



Матеріали IV Міжнародної

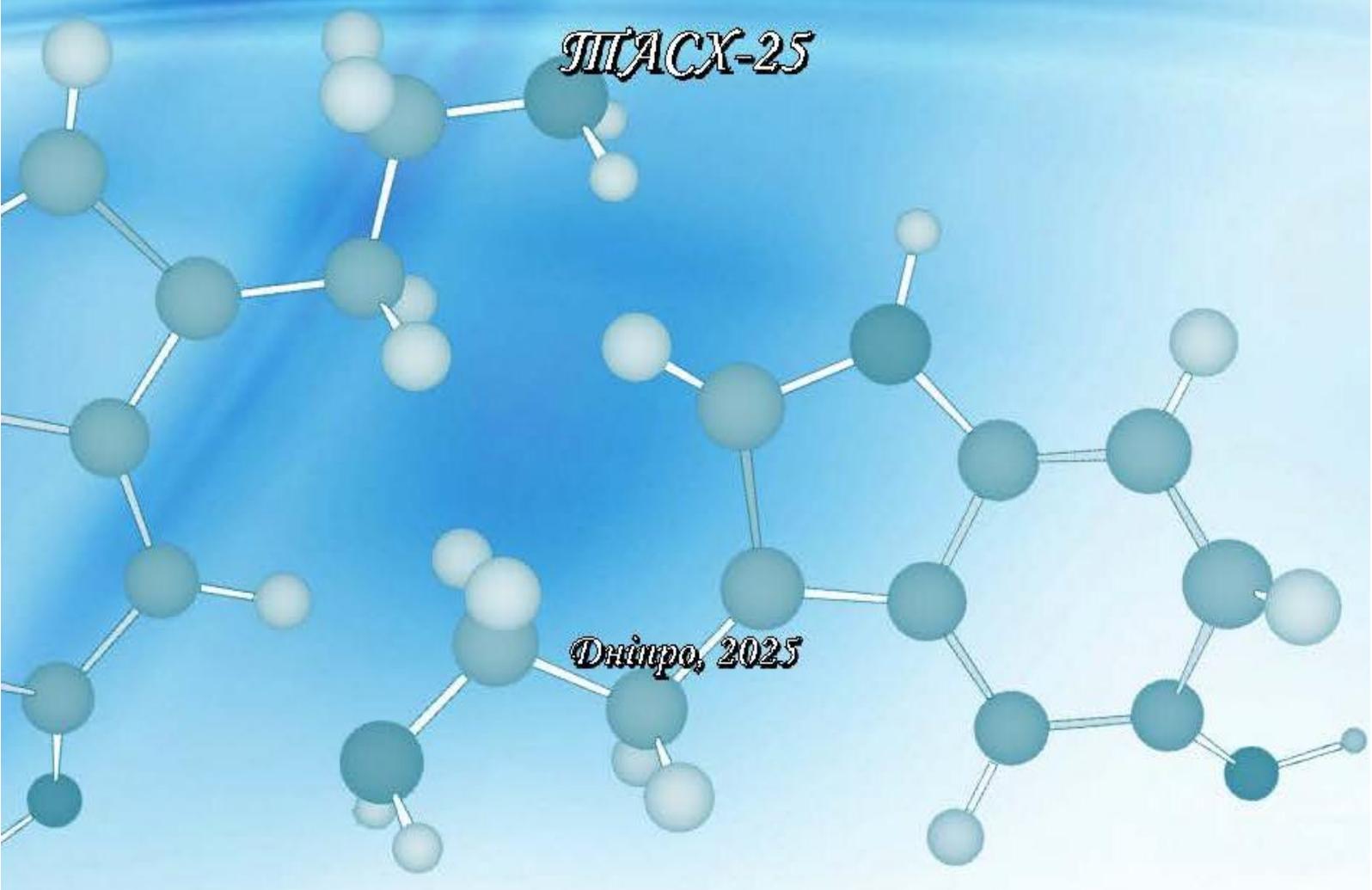
наукової конференції

“Теоретичні та експериментальні аспекти

сучасної хімії та матеріалів”

ПІАСХ-25

Дніпро, 2025



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
IV МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ**

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

20 травня 2025 р.

**Дніпро
“Середняк Т.К.”
2025**

УДК 54(062.552)

Ч 58

Теоретичні та експериментальні аспекти сучасної хімії та матеріалів ТАСХ-2025: Матеріали IV Міжнародної наукової конференції. 20 травня 2025 р., м. Дніпро. – Дніпро: “Середняк Т.К.”, 2025. – 202 с.

ISBN 978-617-8139-95-7

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

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

ISBN 978-617-8139-95-7

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова комітету:

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

Члени програмного комітету:

Баштаник П.І., к.т.н., доц., доцент кафедри ТПП та ПМ ННІ «УДХТУ» Українського державного університету науки і технологій;

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

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

Деркач О.Д., к.т.н., доц., зав. кафедри експлуатації машино-тракторного парку ДДАЕУ;

Кабат О.С., д.т.н., проф., завідувач кафедри інноваційної інженерії ННІ «УДХТУ» Українського державного університету науки і технологій;

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

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

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

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

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

Проценко В.С., д.х.н., проф., професор кафедри фізичної хімії ННІ «УДХТУ» Українського державного університету науки і технологій;

Свердліковська О.С., д.х.н., проф., в.о. директора ННІ «УДХТУ» Українського державного університету науки і технологій, професор кафедри ТПП та ПМ;

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

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

Штамбург В.Г., д.х.н., проф., професор кафедри фармації та технології органічних речовин ННІ «УДХТУ» Українського державного університету науки і технологій.

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

**3D PRINTED MEMBRANES MADE OF
POLYLACTIC ACID AND SUCROSE**

¹Pini Pereira P., ¹Gonçalves I.P., ¹Molina L.C.A., ²Dzyazko Yu.S.,

¹Paraiso C.M., ¹Vieira A.M.S., ¹Bergamasco R.

¹State University of Maringa

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

²V.I. Vernadskii Institute of General and Inorganic Chemistry

Acad. Palladin ave. 32/34, 03142, Kyiv, Ukraine

dzyazko@gmail.com

3D printing has emerged as an effective method to simplify the production of a wide range of products. The main advantages of additive manufacturing are cost-effectiveness, production efficiency, low energy consumption and little or no waste generation [1].

Recent materials produced by 3D printing have been applied in membrane processes, especially for water and wastewater treatment. Most of them are spacers and parts of the membrane module, but some recent studies show the 3D printing of the membranes themselves for different purposes: oil-water separation [2], water desalination [3], removal of organic and inorganic contaminant ions [4].

FDM (fused deposition modeling) printing has proven attractive for this purpose because printers are readily available and use inexpensive polymers as inputs, such as PLA (polylactic acid). However, the surface of the printed products contains grooves at the contacts between the tracks, making it not very smooth. At the same time, this disadvantage of the FDM technique can be an advantage for printing porous membranes, since the pores can be in these grooves (Fig. 1a)

To prepare the porous membrane used in this work, 10 g of solid sucrose was mixed with 50 g of polylactic acid (PLA) powder. A solvent mixture consisting of 100 mL of acetone and 50 mL of chloroform was then added to the blend. After complete dissolution of the solids, the mixture was maintained at 65 °C for 90 minutes to facilitate solvent evaporation. The resulting solid residue was milled and

subsequently extruded to form filaments. These filaments were further ground into flat, irregularly shaped particles, which were then processed using a Piocreat G5 pellet-based 3D printer (Shenzhen Piocreat 3D Technology Co. Ltd., Shenzhen, People's Republic of China) to fabricate the PLA membranes (Fig. 1b) [5].

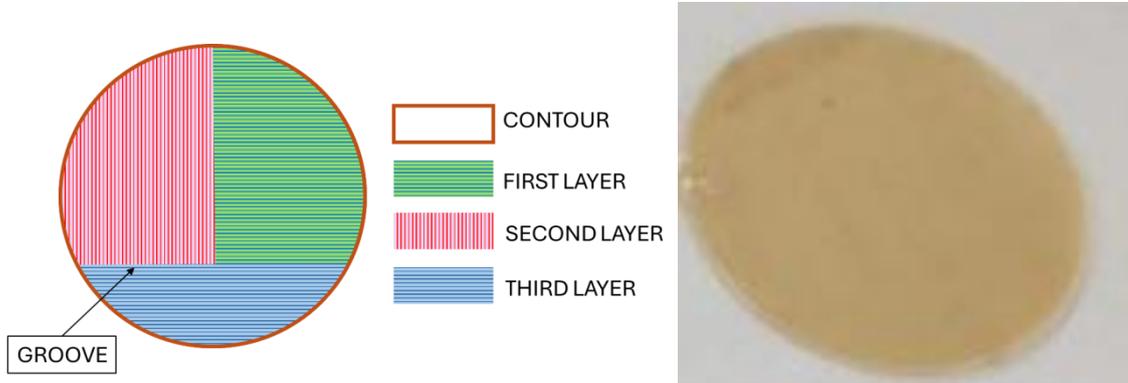


Fig. 1. Membrane model (a) and Photo of 3D-printed membrane (b)

The model featured a cylindrical structure composed of three layers (Fig. 1a). Fabrication was carried out using a 3D printer with a nozzle temperature of 210 °C, a print bed temperature of 60 °C, and a nozzle diameter of 0.4 mm.

The filtration system employed a dead-end filtration module with an effective membrane area of $9.1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ (Fig. 1b). Compressed atmospheric air, supplied by a compressor, provided operating pressures ranging from 0.5 to 2.0 bar. Filtration experiments using water were conducted at $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

To evaluate the membrane's pressure resistance, a water permeability test was performed. Fig. 2(a) shows the cumulative volume of water filtered through the membrane as a function of time. Two distinct regions are observed: the first corresponds to an initial decline in water flux due to membrane compaction, while the second exhibits a linear profile, indicating a steady-state regime with a constant filtration rate. Steady-state conditions were achieved approximately 10 minutes after the initiation of filtration.

Permeate flux of the PLA membrane is presented at Table 1 with the corresponding parameter to other membranes. In terms of porosity, the PLA membrane exhibits an intermediate behavior compared to previously reported

materials. With respect to pure water permeability, its performance is more closely aligned with that of membranes used in ultrafiltration processes.

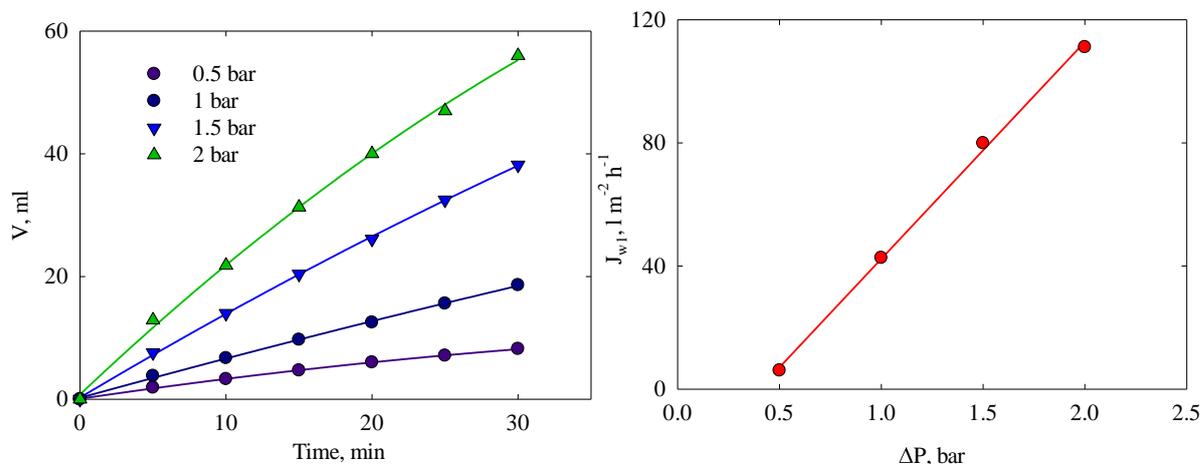


Fig. 2. Cumulative water volume over time of water filtration (a) and the effect of pressure on the permeate flux (b)

Table 1. Parameter of water test in different membranes

Membrane material	Permeate flux $\text{Lm}^{-2}\text{h}^{-1}\text{bar}^{-1}$
PLA + sucrose	64
Polyethersulfone microfiltration modified with graphene oxide and tannic acid	15–55
Polyacrylonitrile ultrafiltration	5-13
Polyacrylonitrile ultrafiltration modified with hydrated zirconium dioxide and graphene oxide	1-3
Ceramic ultrafiltration	40
Polymeric commercial microfiltration	800-1800
Laboratory sample of polyacrylonitrile ultrafiltration	450
Poly(amide-imide) ultrafiltration	Up to 220

* See all the references from Table 1 in [5].

In contrast to water filtration, which is minimally affected by fouling, the J – ΔP relationship exhibits non-linear behavior when tested with a BSA solution (Fig. 3). Two competing effects (pressure and fouling) result in the non-linearity of the J – ΔP curve and lead to pressure-dependent variations in permeability. Compared to pure water, fouling reduces membrane permeability by approximately a factor of five, even at the lowest tested pressure.

BSA retention was estimated based on the analysis of the first portion of the permeate. The highest retention (97%) was found at $\Delta P = 0.5$ bar. Thus, the membrane cut-off is estimated to be 69 kDa. As pressure increases, BSA retention declines to 70% at 2 bar, since the accumulation of species near the membrane on the feed solution side leads to their diffusion into the permeate due to the concentration gradient. This decrease in retention occurs despite potential aggregation of protein nanoparticles under elevated pressure.

The simultaneous high protein nanoparticle rejection and substantial permeate flux confirm the ultrafiltration performance of the PLA membrane.

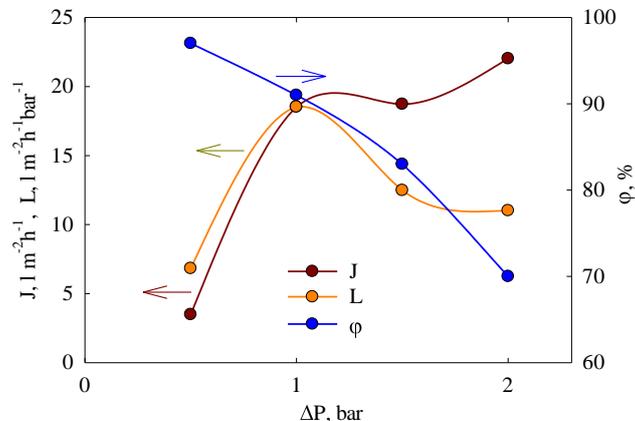


Fig. 3. Filtration of the BSA solution: flux J , permeability L and retention ϕ as functions of pressure ΔP

References:

[1] Low Z., Chua Y. T., Ray B. M., Mattia D., Metcalfe I. S., Patterson D. A. (2017) Perspective on 3D printing of separation membranes and comparison to related unconventional fabrication techniques. *J. Membr. Sci.*, 523, 596–613.

<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2016.10.006>

[2] Li X., Shan H., Zhang W., Li B. (2020) 3D printed robust superhydrophilic and underwater superoleophobic composite membrane for high efficient oil/water separation. Sep. Purif. Technol., 237, 116324.

<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116324>

[3] Chowdhury M. R., Steffes J., Huey B.D., McCutcheon J. R. (2018) 3D printed polyamide membranes for desalination. Science, 361, 682-686.

<https://doi.org/10.1126/science.aar2122>

[4] Mazinani S., Al-Shimmery A., Chew Y. M. J., Mattia, D. (2022) 3D printed nanofiltration composite membranes with reduced concentration polarization. J. Membr. Sci., 644, 120137. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2021.120137>

[5] Pini Pereira P., Gonçalves I. P. , Molina L. C. A., Delcolle R., Dzyazko Y. S., Paraiso C. M., Batista Neto G. L., Diório A., Vieira A. M. S., Bergamasco R. (2025) Membrane for Pressure-Driven Separation Prepared with a Method of 3D Printing: Performance in Concentrating Orange Peel Extract. Membranes, 15, 105.

<https://doi.org/10.3390/membranes15040105>

УДК 678.027.3; 678.742.2; 678.046.5

**ВПЛИВ ФОСОГІПСУ НА ВЛАСТИВОСТІ
ДЕРЕВИННО-ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ**

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

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

dnipro706@gmail.com

Деревинно-полімерний композит (ДПК) поєднує властивості деревини та полімерів і є альтернативою традиційним будівельним матеріалам. Він складається з деревинного борошна, термопластичних полімерів (поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид) і функціональних добавок. Деревинно-полімерний композит характеризується міцністю, довговічністю та стійкістю до механічних пошкоджень. Завдяки низькому водопоглинанню його можна використовувати

в умовах підвищеної вологості. Композит не потребує фарбування, зберігає гарний вигляд протягом тривалого часу та стійкий до гниття і плісняви. Він широко застосовується у будівництві (тераси, фасади, паркани), ландшафтному дизайні (лавки, огорожі), виробництві меблів та виготовляється методом екструзії або лиття під тиском, що дозволяє одержувати вироби різної форми [1]. Окрім деревинного борошна, ДПК містить мінеральні наповнювачі (кальцит, тальк, гідроксид магнію, воластоніт), які покращують його властивості та знижують собівартість.

Актуальною проблемою сучасного виробництва є ефективне використання вторинної сировини та промислових відходів. Одним із них є фосфогіпс – побічний продукт виробництва фосфатної кислоти, накопичення якого приводить до забруднення довкілля. Його використання дозволить зменшити витрати на сировину, розширити сировинну базу та вирішити проблему утилізації промислових відходів [2].

Мета роботи полягала у дослідженні впливу фосфогіпсу, як дрібно-дисперсного наповнювача, на фізико-механічні та експлуатаційні властивості ДПК на основі вторинного поліетилену високої густини.

У даному дослідженні використовувався ДПК, до складу якого входили: вторинний поліетилен високої густини (30%), деревинне борошно марки М 200 (54%), кальцит (11%), а також незначні кількості стеаринової кислоти, поліетилену із прищепленим малеїновим ангідридом, поліетиленового воску, УФ-стабілізатора та барвників. У дослідженні частина кальциту була замінена на фосфогіпс у пропорціях від 2,75 мас.% до 11,00 мас. % [3].

Підготовлені компоненти змішували у лопатовому змішувачі за температури 100 °С і 800 об/хв протягом 40-60 хвилин. Одержану суміш гомогенізували у двошнековому грануляторі при 160-200 °С, потім гранули переробляли методом екструзії у терасну дошку. Зразки для випробувань вирізали із екструдованого матеріалу, а їх експлуатаційні та механічні характеристики оцінювали за стандартними методиками для пластмас.

Обробку отриманих даних та розрахунок регресивно-кореляційних функцій виконували в Microsoft Excel, довірчий інтервал склав 0,95.

У таблиці наведено фізико-механічні, експлуатаційні та технологічні властивості деревинно-полімерних композитів в залежності від вмісту фосфогіпсу. Аналізуючи дані таблиці, можна константувати, що використання фосфогіпсу у якості наповнювача в ДПК не призводить до значних змін у фізико-механічних властивостях матеріалу. Густина композиту залишається стабільною на рівні 1235 кг/м³, оскільки фосфогіпс має схожі фізичні характеристики з кальцитом. Міцність при вигині (51,2 МПа) та ударна в'язкість (12 кДж/м²) не змінюються при заміні кальциту на фосфогіпс, що свідчить про стабільний адгезійний зв'язок між полімерною матрицею та наповнювачами. Це важливий показник, оскільки свідчить про збереження механічної стійкості матеріалу.

При підвищенні концентрації фосфогіпсу в складі композиту водопоглинання дещо збільшується, але ця зміна не виходить за межі довірчого інтервалу вимірювань. Така поведінка матеріалу пояснюється збереженням стабільної пористості композиту, що підтверджується відсутністю змін у його густині.

Таблиця. Залежність фізико-механічних, експлуатаційних та технологічних властивостей деревинно-полімерних композитів від вмісту фосфогіпсу

Властивості	Вміст фосфогіпсу, мас. %				
	0	2,75	5,50	8,25	11,00
Густина, кг/м ³	1234	1235	1235	1235	1235
Ударна в'язкість за Шарпі на зразках з надрізом, кДж/м ²	11,9	12,0	12,0	12,0	12,1
Міцність при вигині, МПа	51,3	51,3	51,2	51,2	51,1
Водопоглинання, %	0,36	0,37	0,38	0,38	0,39
Коефіцієнт лінійного термічного розширення, ·10 ⁻⁵ 1/°C	4,9	5,0	5,0	5,0	5,0
Технологічна усадка, %	0,55	0,55	0,50	0,50	0,50

Додатково встановлено, що коефіцієнт лінійного термічного розширення композиту залишається незмінним незалежно від того, який саме наповнювач використовується. Це означає, що композит з фосфогіпсом не має підвищеної чутливості до температурних змін. Технологічна усадка також не зазнала змін при заміні кальциту фосфогіпсом, що підтверджує стабільність форми матеріалу в процесі виробництва. Це дозволяє використовувати фосфогіпс як альтернативний наповнювач без необхідності модифікації технологічного процесу.

Таким чином, результати досліджень підтверджують, що фосфогіпс може бути ефективною заміною кальциту, не змінюючи ключові експлуатаційні характеристики ДПК. Збереження фізико-механічних та технологічних властивостей матеріалу свідчить про стабільність його структури при використанні альтернативного наповнювача.

Його застосування не лише забезпечить ресурсозбереження, а й сприятиме екологічно раціональному виробництву, дозволяючи ефективно утилізувати промислові відходи та зменшувати залежність від первинних мінеральних компонентів. Використання фосфогіпсу як наповнювача відкриває нові можливості для розвитку безвідходних технологій та створення матеріалів із покращеними економічними й екологічними показниками.

Література:

1. Ayana K. D., Ha C.-S., Ali A. Y. Comprehensive overview of wood polymer composite: Formulation and technology, properties, interphase modification, and characterization // *Sustainable Materials and Technologies*. 2024. Vol. 40. P. e00983.
2. Essaid B., et al. Phosphogypsum circular economy considerations: A critical review from more than 65 storage sites worldwide // *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 414. P. 137613.
3. Kryvolapov D.S., Sukhyu K.M., Bashtanyk P.I., Tretyakov A.O., Bezrukavy, V. A. Influence of fly ash on the properties of wood-polymer composites // *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2024. № 3. P. 83 – 88.

**ТЕРМОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТУ
ПОЛІЕТИЛЕН - НАНОТРУБКИ**

^{1,2}Місюра А.І., ¹Пінчук-Ругаль Т.М., ^{3,2}Мамуня Є.П.,

^{3,4}Пилипенко А.М., ²Кораб М.Г.

¹*Київський національний університет ім. Тараса Шевченка*

пр. Глушкова 4, 03022, м. Київ

andrii_misiura@ukr.net

²*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України*

вул. Казимира Малевича, 11, 03150, м. Київ

³*Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України*

Харківське шосе, 48, 02160, м. Київ

⁴*Донецький фізико-технічний інститут ім. О.О. Галкіна НАН України*

пр. Науки, 46, 03028, м. Київ

Полімерні композити є однією з найбільш перспективних груп матеріалів в сучасній науці і техніці, оскільки поєднують легкість, міцність та можливість модифікації їх властивостей. Особливий інтерес викликає поліетилен (ПЕ) – широко використовуваний полімер, який демонструє високу хімічну стійкість та гарні механічні характеристики. Підвищення ефективності поліетиленових композитів досягається шляхом введення наповнювачів, зокрема вуглецевих нанотрубок, які надають матеріалам додаткових функціональних властивостей. Композити на основі поліетилену і вуглецевих нанотрубок демонструють великий потенціал до застосування у наукоємних галузях, зокрема, авіакосмічній промисловості та електроніці.

Вивчення механізмів взаємодії між полімерною матрицею і нанонаповнювачами є ключовим фактором для подальшої оптимізації властивостей композитів. Дослідження полімерних нанокompозитів відкриває нові можливості для створення матеріалів наступного покоління з унікальним комплексом характеристик.

Досліджувані композити виготовлено на основі поліетилену низької густини (ПЕ), який наповнено багатостінними вуглецевими нанотрубками

(БВНТ). Для подальших досліджень було отримано зразки у вигляді дисків з діаметром 30 мм і товщиною $\sim 1,5$ мм, та тонких плівок 95×45 мм² з товщиною ~ 250 мкм. Обоє типів зразків отримано методом гарячого компактування, що дозволило забезпечити упорядкований, тобто сегрегований, розподіл наповнювача у полімерній матриці. Концентрація БВНТ в полімерних композитах становила 1 об. % та 2 об. %.

На рис.1 наведено результати дослідження термофізичних властивостей ПЕ та його композитів за допомогою методу термомеханічного аналізу (ТМА) за різних значень тиску на зразок.

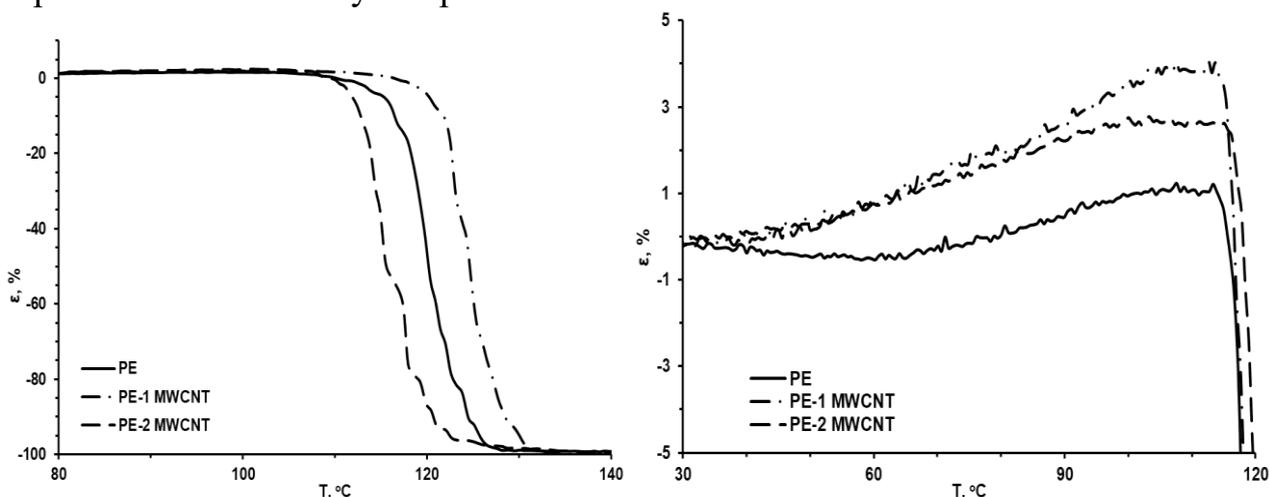


Рис. 1. Температурна залежність деформації композиту ПЕ-БВНТ при тиску: 0,5 МПа (зліва) та 0,01 МПа (справа)

Дослідження за тиску 0,01 МПа на зразок (рис.1. справа) було проведено для визначення коефіцієнту термічного розширення (α) досліджуваних матеріалів, що на рисунку відображено позитивною деформацією полімерного зразка. Використовуючи розрахунки в області до температури плавлення отримано значення коефіцієнту термічного розширення, які наведено в таблиці 1. Для ненаповненого ПЕ значення $\alpha = 3,8 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$, при внесення 1 об.% БВНТ спостерігається різке зростання значення α до $7,1 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$, проте подальше зростання концентрації нанотрубок до 2 об.% призводить до зниження параметру α до величини $4,8 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$. Така поведінка може бути пов'язана з тим, що при 2 об.% нанотрубки утворюють значні агрегати, що суттєво обмежують молекулярну рухливість полімерних ланцюгів.

Дослідження ТМА за тиску 0,5 МПа (рис. 1 зліва) демонструють повну деформацію зразків ($\varepsilon = 100\%$), тобто повне їх продавлювання за температур вище 110 °С. Внесення 1 об. % нанотрубок до матриці ПЕ зміщує деформаційну криву в область більших температур, приблизний зсув цієї кривої становить 4 °С. Це демонструє, що додавання БВНТ покращує термічний опір полімерного композиту з 1 об.% наповнювача. Проте, незвичною є поведінка композиту на основі ПЕ з 2 об.% БВНТ. За цієї концентрації нанотрубок, відповідно до даних на рис. 1 (зліва), спостерігається зсув температурної залежності деформації в область менших температур. Цей зсув становить $\sim 4,5$ °С, що означає зменшення термічного опору композиту. Таку поведінку можна знову пояснити утворення агрегатів БВНТ, оскільки агрегати мають малу механічну міцність, що в свою чергу призводить до швидшої деформації композиту з 2 об. % БВНТ, ніж ненаповненого ПЕ.

Також було проведено визначення термофізичних властивостей композитів за допомогою диференційної скануючої калориметрії (ДСК), що дозволило визначити температуру плавлення ($T_{пл}$) та ступінь кристалічності (χ) досліджуваних полімерних матеріалів. Отримані дані наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Значення характерних параметрів композиту ПЕ-БВНТ

Матеріал	$\alpha \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$	$T_{пл}$	$\chi, \%$
ПЕ	3,8	109,3	27,7
1 % БВНТ	7,1	111,0	26,4
2 % БВНТ	4,8	112,1	26,8

Отримані результати ДСК показують, що введення вуглецевих нанотрубок у матрицю ПЕ підвищує температуру плавлення композиту зі 109,3 °С до 112,1 °С при $\varphi = 2$ об. % БВНТ. Отримано значення ступеня кристалічності (χ) композитів, який становив 27,7 % для ненаповненої полімерної матриці, 26,4 % та 26,8 % для $\varphi = 1$ об. % та 2 об. % БВНТ, відповідно.

Представлені дані свідчать про те, що частинки наповнювача обмежують теплову рухливість молекулярних ланцюгів ПЕ, що призводить до підвищення температури плавлення композитного матеріалу зі збільшенням вмісту нанотрубок. Значення χ композитних матеріалів також зменшується з введенням наповнювача, що підтверджує його агрегацію в полімерній матриці.

**МОДИФІКАЦІЯ ПОЛІАМІДУ 12 ПОЛІМЕРНИМ БІОЦИДОМ
ПОЛІГЕКСАМЕТИЛЕНГУАНІДИНОМ ГІДРОХЛОРИДОМ**

¹Рогальський С.П., ¹Джу́жа О.В., ¹Тарасюк О.П.,

²Чернявська Т.В., ³Булко О.В., ³Льошина Л.Г.

*¹Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В. П. Кухаря НАН України
Харківське шосе, 50, 02160, м. Київ*

*²Інститут хімії поверхні ім. О. О. Чуйка НАН України
вул. Генерала Наумова, 17, 02000, м. Київ*

*³Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України
вул. Академіка Заболотного, 148, 03143, м. Київ
sergey.rogalsky@gmail.com*

Поліамід 12 (ПА-12) є універсальним промисловим термопластичним полімером, відомим своїми винятковими властивостями і широким спектром застосувань. Завдяки поєднанню низької густини і високої механічної міцності, зносостійкості і термічної стабільності, а також стійкості до хімічних реагентів і нафтопродуктів, ПА-12 є популярним матеріалом для автомобільної та нафтогазової промисловості, електротехніки, приладобудування, медичної галузі [1]. Низьке водопоглинання ПА-12 забезпечує стабільність його експлуатаційних властивостей у середовищі з високим рівнем вологості. Однак відомо, що за таких умов поверхня поліамідів швидко колонізується мікроорганізмами, які спричиняють значне погіршення фізико-механічних властивостей полімерних виробів з наступним їх руйнуванням [2]. Утворення біоплівки на поверхні медичних приладів є типовою проблемою, яка створює загрозу поширення мікробних інфекцій при лікуванні пацієнтів [3]. Традиційним методом надання поліамідам антимікробних властивостей є введення в полімерні вироби неорганічних біоцидів, зокрема наночастинок срібла, оксидів титану, міді, цинку. Проблемою застосування неорганічних біоцидів є складність їх гомогенного диспергування в полімерній матриці під час переробки з розплаву [3]. З цієї точки зору перспективними антимікробними домішками є термостійкі органічні біоциди з низькими температурами

плавлення. Зокрема, описано застосування полімерного біоциду полігексаметиленгуанідину гідрохлориду (ПГМГ-СІ) як антимікробної домішки до поліуретану [4]. Встановлено, що ПГМГ-СІ має високу термічну стійкість і надає поліуретановим плівкам антимікробної активності за вмісту 2-3%.

Метою цієї роботи було отримання нового антимікробного матеріалу на основі ПА-12, модифікованого полімерним біоцидом ПГМГ-СІ.

ПГМГ-СІ синтезували методом, описаним у праці [4] (схема 1). Отримували склоподібний полімер з температурою плавлення 136-138 °С.

¹Н ЯМР (400 МГц, ДМСО-d₆) δ: 1.32 (м, 4Н, CH₂), 1.47 (м, 4Н, NCH₂CH₂), 3.16 (м, 4Н, NCH₂), 7.1-8.1 (ш с, 4Н, NH).

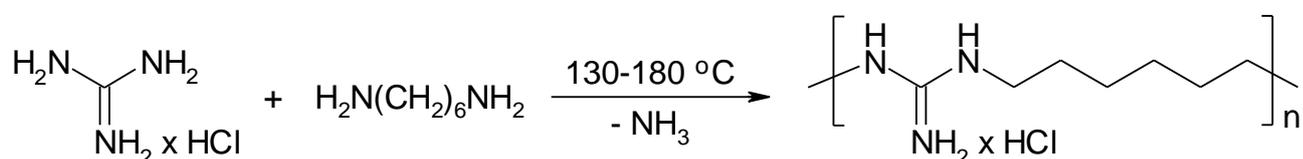


Схема 1. Синтез полімерного біоциду ПГМГ-СІ

Полімерні плівки ПА-12/ПГМГ-СІ з розмірами 50 × 50 × 0.2 мм отримували гарячим пресуванням суміші порошків ПА-12 і полімерного біоциду з вмістом останнього 2-5%.

Результати термогравіметричного аналізу (ТГА) полімерних зразків наведено на рисунку 1 і в таблиці 1. ПА-12 має термічну стійкість вище 400 °С. Температура початку деструкції полімерного біоциду ПГМГ-СІ становить 340 °С, а полімерної композиції ПА-12/ПГМГ-СІ – 383 °С. Отримані результати свідчать про придатність ПГМГ-СІ для сумісної переробки з ПА-12 традиційними методами, яку проводять за температур 230-270 °С.

Згідно з результатами вимірювань крайового кута змочування (θ) плівок ПА-12, введення в полімер 5% біоцидної домішки не впливає на гідрофільно-гідрофобні властивості поверхні. Зокрема, для плівок ПА-12 і ПА-12/ПГМГ-СІ (5%) величина (θ) становить 80°. Для визначення стійкості ПГМГ-СІ до виділення з ПА-12 у воду зразок полімерної плівки ПА-12/ПГМГ-СІ (5%) масою 1 г поміщали в дистильовану воду (100 мл). Вміст хлорид-іонів визначали титруванням нітратом срібла (метод Мора). Згідно з отриманими результатами, концентрація ПГМГ-СІ у воді через 20 діб становила 15 мг/л, що

відповідає виділенню 3% домішки від її загального вмісту. Очевидно, висока стійкість ПГМГ-СІ до виділення у воду зумовлена низьким водопоглинанням ПА-12, а також фізико-хімічною взаємодією біоциду з полімерною матрицею.

Таблиця 1. Результати ТГА полімерних зразків

Зразок	Температура при втраті маси Δm , °C			
	$T_{\Delta m = 5\%}$	$T_{\Delta m = 10\%}$	$T_{\Delta m = 20\%}$	$T_{\Delta m = 50\%}$
ПА-12 (контроль)	413	428	439	456
ПГМГ-СІ	340	355	365	381
ПА-12/ПГМГ-СІ (5%)	383	430	448	464

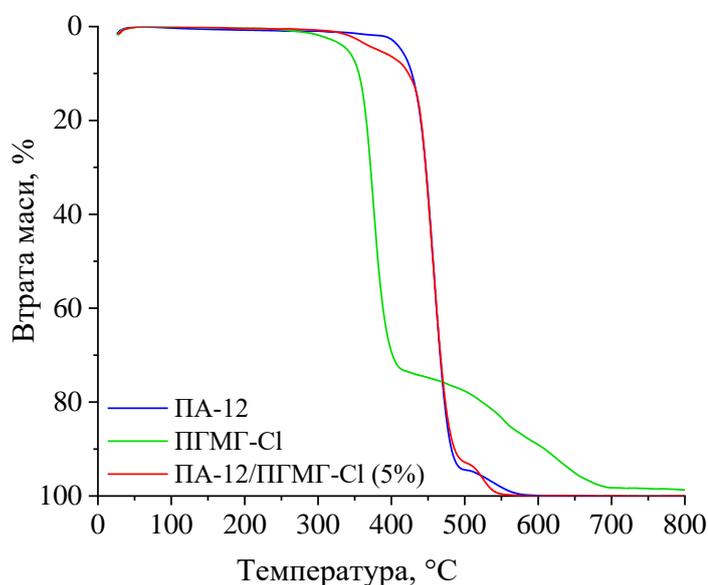


Рис. 1. Криві ТГА полімерних зразків

Антимікробну активність поліамідних плівок досліджували методом ISO 22196:2007 [4]. Втрату життєдіяльності мікроорганізмів (LV, %) після 24 год контакту бактеріальної суспензії з полімерними зразками визначали за рівнянням: $LV (\%) = [(C-S)/C] \times 100\%$, де C – середня кількість життєздатних клітин (N), вилучених з контрольних зразків (в КУО/мл·см²), S – кількість життєздатних клітин (N), вилучена з досліджених зразків. Плівки ПА-12, які містили 5% ПГМГ-СІ, повністю інгібували ріст грам-негативної (*E. coli*) і грам-позитивної (*B. subtilis*) бактеріальних тест-культур (табл. 2).

Таблиця 2. Антимікробна активність поліамідних плівок

Зразок	LV, %	
	<i>E. coli</i>	<i>B. subtilis</i>
ПА-12/ПГМГ-СІ (2%)	99.9	99.999
ПА-12/ПГМГ-СІ (5%)	99.999	–

Отримані результати свідчать про перспективність полімерного біоциду ПГМГ-СІ як антимікробної домішки до ПА-12, яка може бути введена в полімер під час переробки з розплаву. Висока стійкість ПГМГ-СІ до виділення у воду з ПА-12 забезпечує контактний механізм антимікробної дії матеріалу.

Література:

1. Kohutiar M., Kakošová L., Krbata M., Janík R., Fekiač J.J., Breznická A., Eckert M., Mikuš P., Timárová L. (2025). Comprehensive review: technological approaches, properties, and applications of pure and reinforced polyamide 6 (PA6) and polyamide 12 (PA12) composite materials. *Polymers*, 17, 442. <https://doi.org/10.3390/polym17040442>
2. Tomita K., Ikeda N., Ueno A. (2003). Isolation and characterization of a thermophilic bacterium, *Geobacillus thermocatenulatus*, degrading nylon 12 and nylon 66. *Biotechnol. Lett.* 25, 1743–1746. <https://doi.org/10.1023/A:1026091711130>
3. Latko-Durałek P., Misiak M., Staniszewska M., Rosłonec K., Grodzik M., Socha R.P., Krzan M., Bażanów B., Pogorzelska A., Boczkowska A. (2022). The composites of polyamide 12 and metal oxides with high antimicrobial activity. *Polymers*, 14, 3025. <https://doi.org/10.3390/polym14153025>
4. Rogalsky S., Bardeau J. F., Lyoshina L., Tarasyuk O., Bulko O., Dzhuzha O., Cherniavska T., Kremenitsky V., Kobrina L., Riabov, S. (2021). New promising antimicrobial material based on thermoplastic polyurethane modified with polymeric biocide polyhexamethylene guanidine hydrochloride. *Mat. Chem. Phys.*, 267, 124682. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.124682>

**ПЕРЕВАГИ ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ
У ВУЗЛАХ ТЕРТЯ ТРАНСПОРТЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ**

Козирко Д.В., Ситар В.І., Ополонський І.В.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

v.sytar@ua.fm

На сьогоднішній час продовжується пошук раціональних шляхів використання традиційних полімерів. Це завдання вирішується модифікацією властивостей матеріалів за рахунок впливу на зовнішні та внутрішні фактори, що визначають структуру і характеристики полімерних систем. Значний інтерес представляє застосування полімерів як матеріалів для деталей вузлів тертя транспортерного обладнання, яке знаходить широке використання у різних галузях промисловості України.

Одними із таких вузлів тертя є підвісні опори ковзання валів шнекових транспортерів для транспортування кормових продуктів, що розглядаються як об'єкти дослідження (рис. 1).

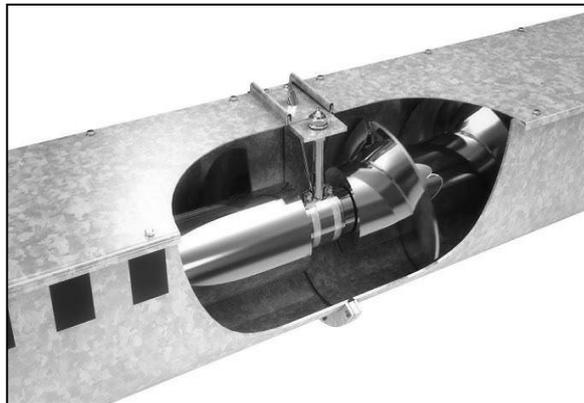


Рис. 1. Проміжна опора ковзання шнекового транспортеру

В даних вузлах тертя застосовуються втулки ковзання з пресованої деревини, або бронзи. У першому випадку існує проблема низької міцності, а також складності імпортного постачання. У другому – низька зносостійкість. В обох випадках застосована пара тертя потребує змащення, що є недоліком при транспортуванні кормової продукції, так як відбувається контакт продукту з

мастилом втулки, тому дозволяється застосовувати тільки харчові мастила, які є дорогими та дефіцитними.

Як матеріал втулок транспортерного обладнання перспективними є ароматичні поліаміди різних модифікацій [1], які мають відмінні характеристики для використання у підшипниках ковзання, особливо в умовах високих температур та агресивних середовищ, таких як волога, підвищена кислотність та абразивність продукту. Висока міцність і зносостійкість має збільшити термін роботи компоненту, теплостійкість дозволить працювати у широкому діапазоні температур, хімічна стійкість дозволить працювати у агресивних середовищах, таких як підвищена кислотність. Вагомою перевагою також є самозмащення – модифіковані ароматичні поліаміди мають вбудовані добавки (наприклад, графіт), що дозволяє усунути необхідність у додатковому змащуванні. Це необхідно для системи, що працює в умовах сухого тертя.

З метою вибору режимів дослідження композиційних матеріалів враховувалися умови роботи втулки ковзання для проміжної опори транспортеру зі змащенням, а також без змащення. Основними параметрами, що впливають на зношування втулки, є лінійна швидкість ковзання втулки по поверхні валу v (м/с), навантаження, що діє на втулку F (Н), коефіцієнт тертя μ та матеріал втулки [2].

На основі ароматичних поліамідів випускається пластмаса «фенілон», що має високу теплостійкість (563К), а за фізичними властивостями переважає більшість існуючих матеріалів [3]. Як об'єкт дослідження вибрані графітовмісні системи на основі фенілону С2 з 2% кремнійорганічним модифікатором ПМС-100, наповнені природними і штучними графітними препаратами, що мають різну дисперсність та у різній масовій концентрації.

Дослідження одержаних матеріалів проводили в сухому режимі тертя та у різних системах змащування на машині тертя СМЦ-2. Як змащувальне середовище використовували мастило «індустріальне – 45». Силу тертя вимірювали тензометричним способом, а знос – за допомогою вимірювача масових переміщень та аналітичних терезів АДВ-200М.

Порівняльний аналіз фізико-механічних властивостей показує, що отримані матеріали на основі фенілону з графітовими наповнювачами переважають більшість аналогів, особливо при використанні в умовах сухого тертя без змащування. В процесі дослідження антифрикційних властивостей в різних змащувальних середовищах, а також при сухому терті встановлено, що композиційний матеріал на основі фенілону С2, що містить 20% графіту марки ГК-1 та 2% кремнійорганічного модифікатору ПМС-100 (далі – графітонаповнений фенілон) має оптимальні антифрикційні властивості як у режимі сухого тертя, так і зі змащуванням в інтервалі навантажень до 20 МПа. Але, при сухому терті інтенсивність зношування графітонаповненого фенілону у десятки разів нижча, ніж у вихідного фенілону. При цьому коефіцієнт тертя при максимальних навантаженнях значно знижується. В результаті дослідження також встановлено, що попри загальну досить високу зносостійкість матеріалу, найбільш сприятливим є режим сухого тертя, що характеризується відсутністю будь-яких змащувальних середовищ. Це доводить, що графітонаповнений фенілон має високі самозмащувальні властивості в широкому інтервалі навантажень [4].

Інтенсивність зношування при терті зі змащенням зростає в міру збільшення навантаження, в той час як при сухому терті її значення стабільні у досліджуваному інтервалі навантажень до 20 МПа (рис. 2а).

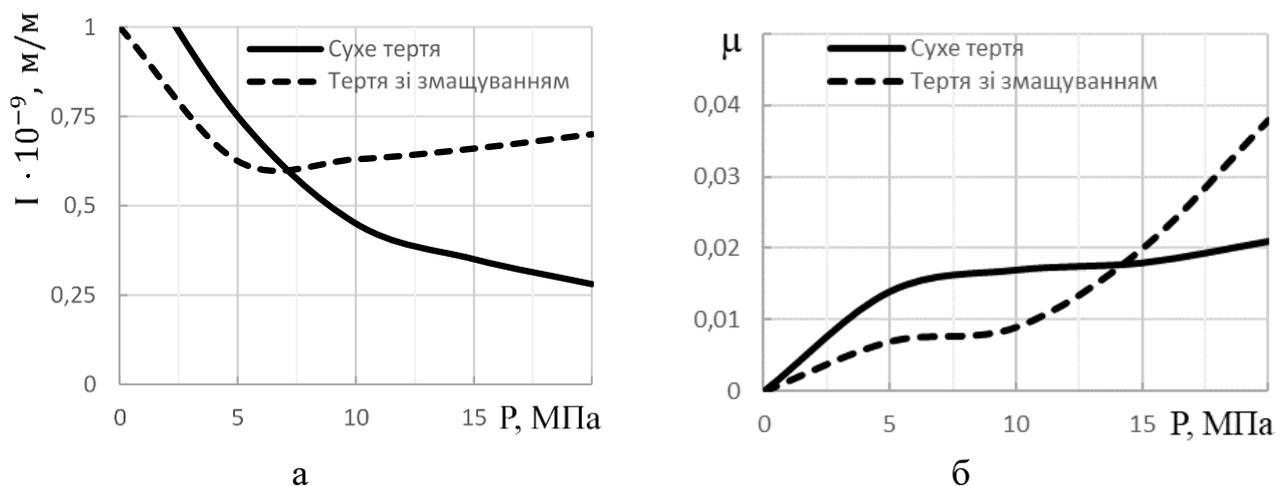


Рис. 2. Залежність інтенсивності зношування (а) і коефіцієнта тертя (б) графітонаповненого фенілону від питомого навантаження (P) в умовах сухого тертя і тертя зі змащуванням графітонаповненого фенілону

В умовах сухого режиму тертя характерною є відносна стабільність коефіцієнта тертя при збільшенні навантаження (рис. 2б).

