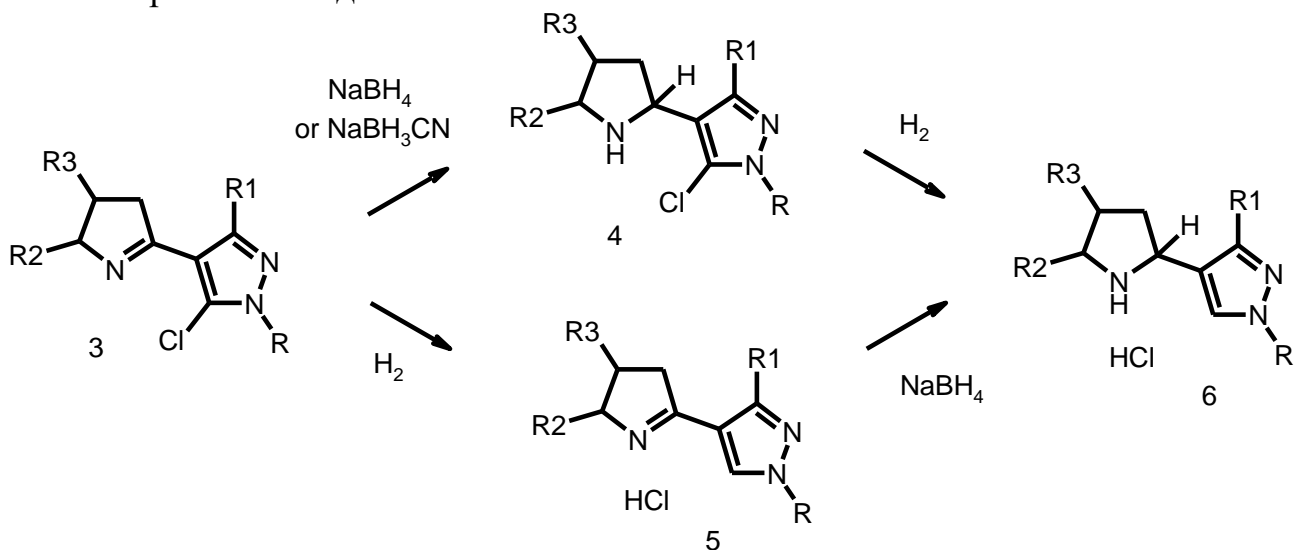


Введення атому хлору в піразолони **2** здійснювалося нами шляхом кип'ятіння в  $\text{POCl}_3$  протягом 3–4 год з подальшою обробкою реакційної суміші поташем до основного середовища. Одержані хлоропіразоли **3** виявилися стійкими сполуками. Зазначений метод з успіхом був застосований нами і за наявності естерної функції в будь-якому положенні системи піролопіразолону.

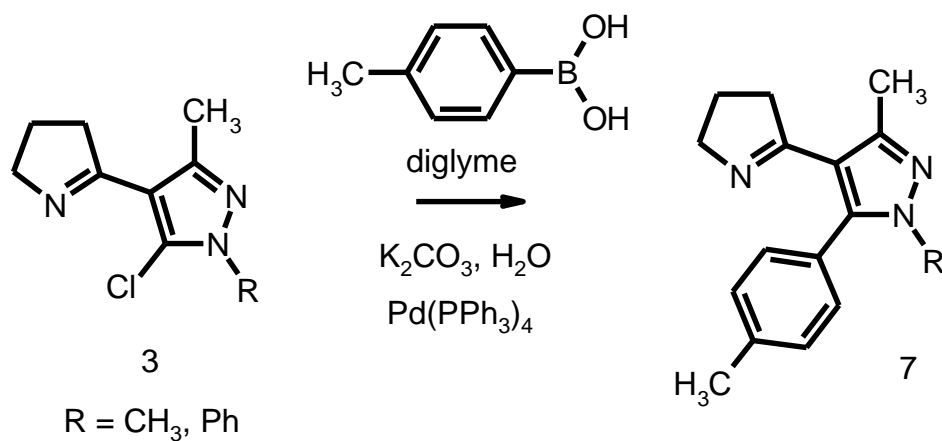
Синтезовані хлоропіразоли **3** в подальшому були функціоналізовані нами двома способами: відновленням імінної функції з утворенням сполук **4** та зняттям атома хлору з утворенням сполук **5**.

Одержання цільових 5-незаміщених 4-піролідиніліпіразолів **6** видавалося нам можливим двома шляхами: 1) відновлення імінного зв'язку в піроліновому фрагменті з утворенням сполук **4** з їх наступним дехлоруванням; 2) дехлорування піразольного фрагменту з утворенням сполук **5** з подальшим відновленням імінного зв'язку. Відновлення імінної функції здійснювалося при дії  $\text{NaBH}_4$  в  $\text{MeOH}$ , а зняття атома хлору – воднем над  $\text{Pd/C}$  при атмосферному тиску.

Незалежно від шляху проведення перетворень сполуки **6** були отримані нами з гарними виходами.



Атом хлору в 5-хлорозаміщених похідних **3** характеризується підвищеною рухливістю за рахунок спряження з імінним зв'язком, що дозволило нам провести реакцію Сузукі з бороновими кислотами. Крос-каплінг ми проводили в диглімі, як каталізатор використовували  $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_4$ , як основу – поташ.



Будова сполук **7** підтверджена методом РСА.

Література:

1. Nicotine and Related Alkaloids: Absorption, Distribution, Metabolism and Excretion, (Gorrod, J.W., ed.), Chapman and Hall, 1993.
2. Guo C., Sun D.-W., Yang S., Mao S.-J., Hu X.-H., Zhu S.-F., Zhou Q.-L. Iridium-Catalyzed Asymmetric Hydrogenation of 2-Pyridyl Cyclic Imines: A Highly Enantioselective Approach to Nicotine Derivatives. *J. Am. Chem. Soc.* 2015, 137, № 1, p. 90–93. <https://doi.org/10.1021/ja511422q>
3. Nazarenko K.G., Bova S.I., Polovinko V., Tolmachev A.A. Synthesis of 5-Amino-4-(2-azacycloalkylidene)-2-phenyl-2,4-dihydro-3H-pyrazol-3-ones. *Synthesis*, 2008, № 21, p. 3497–3503. DOI: 10.1055/s-0028-1083183

УДК 547.757+615.015.12

## ПРОГНОЗУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ ПОЛІЗАМІЩЕНИХ ПОХІДНИХ ІНДОЛУ

**Залізний М.В., Сметанін М.В., Залізна К.В., Варениченко С.А.**

*ННІ “Український державний хіміко-технологічний університет”*

*Українського державного університету науки і технологій*

*пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро*

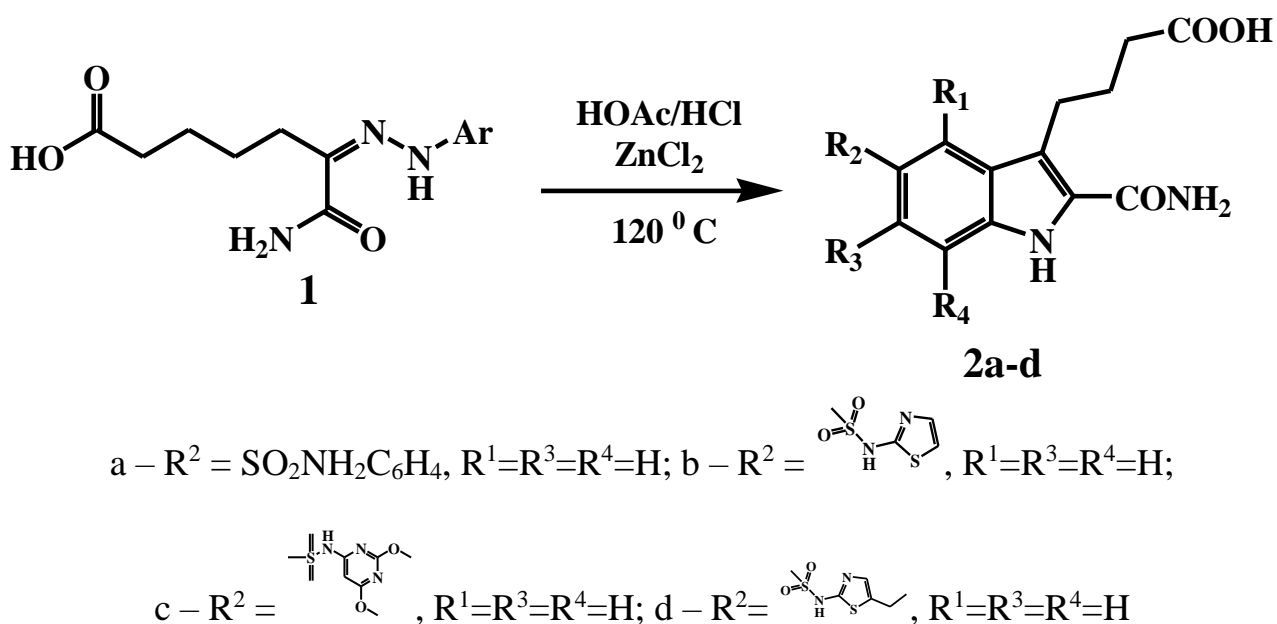
*zaliznayaekaterina@gmail.com*

Фрагмент індолу міститься у багатьох природних речовинах, які мають фізіологічну активність; похідні індолу переважно відіграють роль низькомолекулярних регуляторів центральної нервової системи людини. Відомими прикладами похідних індолу є арбідол; серед інших ізохінолінів – дротаверин,



папаверин, які сприяють активності інтерферону, необхідного для лікування гострих респіраторних вірусних захворювань. Оскільки індол є універсальним фармакофором із особливим скелетом, пошук біологічної активності серед його похідних є важливим та перспективним.

Раніше похідні індолу 2a–d були отримані у лабораторії ФтаТОР за допомогою методу Фішера, який включав циклізацію шляхом нагрівання в оцтовій кислоті, під кислотним HCl газом з додаванням безводного хлориду цинку.



За допомогою онлайн-ресурсу ADMET 2.0 були оцінені фізико-хімічні та фармакологічні властивості, враховані поточні стандарти, і порівняно з передбаченими даними для існуючих препаратів індол-3-карбінолу та диіндолілметану. Усі структури відповідають Ліпінським правилам. Синтезовані сполуки проявляють високу здатність до поглинання через кишковий тракт та проникнення через гематоенцефалічний бар'єр, що робить їх перспективними для розробки препаратів для центральної нервової системи. Вони також мають низьку канцерогенність та мутагенність, що робить їх перспективними для подальших біохімічних досліджень.

**A COMPARATIVE STUDY OF FLUORINE-CONTAINING  
1,2,4-TRIAZOLES AND ANTIBIOTICS THROUGH MOLECULAR  
DOCKING AND MOLECULAR DYNAMICS TECHNIQUES**

**Korol N.I.<sup>1</sup>, Slyvka M.V.<sup>1</sup>, Mariychuk R.T.<sup>2</sup>, Holovko-Kamoshenkova O.M.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Uzhhrod National University,*

*Fedyntsa st., 53, 88000, Uzhhorod, Ukraine*

<sup>2</sup>*Presov University,*

*17 novembra st., 15, 08001, Presov, Slovak Republic*

*nataliya.korol@uzhnu.edu.ua*

The growing issue of antibiotic resistance demands innovative therapeutic approaches. We explore the largely uncharted territory of Fluorine-containing 1,2,4-triazoles as potential antibacterial agents, with a focus on their interactions with *Staphylococcus aureus* and *Serratia marcescens*. Using quantitative assays and *in silico* methods, we detail the results of molecular docking and molecular dynamics studies. The tested compounds exhibit exceptional binding and reveal unconventional interaction modes. Our research sheds light on the complexities of ligand-protein interactions, providing valuable insights into the fight against antibiotic resistance. These findings advance antimicrobial strategies and contribute to addressing the evolving challenges posed by bacterial infections.

The compounds being studied, referred to as compounds **1** and **2** (Fig. 1), were synthesized using a catalyst-free method as described in [1]. Inspired by their proven biological activity [2], we conducted an *in silico* study to gain deeper mechanistic insights and evaluate the potential of these novel fluorine-containing 1,2,4-triazole derivatives as potent antibiotic analogs. We focused on two specific bacterial strains – *Staphylococcus aureus* and *Serratia marcescens* – which showed the most promising inhibition activity in the biological assay. For comparison, we included two well-known antibiotics commonly used as first-line treatments: vancomycin [3] for *Staphylococcus aureus* and meropenem [4] for *Serratia marcescens*.

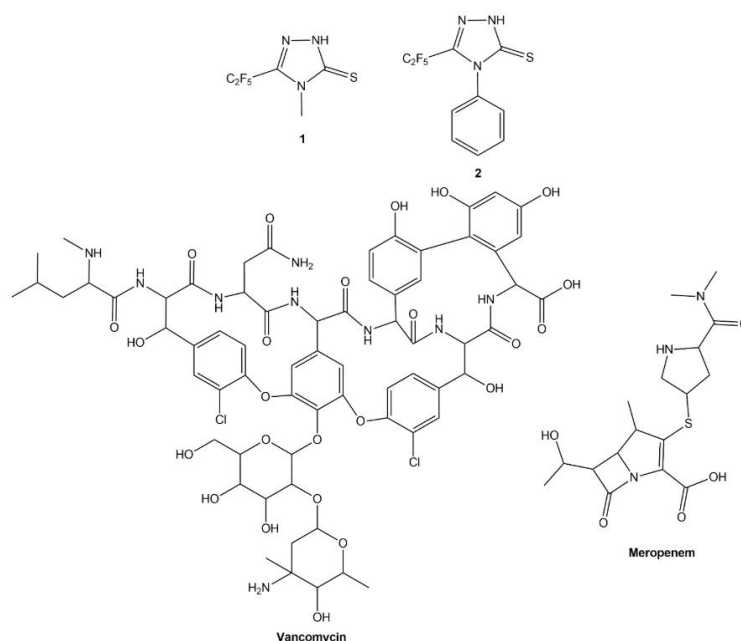


Figure 1. Molecular formulas of tested compounds

We investigated the interactions between the enzymes of *Staphylococcus aureus* and compound **1**, a potential antibacterial agent, compared to vancomycin, a widely used antibiotic. Vancomycin generally showed better affinity values, except for Tyrosyl-tRNA synthetase, where compound **1** exhibited a notable affinity (-6.5 kcal/mol) compared to vancomycin (0.0 kcal/mol).

Our molecular dynamics simulations revealed that while compound **1** maintained stable interactions across all tested enzymes, vancomycin displayed significant fluctuations in its complexes with UDP-N-acetylenolpyruvylglucosamine reductase and the symmetrical tetramer of pyruvate carboxylase, suggesting challenges in forming robust complexes.

The differences in binding affinities and stability can be attributed to the unique molecular structures and interaction capabilities of compound **1** and vancomycin with the target enzymes. Compound **1**'s structural features may allow for more favorable interactions with Tyrosyl-tRNA synthetase, involving specific binding motifs and hydrogen bonding. Conversely, vancomycin, designed primarily to inhibit cell wall synthesis in Gram-positive bacteria, may not interact effectively with this enzyme.

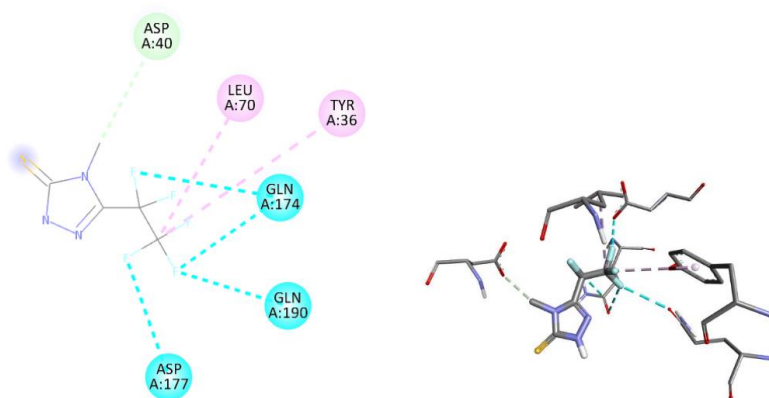


Figure 2. 2D (left) and 3D (right) visualization of the interaction between Tyrosyl-tRNA synthetase of *Staphylococcus aureus* (PDB ID: 1JIJ) and compound **1**

The comparative analysis between compound **2** and meropenem reveals notable similarities in their affinity, RMSD (Root Mean Square Deviation), and RMSF (Root Mean Square Fluctuation) values when interacting with enzymes from *Serratia marcescens*. Meropenem shows a slight enhancement in these parameters. Both compounds engage with a similar set of amino acids in the enzyme's active sites, though compound **2** tends to form more non-covalent interactions, particularly involving fluorine atoms. This intricate interaction pattern suggests compound **2**'s potential as an effective antibacterial agent. These findings highlight the need for further investigation into the structural and dynamic properties of these compounds to enhance our understanding of their mechanisms and aid in the development of new antimicrobial strategies.

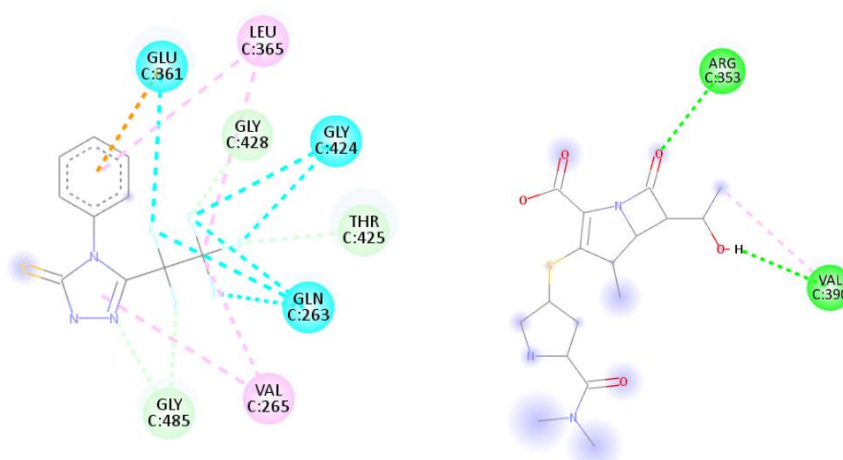


Figure 3. 2D representation of interactions between 1I7S with compound **2** (left) and meropenem (right).

This study highlights the complexity of antibiotic interactions with bacterial targets. Differential affinities and molecular dynamics simulations reveal the multifaceted nature of ligand-protein interactions. The notable affinity of compound **1** suggests alternative binding modes, warranting further exploration of unconventional mechanisms.

These findings underscore the importance of combining simulations, structural analyses, and experimental validation to understand antibiotic mechanisms and develop new antimicrobial strategies. Our research enhances the understanding of antibiotic efficacy, providing insights crucial for combating antibiotic-resistant bacterial pathogens.

#### References:

1. O.M. Holovko-Kamoshenkova, M.V. Slivka, R. Hrdina, V.N. Baumer, N.I. Korol, L.V. Sokolenko, V.G. Lendel, An Efficient Catalyst-Free Direct Approach to 5-Polyfluoroalkyl-1,2,4-triazole-3-thiones, *Synthesis*, 55 (2023) 1221–1226. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1751401>
2. O.M. Holovko-Kamoshenkova, N.I. Korol, M.V. Slivka, S.A. Tymoshchuk, N.V. Boyko, Application of fluorine-containing derivatives of 1,2,4-triazoles as bactericides, Patent UA 150880 (2022). Database "Inventions (useful models) in Ukraine" <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=281369>
3. D.P. Levine, Vancomycin: A History, *Clin. Infect. Dis.* 42 (2006) S5–S12. <https://doi.org/10.1086/491709>
4. C.M. Baldwin, K.A. Lyseng-Williamson, S.J. Keam, Meropenem, *Drugs* 68 (2008) 803–838. <https://doi.org/10.2165/00003495-200868060-00006>

## СИНТЕЗ ОЛІГОМЕРІВ З ІНДЕН-КУМАРОНОВОЇ ФРАКЦІЇ

Кічура Д.Б., Субтельний Р.О.

*Національний університет “Львівська політехніка”,*

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

*dariia.b.kichura@lpnu.ua*

Інден-кумаронові смоли (ІКС) одержують шляхом коолігомеризації ненасичених компонентів різноманітних фракцій кам'яновугільної смоли і сирого бензолу: головної (303–352К), бензольної (342–353К), ксилольної (408–418К) та так званого важкого бензолу (або інден-кумаронової фракції), що википає в інтервалі температур 418–463К. Основними смолоутворювальними компонентами виступають інден, кумарон, стирол та їх гомологи. Залежно від назви основних ненасичених сполук розрізняють: стирольні, стирольно-інденові та інден-кумаронові смоли, які успішно застосовуються для заміни продуктів природнього походження. На вихід та властивості синтезованих ІКС впливають як склад вихідної сировини, так і метод та технологія їх виробництва. Одним із найважливіших моментів в процесі одержання ІКС є стадія олігомеризації сировини. Відтак механізм та умови олігомеризації сполук інденового та кумаронового ряду досліджувалися досить ретельно [1].

У світовій практиці запроваджено виробництво ІКС, що ґрунтується на каталітичній олігомеризації сировини з використанням апротонних каталізаторів Фріделя-Крафтса та Циглера-Натта, а саме хлористого алюмінію та комплексів на його основі. До переваг цього методу слід віднести високий (до 98 %) коефіцієнт використання смолоутворюючих сполук. Одержані смоли не задовільняють вимоги будівельної та лакофарбової промисловостей щодо їх забарвлення, міцності лакових плівок. Серед різноманітних способів одержання синтетичних смол особливої уваги заслуговує радикальна олігомеризація. Дослідженню синтезу ІКС методом радикальної олігомеризації присвячено ряд робіт [2–4]. Метою досліджень було вивчення закономірностей синтезу ІКС методом радикальної олігомеризації ІК фракції та встановлення оптимальних умов процесу. Як сировину використовували інден-кумаронову фракцію з

наступними фізико-хімічними показниками: густина  $924 \text{ кг/м}^3$ , бромне число  $65 \text{ г Br}_2/100 \text{ г}$ , колір  $10...20 \text{ мг J}_2/100 \text{ см}^3$ . Вміст основних смолоутворювальних компонентів (% мас.): індену 32, стиролу 18,  $\alpha$ -метилстиролу 6, кумарону 3. Як ініціатор олігомеризації використовували ди-*трет*-бутилпероксид (ДТБП) виробництва фірми “Akzo Nobel” (Фінляндія), торгова назва Trigonox В:  $(\text{CH}_3)_3\text{C}-\text{OO}-\text{C}(\text{CH}_3)_3$ , з характеристиками: густина  $800 \text{ кг/м}^3$ , молекулярна маса 146 в.о., масова частка ДТБП 99.0 %, вміст активного кисню  $[\text{O}]_{\text{акт}}=10.94 \%$ , комономер – малеїновий ангідрид (МА). Олігомеризацію ІКС проводили у термостатованому реакторі з нержавіючої сталі в середовищі аргону при надлишковому тиску 0,3–0,5 МПа, який забезпечує перебіг реакції в рідкій фазі. Непрореаговані вуглеводні виділяли атмосферною та вакуумною дистиляцією олігомеризату.

Результати проведених досліджень показали, що збільшення температури олігомеризації (рис. 1А) від 413 до 453 К та підвищення концентрації ініціатора з 0,5 до 3,0 % мас. сприяє зростанню густини олігомеризату. Разом з тим, бромне число олігомеризату зменшується, що вказує на витрату подвійних  $>\text{C}=\text{C}<$  зв'язків реакційної маси, показники пов'язує склад фракції, а саме вмісту ненасичених реакційноздатних вуглеводнів.

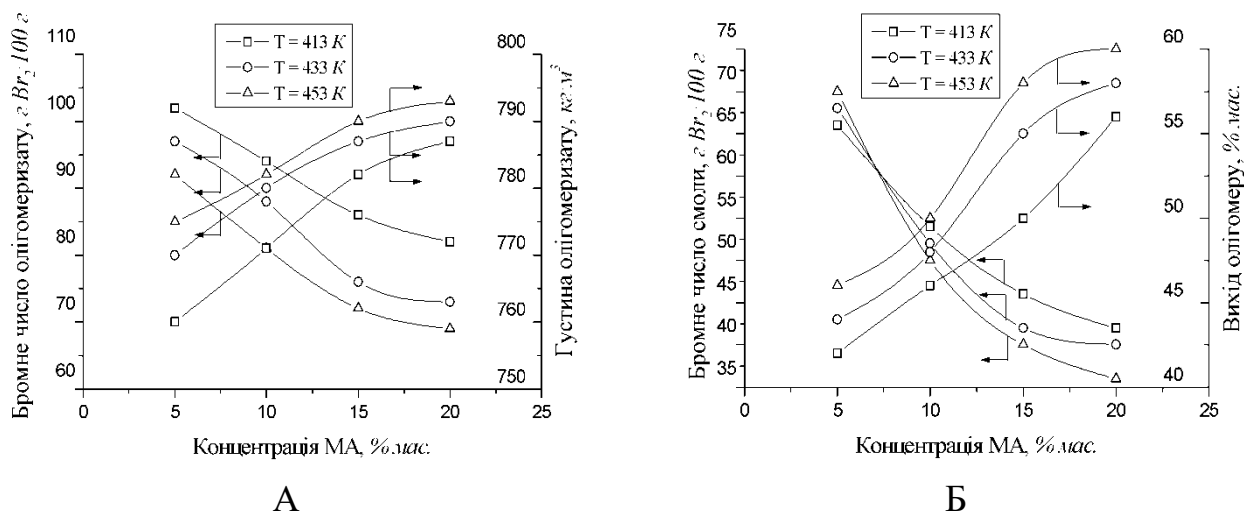


Рис. 1. Залежність густини та бромного числа олігомеризату (А) і виходу та молекулярної маси ІКС (Б) від концентрації ДТБП

Концентрація ініціатора та температура процесу мають чималий вплив на ненасиченість синтезованого олігомеру, його вихід та молекулярну масу. Як бачимо з кривих, представлених на рисунку, із збільшенням температури реакції та концентрації ініціатора вихід ІКС зростає і простежується характерне для радикальної олігомеризації зменшення молекулярної маси смоли (Б). Аналізуючи одержані результати, можна констатувати, що збільшення температури реакції вище 473 К є недоцільним, оскільки приріст виходу ІКС незначний, а фізико-хімічні показники погіршуються, особливо колір. Так, при тривалості олігомеризації 6 годин, колір смоли із збільшенням температури вище 473 К перевищує  $100 \text{ мг } J_2/100 \text{ см}^3$ , що є небажаним явищем, оскільки, згідно діючих стандартів, у випадку використання синтетичних смол як замінників олій у лакофарбовій промисловості їх колір не повинен перевищувати  $100 \text{ мг } J_2/100 \text{ см}^3$ . Збільшення концентрації ініціатора з 2 до 3 % мас. призводить до незначного приросту виходу ІКС (від 0,5 до 1,7 % мас.), тоді як збільшення концентрації від 1 до 2 % мас. супроводжується збільшенням виходу ІКС на 3–7 % мас., що свідчить про недоцільність підвищувати вміст концентрації ініціатора вище 2 % мас.