За наявності змащування в процесі збільшення навантаження до 5 МПа коефіцієнт тертя зменшується, а подальше збільшення навантаження призводить до його незначного підвищення.

Таким чином, перевагами застосування ароматичного поліаміду на основі фенілону з кремнійорганічними та графітовими модифікаторами є його високі триботехнічні характеристики, можливість роботи в умовах сухого тертя без змащування, низька собівартість у порівнянні з дорогими кольоровим сплавами. Композиційний матеріал на основі фенілону С2, що містить 20% графіту марки ГК-1 та 2% кремнійорганічного модифікатору ПМС-100 рекомендований як оптимальний для вузлів тертя транспортерного обладнання, які працюють у жорстких умовах експлуатації, без змащування, замість сплавів кольорових металів та деревини.

Література:

1. Сытар В.И., Кабат О.С. Теплостойкие материалы триботехнического назначения на основе ароматического полиамида и дисперсных кремнеземов // Вопр. химии и хим. технологии. – 2007. – № 4. – С. 94-98.

2. Диха О.В. Розрахунки вузлів тертя машин: навчальний посібник / О.В. Диха. – Хмельницький: ХНУ, 2013. – 175 с.

4. Polymeric composite materials of tribotechnical purpose with a high level of physical, mechanical and thermal properties / O. Kabat, V. Sytar, O. Derkach, K. Sukhyu // Chem. Chem.Technol. – 2021. – Vol.15. – No. 4. – P. 543-550.

5. Constructional materials based on graphite-filled phenylone / A. Tomina, V. Sytar, A. Burya, E. Belyanovskaya // The potential of modern science, 2019, P. 238-253.

**ФОРМУВАННЯ ПОРИСТИХ ФІЛЬТРУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ
СКЛАДНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ З ПОЛІТЕТРАФТОРЕТИЛЕНУ**

¹Калюжний О.Б., ²Платков В.Я.

¹Державний біотехнологічний університет

вул. Алчевських, 44, 61002, м. Харків

²Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля

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

Пористі фільтрувальні елементи на основі політетрафторетилену (ПТФЕ) широко використовуються у різних галузях промисловості (електронна технологія, хімія, медицина, фармакологія, газовидобування) для тонкого очищення газів, рідин та агресивних розчинів, де неприпустиме використання клейових з'єднань [1]. Існуючі методи виготовлення таких елементів, що включають пресування порошкоподібної суміші полімеру та пороутворювача з подальшим спіканням, мають суттєвий недолік – обмеження максимальної висоти якісних елементів до 250 мм. Це пов'язано із виникненням значного градієнта щільності по довжині заготовки при пресуванні, що призводить до неоднорідності пористості та зниження структурних та механічних характеристик довгомірних виробів.

Для подолання цього обмеження та отримання якісних довгомірних фільтроелементів з ПТФЕ запропонований спосіб, заснований на принципі контрольованого спікання зістиківаних заготовок. Основна відмінність цього методу полягає у співвісному стикуванні відпресованих заготовок у вертикальну батарею та її подальшому спіканні за обмеженої можливості термічного збільшення висоти батареї на 6-10%. Оптимальний діапазон значень зазору, що обмежує можливість осьового термічного розширення батареї в процесі її спікання, був визначений експериментально з метою одночасного забезпечення максимальної однорідності структури по висоті фільтроелемента, мінімальних викривлень форми фільтроелемента за умови задовільної міцності з'єднання (зрощування) заготовок. Метод контрольованого спікання дозволяє отримувати

фільтрувальні елементи складної геометричної конфігурації з покращеними експлуатаційними, структурними та фізико-механічними характеристиками, які неможливо досягти традиційними методами пресування та спікання одиночних заготовок через виникнення градієнта щільності.

Пропонований метод виготовлення пористих фільтруючих елементів складної геометричної конфігурації включає наступні основні етапи:

1. Підготовка компонентів: просіювання порошкоподібного ПТФЕ для отримання однорідного дисперсного стану та видалення грудок. Підготовка пороутворювача (наприклад, хлориду натрію [2] або гідрокарбонату натрію [3]) з вибором необхідної дисперсності шляхом подрібнення та просіювання.

2. Змішування компонентів: ретельне перемішування підготовлених ПТФЕ та пороутворювача у необхідному масовому співвідношенні (75-82% пороутворювача).

3. Пресування заготовок: отримання окремих заготовок (висотою не більше 200 мм) шляхом двостороннього осьового компресійного пресування композиційної суміші у прес-формі за питомого тиску пресування 100-150 МПа.

4. Формування батареї з окремих заготовок в спеціальному пристрої: відпресовані заготовки співвісно стикуються торцевими поверхнями, утворюючи вертикальну батарею. Ця батарея поміщається у спеціальний пристрій, який забезпечує обмеження її термічного збільшення по висоті до 6-10% від сумарної початкової довжини заготовок.

5. Контрольоване спікання батареї заготовок: спікання проводиться в електропечі за контрольованого нагріву до температури $380 \pm 5^\circ\text{C}$ з подальшою витримкою 2 години та охолодженням з піччю. Ключовим моментом є виникнення осьового зусилля під час спікання, яке сприяє міцному дифузійному з'єднанню торцевих поверхонь заготовок в єдиний монолітний фільтрувальний елемент.

6. Видалення пороутворювача: монолітна охолоджена заготовка занурюється у ємність з проточною (краще підігрітою) водою для розчинення та видалення водорозчинного пороутворювача.

6. Сушка виробу: готові фільтроелементи висушуються за температур 110-150 °С протягом 3-5 годин з використанням потоку підігрітого повітря.

Основною перевагою даного методу є можливість отримання високоякісних фільтрувальних елементів складної геометричної конфігурації, в наслідок неприпустимості використання клейових з'єднань. Контроль термічного розширення під час спікання забезпечує однорідність структури по усій висоті елемента, мінімальне спотворення форми та високу міцність з'єднання окремих заготовок.

Дослідження показали, що монолітні фільтроелементи складної конфігурації, виготовлені за цією технологією, мають покращені фільтраційні та фізико-механічні характеристики порівняно з фільтроелементами, отриманими за традиційним шляхом. Оптимальний діапазон обмеження термічного розширення (6-10%) визначений на основі аналізу коефіцієнтів якості, що характеризують однорідність пористості, відсутність спотворень форми та міцність з'єднання.

Виготовлені за цим методом монолітні фільтроелементи на основі ПТФЕ можуть ефективно використовуватися для очищення великих об'ємів різноманітних середовищ, включаючи високоагресивні рідини та газу. Відсутність потреби у клейових з'єднаннях, завдяки монолітній структурі, робить їх незамінними в умовах, де хімічна стійкість є критично важливою, що актуально для електронної промисловості, хімічної, медичної та фармацевтичної галузей.

Література:

1. Rae PJ, Brown EN (2005) The properties of poly(tetrafluoroethylene) (PTFE) in tension. *Polymer A* 46(19):8128. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2005.06.120>
2. 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>
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>

UDC 678.574.034.6

**DEVELOPMENT OF MODIFIED CARBON FIBER-REINFORCED
PLASTICS BASED ON POLYAMIDE 6**

**¹Derkach O.D., ¹Makarenko D.O., ¹Sukhachov V.V.,
²Pişkin B., ¹Viter V.A.**

*¹Dnipro State Agrarian and Economic University
Serhiia Yefremova Str., 25, 49600, Dnipro, Ukraine
Derkach.o.d@dsau.dp.ua*

*¹Biosystem Engineering Departmente
Faculty of Agriculture Duzce University
Düzce Üniv., Orhangazi, 81620, Düzce, Türkiye
bulentpiskin@duzce.edu.tr*

Modern mechanical engineering is impossible to imagine without the use of structural plastics. One of the most effective polymer composites used in the construction of agricultural machinery is carbon fiber-reinforced plastic (CFRP) based on polyamide 6. The impact of operating conditions on polymer composites particularly in agricultural machinery structures has been studied in detail [1-3], and leading equipment manufactures devote considerable attention to the development of the polymer composites with predefined (programmed) properties. Until recently, there was no CFRP production in Ukraine. The production technology was complicated by the need to introduce chopped carbon fibers (CF) into the molten polymer matrix in a metered and uniform manner. As is well known, the properties of CF differ significantly from those of the polymer matrix, requiring the use of a dedicated feeder with special design solution. At the laboratory of polymer composites of DSAEU, CF feeder (Fig. 1) was developed and implemented into the processing line of the serial single-screw extruder ECG-45 (Fig. 2).

Thus, using the modernized extruder and a specialized processing technology, carbon fiber-reinforced plastics based on polyamide 6 were produced with varying carbon fiber contents (Table 1). Additionally, to reduce the number of stress concentrations within the material structure, a small amount of silicone lubricant was introduced in certain cases.



Fig. 1. Feeder system: 1 – hopper; 2 – vibration motor; 3 – tray

The resulting CFRPs were labeled as follows:” VPA-6” stands for carbon fiber-reinforced plastics based on polyamide 6; the second number (“16”, “20”, etc.) indicates the mass fraction of carbon fibers, %; the third number (if present), such as “0,5”, “1,0”, or “2,0”, denotes the mass fraction of silicone lubricant.

Table 1. Impact strength a and standard deviation of value σ

№	Grade	a , kJ/m ²	σ , %
1	VPA6-16	42,15	5,64
2	VPA-6-20	41,67	3,92
3	VPA6-30	47,3	3,53
4	VPA6-20-0,5	43,14	3,76
5	VPA6-20-1,0	46,54	5,29
6	VPA6-20-2,0	50,55	12,49

The impact strength is one of the important characteristics of carbon fiber-reinforced plastics. It was determined according to **ISO 179-1:2010** – Plastics – Determination of Charpy impact properties. This characteristic is very sensitive to the presence of internal defects, for example, to the non-uniform distribution of CF in the polymer matrix, the presence of internal stresses, etc. It is important that CF are evenly distributed in the matrix and ensure the isotropy of the material. As seen from Table 1, the highest impact strength is shown by the CFRP of grade VPA6-30. And,

as we can see from the table, this material has the lowest value of σ – 3,53. This indicates a high uniformity of CF distribution in the polymer matrix and, as a result, high stability of parameter a . It is considered that if the value of σ does not exceed 10%, it satisfies the quality of the material. As we can see, the CFRP VPA6-20-2,0 has the highest a (50,55 kJ/m²), but σ exceeds 10%. Analysis of the result of each experiment for determining a of this composite shows that there are values that significantly deviate from the statistics (Table 2). This means that the technology of introducing CF and silicone lubricant into the polymer matrix does not ensure parameter stability and must be changed.

Table 2. Impact strength of each experiment for the VPA6-20-2,0 composite

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
41,7	83,3	50	41,7	47,9	54,2	38,8	52,1	47,9	47,9

Thus, it was established that with the help of a modernized extruder and improved technology, it is possible to obtain carbon fiber-reinforced plastics based on polyamide 6 with a carbon fiber content of on 30% and silicone lubricant content of up to 1,5%.

References:

1. Aulin V.V., Derkach O.D., Makarenko D.O., Hrynkiv A.V. Vplyv rezhymiv ekspluatatsii na znoshuvannya detalei, vyhotovlenykh z polymerno-compozytnoho materialu. Problemy tribolohii. T.9, №4, 2018., p. 65-69.
2. Derkach, O. D., Makarenko, D. O., Muranov, Ye. S., Subochev, O. I., & Derkach, P. O. (2021). *Application of polymer composites in the design of agrorobots and agricultural machinery*. In *Proceedings of the 5th All-Ukrainian Scientific Conference “Theoretical and Experimental Aspects of Modern Chemistry and Materials” (TASh-2021)* (April 10, Dnipro, Ukraine) (pp. 63–66). Retrieved from <http://dspace.dsau.dp.ua/jspui/handle/123456789/5212>
3. Kobets, A. S., Derkach, O. D., Chyhvintseva, O. P., Kabat, O. S., Rula, I. V., Dudin, V. Yu., Makarenko, D. O., & Boiko, Yu. V. (2022). *Application of polymer composites in the agro-industrial complex: Monograph*. Dnipro: Zhurfond. Retrieved from <http://dspace.dsau.dp.ua/jspui/handle/123456789/7031>

**DESIGN OF A 2-DOF SUPPORT LEG
FOR AGRICULTURAL MACHINERY**

¹Bulent Pişkin, ²Derkach O.D.

¹Biosystem Engineering Departmente

Faculty of Agriculture Duzce University

Düzce Üniv., Orhangazi, 81620, Düzce, Türkiye

bulentpiskin@duzce.edu.tr

²Dnipro State Agrarian and Economic University

Serhiia Yefremova Str., 25, 49600, Dnipro, Ukraine

Derkach.o.d@dsau.dp.ua

This article presents a novel two-degrees-of-freedom (DOF) support leg design developed for soil tillage machinery. Traditional support legs are often fixed or have a single degree of freedom, which can be insufficient to ensure the stability of the machine under varying ground conditions. This design aims to enhance the stability and working efficiency of the machine. The article details the design, kinematic analysis, prototype production, and test results. In particular, it emphasizes how this design was developed to overcome the challenges faced by agricultural machinery in different terrain conditions. Unlike traditional support legs, this new design optimizes the machine's contact with the ground by offering both vertical and horizontal adjustment capabilities, thereby providing a safer and more efficient working environment. The article also discusses the potential applications of this design in the agricultural sector and future research directions.

Agricultural machinery, especially soil tillage equipment, has to operate under challenging and variable ground conditions. This situation directly affects the machine's stability and, consequently, the quality of work. Traditional support legs are generally fixed or have a single direction of adjustment. This can lead to instability on uneven or sloping terrain.

To address this problem, we designed a support leg with two degrees of freedom that will better ensure the stability of our machine under different ground conditions. This design has a structure that can adjust the height in the vertical direction and change the angle in the horizontal plane. In this way, the machine can better adapt to different ground conditions and operate more stably.

The literature review on the ground interaction and support systems of agricultural machinery has helped to determine the current situation in this field and

the areas that need to be improved. In particular, support systems used to ensure machine stability under different ground conditions have been examined.

Traditionally, support legs used in agricultural machinery are generally fixed or have a single degree of freedom, resulting in limited movement capability. This causes instability of the machine on different ground slopes or surface irregularities [1]. Although some studies have used support legs that can be adjusted with hydraulic or mechanical systems, these systems usually allow adjustment in only one direction (vertical or horizontal) [2].

In recent years, with the automation of agricultural machinery and precision agriculture applications, the need for more advanced support systems has increased. In this context, technologies such as multi-degree-of-freedom robotic legs and active suspension systems have been investigated. However, the application of these technologies to agricultural machinery involves challenges such as high cost and complex control systems [3].

This literature review reveals the problem of limited movement capability of current support systems and their inability to adapt to changing ground conditions. The two-degrees-of-freedom support leg design presented in this article was developed to address this problem. Thanks to its ability to adjust in both vertical and horizontal directions, the design enables the machine to operate more stably under different ground conditions.

Our new support leg design consists of the following main components:

1. **Base Plate:** The main component that contacts the ground and provides support. It is designed to have a large surface area.
2. **Vertical Adjustment Mechanism:** The mechanism used to adjust the height of the base plate. Different mechanisms such as hydraulic cylinders or ball screws can be used.
3. **Horizontal Adjustment Mechanism:** The mechanism used to adjust the angle of the base plate in the horizontal plane. Elements such as joints or rotary actuators can be used.
4. **Control System:** The system that controls the adjustment mechanisms and ensures the stability of the machine. Manual or automatic control systems can be used.

The two degrees of freedom allow the support leg to have more movement capability. While vertical adjustment allows the machine to adapt to grounds at different heights, horizontal adjustment helps to maintain balance on inclined or uneven ground.

In the design of the support leg, factors such as durability, lightness, and cost-effectiveness were taken into consideration. For this reason, high-strength steel alloys were preferred for the main structural components. In particular, a structural steel such as S355 or similar was found suitable due to its high load-bearing capacity and good weldability properties.

For the base plate, a material with high wear resistance and increased friction with the ground was chosen. For this purpose, wear-resistant steels such as Hardox or surface-hardened materials were used.

In the adjustment mechanisms, high-quality bearings and coatings were used to reduce friction between moving parts and prevent corrosion. In hydraulic cylinders, the quality of sealing elements and piston rod coating is critical for the reliability of the system.

In the prototype production, production methods suitable for the complexity of the design and material properties were chosen. Welding manufacturing method was used in the production of the main structural components. Steel plates were combined by welding robots after cutting and bending processes, ensuring high precision and durability.

In the production of the base plate, since wear-resistant steel sheets were used, methods such as laser cutting and plasma cutting were preferred. These methods allowed precise cuts to be made while preserving the hardness of the material. In the production of the adjustment mechanisms, CNC machining methods were used for parts requiring precise tolerances. Bearing housings, shafts, and connection elements were produced on high-precision CNC turning and milling machines, increasing ease of assembly and working efficiency.

Kinematic analysis was performed to determine the movements and position of the support leg. In this analysis, the position of the support leg at different angles and heights was mathematically modeled. The analysis results showed that the design has the desired range of motion and precision.

To verify the design, a prototype was produced. The prototype was tested under different ground conditions. During the tests, the stability, adjustment speed, and precision of the support leg were measured. The detailed test results are as follows:

- **Stability Tests:**

Static balance tests were performed at different ground slopes (0°, 5°, 10°, 15°).

For dynamic balance tests, the stability of the support leg was measured while the machine was moving at different speeds.

Test results showed that the support leg maintained stability up to 15° slopes and 5 km/h speed.

- Adjustment Speed Tests:

The maximum speed of the vertical adjustment mechanism was measured as 50 mm/s.

The maximum rotation speed of the horizontal adjustment mechanism was measured as 10°/s.

These values indicate that the support leg can be adjusted quickly and effectively.

Precision Tests:

The precision of the vertical adjustment mechanism was measured as ± 2 mm.

The precision of the horizontal adjustment mechanism was measured as $\pm 0.5^\circ$.

These values indicate that the support leg can be adjusted with high precision and the machine's balance can be precisely maintained.

- Load Capacity Tests:

The maximum load capacity of the support leg was measured as 5 tons.

This value shows that the support leg is strong enough to support heavy agricultural machinery.

The test results revealed that the design was successful and performed better than traditional support legs.

Both manual and automatic control systems are integrated to control the movements of the support leg and ensure the stability of the machine:

- Manual Control: The operator can adjust the height and angle of the support leg via hydraulic valves or electric buttons. This control method is simple and low-cost.

- Automatic Control: The machine's balance is continuously monitored by sensors (slope sensors, load cells, etc.) placed on the support leg. A microcontroller automatically ensures the machine's balance by controlling the adjustment mechanisms according to the data from the sensors. This control method offers higher precision and speed.

The main components used in the automatic control system are:

- Slope Sensors: Controls the horizontal adjustment mechanism by measuring the slope of the machine.

- Load Cells: Controls the vertical adjustment mechanism by measuring the load on the base plate.

- **Microcontroller:** Processes the data from the sensors and sends control signals to the adjustment mechanisms.

- **Hydraulic Valves/Motor Drivers:** Moves the adjustment mechanisms according to the signals from the microcontroller.

- **Software Algorithm:** Implements the control strategy necessary to ensure the machine's balance. Algorithms such as PID control or fuzzy logic control can be used.

The two-degrees-of-freedom support leg design presented in this article offers significant advantages for ensuring the stability of agricultural machinery under different ground conditions. Compared to traditional support legs, this design increases the stability of the machine, enhancing work quality and efficiency. In particular, thanks to the automatic control system, the operator's workload is reduced, and the machine can operate safely even in more complex ground conditions. However, this design also has some limitations and aspects that need to be improved. Firstly, the cost of the design may be higher than traditional support legs. In particular, high-precision sensors and control components can increase the total cost. Therefore, more affordable alternatives can be investigated to increase the cost-effectiveness of the design. Secondly, the complexity of the design may complicate maintenance and repair operations. In particular, in case of a malfunction in the automatic control system, troubleshooting and resolution may require more expertise. For this reason, making the design modular and consisting of easily removable and attachable parts can simplify maintenance and repair operations.

Finally, more work is needed on the adaptability of the design to different machine types. The design presented in this article was developed specifically for soil tillage machinery. However, the adaptability of this design to other agricultural machinery (e.g., harvesters, spraying machines) should also be investigated.

This design offers significant potential to increase the stability and efficiency of agricultural machinery. Future studies may focus on the following directions:

- **Increasing the Level of Automation:** By adding more advanced sensors that detect machine movements and ground conditions to the current automatic control system, the support leg can be made to operate completely autonomously. In this way, the operator's workload is reduced, and the machine's efficiency is further increased.

- **Adaptability to Different Machines:** The adaptability of this design to different types of agricultural machinery (e.g., harvesters, spraying machines) can be

investigated. Modifications can be made to the design according to the needs of different machine types.

- **Improving Material and Production Technologies:** By investigating the use of lighter and more durable materials (e.g., composite materials) and more efficient production methods (e.g., 3D printing), the performance and cost of the support leg can be optimized.

- **Developing Intelligent Control Algorithms:** To provide more precise and rapid machine balance, artificial intelligence-based control algorithms (e.g., machine learning, deep learning) can be developed. These algorithms can enable the machine to make the most appropriate adjustments according to ground conditions. These improvements will allow agricultural machinery to operate safely and efficiently even in more complex and challenging conditions.

In this article, a new two-degrees-of-freedom support leg design developed for soil tillage machinery is presented. This design increases the stability of the machine and enhances work quality and efficiency in situations where traditional support legs are insufficient. Prototype production and test results confirm that the design is successful and performs better than traditional support legs. In particular, the automatic control system reduces the operator's workload and enables the machine to operate safely even in more complex ground conditions. Future studies may focus on directions such as increasing the automation level of this design, improving its adaptability to different machines, improving material and production technologies, and implementing intelligent control algorithms. These improvements will allow agricultural machinery to operate safely and efficiently even in more complex and challenging conditions.

References:

1. Does agricultural mechanization improve agricultural environmental efficiency? // *Frontiers*. <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2023.1344903/full>
2. A Review on Ergonomics in Agriculture. Part I: Manual Operations // *MDPI*. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/6/1905>
3. A Review on Ergonomics in Agriculture. Part II: Mechanized Operations - *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/341454233_A_Review_on_Ergonomics_in_Agriculture_Part_II_Mechanized_Operations

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ
АРОМАТИЧНОГО ПОЛІАМІДУ ФЕНІЛОН С-2**

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

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

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

diso@i.ua

Однією із головних проблем сучасної техніки є підвищення надійності і довговічності машин та механізмів, яке, насамперед, пов'язане зі створенням нових полімерних матеріалів конструкційного призначення. Інтенсивний розвиток сучасної техніки сприяє розширенню застосування термопластичних полімерів, що мають високі деформаційно-міцнісні характеристики, тривалу працездатність і стійкість до дії температур і агресивних середовищ.

До перспективних термопластичних в'язучих належить лінійний жорстколанцюговий ароматичний поліамід фенілон С-2. Цей полімер є конструкційним матеріалом інженерно-технічного призначення, зберігає високі показники міцності в широкому інтервалі температур та покращені теплофізичні властивості у порівнянні з іншими промисловими термопластами. Особливістю цього термопласту є поєднання великої жорсткості і міцності з високою ударною в'язкістю та здатністю до пластичних деформацій під дією граничних навантажень до температури 120 °С. Вироби на основі фенілону С-2 з успіхом використовуються у машинобудуванні для заміни коштовних і масивних металічних виробів. Виходячи з цього, з метою створення нових полімерних композитів на основі фенілону С-2, були вивчені його основні експлуатаційні характеристики.

Відомо, що для визначення практичної цінності полімерів, які працюють у нестационарних теплових полях, винятково велике значення має дослідження їх теплофізичних властивостей.

В результаті термічних і теплофізичних досліджень (табл. 1) встановлено, що ароматичний поліамід має достатньо високу термостійкість і теплопровідність та низькі значення температурного коефіцієнта лінійного розширення, що призводить до мінімального усадження виробів з нього внаслідок зміни температури в процесі їх виготовлення.

Таблиця 1. Теплофізичні властивості фенілону С-2

Показники	Значення
Питома теплоємність при 298 К, C_p , кДж / кг · К	1,27
Коефіцієнт теплопровідності при 298 К λ , Вт/м · К	0,32
Коефіцієнт температуропровідності при 298 К, $a \cdot 10^{-7}$, м ² /с	0,22
Температурний коефіцієнт лінійного розширення в інтервалі температур 298-323 К, $\alpha \cdot 10^{-6}$, К ⁻¹	21,3
Температура 30%-вої втрати маси зразку, К	729

Крива питомої теплоємності фенілону С-2 за температур 273-448 К мала близьке до лінійного зростання за рахунок поглинання енергії, яке викликане збільшенням рухомих кінетичних елементів макромолекул при нагріванні полімеру. При подальшому підвищенні температури теплоємність інтенсивно зростала, а в області переходу полімеру зі склоподібного у високоеластичний стан (498-573 К) на кривих проявлявся характерний стрибок питомої теплоємності (ΔC_p). Дослідження коефіцієнта теплопровідності фенілону С-2, який знаходився в межах 0,35-0,45 Вт/м · К, свідчили про його зростання в усьому інтервалі температур, що пов'язане із розповсюдженням і розсіюванням пружних хвиль, які виникають внаслідок теплових коливань макромолекул полімеру.

Згідно з даними фізико-механічних досліджень (табл. 2), ароматичний поліамід фенілон С-2 мав високі міцнісні показники, гарну ударну в'язкість і абразивну зносостійкість. Зовнішній вигляд зразків полімеру після стискання свідчили про те, що вони руйнувалися пластично за рахунок втрати стійкості.

Таблиця 2. Механічні властивості фенілону С-2

Показники	Значення
Межа міцності при стисненні σ_m , МПа	438,0
Межа текучості при стисненні σ_t , МПа	215,3
Модуль пружності при стисненні Е, МПа	3273,9
Відносна деформація ϵ , %	13,2
Ударна в'язкість, а, кДж/м ²	48,3
Відносна абразивна зносостійкість, Ки	0,69

Дослідження трибологічних властивостей показали, що даний полімер має антифрикційні властивості і гарну зносостійкість. Збільшення навантаження від

0,2 до 0,8 МПа супроводжувалось зростанням зносу матеріалу в умовах мінімальної швидкості ковзання (рис. 1б). У жорстких умовах навантажувальних режимів ($P > 0,8$ МПа) на поверхні контртіла розвивалась підвищена температура, що призвело до збільшення адгезії між поверхнями, що труться, і як наслідок – до суттєвого підвищення інтенсивності лінійного зношування від 2 до $14 \cdot 10^{-8}$. Визначення коефіцієнта тертя фенілону С-2 свідчило про те, що зі зростанням питомого навантаження в інтервалі усіх досліджуваних швидкостей ковзання ($v = 1-2$ м/с) він знижувався в середньому на 40-50 % досягаючи своїх мінімальних значень (0,08-0,10) при питомому навантаженні $P = 0,8$ МПа (рис. 1а). Найбільш високі значення коефіцієнта тертя були характерні для зразків полімеру, досліджених при мінімальній швидкості ковзання ($v = 1$ м/с)

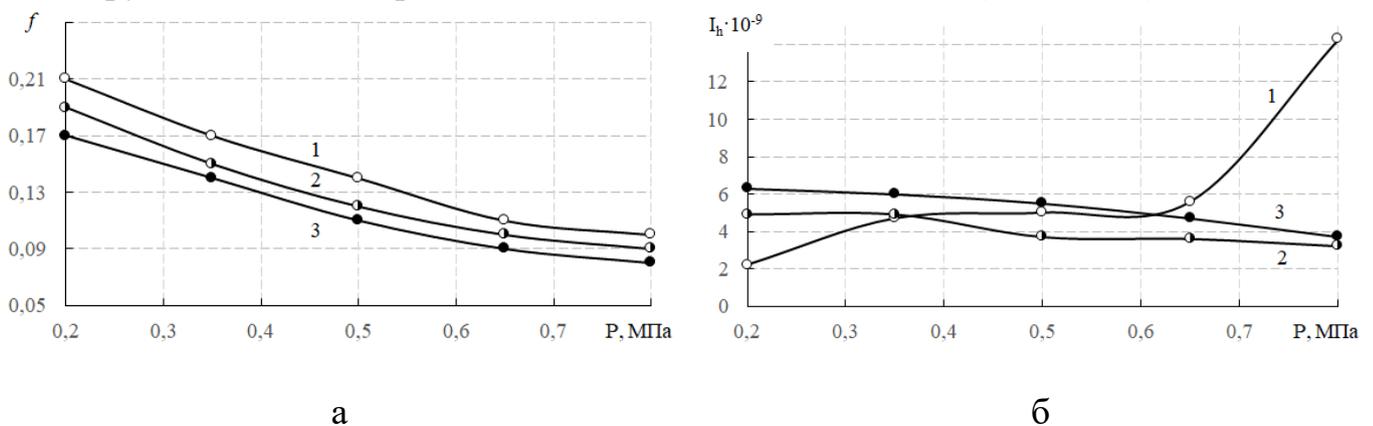


Рис. 1. Залежність коефіцієнта тертя (а) та інтенсивності лінійного зношування (б) фенілону С-2, досліджених при швидкостях ковзання 1,0 (1), 1,5 (2) і 2,0 м/с (3)

В результаті трибологічних досліджень встановлено, що фенілон С-2 може працювати до значень критерію працездатності $PV \leq 1,6$ МПа · м/с. Вивчення мікроструктури поверхні тертя полімеру (рис. 2) показало, що він зношується за адгезійним механізмом, про що свідчила наявність продовжних смуг проорання, розташованих в напрямку руху контртіла. Відмітною рисою цього виду зношування є фрикційний перенос матеріалу із однієї поверхні на іншу,

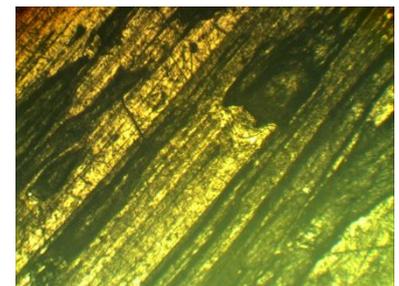


Рис. 2. Мікроструктура поверхні тертя фенілону С-2. Збільшення $\times 200$

обумовлений наявністю локальних зв'язків між контактуючими поверхнями.

Таким чином, комплекс проведених досліджень свідчив про покращені теплофізичні, фізико-механічні і трибологічні властивості фенілону С-2, що дозволяє рекомендувати його як полімерне в'язуче з метою створення нових полімерних композитів конструкційного призначення.

COMPOSITES FOR STRUCTURAL PURPOSES BASED ON POLYESTER BINDER

Olha Chyhvintseva¹, Predrag Dašić²

¹*Dnipro State Agrarian and Economic University*

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

²*Engineering Academy of Serbia (IAS)*

11000 Belgrade, Serbia, dasicp58@gmail.com

Nowadays the intensive research is currently in progress in the field of development of new polymer composite materials (PCM) or in short polymer composites (PC) with improved performance characteristics. The characteristics and processing of composite materials (CM) are presented in the papers [3-6, 9,11-12,14, 20], and polymer composite materials (PCM) in the papers [8,10,13].

The PCM market is showing strong growth in many industrial sectors and applications, due to the need for materials that have different properties and are environmentally friendly as well as cost-effective. Thus, polymer composite materials (PCM) have found application in a large number of components, devices and systems in various areas of human activity. Applications and multifunction nature of polymer nanocomposites are given in Fig. 1 [16].

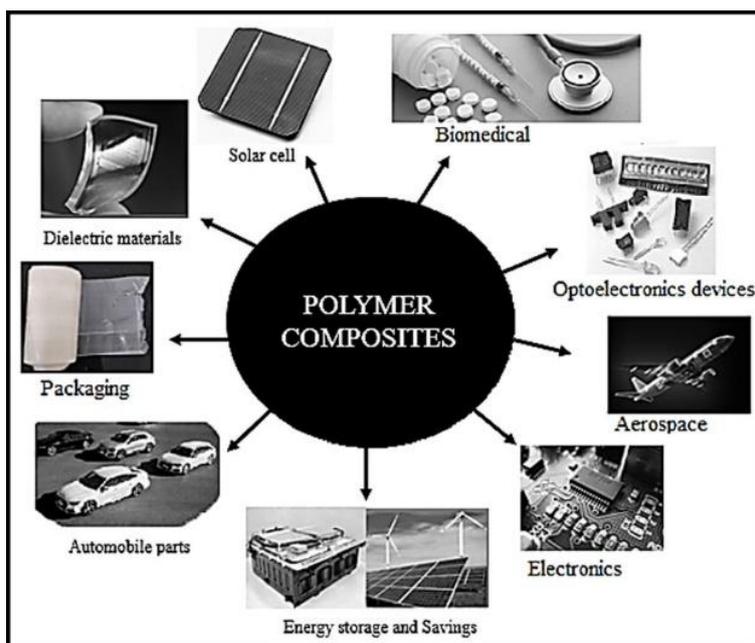


Fig. 1. Applications and multifunction nature of polymer composites [16]

In the field of PCM has been developed a large group of polymer matrix composites (PMC) [2, 5, 7, 15], and more recently, a group of polymer matrix nanocomposites (PMNC) [5,18-19].

Recently, the most interesting groups of PMC composites are: smart polymer composites (SPC) [5,1], smart polymer nanocomposites (SPC) [5,1], smart polymer matrix composites (SPMC) [5,17], sustainable polymer matrix composites (SPMC) [5,17] etc.

The improvement of the properties of polymer binders is significantly contributed to by the reinforcement thereof with discontinuous fibers. For the purpose of creating the polymer composites for structural purposes, polyester binder polyarylate of the DV grade was reinforced with organic fibers vniivlon and terlon and carbon fiber of the ughen brand in the amount of 5-35 wt. %.

The use of an original technique of mixing components by means of ferromagnetic particles using an electromagnetic field ensured a uniform distribution of discontinuous fibers in a polyester binder and allowed to obtain composites with an isotropic structure. The existence of an isotropic composite structure suggested that polyarylate reinforcement would improve its performance characteristics: fibers randomly arranged in a polyester matrix form heat-conducting ducts as a result of contact with each other, which would ensure the increase of their thermophysical and, as a result, tribological properties.

The conclusion drawn is confirmed by the results of the research to study the influence of the nature and content of fibrous fillers on the basic performance characteristics of composites (see Table 1).

The research results allow drawing a conclusion that carbon fiber reinforcement of polyarylate ensures a decrease in specific heat capacity (by 5-16%), linear expansion thermal coefficient (by 1.4-7.3 times), coefficient of friction (by 1.7-3.2 times) and intensity of linear wear (by 5-24 times), as well as to an increase in the coefficient of heat conductivity (by 10-37%) and Brinell hardness (by 11-27 MPa).

Reinforcement of polyarylate with vniivlon fiber increases the ultimate compressive strength by 42-85 MPa and makes it possible to obtain composites with high impact strength of 50-60 kJ/m².

Composites containing terlon fiber feature a heat resistance by Vicat and dynamic modulus of elasticity.

It has been established that, regardless of the nature of the fibrous filler, the optimal property package is featured by composites reinforced with 25 wt. % of the discontinuous fibers.

Table 1. Performance characteristics of polyarylate-based composites

Feature	Fibrous filler			
	–	vniivlon	terlon	uglen
Temperature of 20% mass loss, K	693	703-713	713-723	713-728
Specific heat capacity at 323K, kJ/kg · K	1.35	1.26-1.22	1.27-1.23	1.28-1.14
Coefficient of heat conductivity, W/m · K	0.25	0.27-0.29	0.27-0.28	0.28-0.40
Linear expansion thermal coefficient at 298K, $\alpha \cdot 10^{-6}, K^{-1}$	78.5	41.8-21.6	54.9-18.4	57.5-10.7
Heat resistance by Vicat, K	473	479-498	473-490	474-479
Impact toughness, kJ/m ²	111	60.1-51.1	56.0-17.5	71.3-11.5
Brinell hardness, MPa	71.5	–	81.5-97.5	82.4-98.9
Failure compression stress, MPa	168	210-253	–	182-231
Dynamic modulus of elasticity, MPa	2000	2900-4880	2560-5930	2290-4910
Coefficient of friction	0.4	0.41-0.63	–	0.38-0.20
Intensity of linear wear $I_h \cdot 10^{-8}$	9.6	5.5-0.7	–	2.0-0.4

** The investigation of tribological characteristics of realized on friction disc machine in dry friction regime along the steel counterbody made from steel 45, thermally treated up to the hardness of 45–48 HRC, possessing the surface roughness $R_a = 0.16...0.32$ mcm at specific pressures of 0.4 MPa and sliding velocities of 0.5 m/s, friction track makes 1000 m.*

Due to the improved performance characteristics, the developed polymer composites can be recommended for use as materials for structural purposes in the machine and machinery components.

References:

1. Ali, N.; Bilal, M.; Khan, A.; Nguyen, T.A. & Gupta, R.K. (editors): *Smart polymer nanocomposites: Design, synthesis, functionalization, properties and applications*. Cambridge (Massachusetts – USA): Elsevier Inc., 2023. – 620 pp. ISBN 978-0-323-91611-0. doi: [10.1016/C2020-0-03543-7](https://doi.org/10.1016/C2020-0-03543-7).

2. Bagheri, S.; Khalafi, H.; Tohidifar, M.R. & Bagheri, S.: Thermoplastic and thermoset polymer matrix composites reinforced with bismuth oxide as radiation shielding materials. *Composites, Part B: Engineering*, Vol. 278 (June 2024), Article no. 111443: pp. 1–12. ISSN 1359-8368. doi: [10.1016/j.compositesb.2024.111443](https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2024.111443).

3. Balasubramanian, M.: *Composite materials and processing*. Boca Raton (Florida – USA): CRC Press, 2017. – 648 pp. ISBN 978-1-138-07687-7.

4. Clauser, H.R.: Advanced composite materials. *Scientific American*, Vol. 229, Issue 1 (July 1973), pp. 36–45. ISSN 0036-8733. doi: [10.1038/scientificamerican0773-36](https://doi.org/10.1038/scientificamerican0773-36).

5. Dašić, P.; Nikolić, R.; Đorđević, V. & Medić, J.: Classification of composite materials (in Serbian). In: *Proceedings of the 16th International Scientific Conference "Contemporary Materials"*, Book 64 [52]; Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia & Herzegovina; 8-9 septembar 2023. Banja Luka (Republic of Srpska – Bosnia & Herzegovina): Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska (ANURS), 2024, str. 503–537. ISBN 978-99976-42-85-1.

6. Hashin, Z.: Analysis of composite materials: A survey. *Journal of Applied Mechanics*, Vol. 50, Issue 3 (September 1983), pp. 481–505. ISSN 0021-8936. doi: [10.1115/1.3167081](https://doi.org/10.1115/1.3167081).

7. Hatti, P.S.; Kumar, L.S.; Somanakatti, A.B. & Rakshith, M.: Investigation on tensile behavior of glass-fiber reinforced polymer matrix composite with varying orientations of fibers. *Materials Today: Proceedings*, Vol. 54: Part 2 (2022), pp. 137–140. eISSN 2214-7853. doi: [10.1016/j.matpr.2021.08.196](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.196).

8. Hsissou, R.; Seghiri, R.; Benzekri, Z.; Hilali, M.; Rafik, M. & Elharfi, A.: Polymer composite materials: A comprehensive review. *Composite Structures*, Vol. 262 (April 2021), Article no. 113640: pp. 1–. ISSN 0263-8223. doi: [10.1016/j.compstruct.2021.113640](https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.113640).

9. Hu, H.; Onyebueke, L., & Abatan, A.: Characterizing and modeling mechanical properties of nanocomposites – Review and evaluation. *Journal of Minerals and Materials Characterization*

and Engineering, Vol. 9, Issue 4 (April 2010), pp. 275–319. ISSN 2327-4077. doi: [10.4236/jmmce.2010.94022](https://doi.org/10.4236/jmmce.2010.94022).

10. Julkapli N.M., Bagheri S., Sapuan S.M. Multifunctionalized carbon nanotubes polymer composites: Properties and applications. *Advanced Structured Materials*, Vol. 75 (2015) (Eco-Friendly Polymer Nanocomposites). New Delhi (India): Springer, pp. 155–214. ISSN 1869-8433 and ISBN 978-81-322-2469-3. doi: [10.1007/978-81-322-2470-9_6](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2470-9_6).

11. Kaw, A.K.: *Mechanics of composite materials*. 2nd Edition. Boca Raton (Florida – USA): CRC Press Inc. / Taylor & Francis Group LLC, 2005. – 496 pp. ISBN 978-0-8493-1343-1.

12. Kelly, A.: Composites in context. *Composites Science and Technology*, Vol. 23, Issue 3 (1985), pp. 171–199. ISSN 0266-3538. doi: [10.1016/0266-3538\(85\)90017-X](https://doi.org/10.1016/0266-3538(85)90017-X).

13. Mai, Y.-W. & Yu, Z.-Z. (editors): *Polymer nanocomposites*. Cambridge (United Kingdom): Woodhead Publishing Ltd. (WP), 2006. – 608 pp. ISBN 978-1-85573-969-7.

14. Mallick, P.K. (editor): *Composites engineering handbook*. New York (New York – USA): Marcel Dekker Inc., 1997. – 1262 pp. ISBN 978-0-8247-9304-3.

15. Matsui, J.: Polymer matrix composites (PMC) in aerospace. *Advanced Composite Materials*, Vol. 4, Issue 3 (1995), pp. 197–208. ISSN 0924-3046. doi: [10.1163/156855195X00014](https://doi.org/10.1163/156855195X00014).

16. Palanichamy, K.; Anandan, M.; Sridhar, J.; Natarajan, V. & Dhandapani, A.: PVA and PMMA nano-composites: a review on strategies, applications and future prospects. *Materials Research Express*, Vol. 10, Issue 2 (February 2023), Article no. 022002: pp. 1–22. eISSN 2053-1591. doi: [10.1088/2053-1591/acb527](https://doi.org/10.1088/2053-1591/acb527).

17. Sahayaraj, A.F.; Dhamotharan, S.; Sandeep, D.; Ramachandran, P.; Jenish, I.; Divakaran, D.; Suyambulingam, I.; Sanjay, M.R. & Siengchin, S.: Sustainable smart polymer composite materials: A comprehensive review. *E3S Web of Conferences*, Vol. 428 (September 2023), Article no. 02014: pp. 1–9. eISSN 2267-1242. doi: [10.1051/e3sconf/202342802014](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342802014).

18. Vafaeva, K.M.; Chhetri, A.; Sudan, P.; Mishra, M.; Pakkiraiah, B. & Mohan, C.: Polymer matrix nanocomposites for sustainable packaging: A green approach. *E3S Web of Conferences*, Vol. 511 (2024), Article no. 01008: pp. 1–13. eISSN 2267-1242. doi: [10.1051/e3sconf/202451101008](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451101008).

19. Yin, J. & Deng, B.: Polymer-matrix nanocomposite membranes for water treatment. *Journal of Membrane Science*, Vol. 479 (April 2015), pp. 256–275. ISSN 0376-7388. doi: [10.1016/j.memsci.2014.11.019](https://doi.org/10.1016/j.memsci.2014.11.019).

20. Yu, W.-B.: A review of modeling of composite structures. *Materials*, Vol. 17, Issue 2 (January 2024), Article no. 446: pp. 1–23. eISSN 1996-1944. doi: [10.3390/ma17020446](https://doi.org/10.3390/ma17020446).

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШВИДКОЗАГАРТОВАНОГО СПЛАВУ НА
ЗНОСОСТІЙКІСТЬ НАДВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛІЕТИЛЕНУ**

Томіна А.-М.В., Яковенко Д.В., Головка С.І.

Дніпровський державний технічний університет

вул. Дніпробудівська, 2, 51918, м. Кам'янське

dimyak.pr@gmail.com

Протягом останніх десятиліть полімерні композити на основі надвисокомолекулярного (НВМПЕ) впевнено витісняють кераміку, бронзу, латунь вуглецеву та леговану сталь у виготовленні виробів конструкційного та триботехнічного призначення, які потребують високої стійкості до зношування та дії агресивних середовищ. Відомо [1], що введення дисперсних наповнювачів (Нп) різної природи дозволяє отримати нові композити на основі НВМПЕ, які характеризуються низькою швидкістю зношування, високою твердістю та міцністю. Тому, пошук нових складів полімерних композитів на основі НВМПЕ є актуальним завданням.

НВМПЕ фірми Jiujiang Zhongke Xinxing New Material Co.,Ltd. [2] був обраний в якості матриці для створення зносостійких полімерних композитів. Дисперсний (50-100 мкм) семи компонентний сплав AlMnCrVZrCuMgW обрали як Нп при створенні нових зразків металополімерних композитів (МПК). Даний сплав характеризується високими показниками зносостійкості та твердості, термічної стабільності та хімічної інертності, що робить його ефективним Нп при створенні МПК із високими функціональними властивостями.

Виготовлення зразків НВМПЕ та МПК із вмістом сплаву 5-30 мас.%, здійснювали методом компресійного пресування за режимом, наведеним у роботі [2]. Показник абразивного стирання по жорстко-закріпленим часткам абразиву (дисперсністю 100 мкм) визначали за допомогою дослідного приладу HESKERT при постійному навантаженні 10Н. Морфологічний аналіз поверхонь тертя зразків із НВМПЕ та МПК проводили за допомогою оптичного мікроскопа БІОЛАМ-М.