Збільшення тривалості реакції олігомеризації при температурі 473 К від 2 до 8 год. сприяє зростанню виходу ІКС (від 24 до 36 % мас.) та зменшенню бромного числа олігомеризату, аналогічно як у випадку збільшення температури. Одержані дані вказують на недоцільність збільшення тривалості процесу вище 6 годин, оскільки приріст виходу ІКС при підвищенні тривалості з 6 до 8 годин складає всього 1,5...3 % мас. (від 33 до 39 % мас.), а колір при цьому значно погіршується.

На основі проведених досліджень вибрано оптимальні параметри процесу олігомеризації: концентрація ініціатора – 2 % мас., температура – 473 К, тривалість – 6 год. В даних умовах одержується ІКС з виходом 29,5 % мас., та наступними фізико-хімічними характеристиками: бромне число 16,1 г  $Br_2/100$  г, колір  $100 \text{ мг } J_2/100 \text{ см}^3$ , температура розм'якшення 353 К. За результатами



хроматографічного аналізу вихідної сировини та атмосферного і вакуумного дистилятів визначено конверсії основних смолоутворювальних компонентів.

Основні ненасичені вуглеводні інден-кумаронової фракції (табл. 1), що приймають активну участь у процесі за конверсією у реакції коолігомеризації можна розмістити в наступному порядку:

стирол >  $\alpha$ -метилстирол > інден > метил-інден > кумарон.

Таблиця 1. Конверсія основних компонентів інден-кумаронової фракції

№	Найменування вуглеводнів	Конверсія, %
1	Стирол	90
2	$\alpha$ -метилстирол	63
3	Інден	59
4	Метил-інден	48

Кумарон через особливості структурної будови в даних умовах практично не олігомеризується. У результаті проведених досліджень встановлено, що синтезовані малеїнізовані олігомери характеризуються задовільними фізико-хімічними характеристиками та можуть застосовуватись у композиційних матеріалах, що мають виражені антикорозійні захисні властивості.

#### Література:

1. Mildenberg, R.; Zander, M.; Collin, G. Hydrocarbon Resins; VCH: Weinheim, New-York, Basel, Cambridge, Tokyo, 1997. <https://doi.org/10.1002/9783527614653>

2. Pyshyev S.; Grytsenko Yu.; Bilushchak H.; Pyshyeva R.; Danyliv N. Production of Indene-coumarone Resins as Bitumen Modifiers. *Pet. Coal.* 2015, 57, 303–314.

3. Pyshyev S.; Prysiaznyi Yu.; Sidun, Iu.; Shved, M.; Borbeyiyong, G.I.; Korsh, D. Obtaining of Resins Based on Model Mixtures with Indene, Coumarone and Styrene and their Usage as Bitumen Modifiers. *Pet. Coal.* 2020, 62, 341–346.

4. Prysiaznyi1 Yu., Borbeyiyong1 G.I., Pyshyev1 S. Preparation and Application of Coumarone-Indene-Carbazole Resin as a Modifier of Road Petroleum Bitumen. 1. Influence of Carbazole:Raw Materials Ratio *Chemistry & Chemical Technology*. Vol.16, № 2, 2022. 284–294. <https://doi.org/10.23939/chcht16.02.284>

**ОДЕРЖАННЯ ПОЛІМЕР-МІНЕРАЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ  
ПОЛІСТИРЕНУ ТА ДИСПЕРСНОГО ОКСИДУ ВАНАДІЮ**

**Дутка В.С.<sup>1</sup>, Мідяна Г.Г.<sup>2</sup>, Дутка Ю.В.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка*

*вул. Університетська, 1, 79601, м. Львів*

*<sup>2</sup>Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії*

*і вуглехімії імені Л.М. Литвиненка Національної академії наук України*

*вул. Наукова, 3а, 79060, м. Львів*

*vdutka@ukr.net*

Вивчення процесу полімеризації стирену за наявності оксиду ванадію ( $V_2O_5$ ) не проводили і літературі відсутні будь-які дані про особливості цього процесу. Нами вивчалась полімеризація стирену за наявності традиційного ініціатора пероксиду бензоїлу (ПБ). З ростом вмісту  $V_2O_5$  швидкість полімеризації стирену, ініційованої ПБ суттєво зростає. При цьому залежність швидкості полімеризації стирену від вмісту  $V_2O_5$  – лінійна. Слід відзначити, що навіть без ініціатора  $V_2O_5$  може викликати полімеризацію стирену. В ході полімеризації колір наповнювача  $V_2O_5$  змінюється з оранжево-червоного на темно-синій. Вказаний факт може вказувати на окиснювально-відновний характер реакції ініціювання полімеризаційного процесу. При відсутності ініціатора, збільшення вмісту мінерального наповнювача з 3,0 до 10,2 % мас. приводить до збільшення швидкості приблизно в 2 рази. Подальше збільшення кількості  $V_2O_5$  в полімеризаційній системі не змінює швидкості процесу. Вказані факти свідчать про вплив  $V_2O_5$  як на швидкість розкладу пероксидного ініціатора, так і на параметри полімеризації.

Для знаходження впливу наповнювача на швидкість полімеризації стирену нами проведені досліді при різному вмісті  $V_2O_5$  при різних температурах. Результати цих дослідів наведені в табл. 1. За температурною залежністю швидкостей полімеризації стирену в наповнених системах було розраховано сумарну енергію активації процесу полімеризації ( $E_n$ ). Як і слід було чекати,

числові значення  $E_p$  з ростом вмісту  $V_2O_5$  в полімеризаційній системі суттєво зменшуються, що є додатковим аргументом на користь окиснювально-відновного характеру реакції полімеризації. У випадку ініціювання полімеризації стирену ПБ зміна вмісту  $V_2O_5$  від 3,0 до 21,2 % мас. приводить до зменшення  $E_p$  з 64 до 38 кДж/моль. При відсутності пероксидного ініціатора збільшення вмісту наповнювача з 2,0 до 10,2 % мас. в полімеризаційній системі приводить до суттєвого зменшення чисельного значення  $E_p$  з 82 до 17 кДж/моль (табл. 1). Враховуючи високу окислювальну здатність  $V_2O_5$  можна передбачити, що наповнювач може реагувати як з мономером так і з ПБ і в ході цієї реакції можуть продукуватися високореакційні проміжні частинки здатні ініціювати полімеризацію стирену.

Таблиця 1. Швидкість полімеризації стирулу

при різному вмісті оксиду ванадію в полімеризаційній системі

Ініціатор	Вміст $V_2O_5$ , мас. %	Температура							$E_p$ , кДж/моль
		323 К	328 К	333 К	338 К	343 К	348 К	353 К	
ПБ	0	–	–	0,69	1,14	1,74	2,67	4,24	86
ПБ	3,0	1,05	1,75	2,79	3,35	4,51	6,32	–	64
ПБ	10,2	5,00	7,13	8,44	10,6	13,7	16,6	–	44
ПБ	21,2	11,0	13,7	17,0	21,3	23,5	32,0	–	38
Без ін-ра	2,0	–	–	0,40	0,63	0,96	1,52	2,10	82
Без ін-ра	3,0	–	1,36	2,00	2,88	4,49	6,45	9,10	74
Без ін-ра	7,0	–	6,14	7,10	7,54	8,92	9,53	10,7	21
Без ін-ра	10,2	–	7,10	7,77	8,55	9,50	10,1	–	17

При невисоких концентраціях ПБ в межах 0,01 – 0,03 моль/л ініціатор практично не впливає на швидкість процесу полімеризації стирену. Збільшення концентрації ПБ до 0,05 приводить до значного зростання швидкості процесу. Судячи з отриманих даних можна зробити висновок, що при невисоких концентраціях ПБ більша частина ініціатора адсорбується на поверхні  $V_2O_5$  розкладається викликаючи полімеризацію стирену. Оскільки площа поверхні

мінерального наповнювача в полімеризаційних дослідах не змінюється, тому і швидкість полімеризації стирену практично постійна при малих концентраціях ПБ. Збільшення концентрації ініціатора з 0,03 до 0,05 моль/л не змінює швидкості полімеризації стирену за рахунок взаємодії ПБ з поверхнею  $V_2O_5$ , але в розчині появляються молекули ПБ, які і приводять до зростання сумарної швидкості процесу. Враховуючи отримані результати можна зробити висновок, що поверхня  $V_2O_5$  буде взаємодіяти з пероксидним ініціатором за окисно-відновним механізмом, в ході чого будуть утворюватись активні частинки, здатні ініціювати полімеризацію стирену. Вивчення впливу  $V_2O_5$  на швидкість термічного розкладу ПБ підтверджують цей висновок (табл. 2).

Таблиця 2. Константи швидкості термолізу пероксиду бензоїлу в полімеризаційних середовищах. Концентрація ПБ 0,03 моль/л

Вміст $V_2O_5$ , мас. %	$k \cdot 10^5 \text{ c}^{-1}; \Delta k = \pm 0.02k$					$E_{ак}$ , кДж/моль
	328 К	333 К	338 К	343 К	348 К	
3,0	0,96	1,55	2,37	3,40	5,38	80
6,0	–	2,86	4,11	5,46	8,07	70
10,2	3,2	3,20	6,18	8,29	12,2	60

Збільшення вмісту  $V_2O_5$  в досліджуваних системах приводить до зростання швидкості розкладу ПБ, в залежності від умов проведення процесу в 6–8 разів. При цьому сумарна енергія активації процесу розкладу ПБ ( $E_{ак}$ ) зменшується з 80 кДж/моль при вмісті  $V_2O_5$  3,0 % мас. до 62 кДж/моль при внесенні в систему 10,2% наповнювача. Вказаний факт підтверджує наш висновок про окисно-відновний характер взаємодії поверхні  $V_2O_5$  з ПБ.

Вивчено молекулярні маси полістирену, отриманого за наявності дисперсної мінеральної фази.

Проведення полімеризації до ~100 % ступеня перетворення дозволяє отримувати композити полістирену, у яких часточки мінерального наповнювача рівномірно розміщені у полімерній матриці.

**БІООКИСНЕННЯ СПИРТІВ ЛІОФІЛІЗАТАМИ  
БАЗИДІОМІЦЕТОВИХ ГРИБІВ****Шах В.Я, Жук Т.С***Національний технічний університет України**"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського",**проспект Берестейський, 37, корпус 4, 03056, м. Київ**shakh.vladislav@lil.kpi.ua*

Альдегіди – важливий клас сполук, який використовується в органічному синтезі через реакційну здатність карбонільної групи. Також, альдегіди можуть бути використані у харчовій та парфумерній промисловостях. Альдегіди одержують окисненням відповідних первинних спиртів, але цей процес часто вимагає використання дорогих, токсичних або навіть шкідливих реагентів, тому, для отримання альдегідів розробляють нові методи синтезу. [1]

Одним із методів отримання є біокаталітичний метод отримання ароматичних альдегідів за допомогою ліофілілатів базидіоміцетових грибів *Bjerkandera adusta*. Ферментом перетворення спиртів до альдегідів виступає арил-спирт оксидаза (рис. 1).



Рис. 1. Загальна схема окиснення

Для визначення оптимального середовища було використано окиснення бензилового спирту до бензальдегіду при різних умовах середовища, з чого було виведено оптимальні значення для проведення окиснення. Біокаталіз проводиться при 24 °С, для виключення гемінальних діолів рН середовища

дорівнює 7. Реакція проводиться 12 годин при 1200 rpm. Отримані альдегіди ізолюють бісульфітним методом [2].

В нашій роботі розглядається дія середовища при окисненні заміщених ароматичних спиртів (рис. 2).



Рис. 2. Окиснення спирту до альдегіду

На даний момент, було проведено окиснення ванілінового спирту (1) до ванілалю (2) при різних температурах (рис. 3). Аналіз виходу реакції проводився за допомогою GCMS та ЯМР спектроскопії, з чого ми отримали результати, що оптимальна температура реакції 20–24 °С, який аналогічний бензиловому спирту.

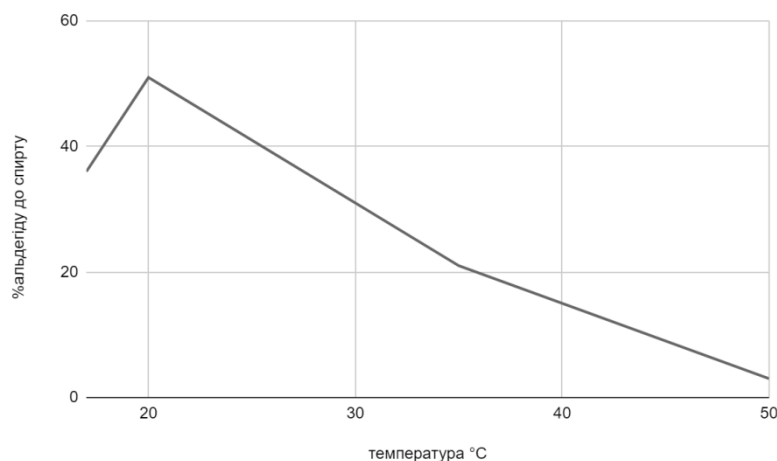


Рис. 3. Відношення композиції реакційної маси до температури

**Висновки.** В ході нашого дослідження був розглянутий зручний, та контрольований метод окиснення спиртів. Слід зазначити, що окиснення лімітується саме на альдегіді, що є дуже важливим в лабораторних методах отри-

мання. Також був покладений початок дослідження ефективності біокаталітичної реакції на заміщених первинних ароматичних спиртах.

Література:

1. Smith, Michael B.; March, Jerry (2007), *Advanced Organic Chemistry: Reactions, Mechanisms, and Structure* (6th ed.), New York: Wiley-Interscience, ISBN 978-0-471-72091-1

2. Valeriia V. Babkina, Wendell Albuquerque, Yana M. Haiduk, Weronika Michalak, Parviz Ghezellou, Holger Zorn, Tatyana S. Zhuk (2023). Fungal lyophilisates as catalysts for organic synthesis: Preparative oxidations with the white-rot fungus *Bjerkandera adusta*.

**УДК 547.856.1+547.789**

**СЕЛЕНОБРОМУВАННЯ ІНТЕРНАЛЬНИХ АЛКЕНІЛЬНИХ ТІОЕТЕРІВ  
3-ФЕНІЛ ЗАМІЩЕНИХ ХІНАЗОЛІН-4(3H)-ОНІВ**

**Кут Д.Ж., Кут М.М., Онисько М.Ю.**

*ДВНЗ “Ужгородський національний університет”*

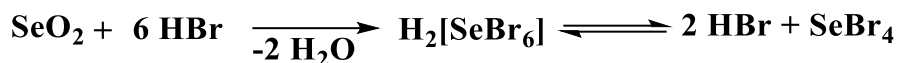
*вул. Фединця, 53/1, 88000, м. Ужгород*

*diana.kut@uzhnu.edu.ua*

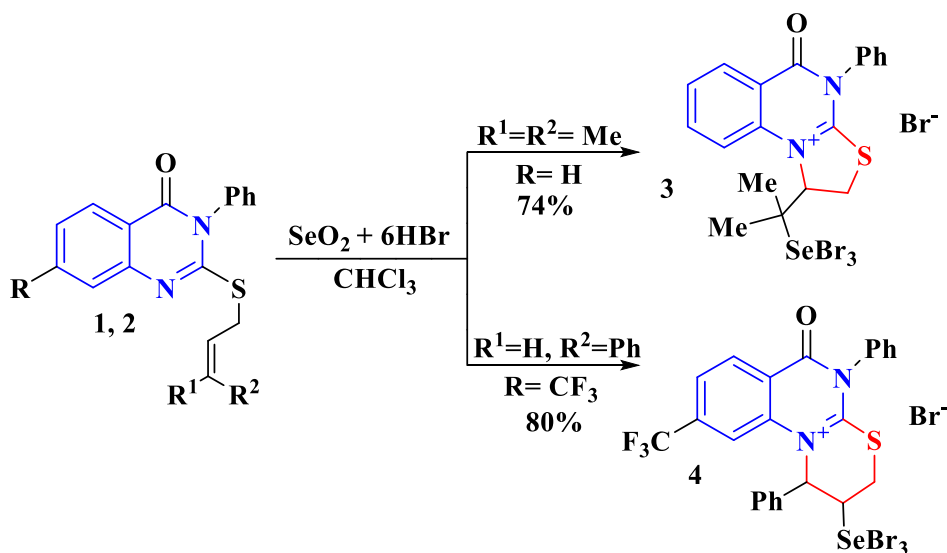
Хіназолін та його конденсовані аналоги проявляють широкий спектр біологічної активності. Зокрема, вони є інгібіторами ферментів, антагоністами рецепторів та входять до складу антибіотиків, а також їх використовують у синтезі фармацевтичних препаратів. Перспектива використання похідних хіназоліну робить їх предметом активних наукових досліджень і джерелом численних публікацій у науковій літературі. Тому синтез нових конденсованих похідних хіназоліну є актуальним завданням. На даний час одним із найбільш перспективних та потужних методів синтезу конденсованих хіназолінів є реакції електрофільної внутрішньомолекулярної гетероциклізації. Метою даної роботи є дослідити регіоселективність реакції електрофільної гетероциклізації тетрабромідом селену інтернальних тіоетерів хіназолін-4-ону.

В якості об'єктів дослідження вибрано інтернальні диметилалільний **1** та цинамільний **2** тіоетери хіназолін-4-ону. Тетрабромід селену одержували *in situ*

із діоксиду селену та бромоводневої кислоти, яка містить рівноважні кількості як безпосередньо вищезгаданого селеновмісного електрофіла, так і відповідної кислоти Люїса.



Встановлено, що при селенобромованні диметилалільного тіоетеру **1** виділено тіазолінохіназоліній бромід **3**, а цинамільного тіоетеру **2** – тіазинохіназоліній бромід **4**. Доведено що регіохімія процесу селеноіндукованої циклізації залежить від виду вуглеводневого змісника/ів біля термінального атома Карбону алільного фрагменту.



Спектральні дані ЯМР  $^1\text{H}$  та  $^{13}\text{C}$  бромідів **3** та **4** корелюють зі спектральними даними структурно подібних галогенідів, а також відомими в літературі відомостями по халькогеноіндукованій електрофільній циклізації інтернальних алільних похідних піразоло(тієно)піримідину та хіноліну.

Таким чином, вивчено регіоселективність процесу електрофільної внутрішньомолекулярної гетероциклізації термінально заміщених диметилалільного та цинамільного тіоетерів хіназолін-4-ону під дією тетраброміду селену і отримано потенційно біологічно активні броміди тіазо- та тіазинохіназоліну ангулярної будови. Показано, що природа замісника біля термінального атома Карбону аліла впливає на регіоселективність процесу селеноіндукованої циклізації.



## *Секція 4*

---

*Електроосадження металічних  
і полімерних покриттів.*

*Захист від корозійного  
руйнування.*

*Лакофарбові та захисні покриття*

---

**ІНГІБУВАННЯ КОРОЗІЇ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ ЗА ПОЄДНАННЯ  
ДЕКСТРИНУ З НАТРІЄМ ІЗОАСКОРБАТОМ В НЕЙТРАЛЬНОМУ  
ХЛОРИДОВМІСНОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

**Тимусь М.Б., Зінь І.М., Корній С.А.**

*Фізико-механічний інститут імені Г.В. Карпенка,*

*вул. Наукова, 5, 79060, м. Львів*

*marjana.tymus@gmail.com.ua*

**Вступ.** Маловуглецева сталь (Ст 20) широко використовується в різних сферах життя, зокрема в галузях промисловості – нафтохімічній, морській, автомобілебудуванні внаслідок гарних експлуатаційних характеристик, низької вартості тощо. Однак, вона легко вступає в контакт з корозійно активними середовищами, що робить її схильною до корозії та руйнування. Тому, важливим є застосування інгібіторів корозії. На тепер застосування екологічно безпечних інгібіторів є пріоритетом. До таких інгібіторів і належить органічний, біодеградабельний біополімер – декстрин кукурудзяний. Це полісахаридна сполука, яка є екологічно безпечною і має певний ефект інгібування корозії [1]. Переважно дослідження цього полісахариду є в кислих середовищах [1], тому цікавим та актуальним було встановити його поведінку у нейтральному середовищі.

**Методика досліджень матеріали.** Корозію маловуглецевої сталі Ст 20 досліджували в 0,1%-вому розчині натрій хлориду, в який, як інгібітори корозії, додавали природний полісахарид – декстрин кукурудзяний (ДК) та натрій ізоаскорбат (НІА), придбані в ПП “Система Оптимум”. У корозивний розчин додавали як окремі речовини так і їх композиції.

Характеристики корозійних процесів вивчали у потенціодинамічному режимі, застосовуючи потенціостат Gill AC. Електрод порівняння – хлорид-срібний типу ЭВЛ-1М1, робочий – дюралюмінієвий сплав Д16Т, допоміжний – платиновий. Швидкість розгортки потенціалу 2 мВ/с. Ефективність інгібування корозії сталі досліджували методом електрохімічної імпедансної спектроскопії

за потенціалу відкритого кола у діапазоні частот 10000...0,01 Гц на приладі Gill AC. Амплітуда прикладеного сигналу 10 мВ. Площа робочої поверхні зразків сплаву становила 1 см<sup>2</sup>. Зразки металу перед зануренням у середовище обробляли шліфувальним папером марки P320 та знежирювали ацетоном.

**Результати досліджень та їх обговорення.** За проведення електрохімічних випробувань (рис. 1а) видно, що даний полісахарид здатний значно сповільнювати корозію Ст 20 в хлоридовмісному середовищі за концентрації 1,5 г/л, оскільки має найвище значення параметру модуля імпедансу за частоти 0,1 Гц ( $Z_{0,1}$ ), що відповідає  $2,6 \cdot 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$  порівняно з неінгібованим та за малих концентрацій середовищ, що становить  $(4,7 \text{ та } 6,8) \cdot 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$  відповідно. За вмісту 2 г/л декстрину йде погіршення інгібувальних властивостей, оскільки за цієї концентрації йде підкислення середовища  $\text{pH} = 4,7$ . Як співсинергіст використовували натрію ізоаскорбат, оскільки інгібувальні властивості проявляє ізоаскорбінова кислота для сталі в цементному розчині, що містить хлориди [2]. Згідно досліджень (рис. 1б), вміст 1,5 г/л НІА теж критично оптимальний, оскільки за 2 г/л спостерігаємо погіршення інгібувальних властивостей. Так, значення параметру  $Z_{0,1}$  найвище саме за концентрації 1,5 г/л НІА в 0,1% NaCl та дорівнює  $3,1 \cdot 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$  порівняно зі значеннями в неінгібованому  $4,5 \cdot 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$  та інгібованому 0,5; 1; 2 г/л НІА, що становлять  $1,5 \text{ та } 2,3 \cdot 10^3 \text{ та } 9 \cdot 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ . Ймовірно, погіршення захисних властивостей НІА за концентрації 2 г/л пов'язане з кислотністю середовища, оскільки  $\text{pH} = 7$ , тобто розчин стає слаболужним, за менших концентрацій кислотність тримається в межах нейтрального. Істотне покращення захисних властивостей спостерігається за поєднання декстрину з натрій ізоаскорбатом (рис. 2). Так, за експозиції 24 год значення модуля імпедансу  $Z_{0,1}$  у синергічних композиціях за еквівалентних кількостей по 1,5 та 2 г/л ДК + НІА становить  $6,3 \text{ та } 4,7 \cdot 10^3$  відповідно, що перевищує значення за використання поодинокі ДК та НІА за оптимальної концентрації 1,5 г/л.

Ймовірно, це можна пояснити утворенням на поверхні металу стійкої адсорбційної плівки з покращеними бар'єрними властивостями.

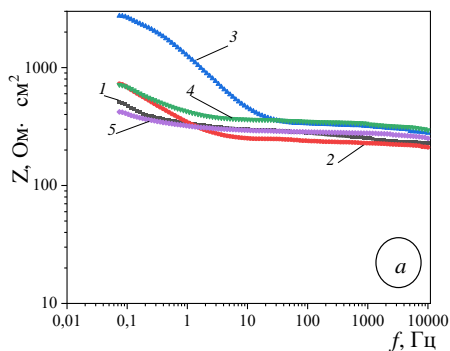
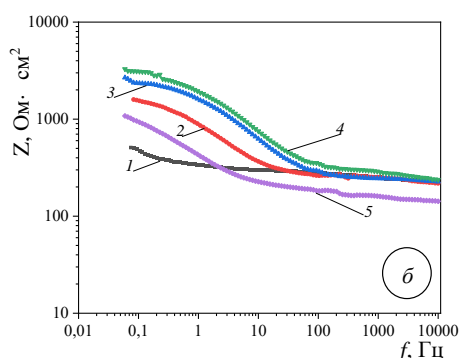


Рис. 1. Частотні імпедансні залежності маловуглецевої сталі після експозиції 24 год за додавання окремо ДК (а) та НІА (б) в 0,1 %-вому натрій хлориді:

ДК (а): 1 – 0,1 % NaCl; 2 – інгібований 0,5 г/л ДК; 3 – 1 г/л ДК; 4 – 1,5 г/л ДК; 5 – 2 г/л ДК.



НІА (б): 1 – 0,1 % NaCl; 2 – інгібований 0,5 г/л НІА; 3 – 1 г/л НІА; 4 – 1,5 г/л НІА; 5 – 2 г/л НІА

Згідно проведених обрахунків (табл. 1), за присутності синергічної композиції ДК + НІА різних концентрацій та експозиції 24 год опір переносу заряду ( $R_{ct}$ ) маловуглецевої сталі значно зріс порівняно зі значенням в неінгібованому середовищі. Концентрація синергічної композиції в еквівалентних кількостях по 1,5 г/л виявились найбільш ефективною, оскільки значення поляризаційного опору металу ( $R_{ct}$ ) становив  $1,1 \cdot 10^{-4}$  Ом · см<sup>2</sup>, що на два порядки більше за значення в неінгібованому розчині  $6,8 \cdot 10^{-2}$  Ом · см<sup>2</sup> (табл. 1). Відповідно, відбувається збільшення провідності  $Y_0$  елемента сталі

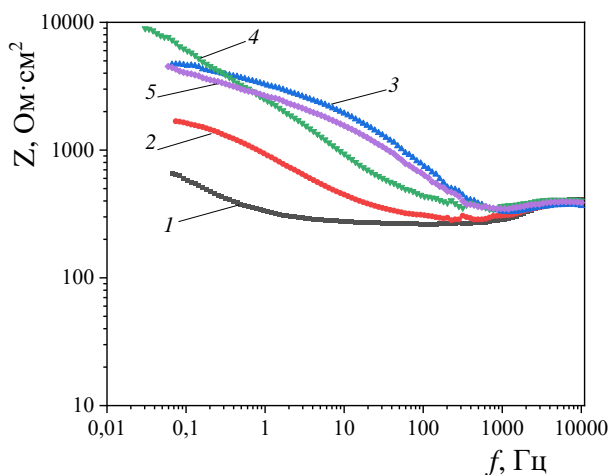


Рис. 2. Частотні імпедансні залежності Ст 20 після експозиції 24 год за присутності синергічної композиції ДК + НІА:

1 – неінгібований 0,1% NaCl;  
2 – 0,1 % NaCl + по 0,5 г/л ДК+НІА;  
3 – 0,1 % NaCl + по 1 г/л ДК+НІА;  
4 – 0,1 % NaCl + по 1,5 г/л ДК+НІА;  
5 – 0,1 % NaCl + по 2 г/л ДК+НІА

Таблиця 1. Характеристики еквівалентного електричного кола розраховані на основі імпедансних спектрів Ст 20 у 0,1%-вому натрій хлориді та інгібованих синергічними композиціями розчинах за експозиції 24 год

Номер кривої	$R_{ct}, \Omega \cdot \text{см}^2$	$Q_{dl}(Y_0), \text{s}^n / \Omega \cdot \text{см}^2$	$Q_{dl}(n)$	$R_f, \Omega \cdot \text{см}^2$	$\eta, \%$
24 год експозиції					
1	680	$3,1 \cdot 10^{-3}$	0,55	239	–
2	1700	$3,4 \cdot 10^{-4}$	0,61	300	54
3	4600	$3,6 \cdot 10^{-5}$	0,61	480	82
4	10690	$1,4 \cdot 10^{-5}$	0,55	360	92
5	4600	$6,2 \cdot 10^{-5}$	0,56	390	82

фази  $Q_{dl}$  відносно значення в неінгібованому розчині та дорівнює  $1,4 \cdot 10^{-5} \text{ s}^n / \Omega \cdot \text{см}^2$ , що говорить про утворення на поверхні захисної плівки. Зменшення провідності  $Y_0$  елемента сталі фази  $Q_{dl}$  в неінгібованому 0,1%-вому натрій хлориді відбувається внаслідок корозійних процесів з руйнуванням поверхні сталі. Інгібувальна ефективність ( $\eta$ ) досліджуваної композиції по 1,5 г/л ДК+НІА є найвищою і становить 92 %, відповідно із зростанням опору переносу заряду металу  $R_{ct}$  у 16 разів.