У процесі досліджень було встановлено, що нові склади МПК характеризуються більшою зносостійкістю порівняно із НВМПЕ. За результатами трьох циклів випробувань, показник абразивного стирання МПК був у 1,7 рази нижчим за рахунок збільшення опору композитів до дії абразивних часток [3], про що свідчить порівняння морфології поверхонь їх тертя (рис. 1).

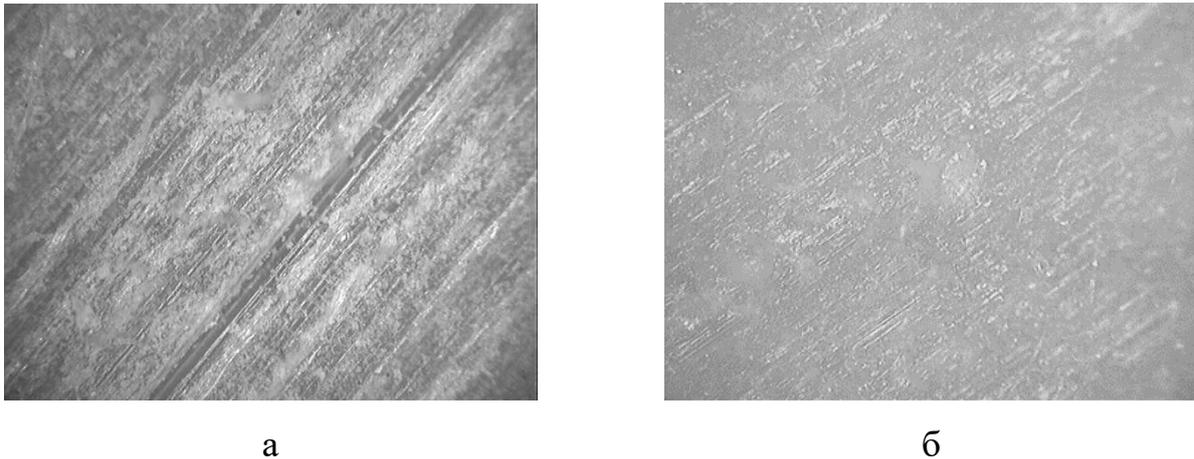


Рис. 1. Морфологія поверхонь тертя ($\times 200$) НВМПЕ (а) та МПК на його основі, що містить 20 мас.% сплаву AlMnCrVZrCuMgW (б)

Література:

1. Guo B., Lijuan Wang, P. Yin, Bengang Li, Panxin Li Ultra-high molecular weight polyethylene fiber-reinforced thermoplastic corn starch composite. *Materials Science*. 2017. Vol. 33. P. 564–577.
2. Tomin S.V., Yeromenko O.V., Yeriomina Ye.A. Influence of dispersed filler on the abrasive wear index of ultra-high molecular polyethylene. *Functional Materials*. 2024. Vol.31, No.2. P. 210–214
3. Єр'оміна К.А. Розробка, дослідження властивостей та застосування металополімерів на основі термостійкого ароматичного поліаміду фенілону: дис. на здобуття вченого ступеня канд. техн. наук: 05.02.01. Херсон, 2017. 190 с.

**ГІБРИДНІ НАНОКОМПОЗИТИ:
ЕЛЕКТРОННІ І ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ**

^{1(*)}Томіна А-М.В., ²Красновид С.В., ²Кончиць А.А.

¹ Дніпровський державний технічний університет

вул. Дніпробудівська, 2, 51918, м. Кам'янське

an.mtomina@gmail.com

² Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАНУ

пр-т Науки, 41, 03028, м. Київ

()an.mtomina@gmail.com, sergkrasnovyd88@gmail.com, konchits@ukr.net*

Вуглепластики на основі конструкційних термопластичних в'язучих мають унікальні механічні характеристики і широко використовуються у машинобудуванні, зокрема, – сільськогосподарському, автомобільній промисловості, в аерокосмічній галузі, оборонній сфері тощо [1].

За останнє десятиріччя широкий розвиток отримали розробка та практичне застосування гібридних композитів, в яких можлива реалізація так званого «синергетичного ефекту», коли за рахунок використання сильних сторін кожного з типів наповнювачів досягається значне покращення актуальних характеристик композита в цілому.

В даній роботі методом електронного парамагнітного резонансу (ЕПР) та трибологічними методами досліджено електронні та трибологічні властивості вуглецевих волокон (ВВ) Т700S (Японія) та мікрографіту сріблястого (ГС), як окремо взятих, так і в якості наповнювачів розроблених гібридних композитів на основі полімерів поліфеніленсульфіду (ПФС) та політрифторхлоретилену (ПТФХЕ).

Встановлено, що спектр ЕПР ПФС (рис. 1) характеризується наявністю двох типів дефектів, один з яких (крива 1) пов'язаний з обірваними зв'язками в полімерних ланцюжках, а інший (крива 2) – з наявністю атомів сірки. Останній сигнал реєструється тільки, коли зразок знаходиться в атмосфері кисню, тобто

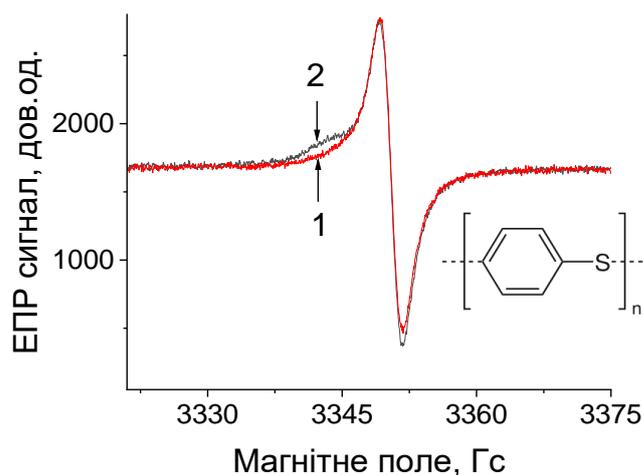


Рис. 1. Спектри ЕПР зразка ПФС, зареєстровані у відкачаному зразку (крива 1) та цьому ж зразку, який зберігався в атмосфері кисню дві доби

кисень входить в структуру дефектів, пов'язаних з сіркою. У відкачаних при температурі $T \sim 120 \text{ }^\circ\text{C}$ зразках ПФС сигнал типу 2 не реєструється. На вставці внизу показана структура ПФС. Параметри сигналу ЕПР ПФС (крива 1) наступні: величина g -фактора $g = 2.0029$, ширина лінії $\Delta H_{pp} = 2.7 \text{ Гс}$. Параметри сигналу ЕПР у ПТФХЕ подібні сигналам ПФС, але сигнал 2 в ньому закономірно відсутній.

На рис. 2 а, б показано сигнали ЕПР наповнювачів, а саме, вуглецевих волокон Toray 700S (Японія) та сріблястого графіту (СГ).

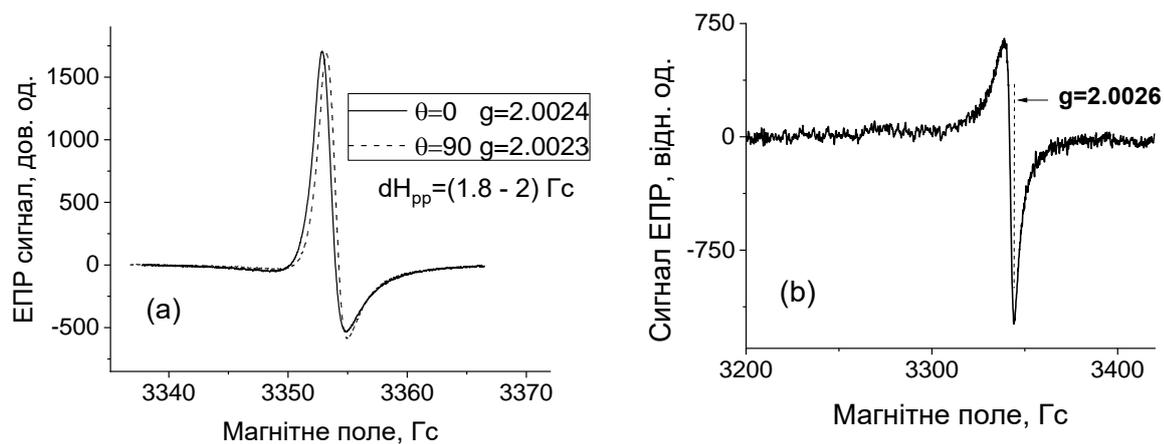


Рис. 2. (а) – спектр ЕПР вуглецевих волокон (ВВ) Toray 700S.

Орієнтація волокон вздовж та перпендикулярно напрямленню магнітного поля (суцільна та пунктирна криві); (б) – спектр ЕПР вільно насипаного порошку мікрографіту ($d \sim 100 \text{ }\mu$)

Фактична ідентичність спектрів ЕПР ВВ в обох напрямках (ізотропний спектр) показує, що ВВ Toray 700S є карбонізованими, а не графітованими. Найбільш низька ширина ліній ЕПР Toray 700S серед досліджених нами типів ВВ доводить їх високу якість, в тому числі механічну міцність, оскільки вказує на низьку разорієнтацію графітоподібних кластерів. Спектр ЕПР мікрографіту (рис. 2б) не є «класичним», в ньому відсутня лінія в низькому Н-полі ($g=2.05$) завдяки виявленому нами ефекту орієнтації вільно розміщених мікрочастинок внаслідок сильного діаманетизму графіту [1].

На рис. 3 приведено спектри ЕПР зразків композитів ПФС+15% ГС (крива 1) і ПФС+ 15% ГС+ 2% Toray 700S (крива 2).

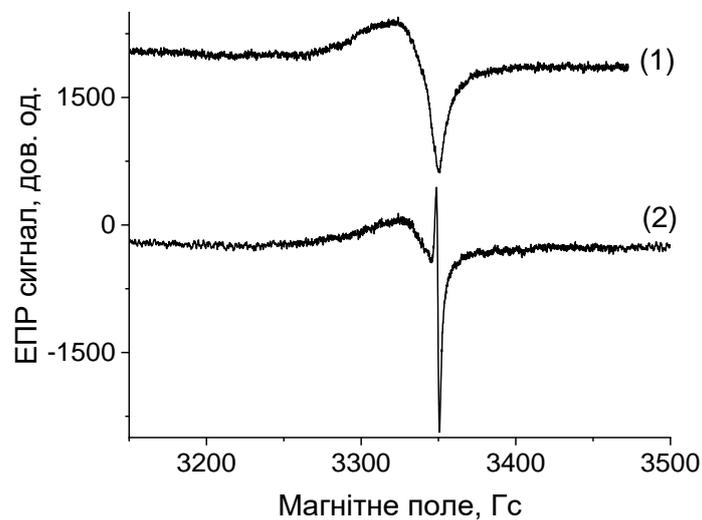


Рис. 3. Спектри ЕПР зразків композиту ПФС+15% ГС (крива 1) і гібридного композиту ПФС+ 15% ГС+ 2% Toray 700S (крива 2)

Вибір малої концентрації ВВ для даної ілюстрації обумовлено необхідністю запису повного спектра ЕПР композита в умовах великих амплітуд сигналів ВВ (завдяки їх малій ширині).

З рис. 3 видно, що магніторезонансні сигнали у складі композитів не змінюють принципово своїх характеристик. Інтегральна інтенсивність обох сигналів пропорційна концентрації наповнювачів, отже, можна розраховувати на реалізацію кращих актуальних якостей конкретного наповнювача в складі гібридного композиту.

Слід зазначити, що на початковому етапі роботи використовувались різні типи ВВ. Було встановлено кореляцію між їх механічними та магніто-резонансними характеристиками. А саме, ширина та форма ліній ЕПР у ВВ визначаються величинами часу спінової релаксації (T_2) та часу спінової дифузії через скін-шар (T_D), які є показниками структурної досконалості ВВ на мікро-рівні. Серед досліджених ВВ (Евлон, Конкор, Урал-24, Toray-700 S) найкращі показники (найбільша міцність та найменшу ширина лінії ЕПР) виявили у ВВ Toray.

Що стосується трибологічних властивостей ПКМ встановлено, що введення комбінованої суміші ВВ та сріблястого графіту сприяє суттєвому зменшенню інтенсивності лінійного зношування, а також коефіцієнта тертя поліфеніленсульфіду і політрифторхлоретилену приблизно у 2 рази порівняно з ПКМ, що містять у своєму складі один вид наповнювача (волокно чи графіт).

Таке покращення трибологічних властивостей пояснюється проявом «синергетичного ефекту», що виникає внаслідок одночасної дії двох функціонально активних компонентів. Волокнистий наповнювач забезпечує підвищення міцності та зносостійкості, тоді як ГС створює самозмащувальний ефект, що знижує сили тертя. Комплексне застосування цих наповнювачів сприяє ефективному поєднанню механічної міцності та змащувальної здатності, що є критично важливим для забезпечення довговічності матеріалу в умовах інтенсивного тертя та зношування [2, 3].

Література:

1. Konchits A., Yeriomina Ye., Tomina A.-M., Lysenko O., Krasnovyd S., Morozov O. Advanced Polymer Composites for Use on the Earth and in Space. In: Nanotechnology in Space. Pan Stanford Publishing (2021), P. 71-119.
2. Burya O.I., Tomina A.-M. V. Research on tribological properties of compositions based on phenylone. Functional Materials. 2019. Vol. 26, no. 3. P. 525–529.
3. Буря О.І., Єр'оміна К.А., Томіна А.-М.В. Вплив гібридної суміші на термічний коефіцієнт лінійного розширення фенілону С-2. Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2019: матеріали X Міжнародної наук.-техн. конфер. (м. Київ, 30-31 трав. 2019 р.). Київ, 2019. С. 43–44.

СИНТЕЗ ТА ДІЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМІДНИХ НАНОКОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ТЕТРАЕТОКСИСИЛАНУ ТА КАРБОНАНОТРУБОК

Шанталій Т.А., Несін С.Д., Драган К.С.

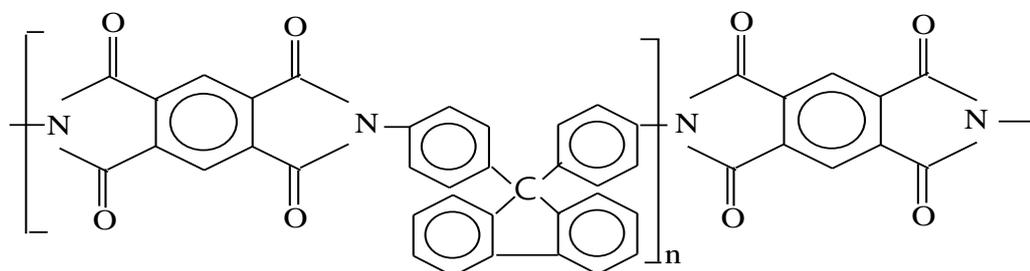
Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

Харківське шосе, 48, 02160, м. Київ

shantaliitiana@gmail.com

Представлені результати дослідження діелектричної проникності наноккомпозитів, в яких неорганічна фаза отримана на основі тетраетоксисилану (ТЕОС) методом золь-гель технології та наповнення карбонанотрубками (КНТ).

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

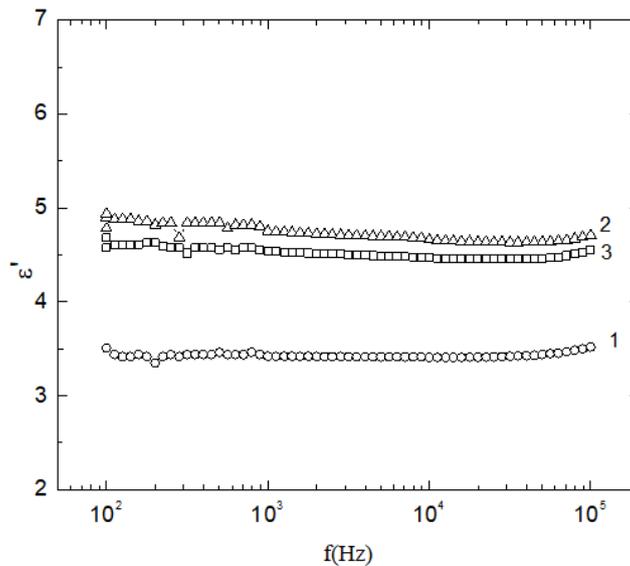


Синтез наноккомпозитів проводили за такою методикою: попередньо готували суміш вихідного діаміну – анілінфлуорену з необхідною кількістю карбонанотрубок (від 0,001 до 0,100) % диспергуванням в невеликій кількості розчинника – диметилацетаміду. Час диспергування залежав від кількості наповнювача і коливався в межах (2-5) хвилин. Ця суміш загрузалась в реактор і далі процес йшов по схемі двостадійного синтезу поліімідів з утворенням на першій стадії поліамідокислоти (ПАК) [1]. До розчину, при інтенсивному перемішуванні, у присутності 3-амінопропілтриетоксисилану для контролю довжини ланцюга поліімідного блоку і утворення функціональної кінцевої групи, порціями додавали діангідрид піромелітової кислоти. Таким

чином одержували ПАК. Дотримання вище наведеної послідовності внесення реагуючих речовин є фактором, що виявляє вирішальний вплив на поліконденсаційний процес. Полімери з найбільш високою молекулярною масою утворюються при введенні в розчин діаміну твердого діангідриду. Далі до розчину додавали (2,5, 5,0 та 10,0)% ТЕОС від маси вихідної ПАК і перемішували при кімнатній температурі протягом 2 годин. Концентрація розчину складала 20 %. Таким чином одержували прекурсор поліімідного нанокompозиту. Потім гомогенний розчин виливали на скло, оброблене диметилдихлорсиланом, і витримували при кімнатній температурі у вологому середовищі не менше 1 години для початку проходження процесу гідролізу, який здійснюється завдяки волозі повітря та воді, яка виділяється в ході реакції імідизації. Каталіз відбувається за рахунок кислотних груп вихідної ПАК, без додаткового додавання кислоти або основи до тетраетоксисилану. Покроковим нагріванням та наступним витриманням тонких плівок протягом двох годин при кожній з температур: (80, 100, 150, 200, 250, 290)°C одержували нанокompозити на основі ТЕОС та КНТ.

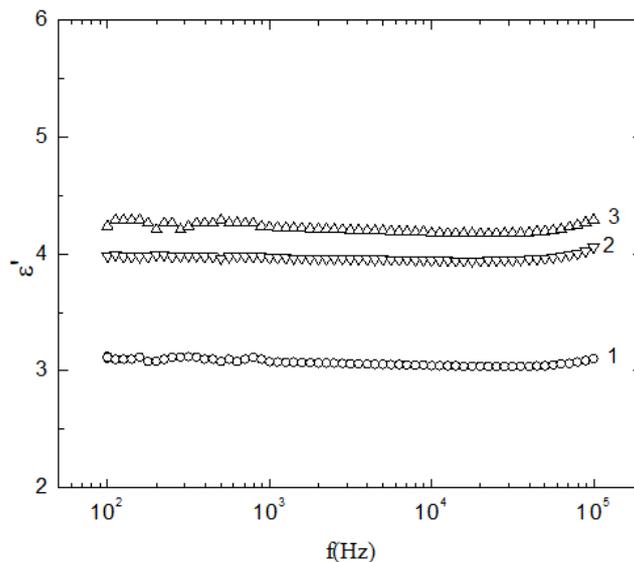
Дослідження нанокompозитів методом діелектричної релаксаційної спектроскопії показали, що на значення діелектричної проникності даних матеріалів впливає кількість і склад неорганічної фази. На рис. 1 наведено частотні залежності дійсної частини комплексної діелектричної проникності ϵ' для вихідного поліімиду та композитів з вмістом ТЕОС 2,5 % та вмістом КНТ (0,005 і 0,050)%.

Як видно з рис. 1, частотні залежності дійсної частини комплексної діелектричної проникності ϵ' типовими для наведених зразків і відрізняються тільки значенням ϵ' . При введенні в зразок нанокompозита одночасно ТЕОС (2,5%) та КНТ (0,005 та 0,050 %) (криві 2 і 3 відповідно) призводить до значного (4,8 та 4,5) збільшення значень ϵ' на всьому частотному інтервалі у порівнянні з вихідною поліімідною матрицею, для якої значення ($\epsilon' \approx 3,2$). На рис. 2 і 3 наведено частотні залежності дійсної частини комплексної діелектричної проникності ϵ' для вихідного поліімиду та композитів з вмістом ТЕОС (5 та 10)% відповідно.



Вміст ТЕОС – 2,5%; КНТ: 1– 0, 2-0,005, 3 – 0,05 %

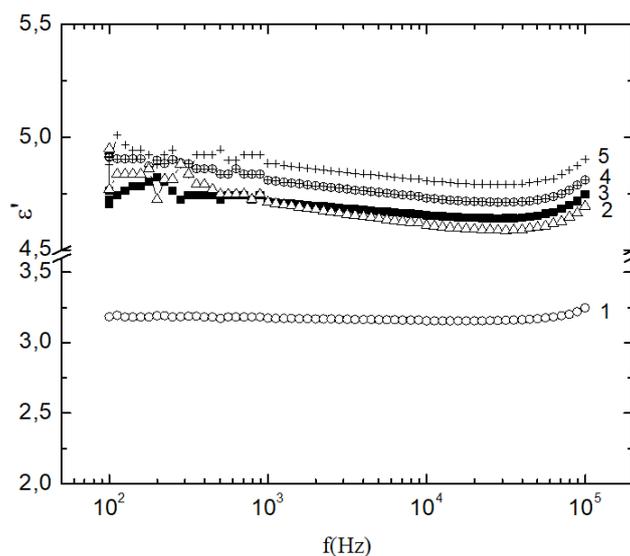
Рис. 1. Частотні залежності дійсної частини комплексної діелектричної проникності ϵ' для нанокompозитів з різним вмістом КНТ



Вміст ТЕОС – 5%; КНТ: 1– 0, 2 – 0,005, 3 – 0,05%

Рис. 2. Частотні залежності дійсної частини комплексної діелектричної проникності ϵ' для нанокompозитів з різним вмістом КНТ

Для складу нанокompозитів з вмістом ТЕОС 5% та КНТ (0,005 та 0,050)% спостерігається майже така сама залежність зміни діелектричної проникності, як і для попередніх зразків: введення невеликої кількості КНТ призводить до підвищення ϵ' , але незначно меншому ніж при вмісті ТЕОС 2,5%.



Вміст ТЕОС – 10%; КНТ: 1– 0, 2 – 0,005, 3 – 0,001, 4- 0,05, 5 – 0,01%

Рис. 3. Частотні залежності дійсної частини комплексної діелектричної проникності ϵ' для нанокompозитів з різним вмістом КНТ

На рис. 3, представлені залежності діелектричної проникності для зразків, в яких при вмісті ТЕОС 10%, концентрація КНТ відрізняється у 10 разів, відповідно (0,001 та 0,010) та (0,005 та 0,050). При цьому величина ϵ' для них знаходиться в близьких межах ($\approx 4,5-5,0$).

Разом з тим, відомо, що введення провідних наповнювачів значним чином змінює діелектричні характеристики полімеру, що зумовлено не тільки розподілом наповнювача в полімерній матриці, а й характером їх взаємодії. Як видно з наведених рисунків, при різному вмісті ТЕОС наявність КНТ в кількості (від 0,001 до 0,050)% призводить до зростання ϵ' приблизно в 1,5 рази в порівнянні з вихідною матрицею. Це може бути пов'язане з більш щільним пакуванням часток КНТ і, як наслідок, зменшенням дефектності та поруватості зразка. Маленькі часточки КНТ з хорошою дисперсією в полімері зменшують часткову агломерацію, що призводить до зменшення поруватості зразка. Ймовірно збільшення вмісту КНТ до значень (від 0,1 до 0,5)% може привести до перколяційного переходу, що є предметом наступних досліджень.

Література:

1. Бюллер К.-У. Тепло- и термостойкие полимеры. М: «Химия». 1984. 1056 с.

**ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОТРИМАННЯ
БАЗАЛЬТОПЛАСТИКІВ НА ОСНОВІ ПОЛІАМІДУ-6 НА ЇХ
МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ**

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

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

kh.andrey88@gmail.com

Дотепер зростає потреба заміни металевих, керамічних, полімерних аналогів у різних високопродуктивних конструкційних застосуваннях в аеро-космічній, автомобільній та машинобудівній промисловості. У якості такого замітника широко використовують армовані пластики. В останні роки базальтові волокна привернули велику увагу як потенційний армуючий матеріал завдяки чудовим перевагам, таким як: менший вплив їх виробництва на навколишнє середовище, широка ресурсна база, висока міцність та термо-стабільність. Порівняно зі склопластиками та азбопластиками, базальтопластики демонструють набагато вищі характеристики [1].

Дослідження впливу вмісту базальтових волокон та їх довжини на механічні властивості полімерних композиційних матеріалів на основі поліаміду показали, що довжина волокон має більший вплив на механічні властивості, ніж ступінь наповнення. Найвищі показники міцності при розтязі показав композит із довжиною волокон 12 мм та вмістом 30 мас. % [2].

Недоліком більшості композитів, армованих базальтовими волокнами, є слабкий міжфазний зв'язок між полімером та волокном через низьку поверхневу енергію та високу хімічну інертність базальтового волокна. Слабкий міжфазний зв'язок завжди призводить до гіршої передачі напружень та серйозних фізичних дефектів, що скорочує термін служби композитів та значною мірою обмежує їх широке застосування [2].

Покращення комплексу властивостей базальтопластиків можливо досягти апретуванням волокон, за рахунок чого підвищується адгезійна взаємодія між поліамідною матрицею та базальтовим волокном. Ефективним є використання аміновмісних апретів [3].

Мета роботи полягала у дослідженні впливу технологічних параметрів процесу двошнекової екструзії (частоти обертання шнеків екструдера, температури циліндра екструдера та екструзійної головки) на механічні та теплофізичні властивості базальтопластиків на основі поліаміду, а також дослідження впливу апретування аміновмісним апретом на їх механічні властивості. У якості полімерної матриці використовували поліамід-6, а як наповнювач – рубані на відрізки довжиною 8-10 мм базальтові волокна. Ступінь наповнення композиту становила 30 мас. %.

Процес підготовки матеріалу та отримання зразків для вимірювання механічних властивостей композиту складався з таких стадій: приготування термопластичної матриці та волокон, механічне змішування, суміщення шляхом екструзії з наступним гранулюванням, лиття під тиском стандартних зразків.

За результатами дослідження виявлено, що зі збільшенням частоти обертання шнеків екструдера від 55 об/хв до 115 об/хв міцнісні властивості базальтопластиків практично залишаються без змін, а при подальшому її збільшенні (до 135 об/хв) вони знижуються: міцність при розтязі зменшилась на 8 %, відносне видовження при розтязі – на 28 %. В той же час, ударна в'язкість за Шарпі зросла на 5 %. Одночасно у композитів, отриманих у вивченому інтервалі частот обертання шнека екструдера, спостерігалось зростання показників текучості розплаву.

Зниження механічних властивостей базальтопластиків з підвищенням частоти обертання шнеків екструдера викликано інтенсивним руйнуванням базальтових волокон, що призводить до зниження армуючого ефекту та до підвищення текучості композиції. Раціональною слід вважати частоту

обертання шнеків 115 об/хв тому, що при її зменшенні спостерігається зниження продуктивності процесу екструзії.

Також було встановлено залежність міцності при розтязі композитів від температури зони дозування екструдера. Підвищення температури зони дозування від 255 °С до 270 °С призводить до підвищення міцності при розтязі композитів на 20 %. Це пояснюється зменшенням в'язкості розплаву полімерного в'язучого з підвищенням температури екструзії, поліпшенням умов просочування базальтових волокон полімерним в'язучим та їх рівномірним розподіленням у об'ємі полімерної матриці. Посилюється і адгезійна взаємодія в системі з підвищенням температури. Подальше підвищення температури екструзії до 280 °С призводить до появи деструктивних процесів у полімерній матриці, що підтверджується зниженням теплостійкості, механічних властивостей (міцність при розтязі та ударна в'язкість за Шарпі знижуються на 15 % та на 8 % відповідно) та підвищенням показника текучості розплаву на 15 %.

Таким чином, оптимальною температурою зони дозування двошнекового екструдера в процесі екструзії базальтопластиків на основі поліаміду-6 слід вважати 270 °С, частота обертання шнеків екструдера не повинна перевищувати 2 об/сек.

При вивченні впливу температури екструзійної головки на властивості композитів також знайдена екстремальна залежність механічних властивостей базальтопластиків від її температури. Максимальні механічні та теплофізичні властивості базальтопластиків отримані при температурі головки 270 °С, яка дорівнює температурі останньої зони двошнекового екструдера.

Таким чином, механічні властивості базальтопластиків на основі поліаміду-6 в значній мірі визначаються ступенем ушкодження в процесі екструзії базальтових волокон та температурними параметрами процесу переробки.

При досліджених оптимальних технологічних параметрах процесу двошнекової екструзії механічні властивості армованої базальтовими волокнами

полімерної матриці значно перевищували властивості ненаповненої матриці. Зокрема, міцність при розтязі збільшилась на 88 %, а відносне видовження при розриві – на 16 %. У той же час теплостійкість за Віка композиту збільшилась на 5 %, а усадка зменшилась на 44 %.

Подальше підвищення механічних властивостей базальтопластиків можливо досягти за рахунок апретування базальтових волокон. Використання аміновмісного апрету дозволило збільшити міцність при розтязі полімерного композиційного матеріалу іще на 40 %.

Даний метод підвищення експлуатаційних властивостей базальтопластиків на основі поліаміду-6 дозволить більш широко використовувати їх у якості матеріалу конструкційного призначення для заміни металів, кераміки та ненаповнених полімерів у виробництві деталей техніки, в тому числі і сільсько-господарського призначення.

Література:

1. Shaofeng Z., Junjie W., Shuzhan W., Xiaozhou M., Jin H., Guizhe Z., Yaqing L. (2018). Facile preparation of multiscale graphene-basalt fiber reinforcements and their enhanced mechanical and tribological properties for polyamide 6 composites. *Materials Chemistry and Physics*, 2017, 315-322. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.06.080>
2. Blackman Z., Olonisakin K., MacFarlane H., Rodriguez-Uribe A., Tripathi N., Mohanty A.K., Misra M. (2024). Sustainable basalt fiber reinforced polyamide 6,6 composites: Effects of fiber length and fiber content on mechanical performance. *Composites Part C: Open Access*, 14, 100495. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2024.100495>
3. Yo S., Oh K.H., Hwang J.Y., Hong S.H. (2019). The effect of amino-silane coupling agents having different molecular structures on the mechanical properties of basalt fiber-reinforced polyamide 6,6 composites. *Composites Part B: Engineering*, 163, 511-521. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.12.148>

**КОМПОЗИЦІЙНІ ФТОРПОЛІМЕРИ
ТРИБОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Кабат О., Балусь Р., Ляшенко К.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

Amber_UDHTU@i.ua

Розвиток сучасної науки і техніки досить тісно пов'язаний із матеріалознавством та його продуктами – новітніми матеріалами з унікальним рівнем властивостей. Так, одним із таких матеріалів є полімери та полімерні композиційні матеріали на їх основі. До переваг таких матеріалів слід віднести їх невисокі значення густини, достатній рівень фізико-механічних властивостей, надзвичайну хімічну стійкість та можливість роботи у парах тертя, які працюють без чи із граничним змащуванням.

До найбільш розповсюджених полімерів слід віднести фторполімери, які представлені досить великою кількістю фторвмісних матеріалів, що мають широкий спектр властивостей: починаючи із політетрафторетилену, який відрізняється унікальною хімічною стійкістю і закінчуючи полівініліденфторидом, що є досить міцним полімером.

Також усі фторполімери відрізняються досить високими значеннями трибологічних властивостей при фрикційній взаємодії із сталлю. Тому досить актуально використовувати матеріали на їх основі у вузлах тертя та герметизації машин і механізмів.

У роботі для покращення рівня трибологічних властивостей фторполімери були модифіковані поліметилсиліксановою рідиною, яка являє собою термостійку речовину з гарними змащувальними властивостями. Її введення дозволило на 5-10% та на 30-40% зменшити коефіцієнт тертя і зношування розроблених полімерних композитів на основі фторполімерів у порівнянні із вихідними полімерами при фрикційній взаємодії зі сталлю.

УДК 678-2:664.013

**ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИТИ НА ОСНОВІ АРОМАТИЧНОГО
ПОЛІАМІДУ ТА СРІБЛА ДЛЯ ВУЗЛІВ ТЕРТЯ ОБЛАДНАННЯ
ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

Сула М.П., Кабат О.С.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

fggtdyfhbfhfhf@gmail.com

На теперішній час при проектуванні обладнання для харчової промисловості потрібно приділити особливу увагу вибору матеріалу для даного обладнання. Особливо слід звернути увагу на вузли тертя, в яких матеріали працюють при різних фізико-механічних та теплофізичних умовах і без змащування, а також зазнають дії впливу середовища, в якому працюють. Дані вузли важко обслуговувати, бо в них може розвиватися бактеріальна біоплівка. Тому слід зауважити, що не усі полімерні чи композиційні матеріали можуть забезпечувати потрібний рівень фізико-механічних, теплофізичних і антибактеріальних властивостей.

Серед таких полімерів слід розглянути політетрафторетилен, який має досить високі зносостійкість при терті без змащування і теплофізичні властивості, а особливо високу інертність до дії багатьох агресивних середовищ. Однак, цей полімер працює лише при досить малому навантаженні (до 1 МПа), на відміну від ароматичного поліаміду, який може працювати при значно більшому навантаженні.

У порівнянні з політетрафторетиленом, ароматичний поліамід має гірші трибологічні властивості, зокрема, зносостійкість при терті без змащування. Тому ми розробили композиційний матеріал на основі ароматичного поліаміду із введенням дрібно дисперсного порошку срібла. Це дозволило значно покращити його трибологічні (зносостійкість при терті без змащування) та антибактеріальні властивості.

UDC 542.816:66.081

**HYDROPHILISATION OF e-PTFE HIDROPHOBIC SURFACE
FOR PORE MEMBRANE MODIFICATION**

Kudelko K.O., Rozhdestvenska L.M, Palchik A.V.

Vernadskii institute of general and inorganic chemistry, NAS of Ukraine

Akademika Palladina prospect, 32/34, 03141, Kyiv

kathykudelko@gmail.com

The expanded polytetrafluoroethylene (e-PTFE) is a chemically stable material, it can be used in a wide temperature range in various industries – chemical, petrochemical, food, beverage, pharmaceutical. E-PTFE possess developed surface and porosity to makes it highly productive separators. It could be either as flat membranes or as flexible tubes. Such e-PTFE material is initially hydrophobic, and its use for water purification leads to contamination, biofouling and scale formation. Therefore, the e-PTFE membrane often has to be cleaned during filtration. Effective operation of the e-PTFE membrane in filtration processes requires an increase in the hydrophilicity [1] of the surface. The hydrophobic surface can be changed by chemical modification, grafting, plasma treatment. The last one are energy-intensive processes.

In previous work [2], it was shown that the incorporation of inorganic fillers (zirconium hydro phosphate – ZHP, carbon nanodots) and polymer-inorganic composite (ZHP/PTFE) into the pores of e-PTFE tube membrane bring to hydrophilization of the membrane surface with simultaneous transformation of micropores into ultrapores. The modification also increases mechanical properties such as hardness that allows use membrane under high pressure conditions without stretching. The hydrophilic components of the modifier help prevent biofouling and reject contaminants. This makes it possible to use these membranes for the separation of biological solutions and wastes. Since the modification process should be low-cost and easily scalable for scaling, we used aqueous sol of zirconium dioxide. However, due to the strong hydrophobicity of the original e-PTFE material, the process requires initial pretreatment.

ZHP/PTFE composite gives ion-exchange properties and promotes wettable and surface roughness. Composite filler generates pore decreasing and creates novel net of porosity. As a result, the water flux is decreased. In this work, it was proposed to use polyacrylic acid (PAA) with different molecular weight (20 kDa and 450 kDa), as well as silicon oxide sols synthesized from tetraethylorthosilicate (TEOS) in an alcoholic solution, for initial pretreatment (to reduce the hydrophobicity of the e-PTFE tube). These materials are widely used for the hydrophilization of flat surfaces [3], and the possibility of their use for the hydrophilization of highly porous e-PTFE membranes is considered here.

Stober synthesis [4] was used for obtaining initial silicon oxide nanoparticles sol solution. Ammonia and oxalic acid were used as the catalyst of the process. The particles size was analyzed Dynamic light scattering (BeNano 90 Zeta). Static water contact angle (WCA) measurements were conducted using an optical goniometer with analysis software (JCA24017 MIT-PHa).

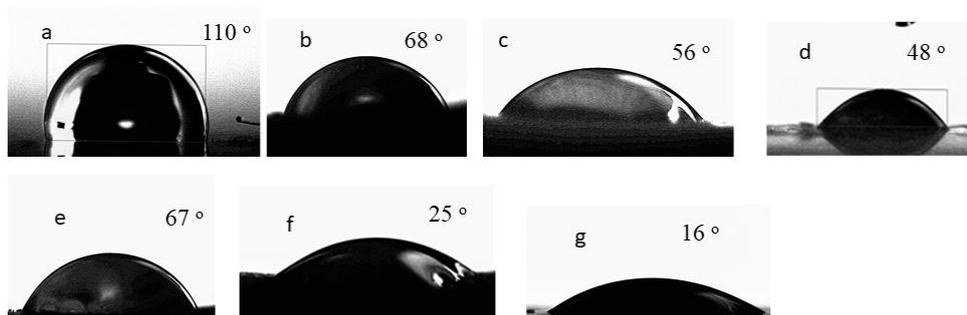


Figure 1. WCAWC of pristine e-PTFE 110 ° (a), hydrophilized with PAA 20 kDa (b), PAA 450 kDa (c), SiO₂ (d) after water dropped and after 1 minute 20 ° of water soaking PAA 20 kDa (e), PAA 450 kDa (f), SiO₂ (g)

After treatment all membranes show surface hydrophilicity (Figure 1). The membranes with PAA of low molecular weight exhibit the lowest wettability, which has not changed over time Fig. 1 b, e). Probably the number of hydrophilic modifiers is too low. Membrane with PAA of high molecular weight shows better wettability properties (Fig. 1c) and ability to water soaking after 1 minutes of contact time (Fig. 1e). But the highest wettability is found after treatment by SiO₂ nanoparticles with particle size of 30-60 nm (Fig. 1d, g). Silica NP has high surface area with

hydrophilic OH groups. It is conformed to have good adhesion properties due creation the networks of bonded particles on the surface via hydrogen bonding, formal covalent bonding resulting from the creation of siloxane (=Si-O-Si=) linkages between the colloidal particles. As a result, SiO₂ with low range of nanoparticle size <100 nm modified initial pores of e-PTFE the best. After that the incorporation of ZHP into the pores was easily done. The modified e-PTFE tube membrane was used in tangential ultrafiltration process for natural river water treatment. The chemical oxygen demand (COD) decreased 3 times after filtration due to rejection of contaminant species.

Literature:

1. Juaquin M. Cher H.L., Yunlong X, Rui Z., Bing C, Pei L. Compatibilizing hydrophilic and hydrophobic polymers via spray coating for desalination *J. Mater. Chem. A*, 2020, 8, 846 DOI: 10.1039/d0ta00871krsc.li/materials-a

2. Rozhdesvenska L., Kudelko K., Pal'chik O., Vygovska L., Ushkalov V., Chaban M. Ponomarova L. Macroporous filtration PTFE membranes modified with polymer-based nanocomposite containing zirconium hydrophosphate and silver nanoparticles *Conference: 2024 IEEE 14th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP)*, DOI:10.1109/NAP62956.2024.10739731.

3. Longlai Yang, Jieyi Yang, De-Quan Yang, A durable superhydrophilic self-cleaning coating based on TiO₂-SiO₂-PAA nanocomposite for photovoltaic applications: Long-term outdoor study *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2024, 268, 112731, <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2024.112731>

4. Pramila P. G., Mietek J. Renaissance of Stöber method for synthesis of colloidal particles: New developments and opportunities *J. of Colloid and Interface Science*, (2021), 584, P. 838-865, <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.10.014>

5. Batteas, J.D., Weldon, M.K., Raghavachari, K. (2003). Bonding and Interparticle Interactions of Silica Nanoparticles. In: Hsu, S.M., Ying, Z.C. (eds) *Nanotribology*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1023-9_28

**ПОЛІУРЕТАНСЕЧОВИНИ З ПРОЛОНГОВАНИМ ВИВІЛЬНЕННЯМ
ДАКАРБАЗИНУ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

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

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

Харківське шосе, 48, 02160, м. Київ

rozhnovarita@gmail.com

Створення нових плівкоутворюючих композицій на основі поліуретансечовин і дакарбазину відкриває можливості для розробки полімерних систем місцевої дії з пролонгованим вивільненням протипухлинного засобу як допоміжних засобів у протипухлинній терапії.

Метою роботи є розроблення нових плівкотвірних поліуретансечовинних композицій з пролонгованим вивільненням дакарбазину та дослідження впливу дакарбазину на властивості отриманих композицій.

Синтез ПУС виконували на основі діізоціанатного форполімеру (ДФП) з використанням як подовжувачів макроланцюга 4,4'-діамінодифенілметану (ДАДФ) та 2-(2-аміноетокси)етан-1-аміну (ДА1), 3,6-діоксаоктан-1,8-діамін (ДА2), 3-{2-[2-(3-амінопропокси)етокси]пропан-1-аміну (ДА3) за мольного співвідношення 0,7:0,3; 0,5:0,5 і 0,3:0,7 як описано в роботі [1]. Імобілізацію дакарбазину проводили на ПУС, синтезованих за мольного співвідношення ДАДФ до ДА1 як 0,7:0,3 (ПУС ДА1)₂, ДАДФ до ДА2 як 0,3:0,7 (ПУС ДА2)₄, ДАДФ до ДА3 як 0,7:0,3 (ПУС ДА3)₂, які мають оптимальні показники міцності при розриві та відносного подовження при розриві та поєднують в собі достатню міцність зі збереженням еластичності матеріалу [2]. Вміст дакарбазину складав 1 мас. %. Отриманий матеріал являє собою еластичні плівки помаранчевого кольору завтовшки 0,3 мм.

Проведено порівняльні фізико-механічні дослідження отриманих композицій та встановлено, що міцність при розриві ПУС з дакарбазином лежить у межах (1,21–1,27) МПа, відносне подовження – (303,9–384,2) %.

Введення до складу ПУС дакарбазину зменшує міцність при розриві приблизно на 36 і 20 % для (ПУС ДА2)4+ДК, (ПУС ДА1)2+ДК відповідно, а для (ПУС ДА3)2+ДК збільшує на 57 %, (табл. 1), що достатньо для виконання функцій «депо» лікарського засобу та забезпечення його пролонгованої дії. Відносне подовження отриманих композицій для (ПУС ДА1)2+ДК та (ПУС ДА3)2+ДК збільшилося на 90 і 50 % відповідно, для композиту (ПУС ДА2)4+ДК зменшилося на 26 %.

Таблиця 1. Результати фізико-механічних випробувань ПУС з дакарбазинном

Зразок	Співвідношення ДФП:ДАДФ:ДА, моль	Міцність при розриві, σ , МПа	Відносне подовження при розриві, ϵ , %
Вихідні ПУС			
(ПУС ДА1)2	1:0,7:0,3	1,520±0,07	27,7±1,5
(ПУС ДА2)4	1:0,3:0,7	2,000±0,03	522,0±41,6
(ПУС ДА3)2	1:0,7:0,3	0,740±0,04	153,2±13,2
ПУС з ДК			
(ПУС ДА1)2+ДК	1:0,7:0,3	1,212±0,005	310,6±17,3
(ПУС ДА2)4+ДК	1:0,3:0,7	1,270±0,004	384,2±16,5
(ПУС ДА3)2+ДК	1:0,7:0,3	1,210±0,011	303,9±19,4

Можна припустити, що введення дакарбазину до складу ПУС спричинює зменшення щільності сітки міжмолекулярної взаємодії та збільшення рухливості макроланцюгів, що своєю чергою призвело до зменшення міцності й привело до збільшення відносного подовження при розриві.

Введення до складу ПУС дакарбазину також може спричинити зміни теплофізичних властивостей композицій, що було досліджено методами ДСК. На термограмах спостерігали один температурний перехід і, відповідно, одну температуру склування (T_c), тобто досліджувані системи є однофазними. Значення T_c 2-го циклу прогрівання досліджуваних матеріалів ПУС лежить у діапазоні від -33,55 до -37,06 °С (табл. 2).

За результатами теплофізичних випробувань встановлено, що вихідні ПУС мають вищу температуру склування й менші значення ΔC_p (табл. 2) порівняно з композитами з дакарбазином. Тобто введення до складу ПУС дакарбазину знижує щільність пакування макроланцюга, внаслідок чого зростає величина вільного об'єму, що спричинює підвищення молекулярної рухливості та зниження T_c .

Таблиця 2. Теплофізичні властивості ПУС з дакарбазином

Зразки	Співвідношен ня ДАДФ: ДА, моль	T_c , °C		ΔC_p (J/(g·°C))	
		I цикл	II цикл	I цикл	II цикл
ПУС вихідні					
(ПУС ДА1)2	0,7:0,3	- 35,35	- 34,05	0,4140	0,4656
(ПУС ДА2)4	0,3:0,7	- 21,96	- 24,67	0,5052	0,4998
(ПУС ДА3)2	0,7:0,3	- 15,97	- 20,04	0,5473	0,4828
ПУС з дакарбазином					
(ПУС ДА1)2+ДК	0,7:0,3	- 37,82	- 37,06	0,3810	0,3790
(ПУС ДА2)4+ДК	0,3:0,7	- 37,48	- 33,67	0,4390	0,3910
(ПУС ДА3)2+ДК	0,7:0,3	- 31,2	- 33,55	0,4570	0,3830

Згідно з результатами дослідження динаміки виходу дакарбазину максимальне вивільнення його з полімерних зразків спостерігається в перші три доби вимивання. Композиція (ПУС ДА2)4+ДК характеризується найбільшим вивільненням ДК (70,09 % дакарбазину від загальної кількості іммобілізованої ЛР протягом 14 діб). Це може бути пов'язано з оптимальною будовою композиту завдяки середнім розмірам ДА2 як подовжувача макроланцюга. Найменший результат показав композит (ПУС ДА3)2+ДК, з якого протягом 14 діб вивільнилося 56,75 % ДК, що можна пояснити стеричними труднощами, спричиненими будовою ДА3 (рис. 1).