Адсорбційну поведінку молекул ДК визначає значна кількість органічних функціональних груп таких як гідроксил, які можуть утворювати координаційні зв'язки з поверхнею металу [1]. Поверхня сталі має *d*-незаповнені орбіталі, які і визначають адсорбційну поведінку. У результаті проходження певних електрохімічних реакцій поверхня Ст2 набуває певного негативного заряду й негативно заряджені йони в розчині з більшою ймовірністю утворюють захисну плівку на поверхні металу [1].

#### Література:

1. Liu M., Xia D., Singh A., Lin Y. Analysis of the anti-corrosion performance of dextrin and its graft copolymer on J55 steel in acid solution. Processes - 2021. № - 9. P. 2–16.-1642. <https://doi.org/10.3390/pr9091642>.
2. Argiz C., Arroyo C., Bravo A., Moragues A., Andrade C., Bolzoni F. L-ascorbic acid as an efficient green corrosion inhibitor of steel rebars in chloride contaminated cement mortar / Materials. 2022, № 15, P. 2–19. - 8005. <https://doi.org/10.3390/ma15228005>.

**ЗАХИСНІ ВЛАСТИВОСТІ АЛКІДНОГО ПОКРИТТЯ З КОМПОЗИТНИМ  
ПІГМЕНТОМ НА ОСНОВІ ФОСФАТУ ТА ВОЛАСТОНІТУ  
НА АЛЮМІНІЄВОМУ СПЛАВІ**

**Хлопик О.П., Зінь І.М., Корній С.А., Дацко Б.М., Білий Л.М.**

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

*вул. Наукова, 5, 79060, м. Львів*

*oliakhlopuk@gmail.com*

**Вступ.** Лакофарбові покриття в середовищі атмосферних опадів поступово втрачають свої захисні властивості внаслідок проникнення молекул води та кисню до металу і розвитку підплівкової корозії. Для забезпечення тривалого терміну служби у лакофарбові ґрунтовки додають інгібувальні пігменти для гальмування реакцій електрохімічної корозії металу в місцях наскрізних дефектів покриття. Хроматні пігменти є ефективними інгібіторами корозії і успішно впроваджені в протикорозійні ґрунтовки, однак вони надто токсичні і потребують заміни [1]. На сьогодні найбільш поширеними заміниками хроматів є цинк фосфатні інгібувальні пігменти, які додають до лакофарбових покриттів на металах і, в тому числі на алюмінієвих сплавах. Однак вони мають недостатні захисні властивості в атмосферному середовищі, що в основному зумовлено їх малою розчинністю.

Раніше [2] здійснено механохімічну модифікацію воластоніту монофосфатом цинку. Екстракт цього пігменту проявив високу ефективність в інгібуванні корозії алюмінієвого сплаву у середовищі слабокислих атмосферних опадів [2]. Однак протикорозійна ефективність інгібувальних пігментів та механізм їх захисної дії можуть змінюватися за додавання до лакофарбової ґрунтовки.

Тому мета роботи – дослідити вплив композиційного інгібувального пігменту на основі природного силікату кальцію та монофосфату цинку на захисні властивості алкідного покриття на алюмінієвому сплаві.

**Методика випробовування.** Композиційний пігмент отримували механохімічною модифікацією воластоніту монофосфатом цинку у високоенерге-

тичному планетарному млині Retsch PM100 протягом 1 год за швидкості обертання циліндра 200 об/хв. Масове співвідношення у помольній суміші між однозаміщеним цинкфосфатом та воластонітом становило 1 до 3.

Морфологію поверхні композиційного пігмента вивчали на сканівному електронному мікроскопі Zeiss EVO-40XVP.

Композиційний пігмент вводили у лакофарбове покриття за концентрації 10 об. %. Для його розподілення в алкідному зв'язуючому, суміш диспергували на приладі УЗДН-А. Одержану інгібовану композицію наносили на пластини сплаву Д16Т (150 × 75 × 3 mm) як ґрунтовку за допомогою прямокутного аплікатора. Після висихання ґрунтовки до відлипу на зразки наносили другий шар неінгібованого алкідного лаку та витримували до повного тверднення впродовж 7 діб за 20 °С. Поверхню металу перед нанесенням покриття готували відповідно до ДСТУ ISO 12944-6:2019. Товщина алкідних покриттів становила  $110 \pm 5$  мкм.

Корозійно-електрохімічні властивості сплаву Д16Т з алкідними покриттями досліджували методом електрохімічної імпедансної спектроскопії з використанням потенціостата/гальваностата VersaSTAT 3, насиченого Ag/AgCl та платинового допоміжного електродів у діапазоні частот змінного струму від 10000 до 0,01 Гц з амплітудою сигналу  $\pm 10$  мВ. Випробовували у 0,1%-вому розчині натрій хлориду, який моделював слабокислі дощові опади у промисловій атмосфері. Водневий показник корозивного розчину доводили до 5 додаванням сульфатної кислоти. Вивчали покриття зі штучно наведеними наскрізними дефектами діаметром 1 мм.

**Результати досліджень.** Електронно-мікроскопічні дослідження виявили, що у вихідній суміші для приготування пігменту (рис. 1а) чітко проглядаються голкоподібні кристали природного силікату кальцію зі співвідношенням довжини до діаметру рівним 5–15 та більш округлі часточки порошку монофосфату цинку. Тоді як, продукт механохімічної взаємодії воластоніту та монофосфату цинку (рис. 2б) характеризується наявністю більш дисперсних частинок, які щільно прилягають одна до одної створюючи вигляд суцільної маси без видимих

границь поміж окремими зернами. Тут поряд із зменшенням розміру порошку також можливе збільшення реакційної здатності силікату.

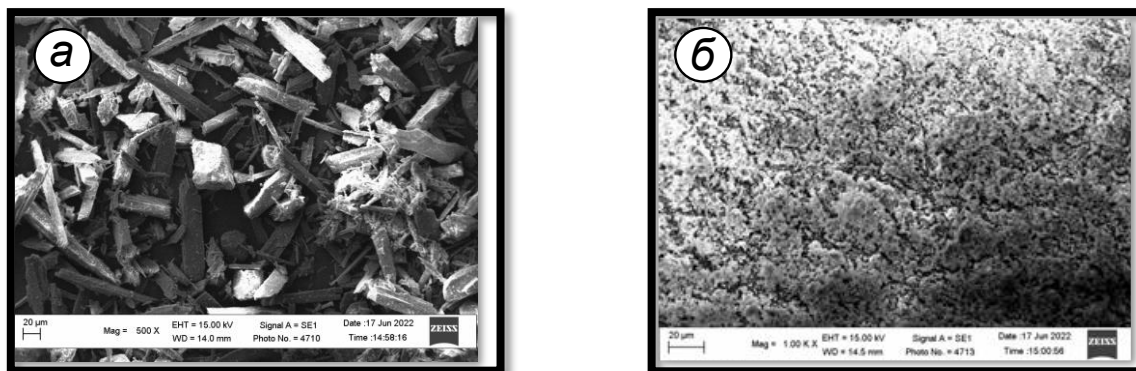


Рис. 1. Електронно-мікроскопічні зображення порошків: *a* – вихідна суміш воластоніт/монофосфат цинку за співвідношення компонентів рівним 3/1; *б* – композиційний пігмент, отриманий методом механохімічного модифікування за співвідношення воластоніт/монофосфат цинку рівним 3/1

Для виявлення антикорозійного ефекту композиційного пігменту досліджували імпеданс алкідних покриттів з наскрізними дефектами.

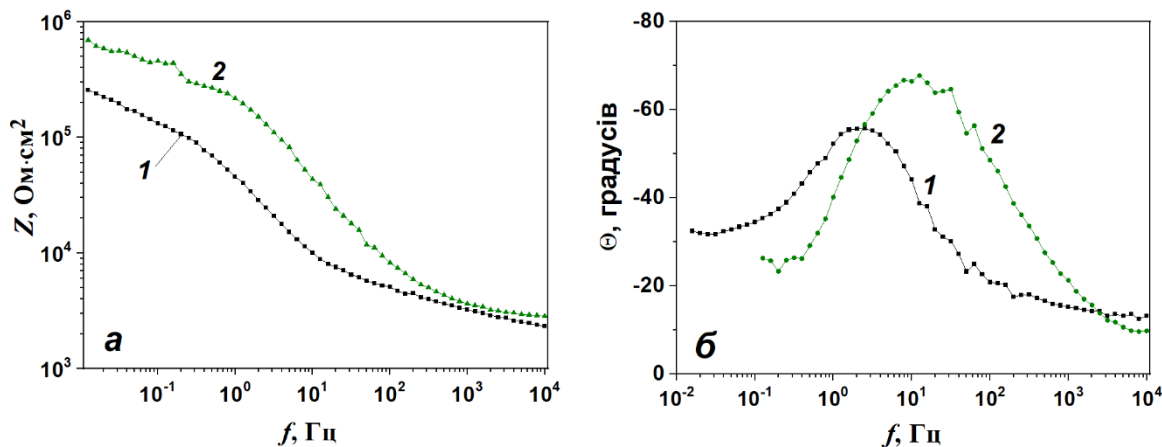


Рис. 2. Частотні залежності модуля імпедансу (*a*) та фазового кута (*б*) зразків алюмінієвого сплаву з алкідним покриттям неінгібованим (*1*) та з композиційним пігментом (*2*) після 24 годин експозиції у 0,1%-вому розчині натрій хлориду

Часові залежності модуля імпедансу зразків алюмінієвого сплаву з пошкодженими алкідними покриттями (рис. 2) після 24 годин експозиції у корозивному розчині свідчать про значно вищі захисні властивості інгібованого



покриття ( $Z_{0,01} = 6,89 \cdot 10^5 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ ). При цьому відбувається зміщення фазового кута в область вищих частот, а його значення наближається до  $70^\circ$ , що вказує на гальмування процесів корозії в районі дефекту та під плівкою покриття. Тоді як, зниження модуля імпедансу за частоти 0,01 Гц покриття без пігменту обумовлене зменшенням його адгезії до основи за рахунок збільшення кількості мікропор і шляхів проникнення електроліту в структурі покриття. Зниження величини фазового кута за середніх частот змінного струму до  $55^\circ$  підтверджує дане припущення.

Підвищену захисну ефективність композиційного пігменту на алюмінієвому сплаві можна пояснити утворенням в його складі аморфних фосфатних сполук з добутками розчинності більшими, ніж у малорозчинного ортофосфату цинку та синергічною взаємодією з аморфним кремнеземом. В результаті чого композиційний інгібувальний пігмент здатний утворювати в місцях наскрізних дефектів лакофарбового шару ефективну корозійностійку плівку, що складається із фосфатів кальцію, цинку та алюмінію.

**Висновки.** Встановлено, що композиційний пігмент “цинк монофосфат/воластоніт” суттєво підвищує захисні властивості алкідного ґрунту на алюмінієвому сплаві, при цьому опір переносу заряду металу зростає у 2,5 після 24 годин витримки в корозивному середовищі порівнянно з неінгібованим покриттям, що свідчить про суттєве зменшення підплівкової корозії металу.

*Подяка. Робота виконана за часткової фінансової підтримки фонду Ingeborg-Gross-Stiftung (Гамбург, Німеччина).*

#### Література:

1. Lyon S.B., Bingham R., Mills D.J. Advances in corrosion protection by organic coatings: What we know and what we would like to know. *Progress in Organic Coatings*. 2017. V.102. P. 2–7.
2. Хлопик О.П., Зінь І.М., Дацко Б.М., Білий Л.М., Дурягіна З.А., Корній С.А. Протикорозійні властивості композиційного інгібувального пігмента на основі природного силікату кальцію та монофосфату цинку. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2023.Т.59. № 2. С. 109–117.

УДК 544.65

**ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ОСАДЖЕННЯ ТА ЕЛЕКТРОХІМІЧНА  
МОДИФІКАЦІЯ ПОВЕРХНІ ДЛЯ СТВОРЕННЯ  
ЕЛЕКТРОКАТАЛІЗАТОРІВ АНОДНОГО ОКИСНЕННЯ КАРБАМІДУ**

**Проценко В.С., Бутиріна Т.Є., Махота Д.О., Сухацький Д.О., Кваша К.В.**

*ННІ “Український державний хіміко-технологічний університет”*

*Українського державного університету науки і технологій*

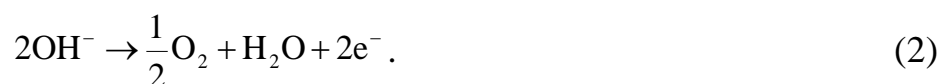
*вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпро*

*Vprotsenko7@ukr.net*

Розвиток новітніх високоефективних процесів і технологій для “зеленої” водневої енергетики є важливою задачею сучасної науки [1]. Для синтезу водню шляхом електролізу води використовують реакцію катодного виділення  $H_2$ , що для випадку лужного розчину може бути виражена наступним рівнянням:



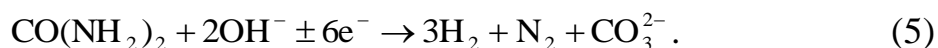
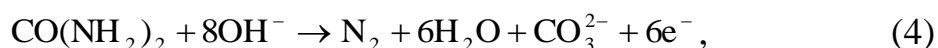
Сполучена анодна реакція виділення кисню є наступною:



Несприятлива термодинаміка сумарної реакції (3) (різниця рівноважних потенціалів анодної і катодної реакції становить 1,23 В за температури 298 К, що є достатньо значною величиною) є фактором, що погіршує техніко-економічні показники процесу електролізу води.



Перспективним варіантом розв’язання цієї проблеми є заміна анодного виділення кисню на іншу електрохімічну реакцію з більш сприятливою енергетикою. Зокрема, це може бути анодне окиснення карбаміду (реакція (4)) і тоді сумарна реакція в електролізері відображається рівнянням (5):



Втім, особливості термодинаміки і кінетики реакцій (4) і (5) досліджені ще не достатньо для розв'язання усіх проблем, що виникають при практичному впровадженні цього процесу.

Нами було показано [2], що електрохімічна реакція (5) супроводжується виділенням теплоти та зростанням ентропії і є термодинамічно самодовільною при  $\text{pH} > 12.66$ . З точки зору термодинаміки це вказує на сприятливі термодинамічні характеристики для реалізації високоефективної технології генерації “зеленого” водню. Втім, значна поляризація, що супроводжує напівреакцію (4), є причиною помітного гальмування процесу і приводить до суттєвого зростання напруги на електролізері [3]. Тому важливою задачею є розробка новітніх дешевих і доступних електрокаталізаторів з підвищеною активністю стосовно реакції анодного окиснення карбаміду.

Нами розглянута потенціальна можливість використання електрохімічних технологій електроосадження і поверхневої модифікації металевих поверхонь для створення високоефективних електрокаталізаторів із застосуванням електролітів на основі нового типу іонних рідин – низькотемпературних евтектичних розчинників (deep eutectic solvents, DESs) [4]. DESs є евтектичними сумішами декількох компонентів, в яких за рахунок інтенсивної міжчастинкової взаємодії відбувається електролітична дисоціація і, по суті справи, формується іонна рідина. Системи на основі DES мають значні технологічні, економічні та технологічні переваги у порівнянні зі “звичайними” електролітами на основі водних розчинів або органічних розчинників.

Нами встановлено, що електроосадження покриттів з електроліту на основі DES дозволяє отримати плівковий електрокаталізатор на основі нікелю з вельми високими значеннями густини струму анодного окиснення карбаміду у водному лужному середовищі ( $0,33 \text{ M CO(NH}_2)_2 + 1 \text{ M NaOH}$ ) у порівнянні з нікелевим осадом, осадженим із водного розчину. Гнучкий тюнінг хімічного складу осаджуваних покриттів, що дозволяє підвищити вміст сполук кисню (переважно оксидно-гідроксидні сполуки) в отриманому осаді, шляхом

додавання до DES певної кількості води, дає можливість додатково підвищити електрокаталітичну активність.

Також нами показано, що анодне потенціостатичне оброблення поверхні осаджених нікелевих електрокаталізаторів, а також металургійного сплаву мідь-нікель в типових представниках DES (евтектичні суміші холін хлориду з карбамідом або етиленгліколем) дозволяє підвищити електрокаталітичну активність поверхні у реакції електрохімічного окиснення карбаміду за рахунок підвищення площі поверхні, доступної для електрохімічної реакції та зростання поверхневої концентрації активних каталітичних центрів.

Важливо, що запропоновані електрокаталізатори є біфункціональними, оскільки можуть бути використані не лише в анодній реакції окиснення карбаміду, але і в сполученій катодній реакції виділення водню.

Отримані результати свідчать про перспективність використання систем на основі DES для створення новітніх високоефективних електрокаталізаторів для анодного окиснення карбаміду в системах генерації “зеленого” водню.

#### Література:

1. Osman A.I., Mehta N., Elgarahy A.M., Hefny M., Al-Hinai A., Al-Muhtaseb A.H., Rooney D.W. (2022). Hydrogen production, storage, utilisation and environmental impacts: a review. *Environ. Chem. Lett.*, 20, 153–188. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01322-8>
2. Protsenko V.S., Bobrova L.S., Butyrina T.E., Sukhatskyi O.D. (2024). Thermodynamics of electrochemical urea oxidation reaction coupled with cathodic hydrogen evolution reaction in an alkaline solution: Effect of carbonate formation. *Int. J. Hydrogen Energy*, 59, 354–358. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.02.006>
3. Anuratha K.S., Rinawati M., Wu T.-H., Yeh M.-H., Lin J.-Y. (2022). Recent development of nickel-based electrocatalysts for urea electrolysis in alkaline solution. *Nanomaterials*, 12, 2970. <https://doi.org/10.3390/nano12172970>
4. Smith E.L., Abbott A.P., Ryder K.S. (2014). Deep eutectic solvents (DESs) and their applications. *Chem. Rev.*, 114, 11060–11082.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ УТИЛІЗАЦІЇ КОНЦЕНТРОВАНИХ  
ФЕРУМОВМІСНИХ ГАЛЬВАНОСТОКІВ**

**Яцков М.В., Буденкова Н.М., Корчик Н.М., Мисіна О.І., Романенко О.П.**

*Національний університет водного господарства та природокористування,*

*вул. Соборна 11, 33028, м. Рівне*

*[o.i.mysina@nuwm.edu.ua](mailto:o.i.mysina@nuwm.edu.ua)*

Шлами, що утворюються при очищенні стічних вод гальванічних виробництв, можна віднести до категорії висококонцентрованих металовмісних відходів. В існуючих системах очищення стічних вод гальванічного виробництва, що включають стадії хімічного осадження, розділення та зневоднення осаду, які поступають від основних технологічних операцій та промивання, дослідження технологічних параметрів щодо осадів пов'язано в основному з фізичними процесами відстоювання та зневоднення [1]. При цьому на практиці гальванічні та інші висококонцентровані металовмісні шлами за масштабами нагромадження в деяких районах України можна прирівняти до природних копалин. Часто вміст важких кольорових металів в даних відходах більший ніж в рудах, які використовуються для їх виробництва. Також слід враховувати, що при їх знаходженні на полігонах деякі сполуки важких металів під дією зовнішніх фізико-хімічних факторів переходять у розчинні форми і проникають у ґрунти та дренажні води, забруднюючи навколишнє середовище [2]. На даний час в Україні такі висококонцентровані металовмісні відходи у формі осадів підлягають захороненню на території підприємства чи на спеціальних полігонах після їх підготовчої обробки для транспортування, що включає:

- ущільнення (гравітаційне);
- кондиціонування;
- зневоднення (фільтруванням);
- сушіння (в окремих випадках).

Тому система попередньої підготовки до транспортування осадів значно здорожує процес утилізації.

Метою досліджень роботи є обґрунтування оптимальних параметрів процесів очищення концентрованих стічних вод ділянки травлення в комбінованих системах.

За результатами аналізу літературних даних в даній роботі визначено, що основна концепція удосконалення технологічної схеми очищення концентрованих стічних вод ділянки травлення (рис.) співпадає з основною концепцією хімічного виробництва, а саме:

- мінімізація хімічних реагентів технологічного процесу,
- повернення очищеної води у виробництво (після глибокого доочищення);
- знешкодження відходів.



Рис. Технологічна схема очищення стічних вод

Відпрацьовані технологічні розчини (ВТР) від операцій травлення рекомендовано направляти на локальні цикли регенерації у кількості 50 % від загального об'єму. Регенерація ВТР здійснюється способом оброблення лужним реагентом та гідроген пероксидом в кислотно-окисному середовищі з метою осадження йонів феруму у формі гідроксосполук [3]. Схематично цей процес можна представити наступним чином:

- окиснення йонів феруму(II) до йонів феруму(III), що досягається при застосуванні гідроген пероксиду;

- утворення нерозчинних гідроксосполук  $Fe^{3+}$  при додаванні лужного реагенту до  $pH = 4$  [4].

За умов рівноважного процесу в композиційних системах (діаграма Пурбе) можна стверджувати, що для інтервалу значень Eh від -0,414 до -0,1 В, відповідають наступні рівноважні перетворення  $Fe^{2+} \leftrightarrow Fe(OH)_2 \leftrightarrow H_2O$ , а в точках значень Eh від -0,1 В та більше такі:  $Fe^{2+} \leftrightarrow Fe(OH)_2 \leftrightarrow Fe(OH)_3 \leftrightarrow H_2O$ .

Топохімічні реакції, які протікають при очищенні ферумовмісних стічних вод від операцій травлення, включають стадії утворення колоїдно-дисперсних частинок гідроксокомплексів феруму та їх кристалів і мають певні кінетичні особливості. Відомо, що на характер протікання окремих стадій впливає природа та концентрація компонентів.

В даній роботі досліджували технологічні розчини хлоридного та сульфатного типів з загальною концентрацією феруму 0,6 моль/л. При цьому концентрація  $Fe^{3+}$  для сульфатного типу становить не більше 8%, а для хлоридного – від 50% та більше.

За результатами проведених досліджень [3] представлені наступні параметри для ефективного очищення концентрованих ферумовмісних стічних вод ділянки травлення:

- параметри стану (елементів технологічної схеми), а саме значення, що відповідають сильноокислому окисному середовищу, наступні:  $pH$  3–4, Eh +0,3 – +0,33 В і  $t_{H_2}$  16,3 – 19,38. За даних умов забезпечуються оптимальні умови

окиснення (коагуляція) органічних сполук та їх співосадження з нерозчинними гідроксисполуками феруму;

- технологічні параметри: значення ступеня вилучення феруму складає  $\psi = 0,8$  та витрата реагенту (від стехіометричної норми) складає  $B=0,8$ . При цьому, максимальний ступінь вилучення органічних домішок за значенням ХСК складає 86%.

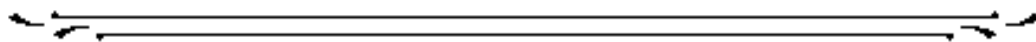
Комбінація запропонованих елементів технологічної схеми для організації локального циклу дозволяє здійснити економію лужного реагенту на 80%, включаючи застосування кислого товарного реагенту. Відтак, на 1 м<sup>3</sup> ВТР (травлення та знежирення) після їх змішування витрачається 1,2 кг/м<sup>3</sup> товарного реагенту натрій гідроксиду, а без взаємного змішування стічних вод від різних операцій (знешкодження) ця витрата складає 6 кг/м<sup>3</sup>. Таким чином, економія складає близько 17000 умовних одиниць (за мінімальною ціною). При цьому ефект очищення збільшується від 80 до 99 % [3, 4]. В результаті досліджень встановлені технологічні параметри регенерації (рН 4,0–4,6; rH<sub>2</sub> 23,34–32,25), що дозволяють отримати осад рекомендованого складу для утилізації.