Отримані результати є одним з важливих етапів при розробленні медичних виробів як засобів пролонгованого вивільнення ліків, оскільки вони

дають змогу прогнозувати дозу лікарського препарату, яка надходитиме в місце ураження.

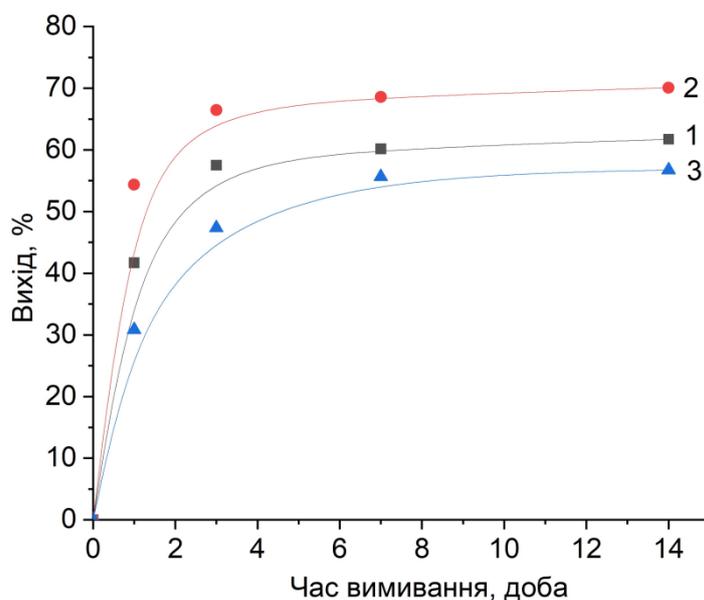


Рис. 1. Динаміка виходу дакарбазину для композитів 1 – (ПУС ДА1)2+ДК, 2 – (ПУС ДА2)4+ДК, 3 – (ПУС ДА3)2+ДК

Отже, з отриманих даних можна зробити висновок, що нові плівкотвірні композиції з дакарбазином на основі ПУС з використанням діамінів 2-(2-аміноетокси)етан-1-амін, 3,6-діоксооктан-1,8-діамін, 3-{2-[2-(3-амінопропокси)етокси]етокси}пропан-1-амін як подовжувачів макроланцюга мають перспективи використання в медицині як засоби місцевої пролонгованої лікувальної дії.

Література:

1. Prymushko S, Galatenko N, Rozhnova R, Kozlova G, Gladyr I.(2022) Synthesis and research of new polyurethane ureas that contain 1,8-diamino-3,6-dioxooctane as extender of macrochain. *Polymer Journal.*, 44(3), 231-238, <https://doi.org/10.15407/polymerj.44.03.231>.

2. Примушко С.О., Козлова Г.А., Гладирь І.І., Рожнова Р.А., Галатенко Н.А. Синтез та властивості нових поліуретансечовин медичного призначення, які містять як подовжувачі діаміни з атомами кисню в ланцюзі Міжнародна наукова конференція «Теоретичні та експериментальні аспекти сучасної хімії та матеріалів ТАСХ-2022» Дніпро, Україна, 20 травня 2022 С. 29-32.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТВОСТЕЙ
МУЛЬТИБЛОКОВИХ ПОЛІУРЕТАНСЕЧОВИН IN VITRO**

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

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

Харківське шосе, 48, 02160, м. Київ

rozhnovarita@gmail.com

Особливе значення серед полімерних матеріалів медичного призначення займають поліуретансечовини (ПУС) завдяки біосумісності, відсутності токсичності, підвищеній гідрофільності та здатності сприяти пролонгованому вивільненню лікарської речовини з полімерної матриці. Розробка нових плівкотвірних композицій на основі ПУС як основи для створення біологічно активних імплантаційних матеріалів потребує дослідження їх здатності до біодеструкції в умовах наближених до середовища організму.

Тому, метою роботи є дослідження зміни структури та фізико-механічних властивостей отриманих полімерних матеріалів після інкубації в модельному біологічному середовищі протягом (1, 3 та 6) місяців.

Враховуючи фізико-механічні характеристики раніше синтезованих ряду ПУС [1], дослідження біодеструкції проводили для ПУС, на основі діізоціанатного форполімеру (ДФП) з використанням як подовжувачів макроланцюга 4,4'-діамінодифенілметану (ДАДФ) та 2-(2-аміноетокси)етан-1-аміну (ДА1), 3,6-діоксаоктан-1,8-діамін (ДА2), 3-{2-[2-(3-амінопропокси)етокси]пропан-1-аміну (ДА3): ДФП-0,3ДАДФ-0,7ДА2, ДФП-0,7ДАДФ-0,3ДА1, ДФП-0,7ДАДФ-0,3ДА3.

Проведено порівняльні фізико-механічні дослідження міцності при розриві та відносного подовження при розриві ПУС, до да після інкубації в біологічному середовищі 199 (БС 199). Згідно отриманих результатів показники міцності ПУС через 180 діб після інкубації в БС 199 зазнають змін (табл. 1, 2): для ДФП-0,7ДАДФ-0,3ДА1 спостерігається зниження значень міцності при розриві на 82% (до інкубації – $(1,516 \pm 0,068)$ МПа, після 180 діб інкубації – $(0,275 \pm 0,005)$ МПа), та збільшення значень відносного подовження приблизно на 31%; для ДФП-0,7ДАДФ-0,3ДА3 спостерігається аналогічна тенденція,

міцність при розриві знижується приблизно на 77 % (до інкубації – $(0,74 \pm 0,04)$ МПа, після 180 діб інкубації – $(0,17 \pm 0,01)$ МПа), проте відносне подовження зменшується приблизно на 48,5 %.

Таблиця 1. Міцність при розриві ПУС після інкубації в БС 199

Зразок	Міцність при розриві (σ , МПа)				
	Співвідношення ДФП:ДАДФ:ДА, моль	до інкубації	30 діб	90 діб	180 діб
ПУС					
ДФП-0,7 ДАДФ-0,3 ДА1	1,0 : 0,7 : 0,3	1,52 \pm 0,07	0,11 \pm 0,00	0,06 \pm 0,01	0,28 \pm 0,01
ДФП-0,3 ДАДФ-0,7 ДА2	1,0 : 0,3 : 0,7	2,00 \pm 0,03	0,21 \pm 0,01	0,12 \pm 0,01	0,27 \pm 0,01
ДФП-0,7 ДАДФ-0,3 ДА3	1,0 : 0,7 : 0,3	0,74 \pm 0,04	0,05 \pm 0,00	0,04 \pm 0,00	0,17 \pm 0,01

Таблиця 2. Відносне подовження ПУС після інкубації в БС 199

Зразок	Співвідношення ДФП:ДАДФ:ДА, моль	Відносне подовження (ϵ , %)			
		до інкубації	30 діб	90 діб	180 діб
ПУС					
ДФП-0,7 ДАДФ-0,3 ДА1	1,0 : 0,7 : 0,3	27,7 \pm 1,5	21,0 \pm 1,3	53,2 \pm 4,3	59,0 \pm 5,2
ДФП-0,3 ДАДФ-0,7 ДА2	1,0 : 0,3 : 0,7	522,0 \pm 41,6	204,0 \pm 7,8	173,4 \pm 13,2	240,0 \pm 7,0
ДФП-0,7 ДАДФ-0,3 ДА3	1,0 : 0,7 : 0,3	153,2 \pm 13,2	66,0 \pm 2,7	64,6 \pm 3,3	104,7 \pm 5,2

Таким чином, згідно отриманих результатів ПУС проявляють здатність до біодеструкції під впливом модельного середовища, що супроводжується зменшенням значень міцності при розриві.

За результатами теплофізичних досліджень в ряду вихідних ПУС (табл. 3) зі збільшенням довжини ланцюга діаміну в структурі полімеру спостерігається

Таблиця 3. Зміна теплофізичних властивостей ПУС
під впливом модельного середовища

Зразок	Співвідношення ДАДФ:ДА, моль	T_c , °C		зменшення ΔC_p (J/(g·°C))	
		I цикл	II цикл	I цикл	II цикл
ПУС вихідні					
ДФП-0,7ДАДФ-0,3ДА1	1,0:0,7:0,3	- 35,35	- 34,05	0,4140	0,4656
ДФП-0,3ДАДФ-0,7ДА2	1,0:0,3:0,7	- 21,96	- 24,67	0,5052	0,4998
ДФП-0,7ДАДФ-0,3ДА3	1,0:0,7:0,3	- 15,97	- 20,04	0,5473	0,4828
ПУС після інкубації 1 місяць					
ДФП-0,7ДАДФ-0,3ДА1	1,0:0,7:0,3	- 37,19	- 35,96	0,4055	0,3900
ДФП-0,3ДАДФ-0,7ДА2	1,0:0,3:0,7	-26,66	- 27,89	0,4899	0,4469
ДФП-0,7ДАДФ-0,3ДА3	1,0:0,7:0,3	-16,82	-23,23	0,4969	0,4871
ПУС після інкубації 3 місяці					
ДФП-0,7ДАДФ-0,3ДА1	1,0:0,7:0,3	-36,9	- 36,01	0,4299	0,4184
ДФП-0,3ДАДФ-0,7ДА2	1,0:0,3:0,7	-24,65	- 25,96	0,4573	0,4579
ДФП-0,7ДАДФ-0,3ДА3	1,0:0,7:0,3	-16,86	-23,56	0,5025	0,4893
ПУС після інкубації 6 місяців					
ДФП-0,7ДАДФ-0,3ДА1	1,0:0,7:0,3	-36,4	- 35,09	0,4110	0,3786
ДФП-0,3ДАДФ-0,7ДА2	1,0:0,3:0,7	-25,9	- 23,18	0,4940	0,4709
ДФП-0,7ДАДФ-0,3ДА3	1,0:0,7:0,3	-16,54	-22,33	0,5499	0,5066

зростання температури склування (T_c) та збільшення величини зміни теплоємності (ΔC_p), що зумовлено посиленням водневих зав'язків між уретановими та уредними групами, що обмежує рухливість макромолекул та підвищує

енергію фазового переходу. Також діаміни з довшим ланцюгом сприяють зростанню частки аморфної фази, фазової сегрегації між м'якими та жорсткими сегментами та формуванню жорсткіших доменів, які створюють більш стабільну полімерну структуру з підвищеними теплофізичними характеристиками. Під впливом модельного біологічного середовища температура склування вихідних ПУС до 6 місяців інкубації збільшується, при цьому спостерігається зменшення ΔC_p (табл. 3).

Взаємодія з компонентами модельного середовищі може призводити до утворення додаткових хімічних зв'язків (зшивання) між ланцюгами полімеру. Це обмежує рухливість сегментів та підвищує T_c . Зшивання та інші структурні зміни полімерної матриці зменшують частку аморфної фази, яка є основним джерелом теплових флуктуацій. Як наслідок, зменшується ΔC_p при переході зі скляного стану. Крім того, можливий розпад та модифікація гнучких сегментів під впливом модельного середовища, які втрачають рухливість, сприяючи підвищенню жорсткості полімерної матриці та знижуючи амплітуду теплових змін. Таким чином, під впливом модельного середовища відбувається структурне ущільнення полімеру, що збільшує стабільність та зменшує термодинамічні коливання. Ці процеси вказують на поступову деградацію полімерної матриці та зміну її фізико-хімічних властивостей під дією модельного біологічного середовища.

Таким чином, згідно проведених теплофізичних досліджень під дією модельного середовища спостерігається зменшення температури склування (T_c) та ΔC_p для ПУС, що свідчить про деградацію та зміну термодинамічних властивостей полімеру. Це може бути зумовлено біодеструкцією полімерної матриці, зменшенням молекулярної маси, що спричиняє зниження жорсткості та аморфності матеріалу. Зміни в ΔC_p вказують на зміни в рухливості макромолекул, що є результатом взаємодії полімеру з модельним середовищем. Отримані результати можуть бути корисними для прогнозування тривалості «життя» матеріалів або їхньої біодеградації в організмі.

Література:

1. Film-forming compositions based on polyurethaneureas with extended release of dacarbazine / S.O. Prymushko, N.A. Galatenko, R.A. Rozhnova, G.A. Kozlova, I.I. Gladyr, L.Yu. Nechaeva // Полімерний журнал. – 2023. – Vol. 45 (4). – P. 319-328. doi.10.15407/polymerj.45.04.319.

UDC 543.5

**POLYURETHANE AND 18-MOLYBDODIPHOSPHATE
POLYMERIC COMPOSITE MATERIAL FOR NATURAL
AND INDUSTRIAL WATER TREATMENT**

¹Petrushyna H.O., ²Maksymova N.M., ³Bazel Ya.R., ⁴Vishnikin A.B.

¹Dnipro State Agrarian and Economic University

Serhiy Yefremov St., 25, 49600, Dnipro

² LLC «Technical University «Metinvest Polytechnic»»

Pivdenne shosse, 80, 69008, Zaporizhzhia

³Pavol Josef Šafárik University in Košice

Možesová Street 11, Košice, Slovak Republic

⁴Oles Honchar Dnipro National University

Nauky Avenue, 72, 49045, Dnipro

petrushyna.h.o@dsau.dp.ua

The development of modern water treatment equipment requires the creation of durable coatings that ensure the stability of devices during their long-term operation. The polymers must be chemically inert in relation to other substances of the polymer composite material (PCM), have high electrical conductivity and sufficient stability. Among the polymers of interest are polyurethanes (PU) – polymers of the general formula: $[-(\text{NH})-(\text{R}')-(\text{NH})-(\text{COO})-(\text{R}'')-(\text{COO})-]_n-$. Due to the diversity of the chemical structure of their polymer chains and specific structure, good performance properties of the resulting materials can be expected. Their physical-mechanical and physicochemical properties depend on the structure and microphase distribution between hard and soft blocks. By varying the proportions of diols, polyols and diisocyanates in the synthesis of segmented film-forming polyurethanes with their subsequent modification, a polymeric material for a specific application can be obtained [1].

Wells-Dawson Polyoxometalates (WD POMs) are promising redox reagents [2]. They can accept and give up electrons under the influence of an external potential, visible or UV radiation. The modification of the WD POMs structure and the control

of electronic properties by changing the acidity gave these compounds such characteristics as stability in solution and solid state, and demonstrated the potential for their use in the development of new molecular magnetic devices.

The possibility of using a polymeric composite material consisting of polyurethane and 18-molybdodiphosphate, as an active substance, for further use as a durable stable coating for water treatment system devices was considered. The molybdenum Wells-Dawson polyoxometalate 18-molybdodiphosphate anion $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$ is a fairly strong oxidant. The interaction of 18-molybdodiphosphate with different reducing agents occurs at different acidity levels. By varying the pH of the solution, several substances can be determined in the presence of each other. The tetrabutylammonium salt of 18-molybdodiphosphate was used to create polymeric composite material. The nature of the interaction between polyurethane and 18-molybdodiphosphate was investigated by IR spectroscopy. In the region of 1080-510 cm^{-1} , the spectrum of the polyurethane film with 18-molybdodiphosphate retains the vibration bands of 18-molybdodiphosphate atoms. This confirms the absence of chemical interaction between the polymer and the heteropoly anions and the formation of a mechanical mixture of the two substances. The polymeric composite material with a mass content of 18-molybdodiphosphate of 30% is optimal. The synthesized polymeric composite material from polyurethane and 18-molybdodiphosphate is reusable due to its high reducing properties, which was verified by experimental contact of polymeric composite material with a 0.1 M hydroquinone solution.

References:

1. Gao, H., Liu, L., Yang, W., Dong, Y., Liu, H. (2024). Experimental study on mechanical properties of polyurethane-based composites. *Case Studies in Construction Materials*, 21, e03907. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03907>.
2. Nowicka, D., Vadra, N., Wieczorek-Szweda, E., Patroniak, V., Gorczynski A. (2024). Overview of Wells-Dawson Polyoxometalates: from structure and functionalization to application. *Coordination Chemistry Reviews*, 519, 216091. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2024.216091>.

УДК 678.027.74; 678.027.3; 678.742.3

ВПЛИВ ТАЛЬКУ НА ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ПОЛІПРОПІЛЕНУ

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

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

bogdansliznyak@gmail.com

Розвиток сучасних технологій вимагає створення полімерних композиційних матеріалів з покращеними механічними та експлуатаційними характеристиками. Одним із ефективних способів модифікації властивостей полімерів є введення наповнювачів різної природи та дисперсності. Поліпропілен (ПП) є одним із найбільш поширених термопластичних полімерів, який характеризується високими механічними властивостями, хімічною стійкістю. Проте для розширення сфер його застосування часто виникає необхідність покращення певних характеристик, таких як: жорсткість, теплостійкість, усадка тощо.

Мета роботи полягала у покращенні механічних властивостей поліпропілену методом його наповнення. Для досліджень використовували поліпропілен марки А4-71К, а як наповнювач – тальк марки 5КР.

Композиційні матеріали отримували методом комбінованої екструзії при температурі у зоні нормальних напружень 200 °С, частоті обертів диску 60 об/хв, величині зазору між корпусом і диском 2 мм. Вміст дисперсного наповнювача у композиції варіювали від 10 до 30 мас. %.

Із отриманого грануляту виготовляли стандартні зразки методом лиття під тиском при наступних параметрах: температура по зонах литтєвої машини $T_1 = 210$ °С, $T_2 = 220$ °С, $T_3 = 230$ °С, тиск лиття – 100 МПа, температура форми – 20 °С. Випробування зразків проводили згідно з відповідними ДСТУ для пластмас.

В таблиці 1 наведені властивості отриманих композитів на основі поліпропілену в залежності від вмісту наповнювача.

Таблиця 1. Властивості композитів на основі поліпропілену в залежності від вмісту тальку 5КР

Властивості	Вихідний поліпропілен	Вміст тальку 5КР, мас. %		
		10	20	30
Густина кг/м ³	900	967	1027	1104
Показник текучості розплаву, г/10 хв.	3,47	3,19	2,80	2,65
Міцність при розтязі, МПа	35,0	39,1	41,4	39,7
Відносне видовження при розриві, %	71	22	19	15
Усадка, %	1,71	1,60	1,53	1,43
Теплостійкість за Віка, °С	156	160	160	159

Дослідження впливу вмісту дисперсного наповнювача на властивості композитів на основі поліпропілену показало, що залежність механічних властивостей від кількості наповнювача має екстремальний характер. Введення у ПП тальку до 20 мас. % дозволило підвищити міцність при розтязі від 35,0 МПа (для вихідного поліпропілену) до 41,4 МПа, зменшити усадку від 1,71 до 1,53 %. Частилки тальку виконували роль центрів кристалізації поліпропілену, що збільшувало ступінь його кристалічності та призводило до утворення більш упорядкованої, дрібноферолітної структури.

Таким чином, введення дисперсного наповнювача (тальку) у поліпропілен дозволило отримати матеріали з покращеними експлуатаційними характеристиками для різноманітних застосувань.

**HYDROGEL MATERIALS WITH DACARBAZINE
BASED ON POLYACRYLAMIDE GELS MODIFIED
WITH POLY-N-VINYLPYRROLIDONE**

Vislohuzova T.V., Rozhnova R.A.

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

48 Kharkivske Shose, 02155, Kyiv, Ukraine

rudenchyk@gmail.com

Hydrogels are cross-linked polymer networks that can absorb large amounts of water or biological fluids. Due to their soft consistency, porosity, and high water content, they imitate natural living tissues more than any other class of synthetic biomaterials [1].

Polyacrylamide-based hydrogels are widely used hydrogels and have a variety of applications, including drug delivery, plastic surgery, and ophthalmology. Polyacrylamide hydrogel (PAAG) is a non-toxic, stable, non-resorbable gel composed of cross-linked polyacrylamide and water [2].

The development of new materials with prolonged antitumor activity for use in reconstructive surgery to remove tumors is a promising direction. Of particular note is the drug dacarbazine (DAC) (Fig. 1), which belongs to the alkylating cytostatic agents and is widely used for the treatment of metastatic melanoma [3].

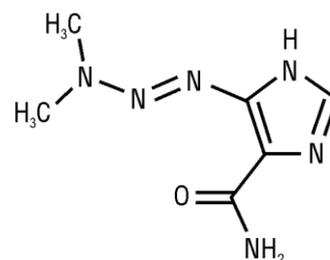


Fig. 1. The structural formula
of DAC

Therefore, the aim of the work was to develop new polymeric dosage forms with dacarbazine based on hydrophilic PAAG modified with poly-N-vinylpyrrolidone (PVP), and to study their structure and rheological properties.

The synthesis of hydrogel materials with DAC based on PAAG, modified with PVP, was carried out by free radical polymerization of acrylamide, N,N'-methylene-

bis-acrylamidate, and PVP in sodium phosphate buffer solution (pH 8.0–8.5) in the presence of an oxidation-reduction initiating system (ammonium persulfate, N,N,N',N'-tetramethylethylenediamine) according to the method [4]. Modification with poly-N-vinylpyrrolidone in the amount of 0.3, 0.5 and 1.0 wt. % was carried out relative to the weight of acrylamide (PAAG-0.3 PVP; PAAG-0.5 PVP; PAAG-1.0 PVP). DAC was introduced into the hydrogels in an amount of 0.5 wt. %.

According to IR spectroscopic studies, no changes in the chemical structure were observed in the IR spectra of a series of hydrogel materials with DAC obtained on the basis of PAAG modified with different amounts of PVP (0.3, 0.5, and 1.0 wt %).

Since viscosity plays an important role in quality control of the material, a study was conducted on the rheological properties of hydrogel materials modified with different amounts of PVP. The rheological properties were investigated according to the decrease in hydrogel viscosity depending on the shear rate (Fig. 2a).

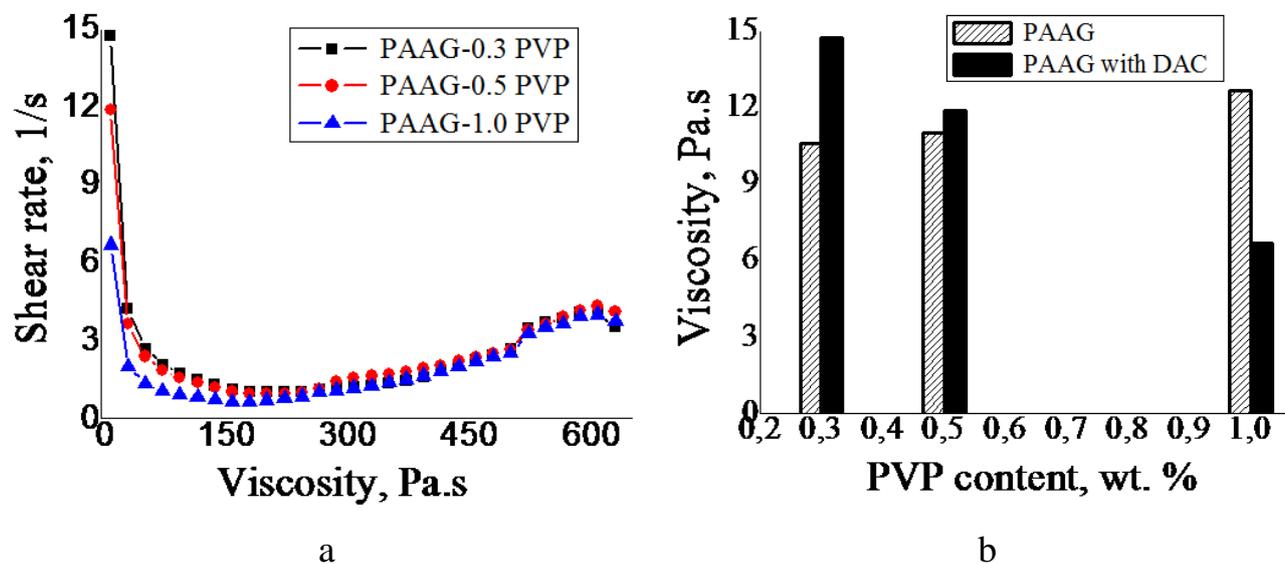


Fig. 2. Dependence of viscosity of hydrogel materials with DAC on shear rate (a) and on the PVP content (b)

According to the results of rheological studies, the viscosity of hydrogels modified with PVP in the amount of 0.3, 0.5 and 1.0 wt. % is 10.56, 11.01 and 12.65 Pa.s, respectively [4]. While the viscosity of hydrogel materials with DAC

modified with PVP in the amount of 0.3, 0.5 and 1.0 wt. % is 14.71, 11.88 and 6.678 Pa.s., respectively. That is, the introduction of DAC into the composition of hydrogels modified with PVP in an amount of 0.3 and 0.5 wt. % leads to an increase in viscosity, while the introduction of DAC into the composition of PAAG modified with PVP in an amount of 1.0 wt. % causes a decrease in the viscosity of the studied materials (Fig. 2b).

Thus, a series of hydrogel materials with DAC (in the amount of 0.5wt.%) were obtained based on hydrophilic polyacrylamide gels modified with poly-N-vinylpyrrolidone in the amount of 0.3, 0.5 and 1.0 wt. % relative to the weight of acrylamide, the viscosity of which is 6.678-14.710 Pa.s.

References:

1. Mohite P. B., Adhav S.S. A hydrogels: Methods of preparation and applications. *International Journal of Advances in Pharmaceutics*. 2017. Vol. 06, № 03, P. 79-85. <https://dx.doi.org/10.7439/ijap.v6i3.3972>

2. Tangri A. Polyacrylamide based hydrogels: synthesis, characterization and applications. *International Journal of Pharmaceutical, Chemical and Biological Sciences*. 2014. Vol. 4, No. 4, P. 951-959.

3. Hervieu A., Re'be' C., Ve'gran F., Chalmin F., Bruchard M., Vabres P., Apetoh L., Ghiringhelli F., Mignot G. Dacarbazine-Mediated Upregulation of NKG2D Ligands on Tumor Cells Activates NK and CD8 T Cells and Restrains Melanoma Growth. *Journal of Investigative Dermatology*. 2013. Vol. 133, No. 2, P. 499-508. <https://doi.org/10.1038/jid.2012.273>

4. Vislohuzova T., Rozhnova R., Kiselova T., Kozlova G., Nechaeva L., Galatenko N. Hydrophilic Polyacrylamide Gels Modified with Poly-N-vinylpyrrolidone. *American Journal of Polymer Science and Technology*. 2024. Vol. 10, No. 4, P. 90-96. <https://doi.org/10.11648/j.ajpst.20241004.12>

**БІОПЛАСТИФІКАТОРИ У СКЛАДІ ЕЛАСТОМЕРНИХ
КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

¹Ващенко Ю.М., ²Ткач Л.О., ²Скоков О.І.

¹ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

²ТОВ «УНДКТИ «ДІНТЕМ»»

вул. Чорних Запорозжців, 24а, 49033, м. Дніпро

vashch1961@gmail.com

Різні галузі промисловості висувають певні вимоги не тільки до фізико-механічних та експлуатаційних показників еластомерних матеріалів, а й до їх екологічної безпеки. Одним із перспективних шляхів підвищення якості та експлуатаційної надійності гумових виробів є удосконалення структури та властивостей еластомерних композицій застосуванням ефективних інгредієнтів, у тому числі й екологічно безпечних.

У зв'язку з цим проведено комплекс робіт із використання інгредієнтів, отриманих із біосировини, у складі еластомерних композиційних матеріалів різного призначення.

Як об'єкти дослідження вивчені різні етери жирних кислот та їх аміно- та епоксипохідні, сировиною для отримання яких були речовини рослинного та тваринного походження, зокрема, рослинні олії (соняшникова, рапсова, соєва та ін.), а також курячий та свинячий жири. Ці речовини синтезовані на кафедрі технології природних та синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет» УДУНТ під керівництвом д.т.н. О.В. Червакова.

Проблема підвищення експлуатаційної надійності еластомерних композиційних матеріалів за низьких температур, особливо на основі полярних каучуків, актуальна, оскільки асортимент пластифікаторів обмежений і вони достатньо вартісні речовини.

При виборі пластифікаторів для комплексного поліпшення широкої гами властивостей гум необхідно враховувати їхню сумісність з еластомером та регулювати концентрацію таким чином, що створювалися умови для формування гетерогенної структури еластомерної матриці на межі сумісності каучуку та пластифікатора. При цьому використання пластифікаторів не повинно мати негативного впливу на механічні властивості композитів.

Проведено комплекс робіт щодо визначення теоретичної та експериментальної сумісності нових інгредієнтів з еластомерами. Розглянуто декілька каучуків, які розрізняються за структурою та полярністю.

Параметр розчинності визначали теоретично за методом інкрементів, застосовували також розрахунок параметрів розчинності Хансена, експериментально параметр розчинності вивчали при набряканні еластомерів у пластифікаторах, як знову синтезованих, так і традиційних (дибутилфталат (ДБФ) та дибутилсебацінат (ДБС)).

Теоретичні розрахунки дозволили встановити певну залежність параметрів сумісності між типом досліджених добавок та видом еластомеру.

Вивчення комплексу властивостей еластомерних матеріалів на основі бутадієн-нітрильних каучуків різної полярності, як модельних, так і промислових (марок 7В14, 3825, НО-68, тощо), показало, що введення розроблених добавок порівняно з ДБФ і ДБС знижує в'язкість гумових сумішей і дозволяє отримувати гуми, що задовольняють нормам контролю за температурою ДБС або трохи вище. Показано синергізм дії вивчених пластифікаторів та ДБФ в плані суттєвого поліпшення низькотемпературних (до -60°C) характеристик гум.

Винайдені закономірності є підґрунтям до подальшого розширеного дослідження біосировини у складі гум різного призначення. Потребує також подальше дослідження впливу біопластифікаторів на розширений комплекс властивостей композиційних матеріалів на основі полярних карбоцепних каучуків.

**КОМПОЗИЦІЙНІ АКТИВАТОРИ ВУЛКАНІЗАЦІЇ
ДЛЯ ЕЛАСТОМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ
НА ОСНОВІ КАРБОЛАНЦЮГОВИХ КАУЧУКІВ**

Федан М.В., Віхров Г.Д., Ващенко Ю.М.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

vashch1961@gmail.com

Відомо, що властивості еластомерних матеріалів безпосередньо залежать не тільки від каучукової основи, а й складу вулканізуючої групи. Вносячи зміни до кількісного та якісного складу цієї групи можливе цілеспрямоване регулювання комплексу технічних характеристик гумових виробів.

Актуальною проблемою є використання у складі гумових сумішей композиційних активаторів, які містять одночасно суміш первинних та вторинних активаторів. Крім цього, дефіцитність оксиду цинку та деякий негативний його вплив на навколишнє середовище потребує розробки рецептур еластомерних матеріалів зі зниженим вмістом основного активатора вулканізації.

Метою роботи було розширення асортиментів речовин, що виступають як активуючі добавки при вулканізації карболанцюгових ненасичених каучуків та вивчення впливу композиційних активаторів вулканізації на технологічні та фізико-механічні властивості еластомерних матеріалів.

Як об'єкти дослідження обрані етери жирних кислот (ЕЖК), а також їх амінопохідні. Сировиною для одержання були рослинні олії та тваринні жири. Ці речовини синтезовані на кафедрі технології природних та синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет» УДУНТ під керівництвом д.т.н. О.В. Червакова.

На підставі аналізу результатів досліджень метилових етерів жирних кислот, сировиною для отримання яких були соняшникова, рапсова, соєва та кукурудзяна олії, а також курячий жир встановлена залежність ефективності

застосування цих сполук в якості вторинного активатора від типу вихідної сировини. Показано також, що при використанні даних сполук, а також їх амінопохідних, можлива повноцінна заміна традиційного активатора вулканізації – стеаринової кислоти.

Враховуючи актуальність зниження вмісту оксиду цинку у гумових сумішах, а також рідку консистенцію ЕЖК, вивчено композиційні активатори з використанням цинкових білил та етерів жирних кислот різного типу. З метою зниження вмісту оксиду цинку композиційні інгредієнти додатково містили наповнювачі, такі як каолін та таврит. Останній мінерал може також надавати певну активуючу здатність у процесах сірчаної вулканізації. Добавки отримували шляхом перемішування компонентів за різних температур з метою встановлення оптимальних температурно-часових параметрів процесу. Порівняно із стандартною системою активаторів (білила цинкові + стеаринова кислота) вміст оксиду цинку знижується до 2,0–2,5 разів.

Проведено оцінку кінетичних параметрів процесу вулканізації модельних гумових сумішей на основі різних карболанцюгових ненасичених каучуків (натуральний, бутадієн-стирольний, бутадієн-нітрильний). Розраховано енергії активації індукційного та головного періоду вулканізації та встановлено зв'язок цих параметрів з типом та кількістю активаторів. Проведено аналіз комплексу механічних характеристик як модельних вулканізаторів, так і гумових композицій, що промислово використовуються, для виготовлення елементів шин і формових гумотехнічних виробів. Результати показали можливість застосування цих типів композиційних активаторів у складі еластомерних матеріалів. При використанні досліджуваних добавок відбувається поліпшення властивостей міцності гум, їх стійкості до теплового старіння і динамічним навантаженням. Встановлено покращення процесів диспергування наповнювачів під час виготовлення гумових сумішей.

Отримані результати є основою розробки та вдосконалення рецептур екологічно безпечних еластомерних матеріалів промислового призначення.

**СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ – ІНСТРУМЕНТ
ІННОВАЦІЙ У РОЗРОБЦІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСНАСТКИ ДЛЯ
ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛАСТОМЕРНИХ ВИРОБІВ**

Францев М.Г., Науменко О.П.

«Український науково-дослідний конструкторсько-технологічний

інститут еластомерних матеріалів і виробів «ДІНТЕМ»

вул. Чорних запорозців, буд. 24а, 49033, м. Дніпро

nikolay.francev@gmail.com, olexandr.p.naumenko@gmail.com

Виробництво гумово-технічних виробів (ГТВ) відіграє надзвичайно важливу роль у багатьох галузях промисловості, починаючи від автомобілебудування та машинобудування і закінчуючи медициною та побутовою технікою. Широкий спектр застосування ГТВ обумовлює постійне зростання вимог до їх якості, точності геометричних параметрів, надійності та довговічності. Водночас, сучасний ринок характеризується високою конкуренцією, що змушує виробників шукати шляхи оптимізації виробничих процесів, зниження собівартості продукції та скорочення термінів її виготовлення. Одним з ключових елементів технологічного процесу виробництва ГТВ є технологічна оснастка, зокрема прес-форми для вулканізації та лиття під тиском. Саме якість та конструктивні особливості оснастки безпосередньо впливають на точність, продуктивність та економічність всього виробничого циклу. Традиційні методи проектування та виготовлення оснастки часто є трудомісткими, потребують значного часу та можуть призводити до помилок, що негативно позначається на якості кінцевої продукції та термінах її випуску [1]. В умовах зростаючих вимог та конкуренції, впровадження сучасних інформаційних технологій, зокрема системи автоматичного проектування (САПР), є необхідним для забезпечення конкурентоздатності виробників ГТВ. САПР пропонують потужні інструменти для моделювання, аналізу та оптимізації технологічної оснастки.

Сучасні САПР – потужні інструменти для розробки технологічної оснастки ГТВ. Вони створюють детальні 3D-моделі з урахуванням специфіки гуми (усадка, плинність), візуалізація виявляє проблеми на ранніх етапах. Віртуальні випробування оптимізують міцність, моделювання заповнення покращує якість, аналіз температур – термостатування. Бібліотеки та параметри прискорюють проектування й адаптацію, автоматизація зменшує час та помилки.

Впровадження САПР у процес розробки технологічної оснастки для ГТВ надає низку суттєвих переваг, серед яких можна виділити скорочення термінів проектування, підвищення якості виробів та можливість реалізації складних конструкцій. Але незважаючи на значні переваги, процес впровадження САПР у розробку технологічної оснастки для ГТВ може супроводжуватися певними проблемами та викликами. Серед таких явно вираженими можна назвати необхідність навчання персоналу для ефективного використання САПР, вартість програмного забезпечення та проблеми інтеграції систем зі вже існуючими технологічними процесами [2]. Для успішного впровадження САПР потрібен чіткий план, що охоплює навчання персоналу, вибір програмного застосування, поетапну інтеграцію та підтримку. Важлива підтримка керівництва та позитивна атмосфера. Залучення консультантів допоможе уникнути помилок та прискорити адаптацію.

Сьогодні є багато успішних прикладів використання САПР для інноваційної розробки технологічної оснастки у виробництві ГТВ. Підприємства відзначають значне скорочення термінів проектування нових прес-форм завдяки 3D-моделюванню та віртуальним випробуванням, що дозволяє швидше розробляти складні конструкції та виявляти проблеми до фізичного виготовлення. [3]. Наприклад, при проектуванні прес-форми для виробництва еластичних мембран складної геометрії, що характеризуються особливими вимогами до гнучкості та герметичності, використання сучасних САПР стало ключовим фактором успіху. Завдяки інтуїтивно зрозумілим інструментам тривимірного моделювання, інженери-конструктори змогли оперативно розробити складну конфігурацію елементів оснастки, точно враховуючи

необхідні габаритні розміри та вимоги до міцності майбутньої прес-форми, здатної витримувати високі тиски процесу формування. Окрім того, САПР надали можливість з високою точністю розрахувати необхідний об'єм гумової суміші для виготовлення однієї мембрани, що дозволило оптимізувати закупівлю матеріалів та мінімізувати виробничі відходи. Важливим етапом стало проектування та оптимізація випресувальної системи каналів. Використовуючи функції симуляції гідравлічних потоків, інженери-технологи змогли змодельовати рух гумової суміші всередині прес-форми. Це дало змогу спроектувати розгалужену мережу каналів таким чином, щоб забезпечити рівномірне розподілення тиску та заповнення навіть найдрібніших елементів складної геометрії робочої порожнини, ефективно запобігаючи утворенню повітряних пасток та інших дефектів. Як результат, підвищилась загальна якість готової продукції, а відсоток браку був значно скорочений [4]. Результат моделювання прес-форми еластичної мембрани зображено на рис. 1, а самої мембрани на рис. 2. Інтеграція САПР з САМ (Computer-Aided Manufacturing) – програмами відкрила нові можливості для швидкого переходу від проектування до виробництва. Створена детальна тривимірна модель прес-форми стала цифровим двійником майбутнього фізичного об'єкта. Це дозволило уникнути трудомісткого етапу ручного моделювання геометрії деталей для САМ-програми, оскільки вже готові 3D-моделі були безпосередньо використані для автоматичного генерування набору керуючих команд для верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК). Завдяки цим можливостям САПР вдалося суттєво оптимізувати робочий час висококваліфікованих інженерів-конструкторів та інженерів-технологів, звільнивши їх від рутинних операцій та дозволивши зосередити свій інтелектуальний потенціал на вирішенні більш складних та стратегічно важливих проєктів. Також спростилася робота операторів верстатів з ЧПК, які отримали чіткі та точні інструкції для виготовлення прес-форми, що підвищило продуктивність обладнання та якість виготовлення оснастки.

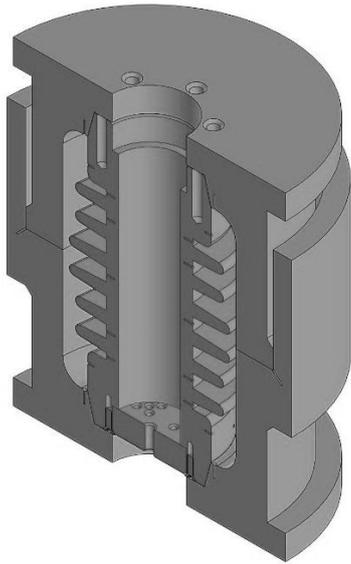


Рис. 1. Модель прес-форми мембрани у розрізі

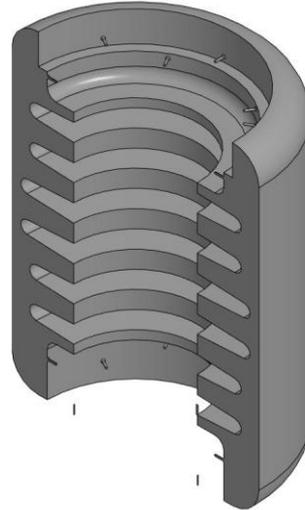


Рис. 2. Модель мембрани у розрізі

Отже САПР є ключовим інструментом інновацій у розробці технологічної оснастки для виробництва ГТВ, значно переважаючи традиційні методи. Їх впровадження підвищує ефективність виробництва, скорочує терміни розробки та знижує собівартість, одночасно покращуючи якість ГТВ.

Література:

1. Сидоров А.С., Петров В.М. Застосування САПР для моделювання процесів виробництва гумових виробів. // Технологія полімерів. – 2024. – №2. – С. 30-37.
2. Францев М. Г., Кабат О. С. Масштабовані моделі як інноваційний метод розробки обладнання. XI Міжнародна науково-практична інтернет-конференція здобувачів вищої освіти та молодих учених «Хімія і сучасні технології» : тези доп., м. Дніпро, 6–7 груд. 2023 р. Дніпро, 2023. С. 126.
3. Абрамов С.І. Розширені можливості 3D-моделювання в сучасних САПР для проектування прес-форм. // Інженерна графіка та дизайн. – 2021. – №3. – С. 25-32.
4. Бережний В.О. Симуляція процесу заповнення ливникових систем прес-форм для гумових сумішей з використанням САПР. // Сучасні технології машинобудування. – 2023. – №4. – С. 18-24.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОЛІТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ
ПРИ МОДИФІКАЦІЇ ФЕНІЛОНУ ОРГАНОСИЛОКСАНАМИ**

Молоков В.С., Ситар В.І., Кудрявцев Ю.О., Кислов Т.І.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

v.sytar@ua.fm

Ароматичний поліамід фенілон має високу температуру плавлення, яка складає близько 700 К, але вже за температури 630 К починають активно протікати гетеролітичні процеси, що призводять до суттєвого зменшення молекулярної маси полімеру і, як наслідок – до значного погіршення його властивостей. Тому переробка фенілону у виробі здійснюється не при температурах плавлення, а в діапазоні вище температури склування, але нижче температури початку деструкції. При цьому інтервал температур переробки складає приблизно 10 К. Це є суттєвим недоліком полімеру, враховуючи те, що у цьому температурному інтервалі полімер знаходиться лише у розм'якшеному стані. Висока в'язкість розплаву при цих температурах полегшує його переробку у виробі компресійним пресуванням, виключаючи можливість застосування литва під тиском та екструзії.

Це висуває задачу цілеспрямованого впливу на властивості фенілону шляхом введення у його склад структурних модифікаторів. Ароматичні поліаміди відрізняються сильною міжмолекулярною взаємодією у наслідок наявності водневих зв'язків. Введення структурних модифікаторів має на меті зниження взаємодії між молекулами полімеру, що призведе до пониження в'язкості розплаву, підвищення значень ударної в'язкості, розширення інтервалу температур переробки та іншим позитивним наслідкам.

Як модифікатори властивостей фенілону були обрані органосилоксани, які відрізняються підвищеною термостійкістю, що робить можливим переробку їх сумісно із фенілоном у виробі.

Для виявлення закономірності впливу хімічної будови органосилоксанів на властивості фенілону досліджені полімерні системи, що містять кремній-органічні модифікатори, які відрізняються хімічною будовою молекул. В якості останніх було використано смоли, каучуки і олігоорганосилоксанові рідини, які застосувались для модифікації фенілону. Вміст органосилоксанів в полімерних системах становить в межах від 1 до 5%.

Результати проведених досліджень свідчать про те, що тип органосилоксану і його будова здійснюють суттєвий вплив на властивості полімерних систем. Модифікація фенілону олігоорганосилоксановими рідинами сприяє значному підвищенню в'язкості розплаву майже на порядок. Однак збільшення концентрації модифікатора більше, ніж на 2%, призводить до пониження значення міцності внаслідок проявлення ефекту несумісності компонентів і утворення двофазних систем. Виходячи з цього, найбільш доцільним є введення до складу фенілону до 1.5 – 2% модифікатору.

При модифікації фенілону кремнійорганічними каучуками і смолами поряд з покращенням реологічних властивостей спостерігається зниження міцності полімерних систем. Це пов'язано з розвитком гідролітичних процесів, які обумовлені тим, що при протіканні трьохмірної поліконденсації при затвердженні смол і каучуків виділяється вода, яка є агентом деструкції фенілону. Механізм деструкції фенілону при підвищених температурах пов'язаний з гідролізом амідних груп водою, яка виділяється при затвердженні смол і каучуків.

Таким чином, природа органосилоксану, що застосовується для модифікації фенілону, суттєво впливає на характер гідролітичних процесів, які протікають при переробці у виробі модифікованого фенілону. Більш раціональним є введення у склад фенілону олігоорганосилоксанів у кількості 1.5 – 2%, що сприяє поліпшенню механічних та реологічних характеристик полімеру і робить можливим застосування для переробки таких прогресивних методів як литво під тиском та екструзія.

УДК 541.49, 546.73

МЕТИЛОЛЬНІ ПОХІДНІ АЛКІЛЗАМІСНИХ ГУАНІДИНВМІСНИХ ОЛІГОЕТЕРІВ ТА ЇХ АНТИМІКРОБНА АКТИВНІСТЬ

¹Вортман М.Я., ²Коптєва Ж.П., ²Іутинська Г.О.,

²Коптєва Г.Є., ¹Лемешко В.М., ¹Шевченко В.В.

¹Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

Харківське шосе, 48, 02155, м. Київ

²Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України

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

vtar1962@i.ua

Серед полімерних похідних гуанідину найбільше практичне використання завдяки біоцидним властивостям отримав полігексаметиленгуанідиній-хлорид (ПГМГХ). Механізм біоцидної дії полігуанідинів подібний четвертинним амонієвим сполукам і має мембрано-токсичний характер: гуанідинові полікатиони адсорбуються на негативно зарядженій поверхні бактеріальних клітин, дифундують через стінку клітини, зв'язуються з кислотними фосфоліпідами, білками мембрани цитоплазми, що призводить до її розриву і загибелі мікробної клітини [1-3].

Можна припустити, що за аналогією з амонієвими похідними органічних сполук та полігуанідинами, гуанідинієві олігомери будуть проявляти бактерицидну активність по відношенню як до грампозитивних, так і до грамнегативних бактерій.

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.

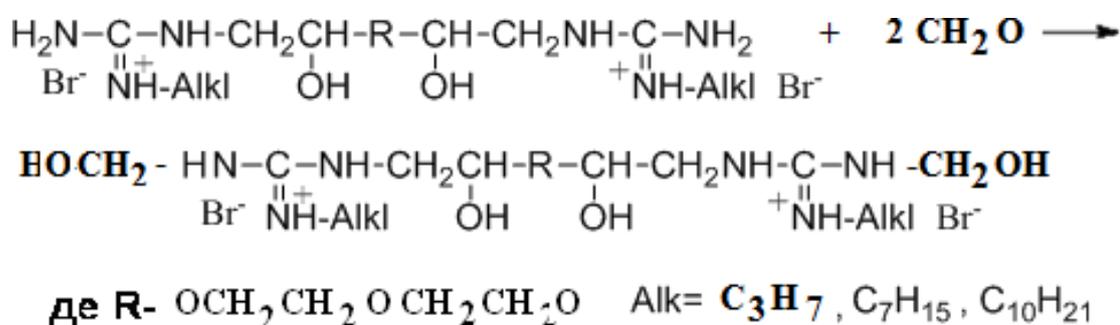
Метою роботи було отримання метилольних похідних алкілзамісних гуанідинієвих олігоетерів та вивчення їх дії на гетеротрофні бактерії, які були виділені з пошкоджених покриттів газопроводів.

Синтезовано метилольні похідні олігомерних алкілзамісних гуанідиній-бромідів з різними радикалами – C_3H_7 , – C_7H_{15} , – $C_{10}H_{21}$ у своєму складі. Вони

отримані взаємодією олігомерних алкілзамісних гуанідинійбромідів з різними радикалами – C₃H₇, – C₇H₁₅, – C₁₀H₂₁ у своєму складі з параформом при мольному співвідношенні компонентів 1 : 2.

Алкілзамісні гуанідинійвмісні олігомери отримували у дві стадії. На першій – отримували алкілзамісний гуанідин реакцією гуанідину та алкілброміду у мольному співвідношенні компонентів 1 : 1. На другій стадії проводили реакцію між аліфатичною епоксидною смолою DEG-1 та алкілзамісним гуанідином у мольному співвідношенні компонентів 1 : 2.

Схема отримання метилольних похідних олігомерних алкілзамісних гуанідинійбромідів:



Отримані сполуки охарактеризовані за допомогою ІЧ спектроскопії та ¹H ЯМР спектрометрії.

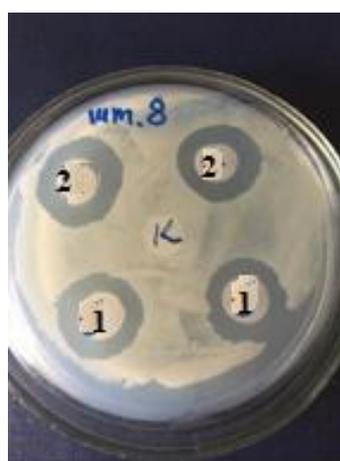
Дані з вивчення антибактеріальної активності отриманих синтезованих алкілзамісних гуанідинійвмісних олігомерів по відношенню до ряду грампозитивних та грамнегативних бактерій наведені в табл. 1 та на рис. 1.

Згідно результатів мікробіологічних досліджень отримані сполуки проявляли вибірково антимікробну активність проти досліджених тест-культур у концентраціях 1-3%, які є рекомендованими для комерційних дезинфектантів.

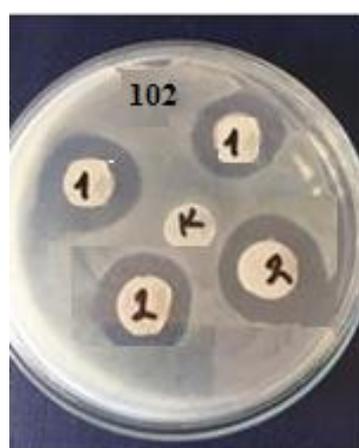
Як видно з даних таблиці, антимікробні властивості показують закономірності, аналогічні для алкілзамісних олігомерів в залежності від довжини алкільного радикалу. У порівнянні з раніше нами синтезованими діалкілзамісними гуанідинвмісними олігомерами метилольні похідні олігомерних алкілзамісних гуанідинійбромідів з різними радикалами – C₃H₇, – C₇H₁₅, – C₁₀H₂₁ у своєму складі проявляли дещо нижчу активність, що можна пояснити тим, що при введенні додатково метилольних груп створюються просторові перешкоди для проникнення у клітини бактерій.

Таблиця 1. Пригнічення росту гетеротрофних бактерій під дією гуанідинієвих олігомерів

Штами бактерій	Діаметр зони пригнічення росту бактерій (мм) під дією водних екстрактів метилольних похідних олігомерних алкілзамісних гуанідинійбромідів		
	Alk = C ₃ H ₇	Alk = C ₇ H ₁₅	Alk = C ₁₀ H ₂₁
<i>P.pseudoalcaligenes</i> 109	0	0	0
<i>P. pseudoalcaligenes</i> 8	20 ± 0,21	20 ± 0,21	30 ± 0,29
<i>P. mendocina</i> 29	0	15 ± 0,14	0
<i>P. mendocina</i> 101	0	19 ± 0,18	30 ± 0,29
<i>P.aeruginosa</i> 27	0	0	0
<i>Pseudomonas sp.</i> 100	15 ± 0,14	0	18 ± 0,19
<i>Pseudomonas sp</i> T/2	15 ± 0,14	11 ± 0,1	20 ± 0,21
<i>R. erythropolis</i> 102	15 ± 0,14	22 ± 0,23	20 ± 0,21
<i>Bacilus subtilis</i> 138	0	35 ± 0,36	14 ± 0,15
<i>St. maltophilia</i> 31	19 ± 0,2	15 ± 0,14	23 ± 0,18



I



II

Рис. 1. Зони пригнічення росту. *Pseudomonas pseudoalcaligenes* 8(I) та *Rhodococcus erythropolis* 102 (II) метилольними похідними олігомерних алкілзамісних гуанідинійбромідів з різними радикалами у своєму складі

1 – Alk = C₇H₁₅, 2 – Alk = C₁₀H₂₁, К – контроль

Таким чином, метилольні похідні алкілзамісних гуанідинвмісних олігомерів проявляють антимікробну дію та можуть бути використані як дезинфіканти для обробки приміщень.

Література:

1. H.N. [Jung](#) , T. [Zerin](#) , 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 620.1

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШВИДКОЗАГАРТОВАНОГО СПЛАВУ AL-NI
НА ТЕРМІЧНУ СТІЙКІСТЬ НАДВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО
ПОЛІЕТИЛЕНУ**

Томін С.В., Башев В.Ф., Чешенко Є.Д.

Дніпровський державний технічний університет

вул. Дніпробудівська, 2, 51918, м. Кам'янське

labcommat@gmail.com

З кожним роком інтерес до полімерних композитів, що містять дисперсний наповнювач, непинно зростає. Це зумовлено тим, що дані матеріали характеризуються високою зносостійкістю в різних умовах експлуатації, стійкістю до впливу рентгенівського та УФ-випромінювання, низьким коефіцієнтом тертя та термічного розширення [1].

Як полімерну матрицю обрали надвисокомолекулярний поліетилен (НВМПЕ) торгівельної компанії Jiujiang Zhongke Xinxing New Material Co.,Ltd (Китай) [2]. Швидкозагартований бінарний сплав системи Al-10%Ni з розміром часток 50-100 мкм, обрали як наповнювач при створенні металополімерних

композитів. Наповнювач даного типу характеризуються стійкістю до хімічного та термічного впливу у поєднанні з високою зносостійкістю.

Зразки НВМПЕ та металополімерних композитів з вмістом наповнювача 5-30 мас. % виготовляли методом компресійного пресування за режимом, детально описаним у роботі [2]. Температуру початку розм'якшення НВМПЕ і металополімерних композитів визначали за модифікованим методом Віка відповідно до вимог стандарту ISO 306. З урахуванням реологічних особливостей НВМПЕ, стандарте навантаження 10 Н було зменшене до 0,2 Н з метою забезпечення коректності вимірювання.

Аналіз результатів проведених досліджень показав, що введення швидкозагартованого сплаву Al-10%Ni призводить до покращення термічної стабільності НВМПЕ. Це можна пояснити тим, що між НВМПЕ та сплавом існують сильні хімічні зв'язки, які обмежують мобільність макромолекул НВМПЕ, і, як наслідок збільшують температуру плавлення та склування [3].

Література:

1. Застосування полімерних композитів в АПК / А.С. Кобець [та ін.]; – Дніпро: Журфонд, 2022. 356 с.
2. Tomin S.V., Yeromenko O.V., Yeriomina Ye.A. Influence of dispersed filler on the abrasive wear index of ultra-high molecular polyethylene. *Functional Materials*. 2024. Vol.31, No.2. P. 210–214.
3. Сіренко Г.О., Свідерський В.П., Складанюк М.Б. Фізичні методи дослідження речовин: Ч.ІІ. Теплофізичні методи та властивості полімерних композитів: монографічний підручник (спеціальний курс лекцій. – 2-ге вид. випр., доп.) / за ред. Г.О. Сіренка – Івано-Франківськ: Вид. Супрун В.П., 2020, 292 с.

УДК 661.11

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ ТА МАГНІТНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ ФЕРИТУ КОБАЛЬТА

Фролова Л.А., Родін Д.О., Нікітін М.О.

*ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет» Українського
державного університету науки і технологій*

пр. Науки, 8, 4905, м. Дніпро

l9kozak83@gmail.com

В останні роки швидко розвиваються технології створення нанокомпозитів феритів на основі полімерів. Відомо, що нанокомпозити можуть утворювати 1D, 2D, 3D системи, аморфні матеріали. Вони мають різноманітне застосування, в тому числі в електрооптичних інтегрованих приладах, пристроях накопичення енергії, фотокаталізі тощо. Ефективність частинок нанофериту кобальту можна підвищити, включивши їх до полімерної матриці завдяки високій питомій поверхні.

В даній роботі виконано синтез композиту ПВС/CoFe_{1.97}Ce_{0.03}O₄ та досліджені його властивості. Композит ПВС/CoFe_{1.97}Ce_{0.03}O₄ було отримано з використанням колоїдного розчину фериту та водного розчину ПВС, синтезованих з використанням ультразвукового перемішування компонентів. Морфологія та структура вихідних речовин і композиту характеризувалися за допомогою скануючої електронної мікроскопії, рентгенівської дифрактометрії, інфрачервоної спектроскопії. Виміряні магнітні параметри з використанням вібраційного магнітометра. Проведена оцінка фотокаталітичної активності по відношенню до реакції розкладу метиленового синього (МС).

Розмір частинок фериту становить приблизно 8-12 нм. На рентгенограмі CoFe_{1.97}Ce_{0.03}O₄ виявлені ідентифіковані піки шпінелі. Спостерігається значне розширення всіх дифракційних піків та невелика їх інтенсивність. ІЧ спектри показали хімічну взаємодію полівінілового спирту та гідрофериту.

Результати показують, що композиції ПВС-CoFe_{1.97}Ce_{0.03}O₄ проявляють фотокаталітичну активність. Ступінь розкладу МС становить 96-98%.

УФ-ОТВЕРДНЕНІ АКРИЛАТНІ КОМПОЗИЦІЇ

Слісенко О.В

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

Харківське шосе, 48, 02160, м. Київ

olgaslisenko@ukr.net

Акрилатні композиції характеризуються оптимальним балансом адгезії і когезії, ефективність адгезії можна регулювати співвідношенням мономерів, ступенем зшивки. В даній роботі акрилатні композиції одержували методом УФ-полімеризації суміші мономерів бутилакрилату (БА), 2-етилгексилакрилату (2-ЕГА), метилметакрилату (ММА), акрилової кислоти (АК) із зшиваючим агентом – триметилпропантриакрилатом. Співвідношення БА/2-ЕГА варіювали в діапазоні від 1 : 1 до 1 : 1.2, а вміст ММА і АК змінювали від 5 до 10 мас. %.

Методом ІЧ-спектроскопії підтверджено повну конверсію акрилатних груп, так спостерігається повне зникнення інтенсивних смуг при 1635 см^{-1} і 1622 см^{-1} , 1409 см^{-1} і 811 см^{-1} , що відносять до валентних коливань С=C зв'язків. Методом ТГА досліджували термостійкість отриманих зразків, визначені показники дозволяють оцінити поведінку адгезійних матеріалів при підвищених температурах. Основна стадія деструкції зафіксована при температурі приблизно $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ з втратою маси приблизно 50 мас.%, що пов'язано з руйнуванням вуглецевого скелету полімеру. Остаточна деструкція зразків (втрата маси 88.6 мас.%) спостерігається при $390\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким чином, отримані клейові композиції характеризуються високою термічною стійкістю, що дозволяє їхнє використання в умовах підвищених температур. Величини міцності при рівномірному розшаруванні, одержані за допомогою універсальної розривної машини F-100, варіюються в межах 0.300 – 0.450 кг/см, що корелює з показниками комерційних зразків.

**НОВІ СОРБЦІЙНОЗДАТНІ МОДИФІКОВАНІ
ПВП-ВМІСНІ ГІДРОГЕЛІ З ПІДВИЩЕНОЮ МІЦНІСТЮ**

¹Гриценко Т.О., ¹Баран Н.М., ²Кушнірчук М.І., ¹Левицький В.Є.

¹НУ «Львівська політехніка»

вул. Ст. Бандери, 12, 79013, м. Львів

²Львівський національний медичний університет ім. Данила Галицького

вул. Огієнка, 5, 79005, м. Львів

taras.o.hrytsenko@lpnu.ua

Серед широкого спектру гідрогелевих полімерних матеріалів, відомих на даний час, гідрогелі на основі прищеплених кополімерів 2-гідроксіетилметакрилату з полівінілпіролідом (пГЕМА-пр-ПВП), зокрема композиційних, володіють рядом цінних експлуатаційних властивостей [1]. Композиційні сріблонापовнені пГЕМА-пр-ПВП кополімери [2] можуть знайти застосування в хірургії, комбустіології, травматології, зокрема для виготовлення медичних пов'язок для комплексного лікування трофічних виразок, нагноєних, скальпованих, опікових ран, а також у косметології. Однак, недоліком медичних гідрогелевих пов'язок на основі сріблонापовнених пГЕМА-пр-ПВП кополімерів, попри їх антибактеріальні властивості та високу технологічність методу одержання, є недостатня пористість полімерної матриці і, як наслідок, низька сорбційна здатність, особливо до рідин підвищеної в'язкості – ексудату, некробіотичних і гнійних продуктів, а також недостатні міцнісні характеристики.

В роботі гідрогелеві матеріали одержували полімеризацією полімер-мономерної композиції (ПМК) на основі ГЕМА та ПВП в присутності ініціуювальної системи пероксид бензоїлу (ПБ)/феруму (II) сульфат з одночасним відновленням йонів срібла з його нітрату етанолом [2]. Використання комплексу ПВП/ Me^{n+} забезпечує одержання кополімерів ГЕМА з ПВП з високою швидкістю [3] за кімнатної температури, на світлі, на повітрі в одну стадію. Гідрогелеві пов'язки на основі розроблених композицій можливо одержувати способом заливання у форми з плоскопаралельними пластинами або відцентровим формуванням. Синтез матеріалу та методи формування виробів можуть бути здійснені в звичайних умовах без складного техноло-

гічного устаткування.

Пористість полімерної матриці підвищували фізичним методом, а саме, збільшенням вмісту води у вихідній композиції. Одержані матеріали аналізували на граничне водопоглинання (W), яке визначали ваговим методом за зміною маси зразка полімеру, та міцність під час прориву ($\sigma_{\text{пр}}$), яку визначали за методикою прориву плівки під дією штирового індентора. Надлишок розчинника сприяє утворенню додаткових мікропор, які покращують сорбційну здатність гідрогелю. Водночас, для полімерних гідрогелів є характерною залежність – з підвищенням пористості погіршуються міцнісні характеристики (рис. 1, зразок 2).

З метою підвищення міцності гідрогелів до вихідної композиції додавали полівініловий спирт (ПВС) з наступним його зшиванням тетраборатом натрію. Модифікування пГЕМА-пр-ПВП кополімерів полівініловим спиртом забезпечує одержання гідрогелів з, відносно, підвищеними сорбційними та міцнісними характеристиками (рис. 1, зразок 3).

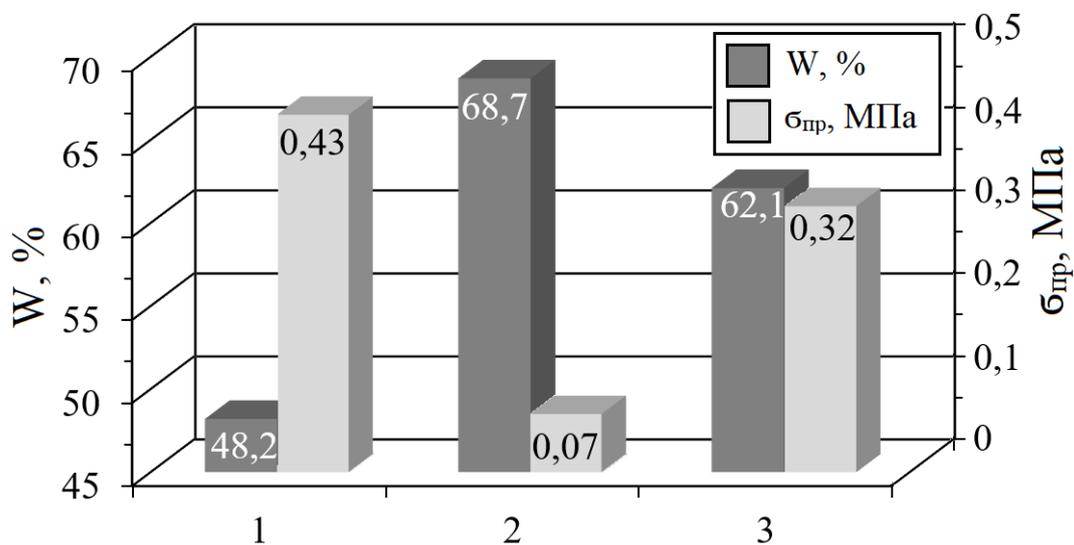


Рис. 1. Залежність граничного водопоглинання (W) та міцності під час прориву ($\sigma_{\text{пр}}$) гідрогелів на основі пГЕМА-пр-ПВП кополімерів від складу вихідної композиції, мас.% ($[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}] = 0,1$ мас.%, $[\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}] = 0,01$ мас.%, $[\text{ПВ}] = 0,5$ мас.%): 1 – ГЕМА:ПВП: $\text{H}_2\text{O} = 4:1:5$; 2 – ГЕМА:ПВП: $\text{H}_2\text{O} = 4:1:15$; 3 – ГЕМА:ПВП:ПВС: $\text{H}_2\text{O} = 4:1:0,5:15$

Встановлено високу хімічну стійкість одержаних матеріалів в агресивних середовищах на прикладі 0,1н H_2SO_4 , NaOH, KOH, 0,9 % NaCl, 3% і 33% розчину H_2O_2 , а також ацетону, 9% розчину формальдегіду в ацетоні, петролейного ефіру, етанолу. Особливо цінною властивістю одержаних гідрогелевих матеріалів є їх здатність зберігати пористість після багаторазових процесів набрякання та сушіння.

Одержані мікропористі гідрогелеві пов'язки з антисептичною дією використовували у хірургічному відділенні на базі Клінічної лікарні Львівської залізниці у комплексі лікування з антибактеріальними препаратами, лімфовентоніками, протизапальними засобами для стаціонарних та амбулаторних хворих з термічними опіками і нагноєними трофічними виразками нижніх кінцівок. Гідрогелеві пов'язки не токсичні (за умови якісного відмивання від залишків мономеру), характеризуються високою міцністю та еластичністю. Просторово зшита структура кополімерів пГЕМА-пр-ПВП кополімерів, модифікованих полівініловим спиртом, забезпечує можливість нагріву гідрогелів до 150 °С, а також здійснення різного роду стерилізації.

Одержані матеріали характеризуються еластичністю, пружністю, достатньою пористістю, високою хімічною стійкістю до агресивних середовищ, що забезпечує перспективу їх використання, як матеріалів для виготовлення виробів медичного використання.

Література:

1. Suberlyak O.; Skorokhoda V. Hydrogels based on polyvinylpyrrolidone copolymers. In *Hydrogels*; Haider S., Haider A., Eds.; IntechOpen: London, UK, 2018, 136–214. [doi:10.5772/intechopen.72082](https://doi.org/10.5772/intechopen.72082).
2. Grytsenko O., Pokhmurska A., Suberliak S., Kushnirchuk M., Panas M., Moravskiy M., Kovalchuk R. (2018). Technological features in obtaining highly effective hydrogel dressings for medical purposes. *East. Eur. J. Enterp. Technol.*, 6 (96), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.150690>
3. Grytsenko O., Dulebova L., Suberlyak O., Skorokhoda V., Spišák E., Gajdos I. (2020). Features of structure and properties of pHEMA-gr-PVP block copolymers, obtained in the presence of Fe^{2+} . *Materials*, 13(20), 4580–4594. <https://doi.org/10.3390/ma13204580>.

УДК 531.3.541.64.547.538:678.064

**ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПОЛІСТИРЕНУ
У ПРИСУТНОСТІ ДИСПЕРСНОГО ОКСИДУ ХРОМУ**

¹Дутка В.С., ²Мідяна Г.Г., ²Дутка Ю.В.

¹Львівський національний університет ім. Івана Франка

²Відділення фізико-хімії горючих копалин

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

Національної академії наук України

вул. Наукова, 3а, 79060, м. Львів

vdutka@ ukr.net

Дрібнодисперсний оксид хрому (Cr_2O_3) часто входить до складу мінералів, які застосовуються як наповнювачі для полімерних композиційних матеріалів. Крім того, оксид хрому використовується як мінеральний пігмент для фарб. У нашій роботі наведено результати вивчення швидкості полімеризації стирену в присутності ініціаторів олігопероксиду себацінової кислоти (ОПСК), пероксиду бензоїлу (ПБ) та гідропероксиду трет-бутилу (ГПТБ). Швидкість полімеризації (W) вивчали дилатометричним способом у дилатометрі розбірного типу при безперервному перемішуванні реакційної суміші. Полімеризацію вели до 10 % конверсії. При проведенні процесу до 100 % конверсії можна отримати композит в якому часточки Cr_2O_3 рівно-мірно розмішені у об'ємі композиту. Вивчення полімеризації в присутності інших наповнювачів вивчено у [1].

Введення оксиду хрому в полімеризаційні системи, в яких використовували як ініціатори ПБ та ОПСК, приводить до невеликого зменшення швидкості полімеризації, що вказує на гальмуючу властивість поверхні оксиду. Залежність швидкості полімеризації від вмісту оксиду хрому для систем в яких застосовували ГПТБ, носить екстремальний характер. При цьому максимум на кривих залежності швидкості від ступеня наповнення зміщується в сторону більшого вмісту оксиду хрому в системах з збільшенням концентрації ГПТБ (рис. 1).

Вивчені закономірності вказують, що досліджувані пероксидні сполуки по різному ведуть себе в полімеризаційній системі. При чому поверхня наповнювача впливає на розклад пероксиду та на перебіг полімеризації стирену.

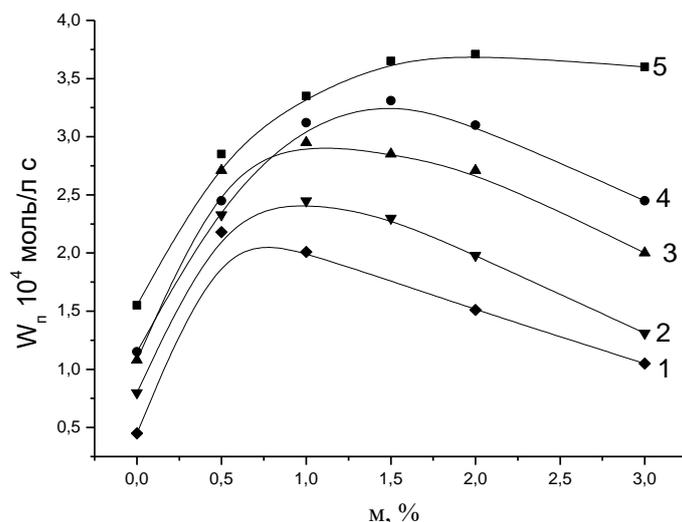


Рис. 1. Залежність швидкості полімеризації стирену від вмісту оксиду хрому у полімеризаційній системі.

Температура – 353 К. Концентрація ГПТБ, моль/л: 1 – 0,03; 2 – 0,05; 3 – 0,08; 4 – 0,10; 5 – 0,15

Вивчення розкладу досліджуваних пероксидів від вмісту оксиду хрому вказує, що у всіх випадках наповнювач збільшує швидкість термодеструкції.

Для ОПСК та ПБ з ростом вмісту оксиду хрому в системі сумарні константи швидкості термічного розкладу (k) змінюються незначно. У випадку ГПТБ, вплив вмісту оксиду хрому на числові значення констант швидкості розкладу проявляється більшою мірою.

Результати вивчення впливу температури на швидкість термічного розкладу діацильних пероксидів наведені в табл. 1. Енергії активації процесів термодеструкції ПБ та ОПСК для процесів проведених за наявності оксиду хрому нижчі, ніж в гомогенних системах (табл. 1). Поряд з ростом швидкості термічного розкладання пероксидів ОПСК та ПБ швидкість полімеризації зменшується. Цей факт свідчить про те, що на поверхні оксиду хрому проходить непродуктивний розклад ініціатора. Подібну ситуацію спостерігали в роботі [2] при вивченні впливу аеросилу на полімеризацію та термічний розклад досліджуваних ініціаторів.

Кількісно охарактеризувати розклад на поверхні можна часткою гетерогенно-каталітичного розкладу (L_p), чисельні значення цього параметру наведені в табл. 1. Величину обчислювали за формулою:

$$L_p = (k_p - k)/k_p, \quad (1)$$

де k_p і k – сумарні константи швидкості розкладу в присутності мінерального наповнювача та в гомогенній системі, відповідно

Таблиця 1. Кінетичні та активаційні параметри реакції терморозкладу ПБ та ОПСК та ефективності ініціювання полімеризації (f) стирену в присутності оксиду хрому

Вміст Cr_2O_3 % мас	$k \cdot 10^5 c^{-1}$ $\Delta k = \pm 0,03k$						$E_{ак}$ кДж/моль	L_p	f
	338	343	348	353	358	363			
Пероксид бензоїлу (ПБ) 0,03 моль/л									
0	–	1,35	2,46	5,41	–	18,6	137	0	0,90
1,0	0,77	1,55	3,05	5,83	10,7	20,0	132	0,19	0,57
2,0	0,84	1,71	3,33	6,11	12,4	–	134	0,26	0,51
3,0	0,95	2,04	3,81	6,73	13,9	–	132	0,35	0,43
Олігопероксид себацінової кислоти (ОПСК) 0,03 осн. моль/л									
0	3,46	6,47	11,5	21,7	38,5	–	119	0	0,40
2,0	3,77	6,84	11,8	22,3	38,6	–	117	0,03	0,35

Непродуктивний розклад ініціаторів на поверхні буде впливати на ефективність ініціювання реакції полімеризації стиролу (f). В таблиці 1. наведені числові значення величин f, які підтверджують цей висновок.

Результати з вивчення впливу оксиду хрому на розклад ГПТБ при різних температурах наведені в таблиці 2. Числові значення сумарної енергії активації з ростом вмісту оксиду хрому зменшується із 96 кДж/моль при відсутності мінералу до 56 кДж/моль при наявності 2,0% оксиду хрому в системі.

Отримані результати вказують на окисно-відновний характер взаємодії ГПТБ з поверхнею оксиду хрому. При невисоких ступенях наповнення полімеризаційної системи за наявності ГПТБ числове значення n рівне 0,32, що нижче значень для процесів полімеризації, в яких обрив полімерних ланцюгів перебігає за бімолекулярним механізмом.

Таблиця 2. Кінетичні та активаційні параметри реакції терморозкладу гідропероксиду трет-бутилу в присутності оксиду хрому

Вміст Cr_2O_3 , мас. %	$k \cdot 10^5 \text{ c}^{-1}$ $\Delta k = \pm 0,03k$					Енергія активації $E_{\text{ак}}$ кДж/моль
	313 К	318 К	323 К	328 К	333 К	
0	–	–	–	–	–	96*
0,5	4,30	6,63	10,1	15,2	21,2	70
1,0	8,50	12,9	18,5	27,0	39,0	66
2,0	14,9	20,9	28,8	40,0	54,2	56

* $E_{\text{ак}}$ визначена з точністю $\pm 4,0$ кДж/моль; $E_{\text{ак}}$ визначена в інтервалі температур 338-363 К

Однією з можливих причин зменшення порядку реакції за ініціатором може бути значний вклад в сумарну реакцію обриву ростучих полімерних радикалів на первинних радикалах [3].

При поступовому збільшенні вмісту оксиду хрому в полімеризаційній системі призводить до зростання числового значення n до 0,86 (табл. 3). Вказаний факт вказує на те, що при високих ступенях наповнення поряд з квадратичним обривом полімерних ланцюгів спостерігається лінійний обрив на поверхні оксиду хрому. При вивченні полімеризації вінілових мономерів за наявності аеросилу [1] нами також був відзначений вклад лінійного обриву в сумарний процес.

Таблиця 3. Кінетичний порядок реакції (n) полімеризації за ініціатором (ГПТБ) при наявності оксиду хрому. Температура – 353 К

Cr ₂ O ₃ мас %	W _п 10 ⁴ моль/л · с; при концентрації ГПТБ, моль/л					n
	0,03	0,05	0,08	0,10	0,15	
0	0,66	0,83	1,05	1,18	1,44	0,49
1,0	1,99	2,46	2,95	3,03	3,44	0,32
1,5	–	2,22	2,79	3,12	3,67	0,46
2,0	1,41	1,89	2,64	2,97	3,59	0,60
3,0	0,94	1,23	1,92	2,27	3,48	0,82

Похибка у визначенні W_п не перевищувала 2 %.

Література:

1. Dutka V., Kovalskiy Ya., Aksimentyeva O, Oshchapovska N. Preparation of Polymer-Nanocomposites Based on Vinyl Monomers and Dispersed Inorganic Oxides // *Advances in Chemical Engineering and Science* 2021. Vol.11 .No 1, P. 18 -28. DOI: doi.org/10.4236/aces.2021.111002:
2. Khamar. O., Dutka V., Kovalskiy Ya. Formation of polymers in the presence of dispersed mineral phase. // *Molecular Crystals and Liquid Crystals* 2024. 768. № 9. P. 222 – 228. DOI:10.1080/15421406.2024.23482023.
3. Dutka V.S., Kovalskiy Ya. P. Features of obtaining polymer composites based on dispersed oxides and vinyl polymers // *Acta Physica Polonica A* 2022.- Vol 141, No 4, P. 278 – 280, DOI: 10.12693/AphysPolA.141.

**ОЦІНЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ
ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ СТИРАННЯМ
У БАРАБАННОМУ МЛИНІ НА ОСНОВІ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ**

¹Дейнека К.Ю., ¹Дейнека І.О., ²Науменко Ю.В.

¹ВСП «Рівненський технічний фаховий коледж

Національного університету водного господарства та природокористування»

вул. Вишиванка, 35, 33027, м. Рівне

²*Національний університет водного господарства та природокористування*

вул. Соборна, 11, 33028, м. Рівне

k.yi.deineka@niwt.edu.ua

Одним з головних механізмів навантаження при подрібненні в барабанних млинах, крім удару та стискання, є зсування. Це навантаження викликає дотичні напруження та поверхневе тертя між молотковими тілами та частинками подрібнюваного матеріалу. Навантаження зсуванням забезпечує здійснення механізму руйнування стиранням переважно у поверхневому шарі частинки подрібнюваного матеріалу при тонкому помелі.

В [1] розроблено метод моделювання зон руху зернистого завантаження у поперечному перерізі камери обертового барабана на основі визначення положення межі переходу пасивної зони у зону падіння [2] та параметрів зсувного шару [3]. Натомість отримані результати не дозволяють оцінити вплив зсувної взаємодії завантаження на продуктивність процесу тонкого помелу.

Було застосовано експериментальний метод чисельного моделювання на основі експериментальної візуалізації поведінки завантаження в камері обертового барабана для визначення параметрів зсувної взаємодії. Візуалізація здійснювалась фіксацією через прозору торцеву стінку та подальшою обробкою картин руху завантаження у поперечному перерізі камери. Алгоритм реалізації методу візуалізації даних полягає у послідовному здійсненні низки етапів вимірювання та оцінювання геометричних параметрів отриманих картин трифазного режиму руху завантаження.

Як аналог продуктивності процесу подрібнення стиранням в барабанному млині Q_a було прийнято відносну енергію зсувної взаємодії завантаження [4].

Значення Q_a обчислювалось за виразом:

$$Q_a = \frac{(V_{slmax} + V_{sl0})^2 R}{h_{sl}^2 g} K_{sl},$$

де $V_{slmax} = \sqrt{2W_i \sin \alpha_{sl} \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} h_{sl} - V_{sl0}^2}$ – максимальна зсувна швидкість у

центральному усередненому нормальному перерізі зсувного шару, $V_{sl0} = \omega R_{sl0}$ – зсувна швидкість опорної поверхні центрального усередненого нормального перерізу зсувного шару, h_{sl} – висота центрального усередненого нормального перерізу зсувного шару, R_{sl0} – радіальна координата основи центрального усередненого нормального перерізу зсувного шару, α_{sl} – кут нахилу основи усередненого нормального перерізу зсувного шару до горизонталі, φ – кут внутрішнього тертя зернистого завантаження,

$W_i = g + a_{fr} = \sqrt[3]{-\frac{L}{2} + \sqrt{f}} + \sqrt[3]{-\frac{L}{2} - \sqrt{f}} - \frac{q}{3}$ – уявне сумарне вертикальне

прискорення зсувного шару, що спричинює його рух, a_{fr} – уявне додаткове інерційне прискорення зсувного шару внаслідок зростання кінетичної енергії

після ударної взаємодії зони польоту зі зсувним шаром, $f = \left(-\frac{q^2}{9} + \frac{m}{3}\right)^3 + \left(\frac{L}{2}\right)^2$,

$L = 2\left(\frac{q}{3}\right)^3 - \frac{qm}{3} - 2\frac{V_{sl0}^6}{d^3}$, $q = -\frac{1}{d^3}\left(\frac{V_{sla}^2}{c^2} + 3d^2V_{sl0}^2\right)$, $m = \frac{1}{d^3}\left(2\frac{V_{sla}}{c}V_{sl0}^3 + 3dV_{sl0}^4\right)$,

$c = \frac{1 - \sin \varphi}{3h_{sl} \sin \alpha_{sl} \cos \varphi}$, $d = \frac{2h_{sl} \sin \alpha_{sl} \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}$, $V_{sla} = \frac{\omega(R^2 - R_{sl0}^2)}{2h_{sl}}$ – усереднене

значення швидкості руху у центральному усередненому нормальному перерізі зсувного шару, 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, $\psi_\omega = \omega/(g/R)^{0.5}$ – відносна швидкість обертання камери барабана, ω – кутова швидкість обертання, g – гравітаційне прискорення.

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

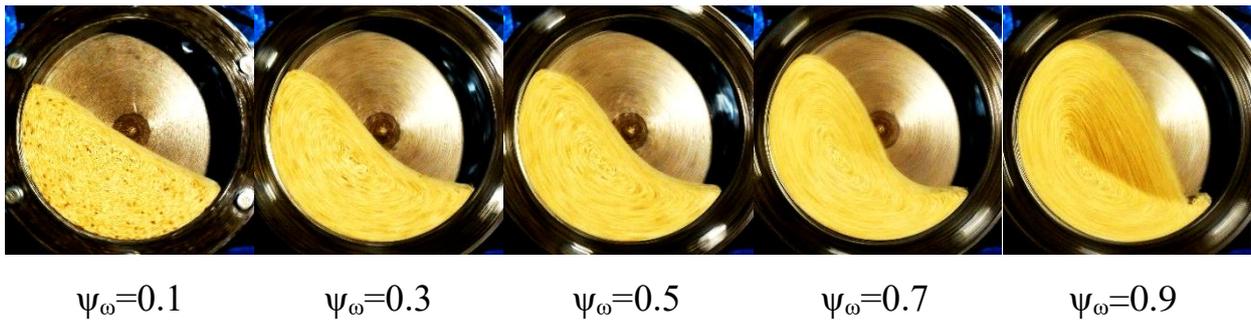


Рис. 1. Візуалізовані дані картин руху завантаження при $\psi_d=0.0104$ та $\kappa=0.45$

Графік зміни аналога продуктивності подрібнення стиранням Q_a від відносної швидкості обертання ψ_ω при $\kappa = 0.45$ наведено на рис. 2.

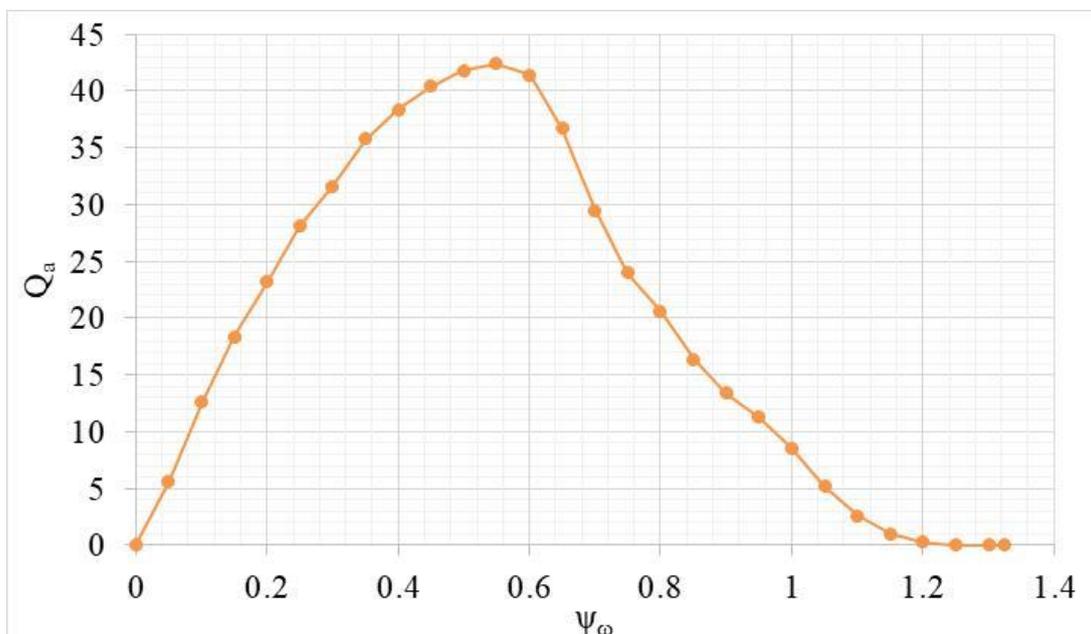


Рис. 2. Експериментальна залежність зміни Q_a від ψ_ω при $\kappa = 0.45$

Встановлено, що аналог продуктивності подрібнення стиранням досягає максимального значення при відносній швидкості обертання $\psi_{\omega} = 0.55$. Виявлено раціональну умову реалізації подрібнення в барабанному млині стиранням при $\psi_{\omega}=0.5-0.6$. Встановлена швидкість є меншою, порівняно з раціональними умовами подрібнення при роздавлюванні $\psi_{\omega} = 0.55-0.65$ та розбиванні $\psi_{\omega} = 0.75$.

Апробація засвідчила ефективність застосування комп'ютерної візуалізації даних для оцінювання технологічного аналогу зсувної взаємодії елементів внутрішньокамерного завантаження барабанного млина. Верифікація результатів моделювання реалізована порівнянням із даними стандартів (ISO/IEC Standard No. 924:1989) та (DIN EN Standard No. 1009-3:2020) [5].

Отже, зсувна дія реалізується внаслідок імпульсної взаємодії при взаємному хаотичному переміщенні елементів у зсувному шарі завантаження і характеризується гранулярною температурою. Визначальними параметрами впливу на аналог продуктивності подрібнення стиранням є градієнт зсувної швидкості та масова частка зсувного шару завантаження.

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

ФАЗОВІ РІВНОВАГИ В СИСТЕМІ $\text{HfO}_2\text{-La}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3$

ЗА ТЕМПЕРАТУРИ 1500 °С

Юшкевич С.В., Оліфан О.І., Самелюк А.В., Макаренко О.С.

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

вул. Омеляна Прицака, 3, 03142, м. Київ

mars970909@gmail.com

Створення матеріалів, здатних ефективно функціонувати за екстремально високих температур (понад 1800–2000 °С) у середовищах з вмістом кисню, є важливим науковим напрямком, який привертає увагу дослідників у всьому світі. Гафнати лантаноїдів із загальною формулою $\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_7$ вважаються перспективними завдяки їхній структурі, хімічній інертності, термічній стабільності та відсутності фазових перетворень до температур плавлення (>2000 °С). Ці властивості роблять їх придатними для виготовлення жаростійкої оксидної кераміки, антиокиснювальних покриттів та тугоплавких матриць для композитів, призначених для екстремальних умов.

Крім того, прозора кераміка на основі впорядкованих пірохлорних фаз ($\text{Hf}_2\text{Ln}_2\text{O}_7$) має потенціал для застосування в лазерних технологіях, оптичних лінзах, бронесклях, аерокосмічних обтічниках та сцинтиляторах. Для оптимізації використання та виробництва таких матеріалів необхідно детально вивчати фазові діаграми систем $\text{HfO}_2\text{-La}_2\text{O}_3\text{-Ln}_2\text{O}_3$, оскільки саме вони є ключовою основою для розробки нових керамічних матеріалів із заданими властивостями. Дослідження фазових рівноваг становить фізико-хімічний фундамент для створення інноваційних матеріалів спеціального призначення [1-5].

Для проведення експерименту зразки були синтезовані хімічним методом. В процесі синтезу використовували наступні реактиви: азотнокислу сіль гафнію $\text{HfO}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, а також оксиди La_2O_3 і Sm_2O_3 . Синтезовану шихту пресували в таблетки розміром: $\varnothing = 5$ мм, $h \sim 4\div 5$ мм. Термообробку отриманих зразків проводили в два етапи: I – в лабораторній муфельній печі за температури 800 °С впродовж 100 год; II – у високотемпературній муфельній печі за температури

1500 °C впродовж 80 год (в атмосфері повітря).

Рентгенофазовий аналіз виконували за допомогою установки ДРОН-3 за кімнатної температури (CuK α – випромінювання, Ni – фільтр). Для ідентифікації фаз та визначення періодів кристалічних ґраток утворених фаз використовували програму PowderCell. Мікроструктури вивчали за допомогою скануючого електронного мікроскопа Superprobe-733 (JEOL, Japan, Palo Alto, CA) у зворотньо відбитих електронах (BSE) на нетравлених шліфах відпалених зразків з напиленим шаром золота.

За отриманими результатами побудовано ізотермічний переріз потрібної діаграми стану системи на основі оксидів гафнію, лантану та самарію за температури 1500 °C. Встановлено, що при зазначених умовах дослідження, в системі утворюють області гомогенності на основі твердих розчинів: гексагональної модифікації оксидів рідкісноземельних елементів (A-La $_2$ O $_3$), моноклінної модифікації на основі оксиду самарію (B-Sm $_2$ O $_3$), високотемпературної моноклінної модифікації на основі діоксиду гафнію (M-HfO $_2$), кубічної модифікації на основі оксиду самарію (C-Sm $_2$ O $_3$) та упорядкованої фази зі структурою типу пірохлору (Py), що характеризується кубічною структурою. При зазначеній температурі утворюється неперервний ряд твердого розчину на основі упорядкованої фази зі структурою типу пірохлору.

Література:

1. Ushakov S. V. Fluorite and Pyrochlore Phases in the HfO $_2$ –La $_2$ O $_3$ –Gd $_2$ O $_3$ Systems: Characterization and Calorimetric Study of Samples Quenched From Melts Formed by Laser Heating and Aerodynamic Levitation / S. V. Ushakov, A. Navrotsky, J. A. Tangeman // MRS Online Proceedings Library. – 2008. – Vol. 1122. – P. 107. – DOI: <https://doi.org/10.1557/PROC-1122-O01-07>.
2. Zhou L. High-entropy A $_2$ B $_2$ O $_7$ -type oxide ceramics: A potential immobilising matrix for high-level radioactive waste / L. Zhou, F. Li, J.-X. Liu, S.-K. Sun, Y. Liang, G.-J. Zhang // Journal of Hazardous Materials. – 2021. – Vol. 415. – P. 125596. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125596>.
3. Wang J. Thermal and Mechanical Properties of Rare-Earth Hafnates as

Potential Thermal Barrier Coating Materials / J. Wang, R. Stevens, J. R. Binner // Journal of the European Ceramic Society. – 2010. – Vol. 30, Issue 11. – P. 2385–2394. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2010.04.008>.

4. Pan W. Phase Stability and Thermal Conductivity of RE₂Hf₂O₇ (RE = La, Nd, Sm, Eu, Gd) Pyrochlores / W. Pan, S. R. Phillpot, C. Wan // Acta Materialia. – 2012. – Vol. 60, Issue 13–14. – P. 4810–4818. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2012.05.033>.

5. Chen G. Defect Engineering in Developing Low-Thermal-Conductivity High-Entropy Pyrochlore Oxides for Thermal Barrier Coatings / G. Chen, Y. Zhang, D. Clarke, K. An // Scripta Materialia. – 2020. – Vol. 188. – P. 178–183. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2020.07.028>.