#### Література:

1. Нестер А. А., Корчик Н. М., Баран Б. А. Стічні води підприємств та їх очищення : монографія. Хмельницьк : ХНУ, 2008. 171 с.
2. Филипчук В. Л., Древецький В. В., Филипчук Л. В., Клепач М. І. Автоматизоване керування природо-охоронними системами очищення металовмісних стічних вод. Монографія, Рівне : Овід, 2017. 288 с.
3. Yatskov M., Korchyk N., Budenkova N., Mysina O. Development of a resource-saving technology for the treatment of ferrum-containing wastewater from etching operations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol.6, № 10(120). P. 16–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.267949>
4. Спосіб очищення стічних вод гальванічного виробництва: пат. 76053 Україна: МКП С02F 9/04. № u201206086 ; заявл. 21.05.2012; опубл. 25.12.2012, Бюл. № 24. 4 с. Доступно за адресою: <https://uapatents.com/6-76053-sposib-ochishhennyia-stichnikh-vod-galvanichnogo-virobniictva.html>



## АВТОРСЬКИЙ ПОКАЖЧИК



### А

Аксеновська О.А.	70	Бутиріна Т.Є.	194
Андрусевич Я.В.	106	Бухкало С.І.	121
Антоненко О.І.	13		

### Б

Бабкіна Н.В.	13	Вакар Л.І.	118
Базель Я.Р.	110	Варениченко С.А.	168
Баштаник П.І.	48, 52, 78	Василенко Н.М.	106
Безродна Т.В.	13	Вахітов Р.А.	80
Безродний В.І.	13	Ващенко І. Ю.	95
Бережний Д.	43	Величко О.В.	161
Білий Л.М.	190	Вишнікін А.Б.,	110
Білявська Л.О.	74	Вовчук Б.В.	40
Бобошко Р.В.	132	Воронцова Л.О.	13
Бойко Ю.В.	20	Вортман М.Я.	74

### Г

Броварець В.С.	106	Гайдук Я.М.	159
Буденкова Н.М.	197	Голіченко О.А.	161
Будішевська О.Г.	92	Гончаров Д.	17
Бураков М.І.	139	Городянко В.С.	126
Буркевич Б.В.	43	Горохова А.Р.	59
Бутенко Е.О.	112	Гуменна М.А.	146

<b>Д</b>		<b>Калачук В.В.</b>	92
<b>Давтян А.С.</b>	163	<b>Калина В.С.</b>	115
<b>Дацко Б.М.</b>	190	<b>Калюжний О.Б.</b>	55
<b>Дейнека К.Ю.</b>	81	<b>Камалов Г.Л.</b>	163
<b>Денисенко В.Д.</b>	31	<b>Карпичев Є.А.</b>	139
<b>Деркач О.Д.</b>	52	<b>Кашнер О.Ю.</b>	150
<b>Джужа О.В.</b>	70	<b>Кваша К.В.</b>	194
<b>Доільніцин А. С.</b>	161	<b>Кічура Д.Б.</b>	174
<b>Дутка В.С.</b>	178	<b>Клименко А.В.</b>	50
<b>Дутка Ю.В.</b>	178	<b>Коваленко Л.Л.</b>	146
<b>Ж</b>		<b>Ковалишин Я.С.</b>	9
<b>Жук Т.С.</b>	159, 181	<b>Ковальчук В.М.</b>	121
<b>З</b>		<b>Козак Н.В.</b>	13
<b>Залізна К.В.</b>	168	<b>Копіч В.М.</b>	106
<b>Залізний М.В.</b>	168	<b>Коптева Г.Є</b>	74
<b>Зелінський А.В.</b>	85, 89	<b>Коптева Ж.П.</b>	74
<b>Земелько М.Л.</b>	121	<b>Корній С.А.</b>	28, 186, 190
<b>Зінь І.М.</b>	186, 190	<b>Корпач С.В.</b>	153
<b>К</b>		<b>Корчик Н.М.</b>	197
<b>Кабат О.С.</b>	50, 52	<b>Костюк О.М.</b>	166
<b>Калафат К.В.</b>	80	<b>Косянчук Л.Ф.</b>	13

<b>Кочубей В.В.</b>	92	<b>Махота Д.О.</b>	194
<b>Кошель М.Д.</b>	153	<b>Мисіна О.І.</b>	197
<b>Кошель С.А.</b>	153	<b>Мідяна Г.Г.</b>	178
<b>Кравченко В.В.</b>	146	<b>Мінтян М.Ю.</b>	43
<b>Крамарьов С.М.</b>	132	<b>Мітіна Н.Б.</b>	50
<b>Криволапов Д.С.</b>	48	<b>Моравський В.С.</b>	16
<b>Кудрявцев А.Ю.</b>	51	<b>Н</b>	
<b>Кулініч М.А.</b>	124	<b>Назаренко А.О.</b>	51
<b>Курташ Ю.Р.</b>	159	<b>Назаренко К.Г.</b>	166
<b>Кут Д.Ж.</b>	183	<b>Науменко О.П.</b>	124
<b>Кут М.М.</b>	183	<b>Нестерівська С.П.</b>	89
<b>Кучеренко А.М.</b>	16	<b>О</b>	
<b>Л</b>		<b>Онисько М.Ю.</b>	183
<b>Лакіза О.В.</b>	126	<b>Оскандо В.А.</b>	78
<b>Левченко О.О.</b>	163	<b>П</b>	
<b>Лемешко В.М.</b>	74	<b>Павленко А.А.</b>	46
<b>Лісняк С.О.</b>	31	<b>Палка С.О.</b>	85
<b>Ловчицька В.С.</b>	9	<b>Перевізник О.Б.</b>	9
<b>М</b>		<b>Петрушина Г.О.</b>	110
<b>Макаренко Д.О.</b>	52	<b>Пилипенко А.М.</b>	146
<b>Максимова Н.М.,</b>	110	<b>Півоваров О.А.</b>	46
<b>Матвійчук Г.І.</b>	89	<b>Пільо С.Г.</b>	106

<b>Платков В.Я.</b>	55	<b>Стрюцький О.В.</b>	146
<b>Поліщук Ю.В.</b>	153	<b>Субтельний Р.О.</b>	174
<b>Помірко О.Є.</b>	16	<b>Сукачов В.В.</b>	52
<b>Потапчук М.О.</b>	41	<b>Сухацький Д.О.</b>	194
<b>Проценко В.С.</b>	194	<b>Сухий К.М.</b>	48
<b>Пруднікова М.І.</b>	150	<b>Т</b>	
<b>Р</b>		<b>Тарасюк О.П.</b>	70
<b>Решетняк О.В.</b>	85, 89	<b>Терещук М.М.</b>	78
<b>Рижкова Г.А.</b>	95	<b>Тимусь М.Б.</b>	186
<b>Рогальський С.П.</b>	70	<b>Тищенко В.А.</b>	24
<b>Рожнова Р.А.</b>	31	<b>Ткаченко І.М.</b>	146
<b>Романенко О.П.</b>	197	<b>Токар А.В.</b>	24
<b>Романченко І.Ю.</b>	48	<b>Третяк С.Ю.</b>	161
<b>Рула І.В.</b>	17, 20	<b>Троєкурова В.О.</b>	115
<b>С</b>		<b>Ф</b>	
<b>Самойленко Т.Ф.</b>	146	<b>Філімончук С.Л.</b>	166
<b>Свердліковська О.С.</b>	40, 41, 43	<b>Фролов С.В.</b>	132
<b>Сема О.В.</b>	118	<b>Х</b>	
<b>Сидорко М.С.</b>	85	<b>Хлопик О.П.</b>	190
<b>Ситар В.І.</b>	50, 51	<b>Хорошилов Г.Є.</b>	150
<b>Сметанін М.В.</b>	168	<b>Ц</b>	
<b>Сободош Н.Й.</b>	28	<b>Циганкова В.А.</b>	106

<b>Ч</b>		<b>Berzins R.</b>	50
<b>Черваков О.В.</b>	43	<b>С</b>	
<b>Чередник Д.С.</b>	51	<b>Chechel T.</b>	62
<b>Чигвінцева О.П.</b>	17, 20, 24	<b>D</b>	
<b>Чурсінов Ю.О.</b>	115	<b>De Souza Bairros L.G.</b>	66
<b>Ш</b>		<b>Diorio A.</b>	66
<b>Шах В.Я.</b>	181	<b>Dobrydnev O.V.</b>	137
<b>Швиденко Т.І.</b>	166	<b>Dragan K.</b>	5
<b>Шевченко В.В.</b>	74, 146	<b>Dzyazko Yu.S.</b>	66
<b>Шибирин О.В.</b>	70	<b>G</b>	
<b>Шумейко О.Є.</b>	139	<b>Gispert M.</b>	102
<b>Я</b>		<b>Goncharova I.</b>	129
<b>Яцишин М.М.</b>	85, 89	<b>Goncharuk O.</b>	97
<b>Яцков М.В.</b>	197	<b>Grygorenko O.O.</b>	137
<b>А</b>		<b>Guichaoua D.</b>	129
<b>Abele A.</b>	50	<b>Gumenna M.A.</b>	35
<b>Aleksandrenko S.H.</b>	137	<b>Н</b>	
<b>Anishchenko A.A.</b>	142	<b>Holovko-</b>	170
<b>Antonenko O.</b>	5	<b>Kamoshenkova O.M.</b>	
<b>Arlanov V.</b>	62	<b>I</b>	
<b>В</b>		<b>Ivakha N.B.</b>	157
<b>Berezhnytska O.S.</b>	157	<b>К</b>	
<b>Bergamasco R.</b>	66	<b>Kernosenko L.</b>	97
		<b>Kharytonov M.</b>	102

<b>Kiselova T.O.</b>	37	<b>Rozhnova R.A.</b>	37
<b>Klimkina I.</b>	102	<b>Rula I.</b>	102
<b>Klots E.A.</b>	142	<b>S</b>	
<b>Korol N.I.</b>	170	<b>Sahraoui B.</b>	129
<b>Kosyanchuck L.</b>	5	<b>Samchenko Yu.</b>	97
<b>Kozak N.</b>	5	<b>Samchenko K.</b>	97
<b>Kozlova G.A.</b>	37	<b>Samoilenko T.F.</b>	35
<b>Kravchenko S.V.</b>	142	<b>Shantalii T.</b>	5
<b>M</b>		<b>Shevchenko V.V.</b>	35
<b>Magalhães-Ghiotto G.A.V.</b>	66	<b>Shishkina S.V.</b>	142
<b>Mariychuk R.T.</b>	170	<b>Shtamburg V.G.</b>	142
<b>Martynova N.</b>	102	<b>Shtamburg V.V.</b>	142
<b>Matzui L.</b>	5	<b>Slyvka M.V.</b>	170
<b>Mazepa A.V.</b>	142	<b>Sumiatina O.</b>	102
<b>Merijs Meri R.</b>	50	<b>Surzhko S.</b>	62
<b>Molina L.C.A.,</b>	66	<b>T</b>	
<b>O</b>		<b>Tkachenko I.M.</b>	35
<b>Onyshchenko S.</b>	62	<b>V</b>	
<b>P</b>		<b>Vislohuzova T.V.</b>	37
<b>Pasmurtceva N.</b>	97	<b>Vorotytskyi P.</b>	97
<b>Poltoratska T.</b>	97	<b>Vovchenko L.</b>	5
<b>R</b>		<b>Z</b>	
<b>Rouquier Ph.</b>	129	<b>Zicans J.</b>	50

## З М І С Т

### **Секція 1. Полімерне матеріалознавство.**

<b>Хімія та технологія композиційних і наноматеріалів . . . . .</b>	<b>4</b>
<b><i>Kozak N., Shantalii T., Matzui L., Kosyanchuck L., Vovchenko L., Dragan K., Antonenko O.</i></b>	
Polyimide and polyurethane based polymer nanocomposites with specific electromagnetic properties . . . . .	5
<b><i>Ловчицька В.С., Ковалишин Я.С., Перевізник О.Б.</i></b>	
Електрохімічне окиснення піролу в присутності карбонових нанотрубок . . . . .	9
<b><i>Косянчук Л.Ф., Бабкіна Н.В., Воронцова Л.О., Антоненко О.І., Козак Н.В., Безродний В.І., Безродна Т.В.</i></b>	
Прозорий наповнений нано-SiO <sub>2</sub> поліуретан як матриця лазерного елементу, демпферний матеріал з ефективним захистом від УФ-випромінювання . . . . .	13
<b><i>Кучеренко А.М., Помірко О.Є., Моравський В.С.</i></b>	
Одержання легких епоксидних металонаповнених композитів . . . . .	16
<b><i>Чигвінцева О.П., Рула І.В., Гончаров Д.</i></b>	
Вуглепластик на основі цинк-вмісного вуглецевого волокна . . . . .	17
<b><i>Чигвінцева О.П., Рула І.В., Бойко Ю.В.</i></b>	
Вуглепластики на основі метало-вмісних волокон . . . . .	20
<b><i>Токар А.В., Тищенко В.А., Чигвінцева О.П.</i></b>	
Квантово-хімічні аспекти структурування полімерних систем арамідного типу, що містять гетарильні фрагменти . . . . .	24
<b><i>Корній С.А., Сободош Н.Й.</i></b>	
Інгібувальна дія органічної композиції натрій альгінату та цинк ацетату в 0,1%–вому розчині натрій хлориду на корозію алюмінієвого сплаву . . . . .	28

<b><i>Денисенко В.Д., Рожнова Р.А., Лісняк С.О.</i></b>	
Розробка поліуретансечовинних клейових композицій з декаметоксином медичного призначення . . . . .	31
<b><i>Tkachenko I.M., Gumenna M.A., Samoilenko T.F. Shevchenko V.V.</i></b>	
Novel branched poly(terphenyl piperidinium) polymer . . . . .	35
<b><i>Vislohuzova T.V., Rozhnova R.A., Kiselova T.O., Kozlova G.A.</i></b>	
Composite materials with dacarbazine based on polyurethaneurea with fragments of polyvinyl alcohol-polyethylene glycol copolymer in the structure . . . . .	37
<b><i>Свердліковська О.С., Вовчук Б.В.</i></b>	
Синтез, властивості та застосування димерних та полімерних іонних рідин . . . . .	40
<b><i>Свердліковська О.С., Потанчук М.О.</i></b>	
Розробка полімерних іонних рідин та іонних рідин іоненового типу . . . . .	41
<b><i>Свердліковська О.С., Черваков О.В., Буркевич Б.В., Мінтян М.Ю., Бережний Д.</i></b>	
Віскозиметричні властивості полімерних іонних рідин іоненового типу . . . . .	43
<b><i>Павленко А.А., Піоваров О.А.</i></b>	
Полівінілхлоридний пластикат, наповнений алюмосилікатними мікросферами . . . . .	46
<b><i>Криволапов Д.С., Романченко І.Ю., Баитаник П.І., Сухий К.М.</i></b>	
Вплив епоксидованої соєвої олії на властивості деревинно- полімерного композиту . . . . .	48
<b><i>Ситар В.І., Кабат О.С., Мітіна Н.Б., Клименко А.В., Zicans J., Merijs Meri R., Abele A., Berzins R.</i></b>	
Форполімери на основі відновлювальної сировини для отримання атмосферостійких герметиків . . . . .	50