УДК 678.664

ВИВЧЕННЯ БІОСУМІСНОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ПОЛІУРЕТАНСЕЧОВИН З ДАКАРБАЗИНОМ

Кулеш Д.В., Віслогузова Т.В., Рожнова Р.А.

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

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

d_kulesh@ukr.net

Розробка та впровадження полімерних матеріалів з пролонгованим вивільненням лікарських препаратів, як імплантаційних матеріалів в практичній медицині є актуальною задачею сьогодення. Поліуретансечовини (ПУС) є перспективними імплантаційними матеріалами, що володіють достатньою міцністю, механічною стійкістю та еластичністю, імітуючи природні тканини організму. ПУС мають низьку імуногенність, завдяки чому, при їх імплантації, мінімізується адсорбція білків на поверхні імплантаційних матеріалів, підвищуючи їх біосумісність. Імобілізація лікарських препаратів на таких полімерних носіях може суттєво знизити токсичність діючої речовини, сприяти проведенню локальної терапії зі збільшенням ефективності самого лікування.

Метою даної роботи було вивчення біосумісності методом імплантаційного тесту композиційних матеріалів на основі ПУС з фрагментами прищепленого кополімеру полівініловий спирт-поліетиленгліколь (ПВС-ПЕГ) у структурі, що містять дакарбазин.

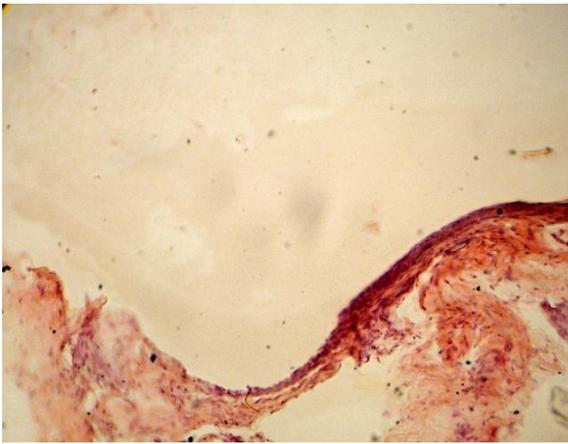
Об'єктами дослідження були ПУС з фрагментами прищепленого кополімеру полівініловий спирт-поліетиленгліколь (ПВС-ПЕГ) у структурі. ПУС отримували з діізоціанатного форполімеру (ДФП), подовжувача макроланцюга 4,4'-діамінодифенілметану (ДАДФ) і кополімеру ПВС-ПЕГ за різного мольного співвідношення ДФП:ДАДФ:ПВС-ПЕГ (1,0:0,7:0,3). Композиційні матеріали з дакарбазином (ДАК) (ПУС-ДАК) отримували шляхом наповнення ПУС лікарським препаратом ДАК у кількості 1 % мас [1]. ДАК (5-(3,3-диметил-1-тріазенил)імідазол-4-карбоксамід) – алкілюючий цитостатичний засіб триазенової структури, є одним з хіміотерапевтичних препаратів, який широко використовується в клініці для лікування раку. Точний механізм дії ДАК складний і недостатньо вивчений. Він взаємодіє з ДНК шляхом інтеркаляції, пригнічуючи макромолекулярний біосинтез. Тому інтеграція ДАК до складу полімерного носія відкриває перспективи для створення біологічно активних імплантатів, які забезпечують місцевий лікувальний ефект. Використання ДАК як активної речовини в комбінації з полімерними матеріалами дозволяє ефективно досягати пролонгованої дії, що є надзвичайно важливим у клінічній практиці, зокрема для локалізованої терапії злоякісних утворень.

З метою вивчення біосумісності мультиблокових ПУС та композиційних матеріалів з ДАК були проведені модельні операції по їх імплантації в організм експериментальних тварин – лабораторних щурів лінії Wistar. Всі маніпуляції з експериментальними тваринами проводилися з дотриманням принципів, викладених у Європейській конвенції по захисту хребетних тварин, що використовуються для експериментальних та інших цілей [2] та у відповідності до закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» №3447-IV від 21.02.2006 р. Модельні операції виконувалися в асептичних умовах. Після обробки операційного поля полімерні зразки у вигляді монолітних плівок розміром 10 × 10 мм поміщалися субкутально в область спини експерименталь-

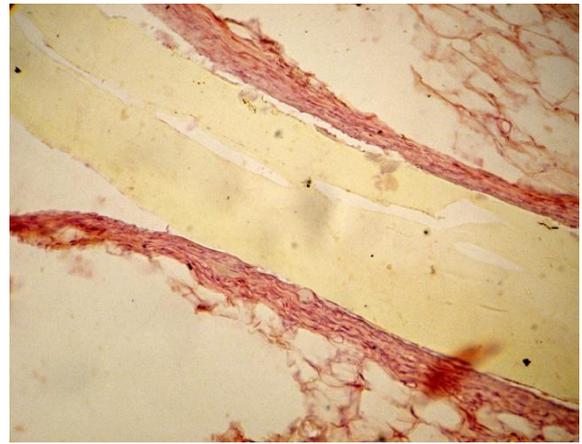
них тварин без додаткової фіксації, для виключення впливу шовного матеріалу на рановий процес. Тварин виводили з експерименту на 7, 14 та 30 добу. Дослідний матеріал (полімерний зразок з оточуючою сполучною тканиною) фіксували в 10% розчині формаліну та заливали в парафін після проведеної гістологічної обробки за стандартною методикою [3]. Зрізи товщиною 10-15 мкм забарвлювали гематоксиліном і еозином. Аналіз клітинних реакцій та оцінка біосумісності полімерних матеріалів проводилася шляхом дослідження гістологічних препаратів за допомогою світлової мікроскопії – мікроскоп Carl Zeiss Primo Star, мікрофотозйомка проводилася за допомогою фотоапарату Canon PowerShot A640 з адаптером Soligor Adapter Tube for Canon A610/A620 52 mm Tele.

Основна увага в гістологічних дослідженнях зверталася на ознаки розвитку запальних явищ в зоні імплантації полімерних зразків на межі «імплантат – тканина». Макроскопічно навколо імплантованих зразків на всіх термінах дослідження виявлялася сполучна тканина, що відмежовувала імплантовані зразки від оточуючих тканин, за кольором і структурою не відрізнялася від тканин подалі від місця імплантації.

За результатами гістологічних досліджень було встановлено, що імплантація мультиблокових ПУС та композиційних матеріалів на основі ПУС з ДАК в організм експериментальних тварин приводило до розвитку схожих клітинних реакцій на всіх термінах дослідження. Відбувалося відмежування імплантованих зразків від оточуючих тканин сполучнотканинними капсулами вже на ранніх термінах дослідження, які за клітинним складом та ступенем зрілості суттєво не відрізнялися одна від одної (рис. 1, а). Клітинні реакції в самих капсулах та за її межами були типовими для класичного розвитку асептичного запалення. Динаміка запальних реакцій та характер їх розвитку, в більшій мірі, був обумовлений комплексом біологічних процесів у вогнищі запалення, що приводили до утворення сформованих сполучнотканинних капсул вже на ранніх термінах дослідження з тенденцією повного дозрівання до 30 доби після імплантації (рис. 1, б).



7 діб після операції



30 діб після операції

Рис. 1. Розвиток клітинних реакцій навколо імплантованих зразків ПУС-ДАК. Забарвлення гематоксилином і еозином. $\times 200$

За отриманими даними досліджені полімерні зразки були біосумісними, що підтверджувалося формуванням досить зрілих сполучнотканинних капсул вже на ранніх термінах дослідження, які склалися з щільно упакованих колагенових волокон та синтетично активних фібробластів. Наявність ДАК в складі композиційних матеріалів приводило до більш виражених круглоклітинних реакцій, що, скоріше за все, було пов'язано не тільки з реакцією організму на присутність чужорідного матеріалу, а й з біологічною активністю самого лікарського препарату.

Література:

1. Tetiana Vislohuzova, Rita Rozhnova, Tetiana Kiselova, Galyna Kozlova Development and research of composite materials with dacarbazine based on polyurethane-urea with fragments of polyvinyl alcohol-polyethylene glycol graft copolymer in the structure / Polymer journal. – 2024. -46. – No. 2. – 135-144. <https://doi.org/10.15407/polymerj.46.02.135>
2. European convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes. *Council of Europe, Strasbourg; 1986*, 53 p.
3. Bagrij MM, Dibrova VA, Popadinecz OG, Grishhuk MI, authors; Bagriya MM, Dibrovi VA, editor. [Metodiki morfologichnikh doslidzhen: monografiya]. Vinniczya: Nova Kniga; 2016. 328 p. Ukrainian.

УДК 661.6

**ПОТЕНЦІАЛ ВИКОРИСТАННЯ ТРИАЦЕТАТУ ЦЕЛЮЛОЗИ
У РОЗРОБЦІ НОВИХ ВИДІВ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТНИХ
МАТЕРІАЛІВ ІЗ ПОКРАЩЕНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ**

Корнієнко І.С., Сverdліковська О.С.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

ivan.korniyenko.98@gmail.com

У ХХІ столітті темпи розвитку науки і техніки є найвищими за всю історію людства. Вкрай важко уявити зараз повсякденне життя людини без літаків, автомобілів, комп'ютерів чи телефонів. Людство стало спроможним штучно створювати речовини, обмінюватися інформацією на відстані за лічені секунди, будувати складні та водночас вкрай стійкі механізми і матеріали, підкорювати та досліджувати сфери, які раніше були для нас недосяжними. Безумовно, такий стрибок у розвитку не є результатом якогось єдиного наукового відкриття – а навпроти, є результатом послідовних досліджень та наукових відкриттів і розробок нових технологій на їх базі.

З-поміж таких відкриттів і розробок можна виділити полімерні композитні матеріали (ПКМ). Завдяки своїм фізико-механічним властивостям, які піддаються впливу та модифікації, а також вартості виробництва, даний вид композитів широко застосовується у значному переліку галузей, серед яких можна виділити суднобудування, машинобудування, авіацію, електромеханіку, будівельну, космічну та військову сфери.

Із подальшим розвитком людства постає необхідність в отриманні нових ПКМ із покращеними характеристиками, які були б здатні витримувати більші навантаження та бути стійкими до впливу різноманітних речовин і процесів оточуючого середовища, що дозволило б знизити праце- та енерговитрати.

Зокрема, на сучасному етапі перспективним напрямом є використання полііоненів для модифікації ПКМ. Це спричинено тим, що дані четвертинних амонієвих солей мають унікальний комплекс властивостей і виявляють високу ефективність у різних хіміко-технологічних процесах, що й зумовлює значний

потенціал використання полііоненів для покращення окремих властивостей ПКМ.

Полімерні композиційні матеріали відносяться до композитів – матеріалів, що складаються з двох та більше фаз (компонентів), які є сумісними між собою. Серед фаз можна виділити неперервну – матрицю, що виступає «в'язучим» компонентів ПКМ, та дисперсну – наповнювачі, що їй мають надавати отриманому композиту необхідні властивості. Полімерні композити відрізняються від інших типів тим, що роль матриці у них виконує полімерний матеріал. Використання полімеру в якості неперервної фази дозволяє має певні переваги над іншими видами композитів. Зокрема, ПКМ є більш дешевими і простими у виготовленні, ніж металеві; при цьому за показниками питомої міцності і питомого модуля пружності дані матеріали можуть перевищувати показники неармованих матеріалів та деяких волокнистих композитів [3].

Полімерним композиційним матеріалам притаманні також властивості, несумісні в інших матеріалах, наприклад, низька теплопровідність, висока електропровідність, мала маса, висока міцність, що також надає їм значну перевагу перед використанням більш традиційних матеріалів [4]. Відповідно до різних принципів і характеристик [1], композити можна систематизувати у певні категорії.

Властивості ПКМ напряду залежать від їх структури. Різні комбінації матриці та наповнювача можуть надавати ПКМ з різними рівнями міцності, хімічної стійкості, водостійкості, гнучкості, здатністю до обробки. Зважаючи на це, дослідженням характеристик ПКМ різної структури, впливу різних модифікацій на властивість ПКМ присвячені праці багатьох видатних як іноземних, так і вітчизняних вчених.

В якості модельної полімерної композиційної системи було обрано композицію на основі триацетату целюлози (ТАЦ). В рамках експерименту було досліджено вплив нових полііоненів на основі епоксидованих похідних 1,2-епокси-4,7-діоксононен-8 на реологічні та фізико-механічні властивості композиції на основі ТАЦ.

Відповідно до отриманих результатів було встановлено наступне:

1. При збільшенні швидкості зсуву до $1,5 \text{ c}^{-1}$ в'язкість розчину ТАЦ зростає, однак при надмірному зростанні даного показника до рівня $4-5 \text{ c}^{-1}$ та вище – значення динамічної в'язкості зменшується і структура матеріалу руйнується.

2. За температури 38°C відбувається найбільше зменшення значень в'язкості, максимально зменшуються фізична і хімічна взаємодія між молекулами розчину.

3. Динамічна в'язкість розчинів ТАЦ у присутності полііоненів зростає у 4,5-15,5 разів. Більш суттєві зміни динамічної в'язкості спостерігаються при введенні полііонену 52, 63, а оптимальна концентрація складає 0,025% від маси ТАЦ.

4. Абсолютно усі добавки полііонену призводять до зростання стійкості до розтягу отриманого матеріалу в 1,6-2,6 разів. При відносно малих концентраціях добавок (0,01-0,05% від маси ТАЦ) спостерігається найбільше зростання міцності, при збільшенні концентрації – приріст міцності плівок знижується, що обумовлено зменшенням ван-дер-ваальсової взаємодії між ланцюгами полімерів. В результаті експерименту найкращим модифікатором з точки зору підвищення міцності на розрив плівок продемонстрував себе ТАЦ 54 при оптимальній концентрації 0,025% від маси ТАЦ.

5. Введення полііоненів 61, 63 у розчин ТАЦ призводить до зростання питомої теплоємності в температурному інтервалі 323–373 К, в той час як для інших полііоненів максимум питомої теплоємності у досліджуваному інтервалі 323-373 К припадає для концентрацій добавок 0,025-0,075% від маси ТАЦ. При подальшому збільшенні концентрації відбувається зменшення теплоємності плівок ТАЦ.

Таким чином, модифікування ТАЦ за допомогою полііоненів на основі 1,2-епокси-4,7-діоксононен-8 дозволило суттєво покращити як фізико-механічні, так і реологічні властивості полімеру.

Отже, на сучасному етапі пошук можливостей отримання нових видів композитів із покращеними характеристиками та прийнятною собівартістю виробництва залишається вкрай актуальним. Створення ПКМ із покращеними характеристиками дозволить ще більше розширити сферу використання ПКМ у

нашому повсякденному житті, замістивши більш коштовні у виробництві матеріали та матеріали, виробництво яких чинить шкоду оточуючому середовищу. Нові поєднання унікальних властивостей різних речовин при створенні нових ПКМ також дасть людству змогу отримати інноваційні вироби та матеріали, здійснювати діяльність в умовах, в яких раніше це було неможливо.

Література:

1. Джурка Г.Ф. Полімерні композиційні матеріали. Навчальний посібник. Полтава, 2008. 58 с.
2. Беліков С.Б., Волчок П.І., Мітяєв О.А., Плєскач В.М., Савченко В.О. Композиційні матеріали в авіабудуванні (огляд). *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2017. № 2. С. 32-40.
3. Кобець А.С., Деркач О.Д., Чигвінцева О.П., Кабат О.С., Рула І.В., Дудін В.Ю., Макаренко Д.О., Бойко Ю.В. Застосування полімерних композитів в АПК. Монографія. Дніпро: Журфонд, 2022. 356 с.
4. Баштаник П. І., Кузьменко М. Я., Ігоніна Г. М., Євтушенко Я. І., Шпатакова Г. В. Композиційні матеріали на основі поліпропілену, армованого апроетованим базальтовим волокном. *Вопросы химии и химической технологии*. 2014. № 1. С. 57-61.
5. Вишняков Л.Р., Грудіна Т.В., Морозова В.М., Яременко О.П., Петько І.П., Шлапацька В.В. Радіаційнозахисні полімерні композиційні матеріали. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2007, №2. С.100-105.
6. Криволапов Д. С., Сухий К. М., Баштаник П. І., Третьяков А. О., Безрукавий В. О. Вплив стеаринової кислоти на властивості деревинно-полімерних композитів. *Питання хімії та хімічної технології*. 2023, № 5. С. 50-54.
7. Бардадим Ю. В., Віленський, В. О. Структура та фізичні властивості полімерних композитних матеріалів, сформованих у постійних магнітному та електричному полях. *Полімерний журнал*. 2016, №38(2). С. 115-124.
8. Свердліковська О. С., Бурмістр М. В., Феденко О. О. Апротонні полімерні іонні рідини іоненового типу. *Наука, технології, інновації*. 2018. № 2. С. 61-70.
9. Hui Li, Jie Gao, Zhiyong Li, Yan Zhang, Jun Zhang, Shiguo Zhang. Advancements in Poly(ionic liquid) composites with carbon nanomaterials. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. 2024.

HYBRID SYSTEMS BASED ON SILVER CURCUMINATE

^{1,2}Ivakha N.B., ^{1,2}Berezhnytska O.S., ¹Trunova O.K., ²Antokhin V.S.

¹*V.I. Vernadsky Institute of General and Inorganic Chemistry of the NAS of Ukraine*

Akad. Palladin Avenue, 32/34, 03142, Kyiv, Ukraine

²*National Technical University of Ukraine*

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Beresteiskyi Avenue, 37, 03056, Kyiv, Ukraine

ivakhanadiia@gmail.com

It is known that the stability of coordination compounds of silver, compared with complexes of 3d-metals, is not high, which is due to its tendency to reduction. Therefore, to obtain complexes, it is necessary to carefully select the synthesis conditions: ratio, concentration and pH of the solution. One of the ways to avoid these undesirable processes is the synthesis of hybrid systems based on Ag curcuminates. The advantage of hybrid systems over complex compounds is the possibility of obtaining solid-phase materials of multifunctional purpose with higher chemical, thermal stability and catalytic activity. In addition, such systems can find application in the pharmaceutical and medical industries.

In this work, hybrid nanoscale materials of silver curcuminates were obtained by heterophase synthesis on two aluminosilicate matrices similar in composition but different in morphology and surface charge. Clay materials kaolinite $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and dragonite $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ were chosen as matrices..

The dependence of the surface charge of kaolin on pH is similar to that of aluminum hydroxide, and in a wide pH range it has a positive value. At high pH values, more anions are adsorbed, and at low pH, more cations. The outer surface of halloysite nanotubes is mainly formed by siloxane (Si-O-Si) groups, and aluminol groups (Al-OH) form the inner surface of the tube plane. Silanol (Si-OH) groups are formed in structural defects and on fractures of silicate particles. Taking this fact into account, the order of introducing reagents into the reaction was adjusted.

In order to develop an optimal method for the synthesis of hybrid structures, their preparation was carried out in three ways:

1. The prepared solution of synthesized silver curcumin was added to the aqueous suspensions of aluminosilicates with intensive stirring. After 2 hours of stirring and cooling to $\sim 20^{\circ}\text{C}$, the solution was centrifuged at 8000 rpm (separation factor 6600) for 5 minutes.

2. Hybrid materials were obtained by complexation on the surface of the carrier. AgNO_3 solution ($1 \cdot 10^{-3}\text{M}$) was added to the aqueous suspension of aluminosilicates with intensive stirring and moderate (50°C) heating, and an equimolar amount of aqueous-ethanolic curcumin solution was introduced. $\text{pH} = 6.5-7$. Mixing duration – 2 hours.

3. The method is similar to the second, but the sequence of adding the components is changed. First, the curcumin solution, then in small portions, the silver nitrate solution.

Fig. 1 presents the results of microscopic examination of the obtained samples (a, b – systems obtained by method 2, c, d – by method 3). The first synthesis method does not allow quantitative and uniform immobilization of the metal complex over the entire surface of the carrier; however, the entire surface is covered with nanoparticles. This indicates that, in this case, the complex binds unevenly with the surface groups.

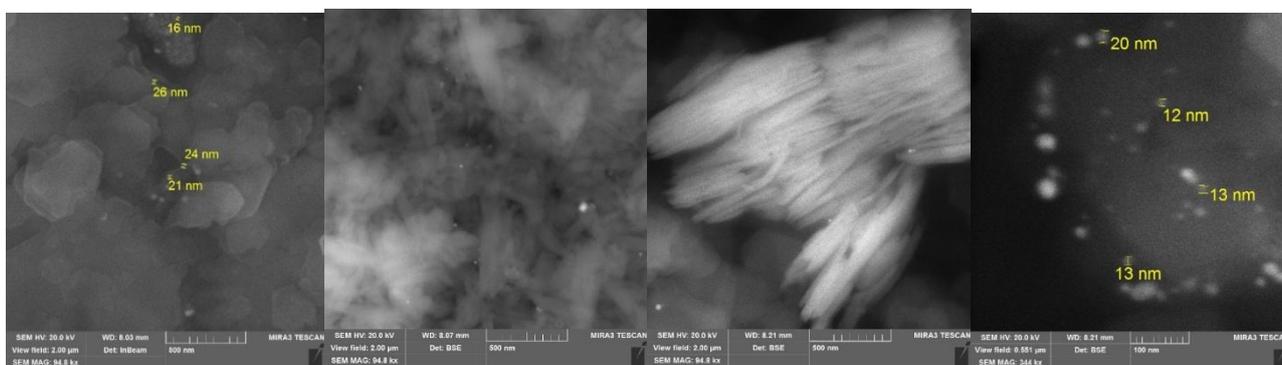


Fig. 1. SEM micrographs of AgCur attached to the surface of kaolin (a), dragonite (b), kaolin (c, d), scale bar 500 nm (a, b, c), 100 nm (d)

Thus, the conducted studies have made it possible to develop a methodology and key approaches for the synthesis of hybrid systems through the covalent immobilization of complexes and nanoparticles on the surface of aluminosilicate matrices.

Секція 2

*Аналітична хімія.
Інноваційні технології харчової
промисловості*

**ПЕРСПЕКТИВА ВИКОРИСТАННЯ СИНТЕТИЧНИХ АНІОННИХ ГЛИН
РІЗНОГО СКЛАДУ ДЛЯ СОРБЦІЙНОГО ДООЧИЩЕННЯ
ПРИРОДНИХ І СТИЧНИХ ВОД ВІД ЦИНКУ ТА КАДМІЮ**

Бутенко Е.О.

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

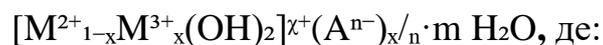
вул. Гоголя, 29, 49044, м. Маріуполь-Дніпро

butenko_e_o@pstu.edu

Стичні води промислових міст України (Маріуполь до повномасштабного вторгнення, Кривий Ріг, Дніпро) містять високі концентрації токсичних металів, зокрема Zn^{2+} та Cd^{2+} , що становить загрозу для екосистем та здоров'я людей. Традиційні методи очищення (нейтралізація, фільтрація) часто недостатньо ефективні, тому перспективним є використання синтетичних аніонних глин перемінного складу – шаруватих подвійних гідроксидів (LDH), які мають високі сорбційну ємність, хімічну стабільність, можливість модифікації та регулювання хімічного складу для підвищення селективності.

Синтетичні аніонні глини – це шаруваті подвійні гідроксиди (Layered Double Hydroxides, LDH), які можна синтезувати з різним складом для підвищення ефективності сорбції [1].

Загальна формула усіх шаруватих подвійних гідроксидів має вигляд:



M^{2+} – двовалентні катіони (Mg^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+});

M^{3+} – тривалентні катіони (Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , Ga^{3+});

A^{n-} – аніони (CO_3^{2-} , NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , органічні аніони);

x – мольна частка M^{3+} ($0,2 \leq x \leq 0,33$);

m – кількість молекул води.

Основні види синтетичних аніонних глин для видалення Zn^{2+} та Cd^{2+} :

Гідроталькіт (наприклад, $Mg_6Al_2(CO_3)(OH)_{16} \cdot 4H_2O$) – висока ємність обміну аніонами [2].

Гідроталькоцит (наприклад, $Zn_6Al_2(CO_3)(OH)_{16} \cdot 4H_2O$) – селективність до кадмію.

Модифіковані САГ (наприклад, з Fe, Mn) – підвищена сорбція важких металів.

Переваги синтетичних аніонних глин над іншими сорбентами:

- висока питома поверхня (100-300 м²/г);
- регульований хімічний склад – можна підбирати катіони (Mg-Al, Zn-Al, Ni-Fe тощо) для підвищення сорбції Zn^{2+} та Cd^{2+} ;
- висока ємність іонного обміну за рахунок міжшарового простору;
- можливість регенерації: відновлення сорбенту кислотною обробкою;
- стабільність у широкому діапазоні рН (4–9).

Механізми сорбції Zn^{2+} та Cd^{2+} синтетичними аніонними глинами: видаляють важкі метали за рахунок іонного обміну (Cd^{2+} і Zn^{2+} заміщають катіони у міжшаровому просторі), поверхневої адсорбції (комплексоутворення з –ОН групами), осадження (утворення малорозчинних гідроксидів або карбонатів).

Ефективність видалення важких металів синтетичними аніонними глинами представлено у таблиці 1.

Таблиця 1. Ефективність видалення важких металів синтетичними аніонними глинами

Метал	Оптимальний рН сорбції	Максимальна сорбційна ємність (мг/г)
Zn^{2+}	6-8	80-120 (для Mg-Al LDH)
Cd^{2+}	5-7	60-100 (для Zn-Al LDH)

При рН = 6, Mg-Al LDH зменшує концентрацію Zn^{2+} з 50 мг/л до < 0,1 мг/л. Zn-Al LDH ефективно видаляє Cd^{2+} на 95–98% за 30-60 хв.

Можливі технологічні рішення для очищення стічних вод промислових підприємств полягають у фільтрація через сорбенти у колонках або реакторах, додавання синтетичних аніонних глин у вигляді порошку до стічних вод з подальшим відділенням (відстоювання/фільтрація), використання модифікова-

них синтетичних аніонних глин (наприклад, з наночастинками заліза для підвищення ефективності) [3].

Переваги синтетичних аніонних глин над іншими сорбентами полягає в тому, що вони дешевше за імпорتنі сорбенти (можливий синтез з місцевих матеріалів), можливість використання для доочищення питної води, екологічна безпека (синтетичні аніонні глини нетоксичні, можуть бути утилізовані після використання).

Перспективи досліджень полягають у оптимізації складу синтетичних аніонних глин для підвищення селективності до Zn^{2+} та Cd^{2+} , дослідженні регенерації сорбентів, використання синтетичних аніонних глин у комбінації з іншими методами.

Отже, синтетичні аніонні глини – перспективний матеріал для очищення вод від Zn^{2+} та Cd^{2+} у промислових регіонах України. Їх застосування дозволить знизити концентрацію металів до норм ПДК, зменшити витрати на очищення порівняно з імпортними сорбентами, сприяти відновленню екології промислових регіонів (Маріуполь, Дніпро, Кривий Ріг). Їх застосування може значно зменшити екологічне навантаження на водойми та покращити якість води.

Література:

1. Butenko E., Dan O., Neverova-Dziopak E., Kapustin A. Naphthalene Removal with Layered Double Hydroxides. *Geomatics and environmental engineering*. 2020. № 14 (2). P. 19-30.
2. Hand book of layered materials / Ed. By S.M. Auerbach, K.A. Carrado, P.K. Dutta. New York: Marcel Deccer, Inc, 2024. P. 170.
3. Butenko E. Use of Layered Double Hydroxides to Create New Environmental Technologies. *International Journal of Scientific Research in Environmental Science and Toxicology*. 2018. № 3 (2). P.1-5.

АНАЛІЗ СИНТЕТИЧНИХ ХАРЧОВИХ БАРВНИКІВ ХРОМАТОГРАФІЧНИМИ МЕТОДАМИ

Токар А.В., Сіманенко А.О., Кищик А.Г.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

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

atokar_2004@ukr.net

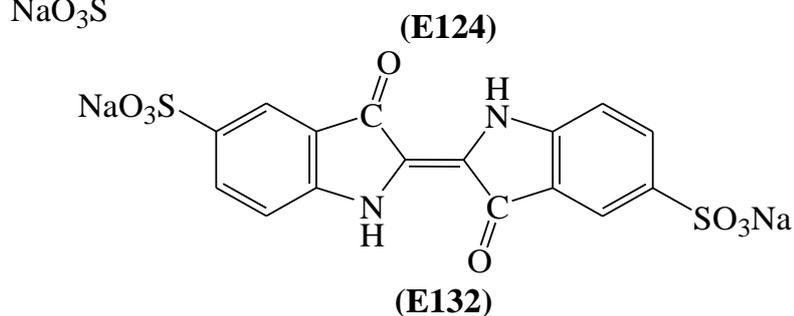
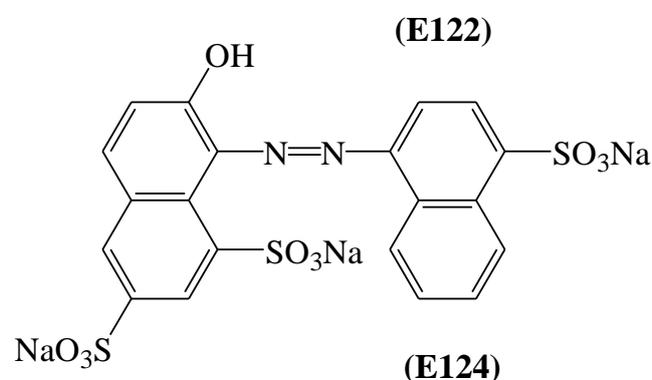
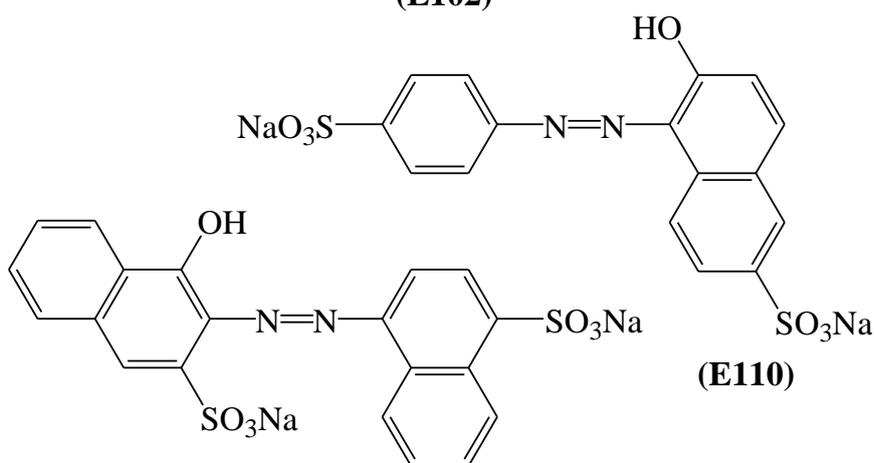
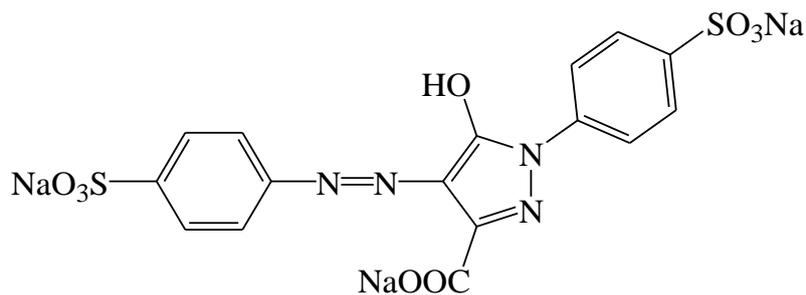
Цікавість сучасних дослідників до синтетичних барвників у продуктах харчування можна легко пояснити як з точки зору їх широкого практичного застосування у виробництві харчових систем, так і значного розмаїття самих підфарбовуючих речовин. З іншого боку, не слід забувати й про аспекти безпеки, урахування яких має першочергове значення для успішного застосування цього виду харчових добавок. У зв'язку із цим головними об'єктами вивчення у межах даної роботи було обрано ряд найбільш розповсюджених синтетичних барвників, що разом із їх Е-кодуванням та характерними властивостями наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Типові представники синтетичних харчових барвників,
їх властивості та вплив на організм людини

Код	Назва	Колір	Вплив на організм
E102	Тартразин	Золотисто-жовтий	Небезпечний для здоров'я людини, сумнівний
E110	«Сонячний захід» FCF	Оранжево-жовтий	Небезпечний для здоров'я людини
E122	Азорубін (кармуазин)	Червоний	Недостатньо вивчений, підозрілий
E124	Понсо 4R	Яскраво-червоний	Небезпечний для здоров'я людини, сумнівний
E132	Індигокармін	Блакитно-синій	Безпечний для здоров'я людини

Спільним елементом структури цих органічних сполук є наявність у їх молекулах значної кількості ароматичних, у тому числі й гетероциклічних

фрагментів, які містять полярні замісники $-\text{SO}_3\text{Na}$ та $-\text{COONa}$, а також гідроксильні групи, що сприяють високій розчинності у водному середовищі:



Метою даної роботи є детальний аналіз фізико-хімічних властивостей обраної групи синтетичних харчових барвників, зокрема вивчення їх здатності до розчинення у воді та деяких органічних розчинниках, стійкості до змін зовнішніх факторів (рН середовища, температури), а також встановлення основної

форми існування у розчинах та адсорбційної здатності, зокрема в умовах хроматографування на папері.

В якості об'єктів аналізу нами було обрано декоративну цукрову посипку ТМ «Жасмин», ТМ «Украза» та ТМ «ЦветАромат», які широко застосовуються для декорування тортів, тістечок, печива, желе, морозива та інших десертів. До складу цих продуктів окрім цільових компонентів (E102, E110, E122, E124, E132) входить також білий цукор, кукурудзяний крохмаль, патока, пшеничне борошно, тальк, рослинний жир, кондитерська глазуруюча добавка капол та харчові ароматизатори, ідентичні натуральним, наприклад, «Ваніль» та «Вершки». Присутність цих речовин не заважає аналітичному визначенню через відсутність забарвленості у розчині або низьку розчинність у воді.

Перед початком аналізу здійснювали фракціонування гранул посипки за різними кольорами, яких виявилось шість: жовтий, оранжевий, червоний, синій, зелений та білий. Гранули білого кольору не піддавали хроматографуванню через низьку розчинність у воді титан(IV) оксиду (E171). Усі інші фракції було перенесено у пробірки та розчинено у мінімальній кількості розчинника (1–2 мл). При цьому барвники легко переходили у водну фазу зі збереженням форми та розмірів гранул, для яких спостерігалось цілковите знебарвлення. Після вимивання барвників здійснювали декантацію розчину, а підготовані у такий спосіб проби застосовували для їх подальшого хроматографування за стандартною методикою [1].

Значну цікавість представляє візуальне порівняння одержаних хроматограм між собою, адже у випадку жовтого, оранжевого та блакитного барвників утворилися однорідно забарвлені зони, що свідчать про присутність індивідуальних речовин – E102, E110 та E132, відповідно. Що стосується червоного барвника, то утворена пляма має яскраво-рожеву внутрішню частину та жовте кільце ззовні, що вказує на присутність одразу двох барвників – E102 та E122 або E124. У випадку зеленого барвника хроматограма є триколірною та містить зелену пляму всередині, проміжну жовту смугу та блакитний край, підтверджуючи наявність у аналізованій суміші одразу двох барвників – E102 та

E132. Таким чином, результати аналізу дозволяють провести якісну ідентифікацію окремих барвників, підтверджуючи їх наявність у розчині.

Завершальним етапом нашої роботи стало експериментальне визначення відносної адсорбційної здатності синтетичних харчових барвників в умовах здійснення висхідної паперової хроматографії. Для цього на аркуші фільтрувального паперу олівцем проводили лінію на відстані 1–2 см від краю. За допомогою піпетки переносили розчини барвників на стартову лінію у заздалегідь визначені місця. Нанесення повторювали кілька разів з метою кращої ідентифікації утворюваних кольорових зон. Потім згортали смугу паперу у циліндр та закріплювали за допомогою скріпки. Нижню частину циліндра із нанесеними пробами розчинів занурювали у чашку Петрі, куди заздалегідь було налито воду з висотою шару не більше 0,5 см. Вода поступово піднімалася вгору, а барвники під впливом дифузії рухалися по поверхні паперу із різними швидкостями. Хроматографування припиняли після утворення чітких кольорових зон кожного із досліджуваних барвників. Після висушування паперу для кожної проби визначали коефіцієнти розподілу (R_f), які являли собою відношення відстаней, пройдених визначуваними компонентами ($S_{розч.}$) до відстані, пройденої фронтом розчинника ($S_{фронт.}$) [1]:

$$R_f = \frac{S_{розч.}}{S_{фронт.}}$$

В результаті аналізу було встановлено, що найбільш рухливим виявився блакитний індигокармін (E132) із $R_f = 0,94$. Для оранжевого барвника «Сонячний захід» FCF (E110) та жовтого тартразину (E102) було знайдено дещо нижчі значення коефіцієнтів розподілу – 0,89 та 0,67, відповідно. Зрештою, найбільшою сорбційною здатністю характеризувалися азорубін (E122) та понсо 4R (E122) із $R_f \sim 0,57$. Одержані дані цілком узгоджуються зі спостережуваними швидкостями вимивання цих барвників з поверхні гранул під час їх розчинення у воді та водно-спиртових сумішах й свідчать про адекватне відтворення результатів аналізу в умовах експерименту.

Література:

1. Шепеленко В. М., Тихомиров А. О. Хроматографічний аналіз органічних сполук. Навч.-метод. посібник. Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2009. 64 с.

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В АНАЛІЗІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Русин В.М., Капшин С.О.

ДВНЗ «УжНУ» Науково-навчальний інститут хімії та екології

вул. Підгірна, 46, 88000, м. Ужгород

vasilina.lavra@uzhnu.edu.ua, kapshyn.serhii@student.uzhnu.edu.ua

Використання штучного інтелекту (ШІ) в аналітичній хімії пов'язана з інтенсивним розвитком сучасних технологій, які трансформують наукові дослідження та промислові процеси. Перспективи напрямку пов'язані з інтеграцією ШІ із квантовими обчисленнями, розвитком автономних лабораторій із штучним інтелектом та використанням генеративних моделей для дизайну молекул. Таким чином, дослідження у цій галузі має не лише теоретичну цінність, але й великий практичний потенціал для хімії, медицини, матеріалознавства та інших дисциплін.

Зараз штучний інтелект є головною рушійною силою розвитку суспільства, що робить значний вплив на науку та наукову освіту. ШІ використовується вченими для створення гіпотез, розробки експериментів, збору та інтерпретації даних у спосіб, який раніше був неможливий за допомогою лише традиційних методів.

Програми на основі штучного інтелекту стали невід'ємною частиною сучасної науки, оскільки вони дозволяють автоматизувати складні процеси, аналізувати величезні обсяги даних і робити точні прогнози. У таких галузях, як біологія, фізика чи медицина, ШІ допомагає швидше розпізнавати закономірності, які люди можуть не помітити. Відштовхуючись від парадоксу Моравека, використання програм створених для обчислення, моделювання, конструювання, набагато спрощують пошукачеві завдання в науковому розвитку, а враховуючи, що за останні роки, багато програм, які базувались на машинному та глибокому навчанню додали аспекти штучного інтелекту, взагалі поставило багато наукових напрямків на нові шляхи розвитку та цілі.

Використання штучного інтелекту в аналізі харчових продуктів та в створенні різноманітних методик – це доволі нове та перспективне направлення, однак вже показує свою ефективність.

В одній зі статей [1] розглядаються різні методи виявлення мікотоксинів за допомогою штучного інтелекту, причому багато досліджень демонструють високі показники точності. Наприклад, деякі моделі машинного навчання, засновані на спектроскопії в ближньому інфрачервоному діапазоні (NIR), досягають точності понад 95% у визначенні афлатоксинів у кукурудзі. Інші дослідження, що використовують гіперспектральну візуалізацію, показують результати з чутливістю близько 90-93% для виявлення дезоксініваленолу (DON) у пшениці. Застосування глибокого навчання, зокрема згорткових нейронних мереж (CNN), для обробки зображень зерна. У деяких випадках алгоритми CNN досягають точності 97-98% у класифікації заражених зразків, що перевершує традиційні методи. Також згадується використання електронних нюхових систем (e-nose) у поєднанні з алгоритмами кластеризації, де точність виявлення мікотоксинів становить близько 85-90%, залежно від типу токсину та продукту.

У статті детально описується, як саме алгоритми штучного інтелекту застосовуються для аналізу різних типів даних, пов'язаних із забрудненням мікотоксинами. Наприклад, для обробки гіперспектральних зображень використовуються передові архітектури нейронних мереж, такі як ResNet або U-Net, які дозволяють виявляти навіть незначні зміни у спектральних характеристиках заражених зразків. Дослідження показують, що такі моделі можуть досягати середньої точності 94-96% при аналізі кукурудзи та арахісу, причому найкращі результати спостерігаються при використанні методів трансферного навчання на попередньо навчених мережах.

Окремо розглядаються системи на основі мультисенсорного аналізу, де дані з різних джерел (наприклад, спектроскопії, електронних нюхових сенсорів та хімічних індикаторів) інтегруються за допомогою алгоритмів машинного навчання, таких як Random Forest або Gradient Boosting. Такі підходи дозволяють знизити кількість помилкових результатів до 3-5%, що є значним поліпшенням порівняно з традиційними методами. Автори також наголошують на перспективності використання автоенкодерів для стиснення даних і виділення найважливіших ознак, що дозволяє прискорити аналіз без втрати точності. Висновок полягає в тому, що AI-методи вже зараз демонструють надійні результати, але їх широке викорис-

тання в промисловості потребує подальшого вдосконалення та стандартизації.

В іншому дослідженні [2] розглядається інноваційний підхід до виявлення харчових патогенних бактерій (таких як *Salmonella*, *E.coli*, *Listeria* тощо) за допомогою біосенсорів, посилених алгоритмами штучного інтелекту (AI). Традиційні методи, такі як культивування на середовищах або ПЛР, потребують багато часу (від 24 до 72 годин) і спеціалізованого обладнання. Натомість комбінація біосенсорів і AI дозволяє проводити аналіз у реальному часі з високою точністю.

Одним із ключових досягнень є використання глибокого навчання (CNN, RNN) для обробки сигналів від оптичних, електрохімічних або п'єзоелектричних біосенсорів. Наприклад, дослідження демонструють, що алгоритми на основі згорткових нейронних мереж (CNN) досягають точності 96-98% у класифікації бактерій за даними спектроскопії поверхневого плазмонного резонансу (SPR). Інші роботи використовують методи кластеризації (k-NN, SVM) для аналізу даних із електронних язиків (e-tongue), що дозволяє розрізняти близькоспоріднені штами бактерій із чутливістю понад 90%.

Важливим аспектом є інтеграція мультиомікських даних (геноміка, протеоміка, метаболоміка) з AI-аналітикою. Наприклад, комбінація машинного навчання (Random Forest, XGBoost) і мікрожидких біосенсорів дозволяє виявляти бактерії в концентраціях менше 10 КУО/мл за менше 30 хвилин, що значно швидше порівняно з класичними методами. Однак залишаються виклики, такі як вплив матриці харчового продукту на точність аналізу, необхідність калібрування моделей під різні типи зразків і оптимізація алгоритмів для роботи в умовах обмежених обчислювальних ресурсів.

За результатами наукового дослідження [3] пропонується застосування гіперспектральної візуалізації (HSI) у поєднанні з алгоритмами машинного навчання (ML) для оцінки свіжості ягнятини. Традиційні методи оцінки якості м'яса, такі як органолептичний аналіз або мікробіологічні тести, є трудомісткими та суб'єктивними, тоді як HSI разом з ML пропонує швидкий, об'єктивний і неінвазивний підхід.

Ключовим аспектом дослідження є використання спектральних даних у видимому та ближньому інфрачервоному (Vis-NIR) діапазонах (400–2500 нм) для

виявлення ознак псування, таких як зміни кольору, текстури та хімічного складу (наприклад, вміст води, білків, ліпідів). Алгоритми машинного навчання, такі як PLS (Partial Least Squares), SVM (Support Vector Machine) і CNN (Convolutional Neural Networks), застосовуються для класифікації свіжості м'яса на основі спектральних сигнатур. Наприклад, модель SVM досягає точності 92–95% у розрізненні свіжої та несвіжої ягнятини, тоді як глибоке навчання (CNN) покращує результати до 96–98% завдяки автоматичному виділенню найважливіших спектральних ознак.

Важливим результатом є вибір оптимальних спектральних хвиль, які найкраще корелюють із свіжістю м'яса. За допомогою методів вибору ознак (feature selection), таких як PCA (Principal Component Analysis) або генетичні алгоритми, вдалося скоротити кількість аналізованих довжин хвиль з кількох сотень до 10–20 ключових, що значно прискорює аналіз без втрати точності. Наприклад, дослідження показали, що довжини хвиль близько 540 нм (оксигенований міоглобін) і 980 нм (вміст вологи) є критично важливими для оцінки свіжості.

Біогенні аміни (БА) є важливими маркерами псування харчових продуктів, особливо у м'ясних, рибних та ферментованих молочних виробках. У статті [4] детально розглядаються сучасні візуальні методи їх виявлення, які пропонують швидкі, прості у використанні та економічно ефективні рішення порівняно з традиційними хроматографічними методами. Особлива увага приділена кольоровим сенсорам на основі рН-чутливих барвників, які здатні виявляти БА в діапазоні концентрацій 5-100 ppm з часом аналізу менше 30 хвилин.

Нанотехнології відіграють ключову роль у підвищенні чутливості сучасних сенсорних систем. Використання золотих та срібних наночастинок дозволяє досягти межі виявлення на рівні 1-5 ppm завдяки явищу локального поверхневого плазмонного резонансу. Паперові мікрофлюїдні пристрої (μ PADs) представляють особливий інтерес, оскільки поєднують низьку собівартість (менше 0.5\$ за тест) з можливістю одночасного виявлення кількох БА. Дослідження показують, що такі системи можуть досягати селективності 80-90% при аналізі реальних зразків.

Інтеграція смартфонів у системи детекції відкриває нові перспективи для

польового аналізу. Спеціальні додатки для обробки зображень дозволяють кількісно оцінювати концентрацію БА з похибкою менше 15%, використовуючи вбудовану камеру телефону. Найновіші розробки включають використання алгоритмів машинного навчання для покращення точності кольорового аналізу, що особливо важливо при роботі зі складними харчовими матрицями.

Незважаючи на значні досягнення, галузь стикається з низкою технічних викликів. Проблема селективності залишається ключовою, оскільки більшість сенсорів реагують на загальний вміст БА, а не на окремі сполуки. Стабільність сенсорних матеріалів також потребує вдосконалення – багато барвників втрачають активність через 2-3 тижні зберігання. Майбутні дослідження мають бути спрямовані на розробку мультиплексних систем, здатних одночасно виявляти 5-8 різних БА з високою селективністю.

Підсумуючи усе вище сказане, можна стверджувати, що використання штучного інтелекту набирає все більших і більших обертів, однак проблема з доступністю баз даних, валідацією, точністю, а також правильністю, етичністю застосування в певних аспектах аналізу, залишається відкритою. Висновок всього цього говорить про те, що безумовно подальший розвиток цього напрямку необхідний і його використання відкриватиме нові можливості у аналізі харчових продуктів та створенні нових методик та технологій.

Література:

1. Aggarwal, Ashish, et al. Detection of mycotoxin contamination in foods using artificial intelligence: A review. *Foods*, 2024, 13.20: 3339.
2. Deng, Zhuowen, et al. Artificial intelligence algorithms-assisted biosensors in the detection of foodborne pathogenic bacteria: Recent advances and future trends. *Trends in Food Science & Technology* 2025: 105072.
3. Zhang, Jue, et al. "Machine learning-optimized techniques for enhancing freshness assessment in lamb meat using hyperspectral imaging." *Journal of Food Composition and Analysis* 2025: 107752.
4. Liu, Yanan, et al. Visual detection of biogenic amines in foods-Current technologies, challenges, and future prospects. *Trends in Food Science & Technology* (2025): 105049.

**ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БОРОШНЯНИХ
КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ З ДОДАВАННЯМ ЕКСТРУДОВАНОГО
ПШЕНИЧНОГО БОРОШНА**

Кошулько В.С., Федоренко Д.О.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

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

koshulko.v.s@dsau.dp.ua

Борошняні кондитерські вироби традиційно користуються широким попитом серед населення нашої країни та зберігають високу популярність.

Продукція цієї категорії, зокрема мафіни, становить найбільшу частку на ринку споживчих кондитерських виробів за обсягами реалізації.

Їхнє виробництво базується на використанні як вітчизняної, так і імпортової сировини. Розширення ринку місцевих інгредієнтів та поява інноваційних харчових продуктів відкривають нові перспективи для розвитку галузі, зокрема у впровадженні ресурсозберігаючих технологій, що є важливою темою сучасних наукових досліджень [1].

Для підвищення конкурентоспроможності таких виробів важливим залишається розширення асортименту продукції масового споживання, яка б відповідала вимогам збалансованого та раціонального харчування. Цього можна досягти шляхом розробки й впровадження нових технологій, що сприяють інтенсифікації виробничих процесів та забезпечують високу якість хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів [2].

Під час проведення досліджень було визначено вплив екструдованого пшеничного хлібопекарського борошна вищого ґатунку на якість мафіну класичного. Для цього було проведено порівняльні пробні випічки з різним відсотковим вмістом ЕПБ. Технологічна схема приготування мафінів представлена на рис. 1.

Контрольний зразок мафінів проводився за рецептурою, наведеною в таблиці 1.



Рис. 1. Технологічна схема виробництва мафінів з додаванням екструдованого пшеничного борошна вищого гатунку

Таблиця 1. Рецептúra мафіну класичного

Найменування сировини	Масова частка сухих речовин, %	Витрата сировини на 10 кг готової продукції, кг	
		у натурі	у сухих речовинах
Борошно пшеничне в.г.	87,60	4,00	3,50
Масло вершкове	84,00	1,60	1,34
Цукор-пісок	99,85	2,00	2,00
Сіль харчова	96,50	0,05	0,05
Молоко питне	12,0	2,80	0,34
Меланж	27,00	1,20	0,32
Натрій двовуглекислий	50,0	0,120	0,06
Амоній вуглекислий	0,00	0,120	0,00
Ароматизатор «Ваніль»	0,00	0,010	0,00
Разом:		11,90	7,61
Вихід:	70,00	10,000	7,00

Для виробництва мафінів застосовувалося різне співвідношення ЕПБ та пшеничного хлібопекарського борошна вищого гатунку в рецептурній борошняній суміші. В таблиці 2 представлена органолептична оцінка показників мафінів.

Таблиця 2. Органолептичні показники мафінів

Найменування показників	1	2	3	4	5	6
	Контроль	90:10	80:20	70:30	60:40	95:5
Запах	Властивий даним виробам, без стороннього запаху					
Форма	Властива даним виробам та відповідній формі, в якій виготовлялася випічка					
Висота виробу, см	5,2	5,2	4,8	4,7	4,5	4,4
Поверхня	Грубий розрив	З тріщинами, властивими стану поверхні мафіну				
Вид у зламі	Пропечений виріб без слідів непромісу					
Колір м'якшю	Світло-жовтий	Світло-жовтий	Світло-жовтий із кремовим відтінком	Світло-жовтий із сірим відтінком	Жовто-сірий	Сірий
Смак	Властивий даним виробам, без стороннього присмаку			Властивий даним виробам, без стороннього присмаку, хрускіт при розжовуванні		

Технологія приготування: Перемішати сухі інгредієнти. Розм'якшити вершкове масло, додати в нього меланж і молоко і ретельно збити протягом 10 – 15 хвилин. Перемішати з сухими інгредієнтами і в кінці замісу додати борошно. Швидко замісити до однорідної маси.

Результати органолептичної оцінки мафіну свідчать про те, що найкращі результати досягаються при заміні 10,0 % борошна хлібопекарської пшеничного вищого гатунку на його екструдат. Зразок має найбільший об'єм, найкращий стан поверхні та вид у зламі, хороші органолептичні показники.

Література:

1. Смирнова Я. С. Підвищення харчової цінності борошняних кондитерських виробів за допомогою рослинних добавок // Сучасна наука: стан, проблеми перспективи: матеріали I Всеукр. науково-практичної конференції, 14-15.04.2020 р. / Старобільськ: ДЗ «ЛНУ ім. Т. Шевченка». 2020. С. 215–218.

2. Дорохович А. М. Створення харчових продуктів спеціального призначення – актуальна проблема сучасності, вклад кондитерів НУХТ в її рішення // «Технологічні аспекти підвищення конкурентоспроможності хліба і хлібобулочних виробів» та «Здобутки та перспективи розвитку кондитерської галузі»: Матеріали міжнародних науково-практичних конференцій. Київ: НУХТ. 2016. С. 56–60.

**ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФОСФОРНИХ ДОБРИВ
ОТРИМАНИХ НА ОСНОВІ ОРТО- І ПРОФОСФОРНОЇ КИСЛОТ
В ПОСІВАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР**

¹Крамарьов С.М., ²Крамарьов О.С., ¹Фролов С.В.,

¹Хорошун К.О., ¹Липарь О.А.

¹Дніпровський державний аграрно-економічний університет

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

kramarov.s.m@dsau.dp.ua

²ДУ Інститут зернових культур НААН України

Для землеробства більшості країн світу характерним є гострий дефіцит речовин, необхідних для мінерального живлення рослин і, перш за все, рухомих форм фосфору [1]. В умовах сьогодення важливою проблемою землеробства, яка тісно пов'язана з раціональним використанням ґрунтів і призупиненням розвитку в них деградаційних процесів, є виробництво у достатній кількості високоякісного екологічно безпечного продовольства [2]. За постійного дефіцитного балансу елементів мінерального живлення, який нині склався в землеробстві України спостерігається порушення співвідношення використання елементів мінерального живлення з ґрунту і добрив [3]. В Україні в 70-80 роки ХХ століття за рахунок внесення достатнього обсягу добрив до 1990 року було досягнуто бездефіцитного балансу поживних речовин у ґрунті [4]. Однак, починаючи з 1996 року ситуація змінилась на протилежну з формуванням максимального дефіцитного балансу елементів живлення (77-135 кг/га д. р.). За 2020 р. дефіцит балансу основних поживних речовин в землеробстві України становив -35,2 кг/га, а за сільськогосподарськими культурами він варіював від 10-20 до 50-100 кг/га і в середньому становив 35 кг/га [4]. Дольова частка витрат на мінеральні добрива у структурі виробничих витрат господарств становить для різних культур до 20%, а у структурі витрат аграрних холдингів – 15% [5].

Світовий досвід переконливо свідчить, що першим за значимістю чинником, який позитивно впливає на продуктивність агроценозів, безумовно, є добрива [6]. Ефективне їх використання можливе лише за умови впровадження у виробництво науково-обґрунтованих систем удобрень з використанням безбаластних, з низьким сольовим індексом, висококонцентрованих з пролонгованою дією мінеральних, органічних, органо-мінеральних, бактеріальних добрив та біопрепаратів. Це пов'язано з наступними причинами: 1) з відсутністю в достатній кількості у ґрунтовому розчині рухомих форм поживних речовин в усіх типах і підтипах ґрунтів світу; 2) з різким зростанням чисельності населення (8,5 млрд – 2030 р. і 9,7 млрд – 2050 р.), що потребує майже трьох разового підвищення продуктивності сільського господарства; 3) зменшення площі ріллі, яка припадає на 10 осіб (з 0,17 до 0,15 га); 4) змінами клімату, викликаними глобальним потеплінням; 5) погіршенням стану природних ресурсів і формуванням від'ємного балансу вмісту у ґрунтах рухомих форм поживних речовин та ін. Тому одним із головних завдань агрохімічного супроводу землеробства є розробка науково-обґрунтованих, оптимізованих систем удобрення сільськогосподарських культур, таких, що будуть оптимізувати мінеральне живлення рослин та водночас забезпечувати найбільшу рентабельність зроблених на них витрат і здійснюватимуть охорону довкілля.

Серед усіх типів ґрунтів України найбільшу площу, яка сягає майже 26 млн. га, займають чорноземи. Безумовно, вони є доволі родючими ґрунтами, але оцінка їх родючості дещо завищена. У цих ґрунтах в першому мінімуму знаходиться вміст рухомих форм фосфору. В них втрати рухомого фосфору за одну ротацію сівозміни можуть становити 30-40% від їх початкової кількості. Тому на цих ґрунтах ефективність використання фосфорних добрив дуже висока. На високу ефективність фосфорних добрив на чорноземних ґрунтах вперше звернули увагу ще на початку ХХ століття видатні українські агрохіміки П.А. Дмитренко, П.А. Власюк і О.І. Душечкін. Їх дослідженнями було встановлено, що для підвищення вмісту P_2O_5 на 1 мг/100г ґрунту необхідно заробити у ґрунт 130 кг P_2O_5 /га. Наявний дефіцит у ґрунті рухомих

форм фосфору можна пояснити високою активністю аніону H_2PO_4^- , який швидко вступає в хімічну взаємодію з усіма наявними катіонами у ґрунтовому розчині. Нині сільське господарство отримує фосфору у 3,5 рази менше від потреби в ньому. В основному у чорноземних ґрунтах переважають малорозчинні форми фосфатів (органосфати, фосфати кальцію, фосфати оксидів), тому усі чорноземи швидко реагують на використання фосфорних добрив. Аніон ортофосфорної кислоти H_2PO_4^- у ґрунті малорухливий і за рік може подолати відстань всього лише 1 см. Його засвоєння кореневим волоском відбувається з відстані 1 мм. Тому актуальним є питання підвищення рівня доступності фосфору рослинним організмам. До того ж коефіцієнт використання фосфору рослина з внесених фосфорних добрив невисокий і становить лише максимум за локального їх внесення 25%. За інших способів внесення він досягає позначки 20%. Самим низьким буде цей показник за розкидного внесення добрив і становить лише 17%.

Перспективним напрямком вирішення цієї проблеми є використання в якості фосфоромісних добрив амонійних солей пірофосфорної кислоти $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$. Амонійні солі цієї кислоти у ґрунтовому розчині не вступають у хімічну взаємодію з наявними в ньому катіонами і тому після свого гідролізу вони можуть поступово переходити в аніон ортофосфорної кислоти і таким чином пролонговано забезпечувати рослинний організм рухомими формами фосфатів. На основі амонійних солей пірофосфорної кислоти нині розроблені і широко використовуються у виробничих умовах рідкі комплексні добрива.

Проведеними дослідженнями було встановлено незаперечні їх переваги у порівнянні з еквівалентною кількістю ортофосфатів на чорноземах звичайних в посівах зернових колосових культур та соняшнику. Тому в промислово-розвинутих країнах намітилась і практично реалізується тенденція до переходу від мінеральних добрив на основі ортофосфатів до фосфорних добрив виготовлених на основі поліфосфатів. Вони представляють собою висококонцентровані добрива, які, як правило, крім фосфору, містять у своєму складі і інші елементи мінерального живлення рослин. Але про поліфосфати, синтез яких в

живій природі проходить біохімічним шляхом, агрохімічна наука ще не має в достатній кількості достовірної інформації, більшість із них не виділені в індивідуальному виді і не охарактеризовані. Це відноситься, як до середньо- і високомолекулярних представників гомологічного ряду поліфосфатів, так і до низькомолекулярних представників, включаючи і триполіфосфати. Тому нині гостро стоїть питання про створення нових більш ефективних форм фосфорних добрив, які за високої концентрації поживних речовин поглинались швидко рослинним організмом. Ця проблема знаходиться в центрі уваги міжнародних конгресів, з'їздів, симпозіумів і конференцій, які проводяться в нашій країні і за кордоном.

Література:

1. Балюк С. А., Шимель В. В., Соловей В. Б. Про стан та завдання відновлення, охорони і управління ґрунтовими ресурсами України. Вісник аграрної науки. 2024. № 2. С. 5-10.

2. Закон України «Про державний контроль за використанням та охороною земель» від 19 червня 2003 р. № 963-IV. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/963-15#Text>

3. Закон України «Про охорону земель» від 19 червня 2003 р. № 962-IV. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text>

4. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля, інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та інформаційного забезпечення управління у сфері довкілля» від 20 березня 2023 р. № 2973-IX. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2973-20#Text>

5. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення: керівний нормативний документ / За ред. Яцука І. П., Балюка С. А. Київ, 2019. 108 с.

ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ПОЖИВНОСТІ КОРМІВ НЕПРЯМИМ МЕТОДОМ

¹Рула І.В., ²Василенко Т.О., ¹Колбаса Д.С.

¹Дніпровський державний аграрно-економічний університет

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

²Ветеринарний центр Белм, Дулінгс Брейт, 18, 49191, м. Белм, Німеччина

rula.i.v@dsau.dp.ua

У сучасних деталізованих нормах годівлі будь-якої країни світу велика увага приділяється енергетичній поживності кормів для прогнозування продуктивності сільськогосподарських тварин. Тому спеціалісти-біотехнологи та фахівці, що складають раціони, часто цікавляться розрахунком енергії, особливо у вологих кормах (силосі та сінажі), для розуміння їх фактичної поживної цінності. Так енергетична поживність – це здатність корму забезпечувати потребу тварин в енергії і вона є одним із найважливіших показників його поживної цінності. Продуктивність, працездатність тварин, інтенсивність росту молодняку значною мірою залежать від рівня споживання енергії в раціоні [1].

В роботі для оцінки термохімічних змін, що відбуваються в дослідних зразках ячменя, пшеничних висівок, сонячного шроту та кукурудзи, а також для уточнення енергетичної цінності кормів, були застосовані термогравіметричний (TG), диференційно-термогравіметричний (DTG) і диференційно-термічний (DTA) аналізи [2]. Енергія активації термоокиснювальної деструкції зразків була визначена за методом Бройдо [3].

Результати досліджень зразків висівок пшеничних, ячменя, соняшникового шроту та кукурудзи представлені у вигляді кривих (рис. 1) втрати маси (а), диференціально-термічного (б) та диференційно-термогравіметричного (в) аналізів (рис. 1).

Значення енергії активації (E_d) визначали за формулою:

$$E_D = \operatorname{tg} \varphi \cdot R.$$

Статистичну обробку дослідних даних та математичне моделювання проводили з використанням програм “Microsoft Excel” та SPSS “Statistica”.

Аналіз, дериватограм досліджуваних зразків (рис. 1) показав, що термічна деструкція усіх досліджуваних зразків відбувалася у три стадії та має подібний характер, зі зміщенням ендотермічних піків у різні термічні діапазони.

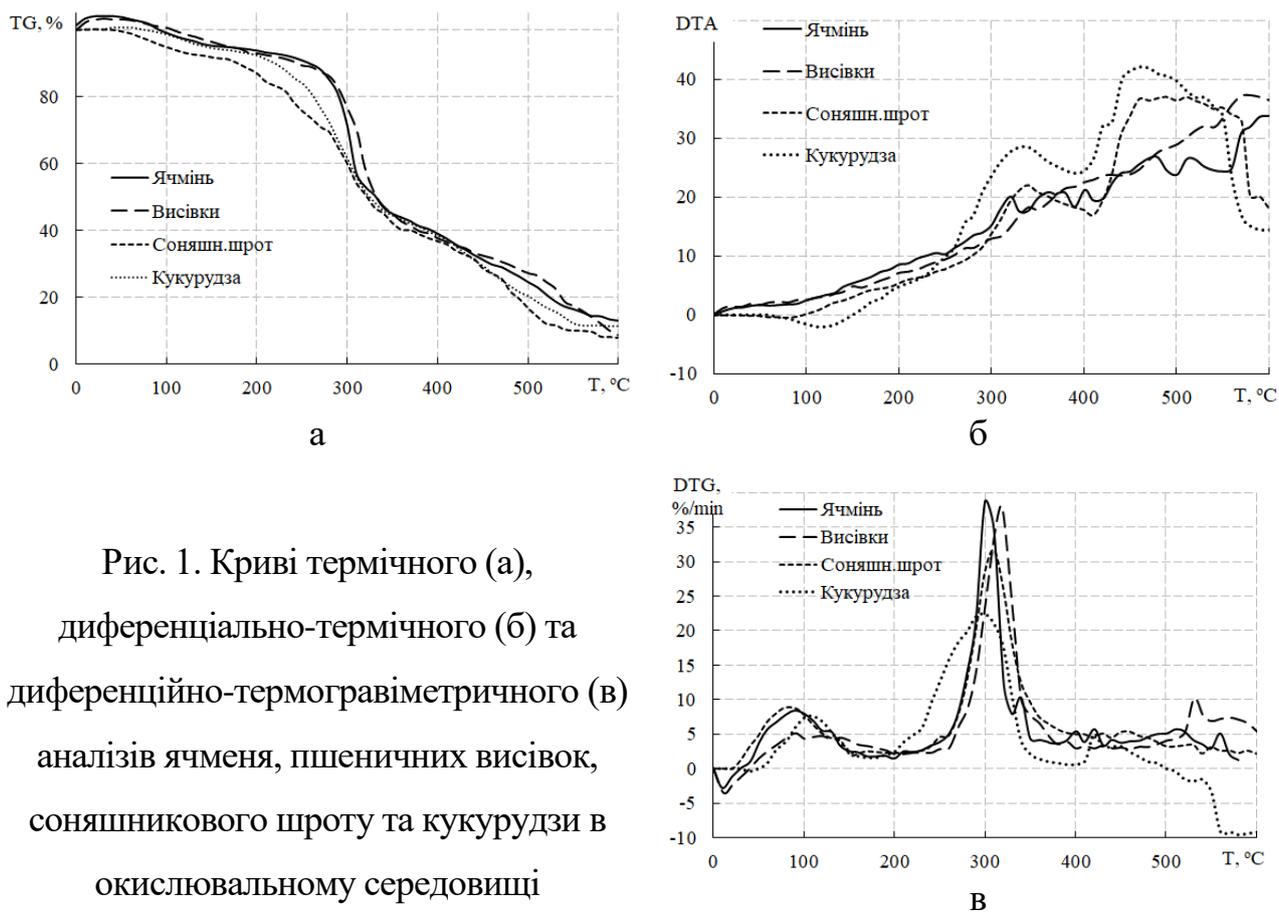


Рис. 1. Криві термічного (а), диференціально-термічного (б) та диференційно-термогравіметричного (в) аналізів ячменя, пшеничних висівок, соняшникового шроту та кукурудзи в окислювальному середовищі

Загалом механізми реакцій термічного розкладання досліджуваних зразків достатньо складні, однак зміни ентальпії, які виражалися з ендо- та екзотермічними ефектами, дають можливість припустити наявність перебігу наступних процесів [4]. На першій стадії термодеструкції, що відбувається в температурному інтервалі від 80 до 150 °C спостерігається незначна втрата маси зразків, що супроводжується невеликим ендотермічним ефектом, це пояснюється наявністю в дослідних зразках ~ 1,5 % вологи.

Значна втрата маси зразків соняшникового шроту та кукурудзи починається з 170°C в той час як зразки ячменя та пшеничних висівок починають суттєво

втрачати масу в температурному інтервалі 220-370 °С. Усі зразки при цьому втрачають ~ 40-59 % ваги, а енергія активації процесу термодеструкції зразків на даному етапі найбільша для пшеничних висівок і складає 75 кДж/моль, для ячменя – 64 кДж/моль, в той час як для соняшникового шроту та кукурудзи мають дещо менші значення, а саме 27,1 та 22,8 кДж/моль відповідно. В цьому температурному інтервалі розкладаються жири, фосфоліпіди, складні вуглеводи, такі як геміцелюлоза та целюлоза [5], тому даний етап характеризується високими значеннями DTG, а також супроводжується незначними ендо- та екзоефектами. На останньому третьому етапі – завершується розкладання лігніну та відбувається окиснення вугілля, яке утворилося на попередній стадії.

Таким чином, проведені дослідження дають можливість кількісно оцінити процес зневоднення зразків під час нагрівання, визначити зону їх термічної стійкості та початок інтенсивної термічної деструкції, а отримані експериментальні значення теплових ефектів добре корелюють з літературними даними.

Література:

1. Богданов Г.О., Кандиба В.М., Ібатуллін І.І. та ін. (2012). Норми і раціони повноцінної годівлі високопродуктивної великої рогатої худоби. Довідник-посібник. К.: Аграрна наука. 296 с.
2. Kharytonov M., Martynova N., Babenko M., Rula I., Sytnyk S., Bagorka M., Gavryushenko O. (2019). Bioenergetic assesment of sweet sorghum grown on reclaimed lands. *Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering*. Т. 12, Vol. 12., № 3., Р. 89-92.
3. Broido, A. A. (1969): *Simple. Journal Polymer of Science*, 7(3): Р. 1761–1763.
4. Рула І.В., Карлова Л.В. (2023). Вплив мінерального складу та енергетичної цінності кормів на ріст, розвиток та продуктивні якості великої рогатої худоби: Монографія. Дніпро: Ліра, 2023. 145 с.
5. Мельник О.Ю., Ковбаса В.М., Перепелиця О.П., Лазаренко М.В. (2005). Дослідження термічної стійкості модифікованих крохмалів різних видів. *Харчова промисловість*. № 4. С. 56.

UDC 543.42:628

**LASER-INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY APPLICATION FOR
HEAVY METALS DETECTION IN NATURAL WATER**

^{1,2}Goncharova I., ¹Guichaoua D., ¹Sahraoui B.

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

*²State University of Trade and Economics
Department of Commodity Science and Pharmacy
19 Kyoto Str., 02156, Kyiv, Ukraine
i.goncharova@knute.edu.ua*

Natural water is a valuable and important resource that occurs in the environment. This is a complex of dispersed system containing a wide range of particles, including organic and inorganic substances, heavy metal ions, mineral compounds, suspended solids, and microorganisms.

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, at the same time, increasing of water pollutions, which poses a serious threat to human health and environment according to the World Health Organization.

This problem is most acute today during the hostilities in Ukraine. Missile strikes are not only having consequences for people and infrastructure, but also the environment suffers from this. Firstly, the pollution level of heavy metal ions, various organic and inorganic contaminants in the 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.

The most of the current detection techniques for water analysis are based on optical and mass spectroscopy measurements, and require long detection cycles, as well as specific chemicals which may cause secondary pollution.

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. This method has several advantages, including a little sample pre-treatment, fast and easy operation, portability, and chemicals free during the process [1].

Experimental setup for the single-pulse LIBS consists of Q-switched Nd:YAG high-power laser Continuum Minilite with a pulse duration of 10-15 ns, a repetition rate of 10 Hz, 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 heavy metals, such as Cu, Zn, Fe, and Pb in natural water samples. It is known that 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) [2].

Based on the LIBS spectra for model solutions of CuCl_2 , ZnCl_2 , FeCl_2 , and $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, the values of the wavelength were selected, and calibration curves were constructed. The content of Cu, Zn, Fe, and Pb in water samples of lakes, rivers, and seawaters in France was calculated based on the calibration curves. These results show that CR-SENLIBS is a perspective method for the detection of heavy metals in natural water in general around the world and for Ukraine in difficult period of war.

References:

1. Goncharova I., Guichaoua D., Taboukhat S., Tarbi A., Chtouki T., Erguig H., Sahraoui B. (2024). Laser-induced breakdown spectroscopy application for heavy metals detection in water: A review. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 217, 106943. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2024.106943>.

2. Goncharova I., Rouquier Ph., Guichaoua D., Taboukhat S., Tarbi A., Sahraoui B. (2024). Laser-induced breakdown spectroscopy as a promising nanotechnology for cadmium and chromium detection in aqueous solutions. Chapter 10, Springer Nature, 312, "Nanooptics and Nanoelectronics, Nanobiotechnology, and their Applications", P. 119–129. ISBN 978-3-031-67526-3.

Секція 3

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

INTERACTION OF *N*-ALKOXY-*N*-CHLORO-*N'*-ARYLUREAS
WITH TRIALKYL PHOSPHITES AS ROUTE TO DIALKYL
N-ALKOXY-*N*-(*N'*-ARYLCARBAMOYL)PHOSPHORAMIDATES

¹Shtamburg V.G., ¹Klots E.A., ²Kravchenko S.V., ³Anishchenko A.A.,
⁴Shishkina S.V., ⁵Mazepa A.V.

¹*Ukrainian State University of Science and Technology*
Science Ave., 8, 49005, Dnipro

²*Dnipro State Agrarian and Economic University*
S. Yefremova St., 25, 49600, Dnipro, svtaylor@ukr.net

³*Oles Gonchar Dnipro National University*
Science Ave., 72, 49050, Dnipro

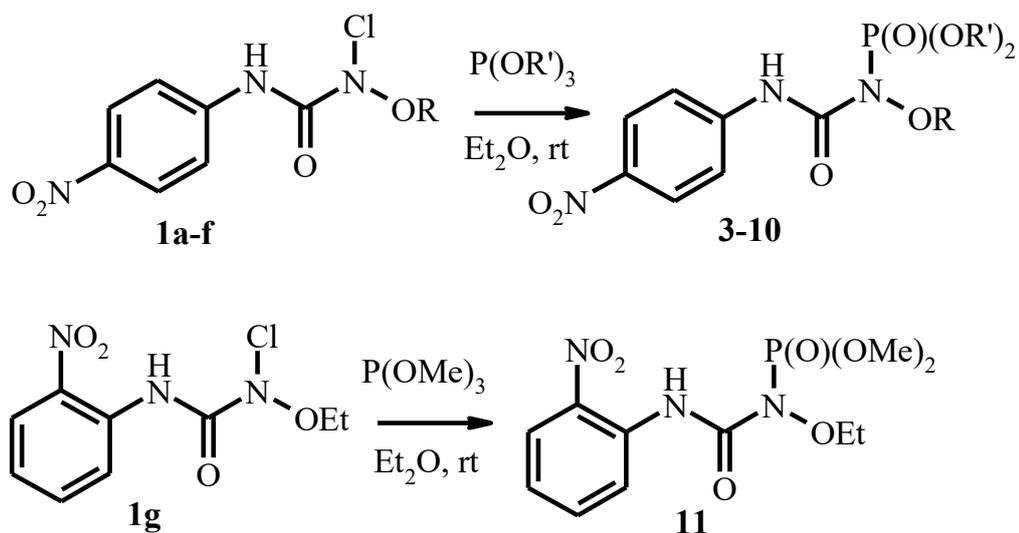
⁴*Institute of Organic Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine*
Akademika Kukharia St., 5, 02660, Kyiv

⁵*A.V. Bogatsky Physico-Chemical Institute*
of National Academy of Sciences of Ukraine
Liustdorfska Road St., 86, 65080, Odesa

Phosphoramidates and their derivatives are widely used in medicine, medicinal chemistry and agriculture [1]. Molecules, containing P–N bond, are found in a large array biologically active natural products [1]. While the synthetic routes to phosphoramidates are not limited now [1], the creating of new route to obtain could be useful. Urea containing compounds are widely used in medicinal chemistry and drug design too [2]. Thus, the creation of new synthetic route of compounds, which would simultaneously possess structural features of both phosphoramidates and ureas, it seems relevant

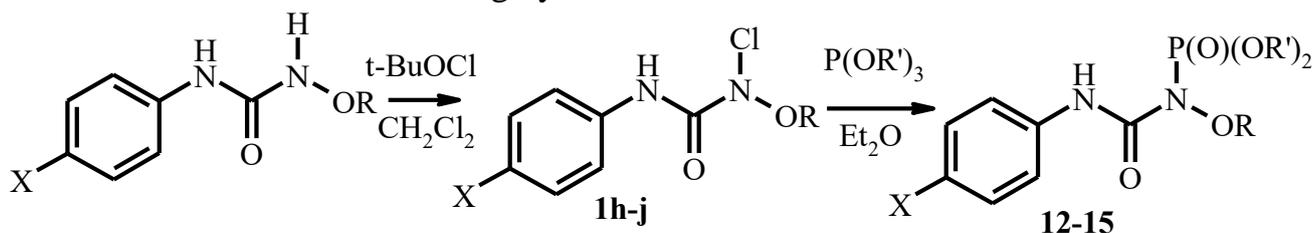
We have studied the interaction of the interaction of *N*-alkoxy-*N*-chloro-*N'*-arylureas **1** and *N*-alkoxy-*N*-chloro-*N'*-alkylureas **2** with trialkyl phosphites.

N-Alkoxy-*N*-chloro-*N'*-arylureas **1a-g** react with trialkyl phosphites with forming dialkyl *N*-alkoxy-*N*-(*N'*-arylcabamoyl)phosphoramidates **3–11**.



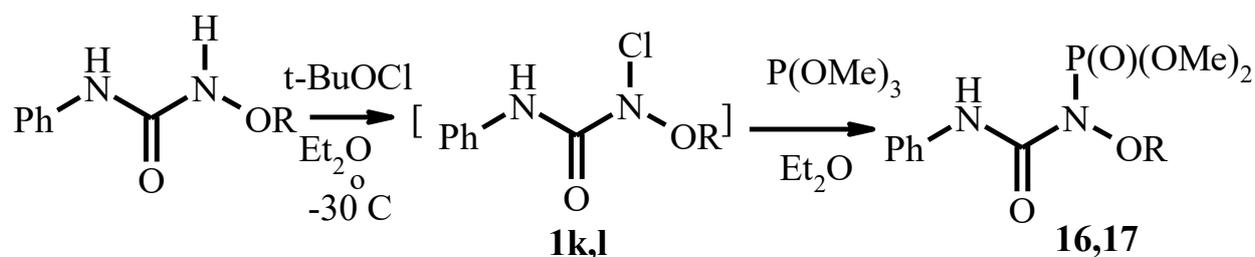
Scheme 1. The synthesis of dialkyl *N*-alkoxy-*N*-(*N'*-arylcarbamoyl) phosphoramidates **3–11** (R=R'=Me (**3**, 53%), R=Me, R'=Et (**4**, 68%); R=Et, R'=Me (**5**, 48%), R=Bn, R'=Me (**6**, 47%), R=Bn, R'=Et (**7**, 60%), R=CH₂CH₂Ph (**8**, 61%), R=i-Pr, R'=Me (**9**, 74%), R=n-C₈H₁₇, R'=Me (**10**, 76%). For compound **11** (56%)

N-Alkoxy-*N*-chloro-*N'*-(4-*X*-phenyl)ureas **1h–j** (X=Cl, Br) are stable for small time at room temperature. These compounds after isolation at room temperature were immediately introduced into the reaction with trialkyl phosphites in ether solution at room temperature. In this way *N*-alkoxy-*N*-(*N'*-arylcarbamoyl)phosphoramidates **12–15** has been obtained with the high yields.



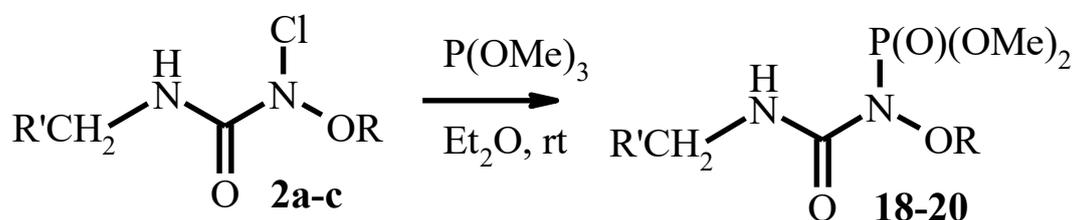
Scheme 2. The synthesis of dialkyl *N*-alkoxy-*N*-(*N'*-4-*X*-phenylcarbamoyl) phosphoramidates **12–15** (X=Cl, R=R'=Me (**12**, 54 %), R=Me, R'=Et (**13**, 62%), X=Br, R'=Me, R=Bn (**14**, 86%), R=Pr (**15**, 86%)

N-Alkoxy-*N*-chloro-*N'*-phenylureas cannot exist at room temperature. But we have obtained *N*-alkoxy-*N*-chloro-*N'*-phenylureas **1k, l** at – 30 °C in ether with the next treatment by trimethyl phosphite in these conditions. This reaction yielded dimethyl *N*-alkoxy-*N*-(*N'*-phenylcarbamoyl)phosphoramidates **16, 17** by one-pot synthesis.



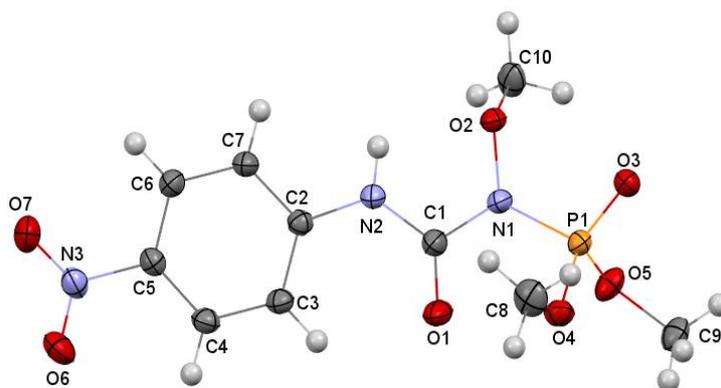
Scheme 3. One-pot synthesis of dimethyl *N*-alkoxy-*N*-(*N'*-phenylcarbamoyl) phosphoramidates **16**, **17**, R=Et (**16**, 55%); n-Bu (**17**, 79%)

N-Alkoxy-*N*-chloro-*N'*-alkylureas **2a-c** react with trimethyl phosphite with forming dimethyl *N*-alkoxy-*N*-(*N'*-alkylcarbamoyl)phosphoramidates **18–20** with high yields.

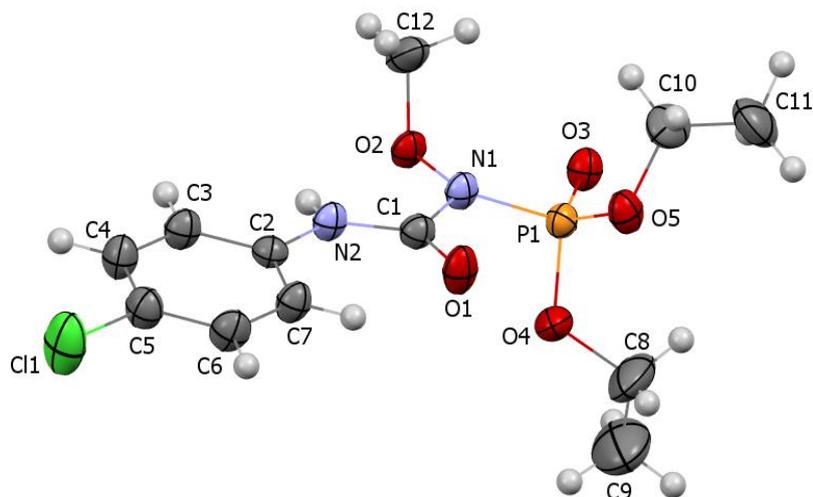


Scheme 4. Synthesis of dimethyl *N*-alkoxy-*N*-(*N'*-alkylcarbamoyl)phosphoramidates **18–20**, R=Pr, R'=H (**18**, 69%); R=Et, R'=1-C₁₀H₈ (**19**, 98%); R=Et, R=Ph (**20**, 90%)

The structure of dialkyl *N*-alkoxy-*N*-(*N'*-arylcarbamoyl)phosphoramidate **3–17** and dimethyl *N*-alkoxy-*N*-(*N'*-alkylcarbamoyl)phosphoramidates **18–20** has been proved by the ¹H, ¹³C, ¹³P NMR spectra and mass spectra. Also, the structure of compounds **3**, **6**, **13** has been confirmed by the XRD study



Molecular structure of dimethyl *N*-methoxy-*N*-(*N'*-4-nitrophenylcarbamoyl) phosphoramidate **3**



Molecular structure of diethyl *N*-methoxy-*N*-(*N*'-4-chlorophenylcarbamoyl) phosphoramidate **13**

Thus, we have found that the reaction of *N*-alkoxy-*N*-chloro-*N*'-arylureas **1a-l** with trialkyl phosphites is a novel synthetic pathway to dialkyl *N*-alkoxy-*N*-(*N*'-arylcabamoyl)phosphoramidates **3–17**. The reaction of *N*-alkoxy-*N*-chloro-*N*'-alkylureas **2a-c** with trimethylphosphite is a novel synthetic pathway to dimethyl *N*-alkoxy-*N*-(*N*'-alkylcabamoyl)phosphoramidates **18–20**.

References:

1. Itumoh E.J., Data S., Leitao E.M. Opening up the Toolbox: Synthesis and Mechanism of Phosporamidates. *Molecules*. **2020**; 25(16): 3684; <https://doi.org/10.3390/molecules25163684>
2. Ghosh A.K., Brindisi M. Urea Derivatives in Modern Drug Discovery and medicinal Chemistry. *J Med Chem*. 2019; 63(6): 2751–2788. doi: [10.1021/acs.jmedchem.9b01541](https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.9b01541)

SYNTHESIS OF NEW KINDS OF *N*-ALKOXYHYDANTOINS

¹Shtamburg V.G., ²Anishchenko A.A., ³Kravchenko S.V.,

⁴Shishkina S.V., ⁵Mazepa A.V.

¹Ukrainian State University of Science and Technologies

Science Ave., 8, 49005, Dnipro

²Oles Gonchar Dnipro National University

Science Ave., 72, 49050, Dnipro

³Dnipro State Agrarian and Economic University

S. Yefremova St., 25, 49600, Dnipro

svtailor@ukr.net

⁴Institute of Organic Chemistry

of National Academy of Sciences of Ukraine

Akademika Kukharia St., 5, 02660, Kyiv

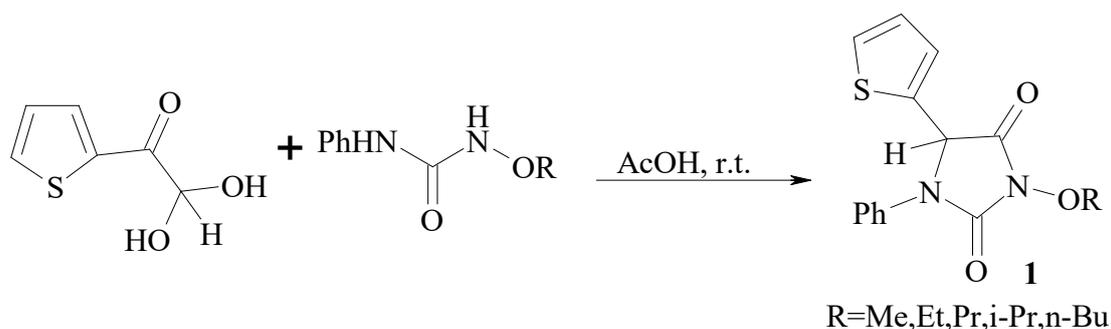
⁵A.V. Bogatsky Physico-Chemical Institute

of National Academy of Sciences of Ukraine

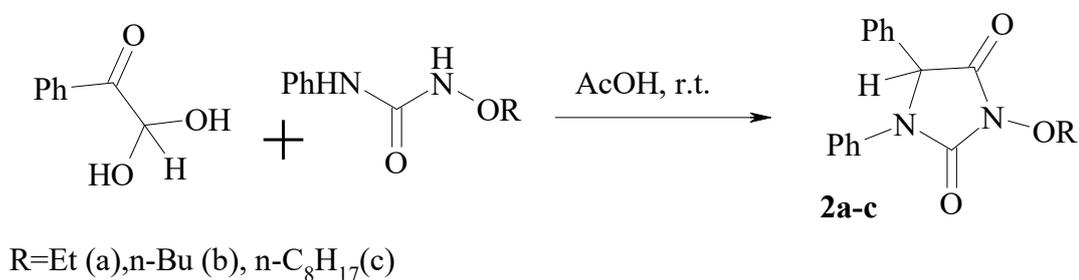
Liustdorfska Road St., 86, 65080, Odesa

The relevance of the products which can be obtained by the *N*-alkoxy-*N'*-arylureas interaction with the arylglyoxals is significant because of the importance of hydantoins among pharmaceutical materials. The hydantoin moiety in the molecule determine the presence of antiarrhythmic and antihypertensive activity.

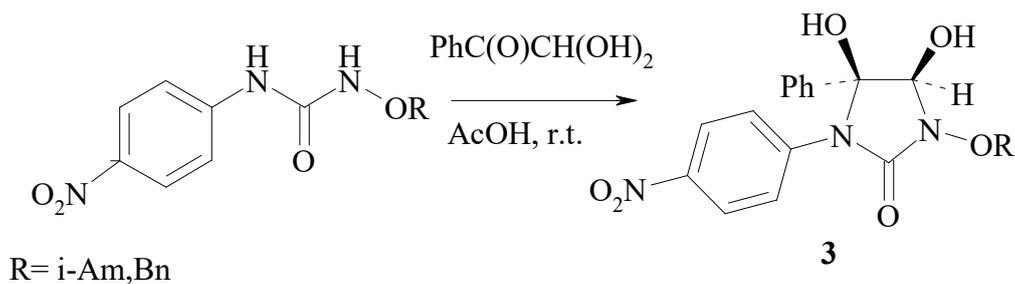
We had found that 2-thienylglyoxal selectively reacted with *N*-alkoxy-*N'*-phenylureas in acetic acid at room temperature yielding only the unknown 3-alkoxy-1-phenyl-5-(2-thienyl)hydantoins **1**.



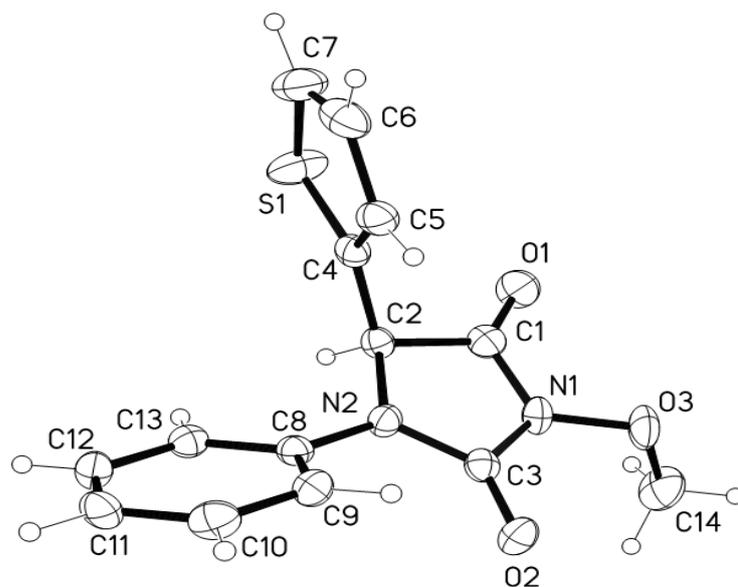
Phenylglyoxal reacts with *N*-alkoxy-*N'*-phenylureas in acetic acid at room temperature in most cases giving only 3-alkoxy-1,5-bis(phenyl)hydantoin **2**.



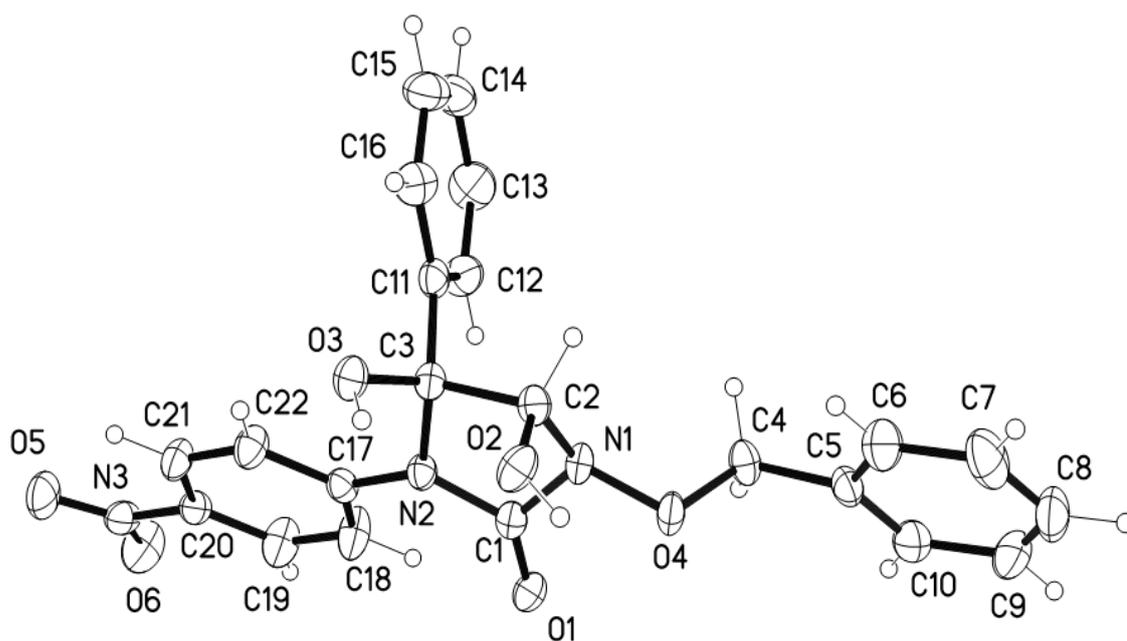
Phenylglyoxal interacts with *N*-alkoxy-*N'*-(4-nitrophenyl)ureas, yielding only 3-alkoxy-*cis*-4,5-dihydroxy-1-(4-nitrophenyl)-5-phenylimidazolidin-2-ones **3**.