<b><i>Назаренко А.О., Ситар В.І., Чередник Д.С., Кудрявцев А.Ю.</i></b>	
Прогнозування працездатності композитних полімерних матеріалів шляхом вивчення релаксації напружень при деформуванні . . . . .	51
<b><i>Деркач О.Д., Макаренко Д.О., Сукачов В.В., Кабат О.С., Баштанник П.І.</i></b>	
Розробка полімерно-композитних матеріалів конструкційного призначення. . . . .	52
<b><i>Калюжний О.Б., Платков В.Я.</i></b>	
Механізм формування пористої структури політетрафторетилену при використанні гідрокарбонату натрію в якості пороутворювача . . . . .	55
<b><i>Горохова А.Р.</i></b>	
Визначення основних характеристик композитної арматури для укріплення будівель. . . . .	59
<b><i>Arlanov V., Surzhko S., Onyshchenko S., Chechel T.</i></b>	
Strength assessment of layered elastic elements of a foot prosthesis . . . . .	62
<b><i>Molina L.C.A., De Souza Bairros L.G., Magalhães-Ghiotto G.A.V., Diorio A., Dzyazko Yu.S., Bergamasco R.</i></b>	
3d printed membranes based on polylactic acid for baromembrane separation . . . . .	66
<b><i>Рогальський С.П., Джуужа О.В., Тарасюк О.П., Аксеновська О.А., Шибирич О.В.</i></b>	
Дослідження пластифікаційного ефекту 1-додецил-3-бутилімідазолій тетрафторборату на поліамід 12 . . . . .	70
<b><i>Вортман М.Я., Коптєва Ж.П., Білявська Л.О., Коптєва Г.Є., Лемешко В.М., Шевченко В.В.</i></b>	
Поліетергуанідини та їх мікробна деструкція . . . . .	74
<b><i>Терещук М.М., Оскандо В.А., Баштаник П.І.</i></b>	
Використання відпрацьованого гідропонного субстрату для одержання композиційних матеріалів . . . . .	78

<b><i>Вахітов Р.А., Калафат К.В.</i></b>	
Вогнестійкість покриття реактивного типу в умовах вуглеводневої пожежі . . . . .	80
<b><i>Дейнека К.Ю.</i></b>	
Чисельне моделювання механізму подрібнення ударом в барабанному млині на основі візуалізації даних . . . . .	81
<b><i>Сидорко М.С., Палка С.О., Яцишин М.М., Зелінський А.В., Решетняк О.В.</i></b>	
Синтез та застосування поліаніліна та композита глауконіт/поліанілін . . . . .	85
<b><i>Нестерівська С.П., Матвійчук Г.І., Яцишин М.М., Зелінський А.В., Решетняк О.В.</i></b>	
Синтез поліаніліну у водних розчинах фосфатної кислоти . . . . .	89
<b><i>Будішевська О.Г., Кочубей В.В., Калачук В.В.</i></b>	
Модифікація бентоніту хітозаном . . . . .	92
<b><i>Ващенко І.Ю., Рижкова Г.А.</i></b>	
Дослідження споживних властивостей гумових виробів технічного призначення для комплектації транспорту . . . . .	95
<b><i>Samchenko Yu., Samchenko K., Goncharuk O., Kernosenko L., Pasmurtceva N., Poltoratska T., Vorotytskyi P.</i></b>	
Hydrogel nanocomposites for agrotechnological use based on calcium alginate and gelatin. . . . .	97
<b><i>Секція 2. Аналітична хімія навколишнього середовища та продуктів агровиробництва. Інноваційні технології харчової промисловості . . . . .</i></b>	<b>101</b>
<b><i>Kharytonov M., Klimkina I., Martynova N., Rula I., Sumiatina O., Gispert M.</i></b>	
The biochar impact on Miscanthus biomass quality as biofuel feedstock . . . . .	102

<b><i>Циганкова В.А., Андрусевич Я.В., Коніч В.М., Василенко Н.М., Пільо С.Г., Броварець В.С.</i></b>	
Пошук нових регуляторів росту рослин спаржової квасолі ( <i>Phaseolus vulgaris L.</i> ) сорту білозерна серед похідних піримідину . . . . .	106
<b><i>Петрушина Г.О., Максимова Н.М., Вишнікін А.Б., Базель Я.Р.</i></b>	
Моніторинг стану вод р. Дніпро у місці скиду стічних вод з колектора . . . . .	110
<b><i>Бутенко Е.О.</i></b>	
Використання синтетичних шаруватих подвійних гідроксидів для видалення нафтопродуктів зі стічних вод . . . . .	112
<b><i>Чурсінов Ю.О., Калина В.С., Троєкурова В.О.</i></b>	
Хімічне консервування та сушіння зерна підвищеної вологості . . . . .	115
<b><i>Сема О.В., Вакар Л.І.</i></b>	
Перспективи використання авокадо у технології вівсяного печива . . . . .	118
<b><i>Ковальчук В.М., Земелько М.Л., Бухкало С.І.</i></b>	
Дослідження впливу функціональних компонентів на властивості м'ясних виробів . . . . .	121
<b><i>Науменко О.П., Кулініч М.А.</i></b>	
Методи збирання та сортування рослинних залишків . . . . .	124
<b><i>Городянюк В.С., Лакіза О.В.</i></b>	
Аналіз споживчої цінності хлібобулочних виробів оздоровчого призначення . . . . .	126
<b><i>Goncharova I., Rouquier Ph., Guichaoua D., Sahraoui B.</i></b>	
Detection of lithium in aqueous solutions and natural waters using laser-induced breakdown spectroscopy . . . . .	129
<b><i>Крамарьов С.М., Фролов С.В., Бобошко Р.В.</i></b>	
Порівняльна оцінка ефективності орто- та пірофосфатів амонію за рядкового їх внесення в посівах пшениці м'якої озимої та соняшнику . . . . .	132

<b>Секція 3. Актуальні проблеми синтезу, структури та реакційної здатності органічних та елементоорганічних сполук . . . . .</b>	<b>136</b>
<b><i>Aleksandrenko S.H., Dobrydnev O.V., Grygorenko O.O.</i></b>	
Synthesis and reactions of sp <sup>3</sup> -enriched sulfamoyl fluorides . . . . .	137
<b><i>Шумейко О.Є., Карнічев Є.А., Бураков М.І.</i></b>	
Функціоналізація та фізико-хімічні властивості поверхнево-активних та біосумісних іонних рідин . . . . .	139
<b><i>Shtamburg V.G., Kravchenko S.V., Klots E.A., Shtamburg V.V., Anishchenko A.A., Shishkina S.V., Mazepa A.V.</i></b>	
N-chloro-N-alkoxy geminal systems in the synthesis of the derivatives of phosphoric acid . . . . .	142
<b><i>Гуменна М.А., Ткаченко І.М., Самойленко Т.Ф., Стрюцький О.В., Пилипенко А.М., Коваленко Л.Л., Кравченко В.В., Шевченко В.В.</i></b>	
Вплив природи аніона на властивості олігомерних протонних іонних рідин з четвиртинними амонієвими катіонами в органічному обрамленні силсесквіоксанового ядра . . . . .	146
<b><i>Кашнер О.Ю., Хорошилов Г.Є., Пруднікова М.І.</i></b>	
π-Стереоселективна взаємодія 1-(2-аміно-2-оксоетил)-2-галогенопіридинієвої солі із похідними ацетонітрилу . . . . .	150
<b><i>Кошель М.Д., Кошель С.А., Корнач С.В., Поліщук Ю.В.</i></b>	
Процеси електроосмосу та електрострикції в режимі двоімпульсного електролізу . . . . .	153
<b><i>Ivakha N.B., Berezhnytska O.S.</i></b>	
Luminescent characteristics of a number of polymer β-diketonate complexes of neodymium(III) . . . . .	157
<b><i>Курташ Ю.Р., Гайдук Я.М., Жук Т.С.</i></b>	
Синтез 2-амінобензальдегіду шляхом відновлення антранілової кислоти за допомогою грибів білої гнилі <i>Bjerkandera Adusta</i> . . . . .	159

<b><i>Величко О.В., Голіченко О.А., Доільніцин А.С., Третяк С.Ю.</i></b>	
Антирадикальна активність коричної кислоти . . . . .	161
<b><i>Давтян А.С., Левченко О.О., Камалов Г.Л.</i></b>	
Вплив природи кислоти на каталітичну активність бентоніту в реакції гліцерину з ацетоном . . . . .	163
<b><i>Швиденко Т.І., Назаренко К.Г., Філімончук С.Л. Костюк О.М.</i></b>	
Деякі перетворення піролопіразолонів . . . . .	166
<b><i>Залізний М.В., Сметанін М.В., Залізна К.В., Варениченко С.А.</i></b>	
Прогнозування біологічної активності полізаміщених похідних індолу . . . . .	168
<b><i>Korol N.I., Slyvka M.V., Mariychuk R.T., Holovko-Kamoshenkova O.M.</i></b>	
A comparative study of fluorine-containing 1,2,4-triazoles and antibiotics through molecular docking and molecular dynamics techniques . . . . .	170
<b><i>Кічура Д.Б., Субтельний Р.О.</i></b>	
Синтез олігомерів з інден-кумаронової фракції . . . . .	174
<b><i>Дутка В.С., Мідяна Г.Г., Дутка Ю.В.</i></b>	
Одержання полімер-мінеральних композитів на основі полістирену та дисперсного оксиду ванадію . . . . .	178
<b><i>Шах В.Я., Жук Т.С.</i></b>	
Біоокиснення спиртів ліофілізатами базидіоміцетових грибів . . . . .	181
<b><i>Кут Д.Ж., Кут М.М., Онисько М.Ю.</i></b>	
Селенобромовання інтернальних алкенільних тіоетерів 3-феніл заміщених хіназолін-4(3H)-онів. . . . .	183
<b><i>Секція 4. Електроосадження металічних і полімерних покриттів. Захист від корозійного руйнування. Лакофарбові та захисні покриття . . . . .</i></b>	<b>185</b>
<b><i>Тимусь М.Б., Зінь І.М., Корній С.А.</i></b>	
Інгібування корозії вуглецевої сталі за поєднання декстрину з натрієм ізоаскорбатом в нейтральному хлоридовмісному середовищі . . . . .	186

***Хлопик О.П., Зінь І.М., Корній С.А., Дацко Б.М., Білий Л.М.***

Захисні властивості алкідного покриття з композитним пігментом на основі фосфату та воластоніту на алюмінієвому сплаві . . . . . 190

***Проценко В.С., Бутиріна Т.Є., Махота Д.О., Сухацький Д.О.,  
Кваша К.В.***

Електрохімічне осадження та електрохімічна модифікація поверхні для створення електрокаталізаторів анодного окиснення карбаміду . . . 194

***Яцков М.В., Буденкова Н.М., Корчик Н.М., Мисіна О.І.,  
Романенко О.П.***

Дослідження параметрів утилізації концентрованих ферумовмісних гальваностоків . . . . . 197

***Авторський показчик*** . . . . . 201

У конференції прийняли участь 225 викладачів, науковців, аспірантів і студентів із 42 навчальних і наукових закладів, 1 приватне підприємство

19 міст України та зарубіжжя

№ з/п	Назва закладу	Місто
1	Girona University	Girona, Spain
2	Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences	Lublin, Poland
3	Presov University	Slovak Republic
4	Riga Technical University	Riga, Latvia
5	State University of Maringa	Brazil
6	University of Angers, UMR CNR, Faculty of Sciences, Moltech-Anjou Laboratory; Photonics Laboratory, LPHIA, SFR Matrix	Angers, France
7	Гіссенський університет ім. Юстуса Лібіха	Гіссен, Німеччина
8	Університет Павла Йозефа Шафаріка в Кошицях	Кошице, Словацька Республіка
9	ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»	Дніпро
10	Дніпровський державний аграрно-економічний університет	
11	Дніпровський національний університет ім. О. Гончара	
12	Інститут транспортних систем і технологій НАН України	
13	Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»	
14	ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту» Українського державного університету науки і технологій	
15	ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет» Українського державного університету науки і технологій	
16	Університет імені Альфреда Нобеля	
17	Технічний університет «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»	Запоріжжя
18	Enamine Ltd., Ukraine	Київ
19	Державний торговельно-економічний університет	
20	Донецький фізико-технічний інститут ім. О.О. Галкіна НАН України	
21	Інститут біоколоїдної хімії ім Ф. Д. Овчаренка НАН України	

22	Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України	Київ
23	Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України	
24	Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. Заболотного НАН України	
25	Інститут органічної хімії НАН України	
26	Інститут фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України	
27	Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України	
28	Київський національний університет ім. Т. Шевченка	
29	Київський національний університет технологій та дизайну	
30	Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»	
31	Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля	
32	Львівський національний університет ім. І. Франка	
33	Національний університет «Львівська політехніка»	
34	Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України	
35	Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України	
36	Фізико-хімічний інститут імені А.В. Богатського НАН України	Одеса
37	Луганський національний університет ім. Т. Шевченка	Полтава
38	ВСП «Рівненський технічний фаховий коледж Національного університету водного господарства та природокористування»	Рівне
39	Національний університет водного господарства та природокористування	
40	ДВНЗ «Ужгородський національний університет»	Ужгород
41	Державний біотехнологічний університет	Харків
42	Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»	Харків
43	Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича	Чернівці



Наукове видання

**МАТЕРІАЛИ  
ІІІ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**“Теоретичні та експериментальні аспекти  
сучасної хімії та матеріалів”**

**TASX 2024**

Відповідальні за випуск – Чигвінцева О.П., Рула І.В.

Підписано до друку 19.05.2024 р.

Формат 60 × 80/16. Папір офс.

Ум. друк. арк. 9,0. Ум. вид. арк. 8,2. Тираж 100 прим. Зам. № 30717

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 8139

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