The structure unknown 3-alkoxy-1-phenyl-5-(2-thienyl)hydantoin **1**, 3-alkoxy-1,5-bis(phenyl)hydantoin **2** and 3-alkoxy-*cis*-4,5-dihydroxy-1-(4-nitrophenyl)-5-phenylimidazolidin-2-ones **3** has been proved by the ¹H, ¹³C NMR spectra, mass spectra and by the XRD study.



Molecular structure of 3-methoxy-1-phenyl-5-(thien-2-yl)hydantoin **1a**



Molecular structure of 3-benzyloxy-*cis*-4,5-dihydroxy-1-(4-nitrophenyl)-5-phenylimidazolidin-2-one **3a**

**FEATURES OF INTERACTION BETWEEN N-SUBSTITUTED
2-CHLOROPYRIDINIUM SALTS AND MALONONITRILE DIMER**

Oleksii Y. Kashner, Kyryl O. Bocharov, Gennadiy E. Khoroshilov

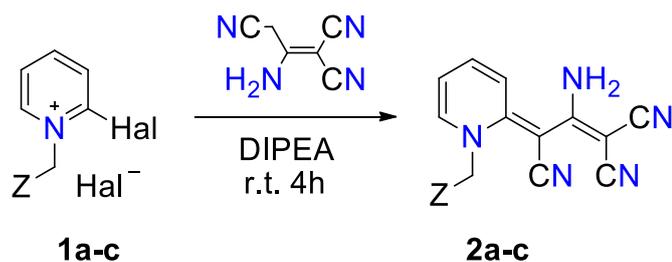
Luhansk National Taras Shevchenko University

Ivan Bank, 3, 36003, Poltava, Ukraine

kashner888@gmail.com; bocharov200112@gmail.com; mauglygena@gmail.com

The present study is a continuation of the research conducted on the reactivity of Kröhnke–Mukaiyama salts [1–3]. For this study, the multifunctional 2-amino-1,1,3-tricyanopropene (malononitrile dimer) was selected as the C-nucleophile. In the aforementioned work [4], the focus was on the study of cascade transformations of Kröhnke–Mukaiyama salts involving the malononitrile dimer.

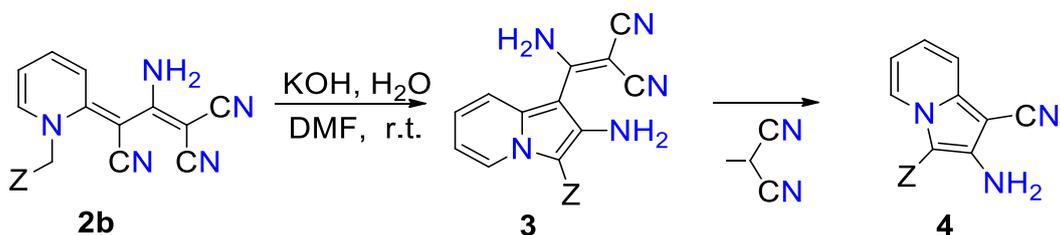
Utilising quaternary salts **1a-c** [5,6] (**a**=Ph, **b**=4-BrPh, **c**=CONH₂) in the reaction with 2-amino-1,1,3-tricyanopropene and implementation of the more selective DIPEA in comparison to triethylamine, we successfully isolated N-substituted 1,2-dihydropyridines **2a-c**. The vivid orange colour exhibited by compounds **2a-c** is indicative of the presence of a relatively extensive chain of conjugated double bonds within the molecule.



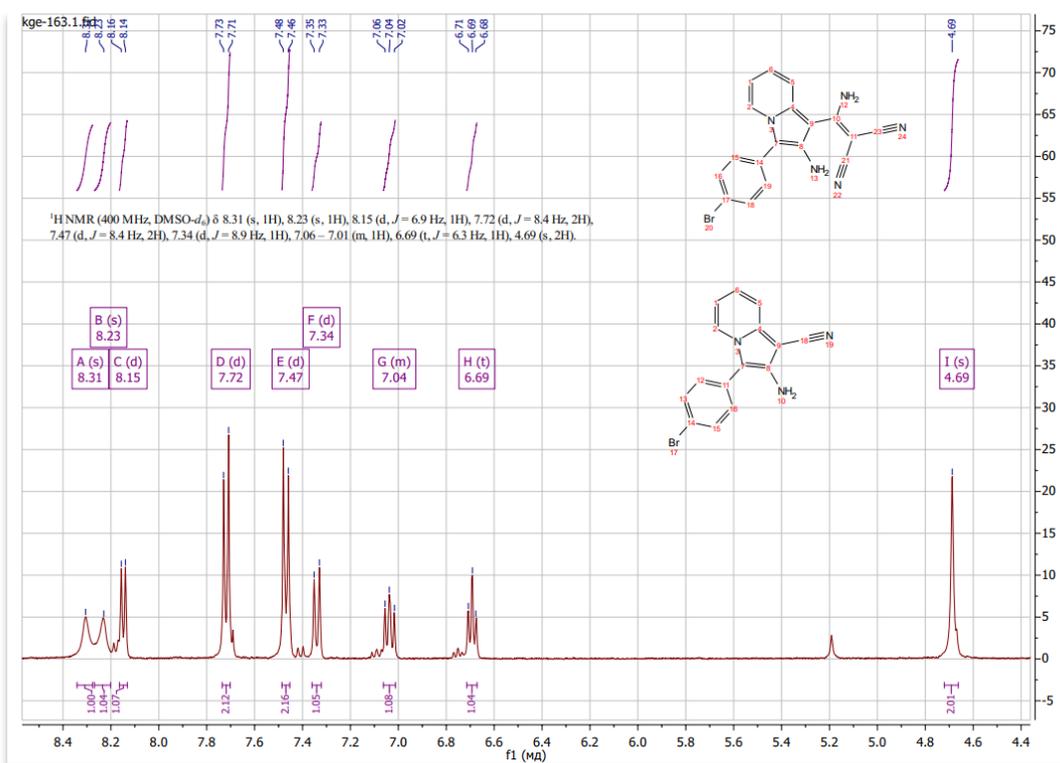
Z = Ph (a), 4-BrPh (b), CONH₂ (c)

According to NMR data, all compounds have Z-configuration. In the ¹H NMR spectra of compounds **2a-c**, methylene proton signals are clearly observed at 5.00–5.47 ppm, and the amino group is shifted downfield, appearing as a singlet at 7.16–7.34 ppm. Attempted cyclization of 1,2-dihydropyridine **2a** via the Thorpe-Ziegler reaction did not lead to isolation of the corresponding indolizine, which can be

attributed to the relatively low acidity of the methylene protons. However, in contrast to compound **2a**, it is hypothesised that the $-I$ effect of the halogen in the para-position leads to an increase in the CH-acidity of methylene protons in compound **2b**.



This, in turn, facilitates intramolecular cyclisation, resulting in the formation of substituted 2-aminoindolizine **3**. It has been demonstrated that the partial elimination of the malononitrile molecule may occur upon prolonged exposure in solution, leading to the formation of compound **4**, as evidenced by spectral data. As an example, we present the ^1H NMR spectra of compounds **3** and **4**:

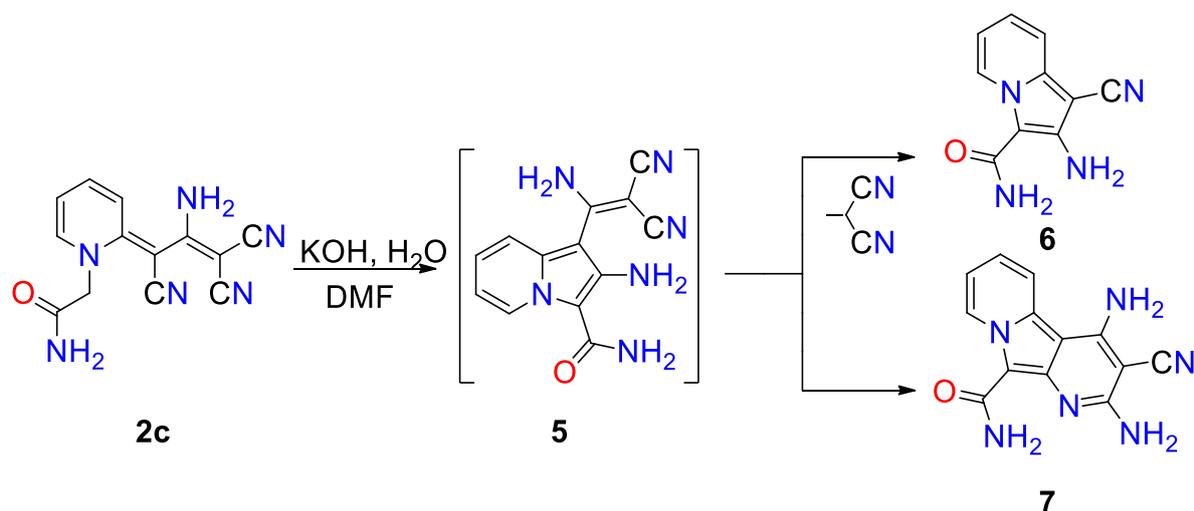


In the ^1H NMR spectrum of **3**, the methylene group protons disappear, while protons of the amino group in position **2** of the newly formed indolizine ring appear downfield and resonate at 4.69 ppm. The amino group protons of the dicyanoethylene fragment in position **1** appear as two broad singlets at 8.23 and 8.31 ppm. The H-5

protons of compound **3** resonate more upfield, appearing as a doublet at 8.15 ppm ($J = 6.9$ Hz).

As previously described [6], salt **1c** reacts with the malononitrile dimer in a manner consistent with a Mukaiyama salt, resulting in the formation of 1,2-dihydropyridine **2c**. Concurrently, it adopts a configuration analogous to that of a typical Kröhnke–Mukaiyama salt, undergoing a cascade transformation in an aqueous solution of potassium hydroxide (KOH) to pyrido[3,2-*a*]indolizine **7**, presumably through an intermediate **5**. In the course of the experiment, it was not possible to isolate compound **5** in its pure form. Under the reaction conditions that had been established, the compound was found to transform into either compound **7** or, via elimination of the malononitrile molecule, into compound **6**.

The structures of compounds **6** and **7** were confirmed by spectral data. In pyridoindolizine **7**, the amino group protons in position 4 resonate at 5.45 ppm, and in position 2 at 7.10 ppm, both as singlets. The amide fragment is observed at a lower frequency, at 8.39 ppm. The amino group in indolizine **6** resonates at 5.96 ppm, while the amide fragment protons appear at 7.09 ppm as a singlet.



Further work will focus on separating the resulting mixture using column chromatography.

References:

1. Babaev, E. V. 2-Halogen-Substituted Pyridinium-N-Phenacylides and Their Cycloiminium and Acyclic Analogs: 1. Synthesis of the Parent Salts, Their Betaine-Ylides, and Oxazolium Analogs. *Rev J Chem* 2011, 1 (2), 161–191. <https://doi.org/10.1134/S2079978011010018>.
2. Babaev, E. V. Cyclization Reactions of Kröhnke–Mukaiyama Salts. *Chem. Heterocycl. Compd.* 2016, 52 (9), 666–674. <https://doi.org/10.1007/s10593-016-1947-y>.
3. Khoroshilov, G. E.; Tverdokhlebov, N. M.; Brovarets, V. S.; Babaev, E. V. Simple Stepwise Route to 1-Substituted 2-Amino-3-Ethoxycarbonylindolizines. *Tetrahedron* 2013, 69 (21), 4353–4357. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2013.02.049>.
4. Victor V. Dotsenko; Sergey G. Krivokolysko; Aminat M. Semenova. Реакции Гетероциклизации с Участием Димера Малонитрила (2-Аминопропен-1,1,3-Трикарбонитрила). *Chem. Heterocycl. Compd.* 2018, 54 (11), 989–1019. <https://doi.org/10.1007/4719>.
5. Kashner, O. Y.; Bocharov, K. O.; Khoroshilov, G. E. The Synthesis of 2-Amino-3- Benzyindolizines with Using the Mixture of Halides N-Benzyl-2-Halogenpyridines and CH-Acids – Derivatives Acetonitrile. *Tetrahedron* 2024, 152, 133837. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2024.133837>.
6. Kashner, O. Y.; Bocharov, K. O.; Khoroshilov, G. E. The Synthesis of 2-Amino-3-Carboxamideindolizines with Using Pyridinium Salt and C-Nucleophiles–Derivatives Acetonitrile. *Results Chem* 2024, 12, 101861. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101861>.

**ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПАРАМЕТРИ ДИМЕРНИХ ІОННИХ РІДИН
ІОНЕНОВОГО ТИПУ**

Потапчук М.О., Свердліковська О.С.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технології

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

o.sverdlikovska@gmail.com

Техніко-економічні переваги реалізації розвитку стратегічного напрямку розробки і ефективного використання іонних матеріалів, особливо їх димерних і полімерних форм [1], обумовили значне зростання інтересу до цього нового класу матеріалів. Попередні дослідження [2] і порівняльний аналіз полімерних і димерних іонних рідин показали, що фізико-хімічні властивості демонструють перевагу полімерних сполук у термічній стабільності та механічній стійкості, але димерні сполуки мають кращі транспортні властивості та більш передбачувану поведінку при фазових переходах; сольватаційні властивості вказують на більшу універсальність димерних сполук у взаємодії з розчинниками, тоді як полімерні сполуки проявляють специфічну селективність та більш складну сольватаційну поведінку.

З практичної точки зору застосування димерних іонних рідин показує кращу технологічність (що забезпечується високою мобільністю іонів і простою обробки), але полімерні іонні рідини оптимальні до більш довготривалої стабільності використання в жорстких умовах експлуатації [3]. Економічна доцільність використання димерних іонних рідин має перевагу у вартості виробництва та масштабуванні, проте полімерні іонні рідини потребують складніших технологічних процесів, але забезпечують унікальний комплекс властивостей [4].

Зважаючи на фундаментальні відмінності та специфічні особливості димерних і полімерних систем іонних матеріалів, що визначають їх практичне застосування [5], актуальним слід вважати дослідження, спрямовані на

подальше удосконалення і розвиток технології отримання іонних рідин полімерної і димерної природи з високим експлуатаційним ресурсом, прогнозованим регулюванням їх експлуатаційних властивостей шляхом використання іонних центрів і спейсерів різної природи. Є підстави [6] вважати, що подальша оптимізація структури димерних іонних рідин для підвищення стабільності та розробка нових методів синтезу полімерних іонних рідин для зниження вартості виробництва є перспективними напрямками необхідних досліджень.

З практичної точки зору особливий інтерес мають результати дослідження, представлені у роботі [7]: димерні іонні рідини іоненового типу на основі тетрагідро-1,4-оксазину плавляться при нижчій температурі в деяких випадках, ніж іонні рідини мономерної форми. Дана обставина є визначальною при виборі об'єктів – мономерних моделей полімерних іонних рідин іоненового типу для дослідження оптимальних режимів роботи, зокрема, температури склування.

У даній роботі також вирішувалось питання підвищення термічної стійкості димерних іонних рідин шляхом підбору певної природи радикалів біля кватернізованого атому Нітрогену. Опосередковану оцінку впливу природи радикала, що є залишком вихідних третинних діамінів (і для синтезу полімерних іонних рідин іоненового типу, і для синтезу димерних іонних рідин іоненового типу [8]), на технологічно важливі параметри полімерних іонних рідин іоненового типу здійснювали за результатами визначення термічної стійкості, температури склування і іонної провідності модельних зразків димерних іонних рідин іоненового типу. З теоретичної точки зору такі результати дозволяють обґрунтовано підходити до вибору природи спейсера біля іонного центру полімерних іонних рідин іоненового типу і спрогнозувати його вплив на практично важливі характеристики іонних сполук полімерної природи, що є певними перевагами такого дослідження. Такі висновки вважаються за доцільні з практичної точки зору, тому що свідчать про можливість спрямованого регулювання процесів формування визначальних

параметрів полімерних іонних рідин іоненового типу безпосередньо під час синтезу цих сполук.

За експериментальними даними визначення температури розкладання синтезованих димерних іонних рідин іоненового типу на основі тетрагідро-1,4-оксазину встановлено, що іонні рідини димерної форми є термічно стабільними до 107-206 °С. Необхідно зазначити, що температура плавлення іонних рідин іоненового типу димерної форми знаходиться в діапазоні від –123 °С до –25 °С.

При визначенні ефективності впливу природи структурно-хімічних характеристик носіїв на іонну провідність іонних рідин іоненового типу полімерної форми було проведено детальний аналіз залежності іонної провідності іонних рідин іоненового типу на основі тетрагідро-1,4-оксазину димерної форми від природи їх спейсера при іонному центрі.

Характер температурної залежності іонної провідності димерних іонних рідин іоненового типу на основі тетрагідро-1,4-оксазину однаковий, тому результати вивчення наведені на прикладі деяких сполук. Слід відмітити ту обставину, що при збільшенні температури іонна провідність іонних рідин іоненового типу димерної форми зростає. Це обумовлено зниженням в'язкості іонних рідин і зменшенням сольватованості іонів, що приводить до прискорення швидкості руху цих іонів. Практична доцільність використання радикалів біля катіонного центру певної природи для забезпечення високого рівня іонної провідності іонних рідин іоненового типу при збереженні властивостей до дуже низьких температур підтверджується встановленими кореляційними залежностями між температурою плавлення та іонною провідністю іонних рідин:

$$C-1-1 \div C-5-5 (\sigma = -0,048 \cdot 10^{-1} T_{пл} - 1,9, r = -0,965).$$

Узагальнення результатів дослідження може бути сформульовано у вигляді наступних тез: введення алільних і гідроксиетильних груп до четвертинного атома Нітрогену, наявність бензилового фрагмента при катіонному центрі та радикалів алкілароматичної будови дозволить отримати полімерні іонні рідини іоненового типу з високим рівнем іонної провідності при низькій температурі склування; іонна провідність димерних іонних рідин іоненового типу збільшу-

ється зі зменшенням температури плавлення та зростанням температури; підвищення стабільності димерних іонних рідин іоненового типу можливо досягти шляхом введення груп $-O-CH_2-CH_2-$ у радикал біля кватернізованого атому Нітрогену.

Такі висновки можуть вважатися за доцільні з практичної точки зору, тому що дозволяють обґрунтовано підходити до визначення природи радикалів біля функціонального центру полімерних іонних рідин іоненового типу і сформулювати рекомендації для розробки нових полімерних сполук з високою іонною провідністю, що підтверджується встановленими аналогічними залежностями між температурою, замісниками при четвертинному атомі Нітрогену та іонною провідністю полімерних іонних рідин іоненового типу.

Література:

1. Zhigang Lei, et al. Introduction: ionic liquids // *Chemical Reviews*. – 2017. – № 117 (10). – P. 6633-6635.
2. Lu J., Yan F., Texter J. Advanced applications of ionic liquids in polymer science // *Progress in Polymer Science*. – 2009. – № 34 (5). – P. 431-448.
3. Ohno H., Ito K. Novel ionic liquids composed of only ions // *Electrochimica Acta*. – 2011. – № 56 (28). – P. 10827-10831.
4. Mecerreyes D., et al. Polymeric ionic liquids: Broadening the properties and applications of polyelectrolytes // *Progress in Polymer Science*. – 2010. – № 35 (11). – P. 1418-1448.
5. Mecerreyes D. Polymeric ionic liquids: Broadening the properties and applications of polyelectrolytes // *Progress in Polymer Science*. – 2011. – № 36 (12). – P. 1629-1648.
6. Vijayakrishna K., et al. Synthesis and characterization of ionic liquid polymers // *European Polymer Journal*. – 2009. – № 45 (4). – P. 1286-1295.
7. Свєрдліковська О.С., Черваков О.В., Феденко О.О., Кошель С.А., Левченко Є.П. Полімерні іонні рідини та іонні рідини іоненового типу: монографія. – Дніпро, 2020. – 199 с.
8. Sverdlikovska O.S., Potapchuk M.O. Synthesis of polymer ionic liquids and ionene-type ionic liquids // *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. – 2024. – № 6. – P.101-109.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНЕСЕННЯ ФОСФОРІЛЬНИХ
І СУЛЬФОНІЛЬНИХ ГРУП В УМОВАХ СОМЦЕЛЯРНИХ СИСТЕМ
НА ОСНОВІ ФУНКЦІОНАЛІЗОВАНИХ ТЕТРААЛКІЛАМОНІЄВИХ
ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН**

Шумейко О.Є., Бураков М.І., Попов А.Ф.

Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії

ім. Л.М. Лутвиненка НАН України

Харківське шосе, 50, 02155, м. Київ

ashumeiko@ukr.net

Поверхнево-активні речовини (ПАР), функціоналізовані фрагментами оксиму, є одними з найбільш ефективних реагентів, які використовуються для розкладання ацилвмісних екотоксикантів [1]. Ці поверхнево-активні речовини поєднують в собі переваги високореакційних α -нуклеофілів (оксимів) і міцелярних систем, що забезпечує успішне нуклеофільне розщеплення і солюбілізацію важко розчинних у воді субстратів, а також додаткове прискорення процесу за рахунок міцелярного каталізу (рис. 1).

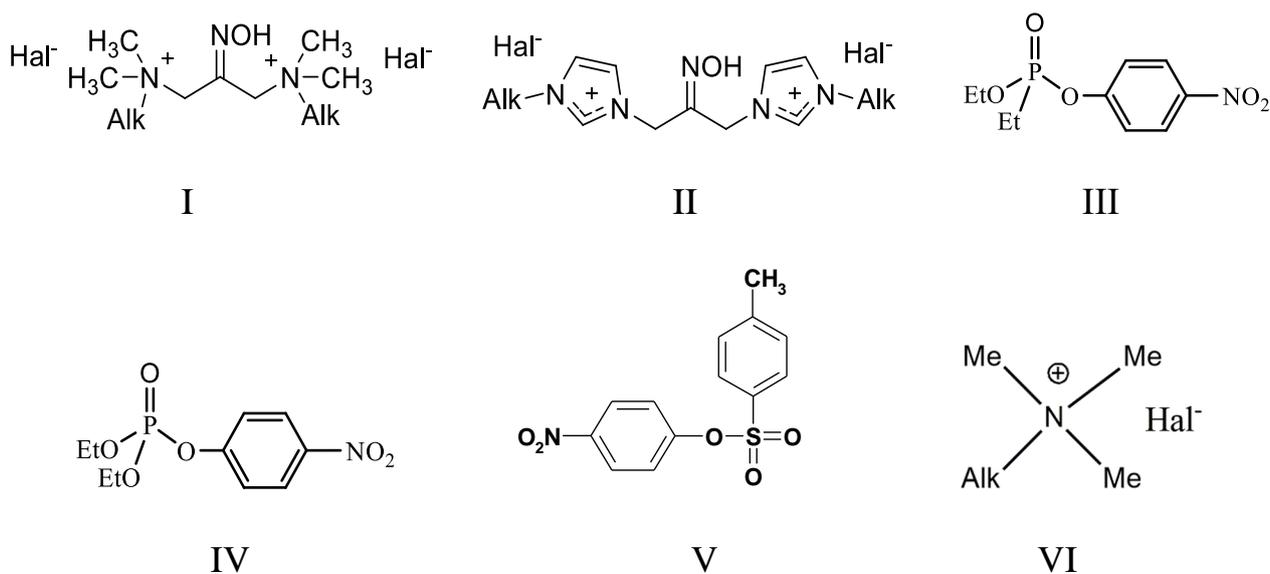


Рис. 1. Структури синтезованих димерних ПАР і складних естерів фосфору та сірки (Alk = C₁₂H₂₅, C₁₆H₃₃, Hal⁻ = Br⁻, Cl⁻)

Вивчення реакційної здатності димеризованих функціоналізованих поверхнево-активних речовин I і II при розкладанні етил-4-нітрофенілетилфосфонату III показало більш низьку нуклеофільність I, незважаючи на його більш високу основність [2]. Точка для сполуки I на графіку Бренстеда (рис. 2) для функціоналізованих поверхнево-активних речовин, в реакції перенесення фосфорильної групи, помітно зміщена в бік негативних значень, тоді як точка для поверхнево-активної речовини II знаходиться на відповідній кривій.

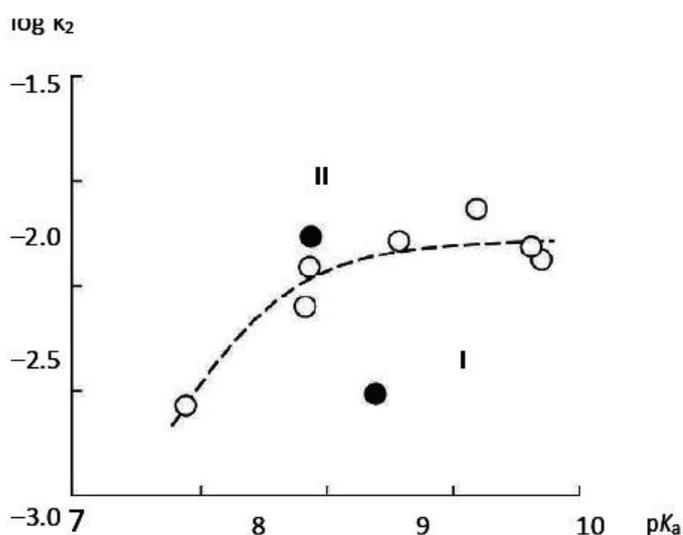


Рис. 2. Графік Бренстеда для розкладання складного естеру IV функціоналізованими поверхнево-активними речовинами

Метою цієї роботи було з'ясувати, чи є спостережуване явище загальним або специфічним для етил-4-нітрофенілетилфосфонату. Для цього досліджували реакційну здатність тетраалкіламонієвого ПАР I в процесах перенесення фосфорильної і сульфонільної груп (субстрати IV і V відповідно).

Складні естери IV і V характеризуються досить близькою реакційною здатністю, тоді як їх гідрофобність різниться приблизно на порядок [3]. Ця різниця має дозволити оцінити роль локалізації субстрату в міцелах. З огляду на важку розчинність ПАР I в воді, реакції зі складними естерами IV і V проводили в соміцелярній системі, утвореною I і VI. Отримані кінетичні профілі були типовими для розкладання ацилвмісних субстратів у присутності функціоналізованих міцел ПАР (соміцел), а спостережувані константи швидкості псевдо-

першого порядку добре описуються в рамках моделі псевдофазного розподілу [4].

Аналіз отриманих результатів показав, що відхилення в кінетичній поведінці соміцелярної системи 1/VI в реакціях переносу ацильної групи, носять загальний характер і пов'язані не тільки зі зміною нуклеофільності оксиматного фрагменту поверхнево-активної речовини I, але також з сольобілізацією гідрофобних субстратів. Показано, що реакційна здатність соміцелярних систем на основі димерного функціоналізованого тетраалкіламонієвого ПАР в процесах перенесення фосфорильної і сульфонільної груп нижче, ніж реакційна здатність систем на основі аналогічного імідазолієвого ПАР. Спостережувана відмінність в кінетиці перенесення ацильної групи, викликане димерними поверхнево-активними речовинами.

Література:

1. Singh N., Karpichev Ye., Tiwari A., Kuca K., Ghosh K. Oxime functionality in surfactant self-assembly: An overview on combating toxicity of organophosphates // J. Mol. Liq. – 2015. – 208. – P. 237 - 252.

2. Pandya S., Kapitanov I., Usmani Z., Sahu R., Sinha D., Gathergood N., Ghosh K., Karpichev Y. An Example of Green Micellar Systems Based on Inherently Biodegradable IL-derived Amphiphilic Oximes // Journal of Molecular Liquids. - 2020. – 305. – P. 112 – 123.

3. Popov A., Kapitanov I., Serdyuk A., Shumeiko A. Reactivity of nucleophiles and α -effect in substitution processes at electron - deficiency centers (Part 1) // Укр. хім. ж. – 2020. – 86, № 7. – С. 3-31.

4. Popov A., Kapitanov I., Serdyuk A., Shumeiko A. Reactivity of nucleophiles and α -effect in substitution processes at electron - deficiency centers (Part 2) // Укр. хім. ж. 2020. – 86, № 8. – С. 77-100.

АНТИРАДИКАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ФЕРУЛОВОЇ КИСЛОТИ

Третяк С.Ю., Голіченко О.А., Китова Д.Є., Величко О.В.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технології

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

tretyak.svetlana1@gmail.com

Пошук та дослідження речовин, які виявляють антиоксидантну та антирадикальну активність, є актуальним завданням. Це пов'язано з важливою біологічною роллю антиоксидантів, попереджати розвиток окиснювального стресу, який призводить до серйозних патологічних змін, ослаблення імунітету та різних захворювань. Збільшення кількості вільних радикалів відбувається під впливом багатьох факторів: забруднення навколишнього середовища, хронічний стрес, зниження вмісту ендогенних антиоксидантів. Споживання екзогенних антиоксидантів призводить до зниження інтенсивності вільнорадикальних процесів, які призводять до виникнення великої кількості хвороб.

Фенольні сполуки (флавоноїди, прості феноли та їх глікозиди, таніди) відносяться до антиоксидантів широкого спектру дії [1]. Серед них особливий інтерес викликає ферулова кислота (3-метокси-4-гідроксикорична кислота) (рис. 1) яка відноситься до групи оксикоричних кислот.

Дослідження антирадикальних властивостей ферулової кислоти проводили за допомогою 1,3,5-трифенілвердазильного радикалу (ТФВ-радикал, рис. 1).

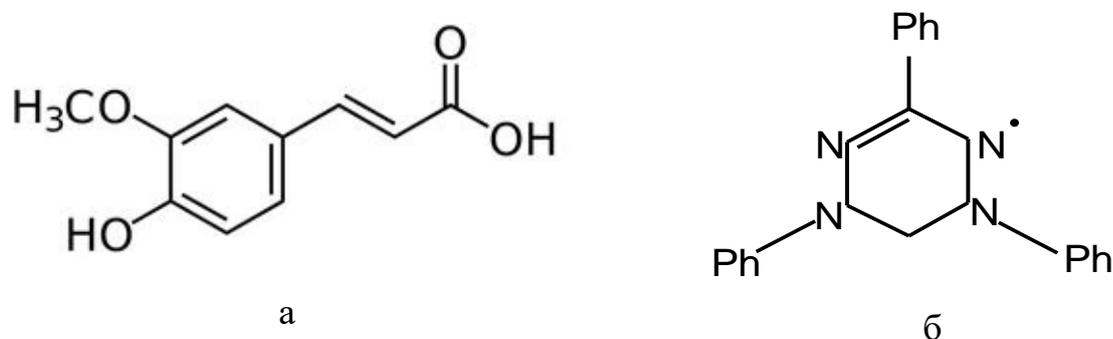


Рис. 1. Ферулова кислота (3-метокси-4-гідроксикорична кислота – а;
1,3,5-трифенілвердазильний радикал – б

ТФВ радикал є одним з найстабільніших радикалів, оскільки реакційні центри радикала досить сильно екрановані фенольними кільцями [2] і відбувається спряження неспареного електрона з системою π -зв'язків. Тому він є зручною моделлю для дослідження антирадикальних властивостей сполук. У кристалічному вигляді він не руйнується до 15 років, а у неполярних розчинниках є стабільним протягом декількох місяців. Крім того, 1,3,5-трифенілвердазильний радикал високо реакційноздатний, що обумовлює його взаємодію як з електроноакцепторами, так і з електронодонорами. Взаємні перетворення вердазил – сіль вердазила – лейковердазил легко контролювати спектрофотометрично [2]. Взаємодію ферулової кислоти з ТФВ радикалом контролювали у часі спектрофотометрично, у видимому діапазоні 400-900 нм (рис. 2).

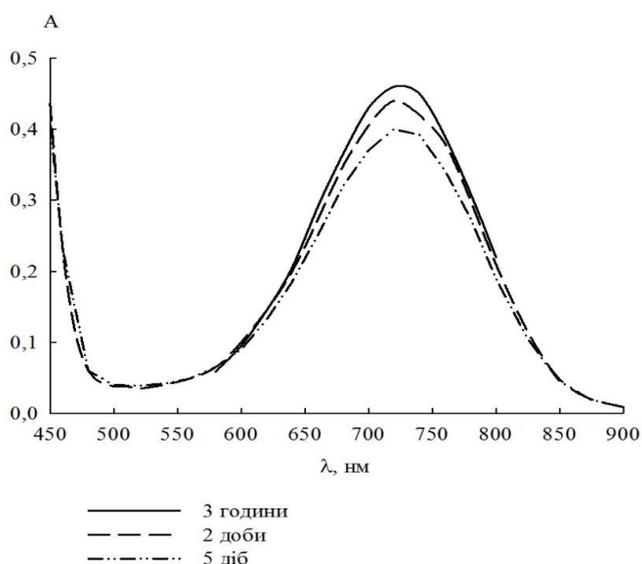


Рис. 2. ЕСП у часі взаємодії ферулової кислоти з ТФВ-радикалом у 1,2-дихлоретані

Аналіз отриманих експериментальних даних показав, що відбувається поступове руйнування ТФВ-радикала під дією ферулової кислоти, оскільки з отриманих спектрів видно зменшення максимуму поглинання в області 720 нм. Разом з тим, впродовж усього часу протікання реакції не було зафіксовано утворення нового максимуму поглинання (рис. 2). Оскільки не було збільшення оптичної густини в області 560 нм, то можна стверджувати, що перехід ТФВ-радикала у відповідний катіон не відбувається. Для порівняння проходження взаємодії ТФВ-радикала з феруловою кислотою у іншому середовищі у якості розчинника використали метанол (рис. 3).

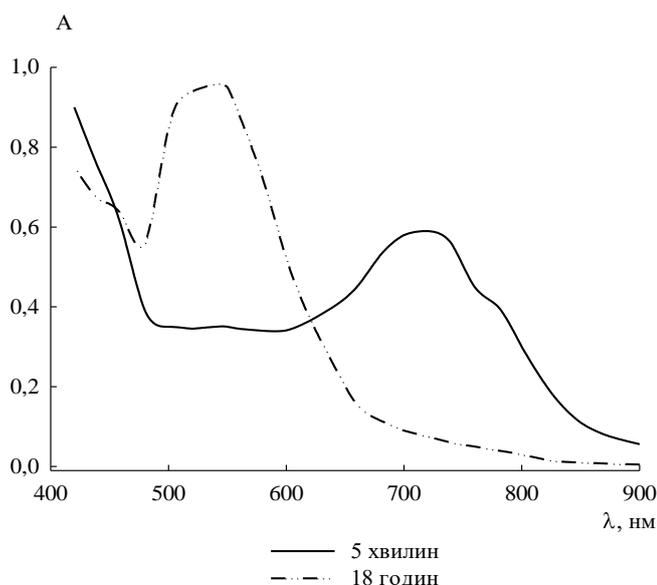


Рис. 3. ЕСП у часі взаємодії ферулової кислоти з ТФВ-радикалом у метанолі

З отриманих експериментальних даних (рис. 3) також видно зменшення максимуму поглинання при 720 нм, що свідчить про руйнування ТФВ-радикалу. Однак, на відміну від взаємодії у 1,2-дихлоретану, під час проходження даної реакції в метанолі спектрофотометрично було зафіксовано появу ТФВ-катиона. Доказом цього є збільшення оптичної густини в області 540 нм та утворення нового максимуму поглинання (рис. 3).

Таким чином, були проведені дослідження антирадикальних властивостей ферулової кислоти. Встановлено, що ферулова кислота нейтралізує штучний ТФВ радикал, але взаємодія цих речовин відбувається по різному в 1,2-дихлоретані та метанолі. Швидкість нейтралізації ТФВ радикала в метанолі більша в 30 раз ніж в 1,2-дихлоретані.

Література:

1. Bound ferulic acid from bran is more bioavailable than the free compound in rat / Rondini L, Peyrat-Maillard M.N., Marsset-Baglieri A.[and al.] // J Agric Food Chem. – 2004. – Vol. 52, № 13. – P. 4338 – 4343.
2. Полумбрик О.М. Механізм взаємодії трифенілвердазилу з карбоновими кислотами / О.М. Полумбрик, Г.Ф. Дворко // Доп. АН УРСР. Сер. Б. – 1969. – № 3. – С. 251 – 255.

СИНТЕЗ ВАНАДАТУ ЗАЛІЗА З ВОДНИХ КИСЛИХ РОЗЧИНІВ

Коров'яков М.А., Ковалишин Я.С.

*Львівський національний університет ім. Івана Франка**вул. Університетська, 1, 79000, м. Львів**yaroslav.kovalyshyn@lnu.edu.ua*

Ванадати перехідних металів, зокрема ванадат заліза (FeVO_4), викликають значний інтерес у науковій спільноті завдяки своїм унікальним фізичним і хімічним властивостям, які знаходять застосування у фотокаталізі, електрохімічних системах, каталізі та сенсорних технологіях [1, 2]. FeVO_4 вирізняється екологічною безпечністю, відносно низькою вартістю синтезу та можливістю регулювання електронної структури, що робить його перспективним для створення функціональних матеріалів [3]. Низькотемпературний синтез дозволяє створювати матеріали з високою питомою поверхнею, що є критичним для каталітичних і електрохімічних застосувань [4].

Досліджено синтез ванадату заліза із водних розчинів за різних співвідношень між реагуючими компонентами за температури 40 °С. Загалом було приготовлено чотири розчини, вихідні дані приведено в табл. 1. В усіх випадках після змішування реагуючих компонентів спостерігалось утворення дрібнодисперсних частинок твердої фази жовтого кольору. Під час проходження процесу розчини періодично перемішували, відбирали проби, відфільтровували та спектрофотометрично визначали кількість йонів заліза у фільтраті (рис. 1). Після змішування вихідних розчинів концентрація йонів заліза дуже швидко зменшувалась – на 2-3 порядки в перші секунди синтезу. В ході синтезу спостерігалось поступове зменшення концентрації йонів заліза. Слід зазначити, що на подальших етапах синтезу спостерігалось зростання концентрації заліза. Кінцеві концентрації C_∞ після завершення синтезу (120 годин) представлено в таблиці 1. Збільшення мольного надлишку ванадату від 1 до 3 спричиняє зменшення концентрації заліза. Подальше збільшення мольного надлишку до 4 не спричиняє змін в концентрації.

Таблиця 1. Приготування вихідних розчинів та маса отриманого продукту

Номер розчину	1	2	3	4
V (0,1 М Fe(NO ₃) ₃ + 0,4 М HNO ₃), мл	15	15	15	15
V (0,4 М NaVO ₃), мл	3,75	7,5	11,25	15
V (H ₂ O), мл	11,25	7,5	3,75	–
C _∞ , мг/л	23,6	16,24	1,73	1,72
k, (л ² /мг ² × хв)	(3,78 ± 0,80) × 10 ⁻⁶	(3,44 ± 1,25) × 10 ⁻⁵	(1,45 ± 0,33) × 10 ⁻³	(2,89 ± 0,38) × 10 ⁻³

Було проаналізовано залежності $\ln C$, $1/C$, $1/C^2$ від часу. Найближчі до лінійних залежності отримано для оберненого квадрату концентрації (рис. 2). На основі цих залежностей було розраховано константи швидкостей реакцій (табл. 1). Збільшення мольного надлишку ванадату спричиняє різке збільшення швидкості реакції.

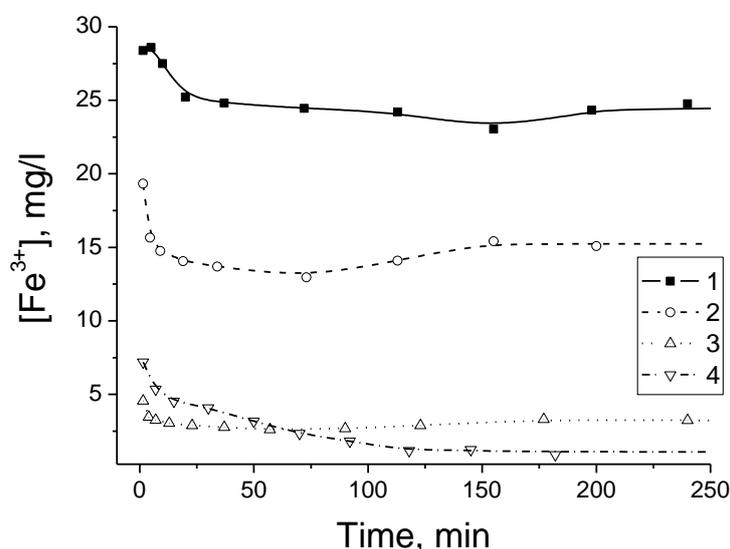


Рис. 1. Залежність концентрацій іонів заліза в розчині від часу реакції.

Номер кривої відповідає номеру розчину

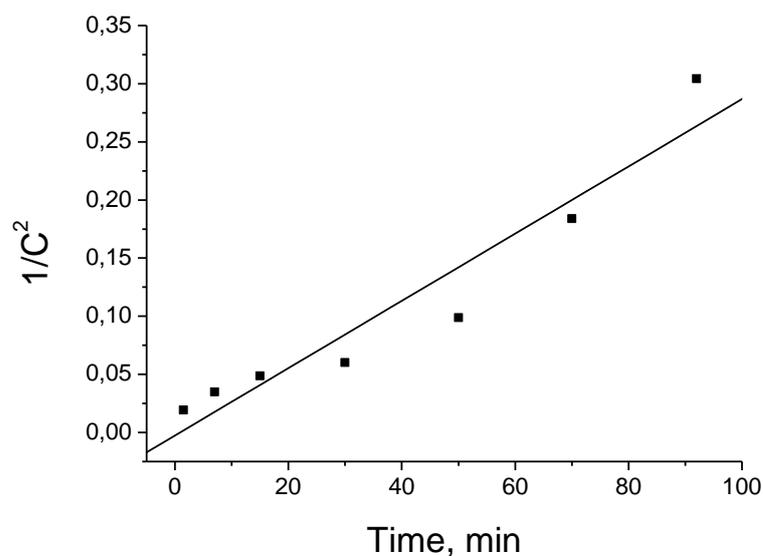


Рис. 2. Залежність оберненого квадрату концентрації йонів заліза від часу для розчину 4

Література:

1. Tonga Y., Tang. P. Synthesis of Nanocrystalline FeVO₄ and Its Visible-Light Photocatalytic Activity. *Adv. Mater. Res.* 2012. 486, 124–128. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.486.124>
2. Kumar S., Satish R., Verma V., Manalastas W., Kidkhunthod P. Investigating FeVO₄ as a cathode material for aqueous aluminum-ion battery. *J. Power Sources.* 2019. 426, 151-161. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2019.03.119>
3. Nithya V. D., Kalai Selvan R., Sanjeeviraja C., Mohan Radheep D., Arumugam S. Synthesis and characterization of FeVO₄ nanoparticles. *Mater. Res. Bull.* 2011. 46(10), 1654-1658. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2011.06.005>
4. Sajid M. M., Zhai H., Shad N. A., Shafique M., Afzal A. M., Javed Y., Khan S. B., Ikram M., Amin N., Zhang Z. Photocatalytic performance of ferric vanadate (FeVO₄) nanoparticles synthesized by hydrothermal method. *Mater. Sci. Semicond. Process.* 2021. 129, 105785. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2021.105785>

Секція 4

*Електроосадження металічних
і полімерних покриттів.*

*Захист від корозійного
руйнування.*

Лакофарбові та захисні покриття

**ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ОСАДЖЕННЯ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ
З ЕВТЕКТИЧНИХ ІОННИХ РІДИН З МЕТОЮ ВИГОТОВЛЕННЯ
ЕЛЕКТРОКАТАЛІЗАТОРІВ ДЛЯ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**

Проценко В.С., Шайдеров Д.А., Сухацький О.Д., Бутиріна Т.Є.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпро

Vprotsenko7@ukr.net

У зв'язку з необхідністю переходу на “зелену” енергетику значної актуальності набули технології виробництва водню з використанням електролізу води [1]. Однією з перспективних стратегій підвищення енергоефективності таких процесів є заміна анодного виділення кисню на реакцію електроокиснення сечовини, яка протікає при суттєво нижчих потенціалах [2–4]. Для реалізації цього підходу необхідні ефективні, стабільні та відносно дешеві електрокаталізатори, що функціонують в умовах лужного середовища. Одним з найбільш доступних матеріалів для цих цілей є нікель [5].

У даній роботі досліджено електроосадження нікелевих покриттів з використанням екологічно безпечних евтектичних іонних рідин (deep eutectic solvents, DES) [6], зокрема, суміші холін хлориду та етиленгліколю. Вивчено вплив варіювання концентрації солі $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в електроліті на основі DES на електрокаталітичну активність покриттів [7].

Електроосадження здійснювали на платиновому або мідному субстраті в гальваностатичному режимі (10 mA/cm^2 , $50 \text{ }^\circ\text{C}$, 30 хвилин). Хімічний і фазовий склади та морфологію поверхні покриттів досліджували методами сканувальної електронної мікроскопії, рентгеноспектрального електронно-зондового мікроаналізу та дифракційного рентгенофазового аналізу, відповідно. Електрокаталітичні властивості визначали у реакціях катодного виділення водню та анодного виділення кисню і електроокиснення сечовини в електролітах 1 M NaOH і $1 \text{ M NaOH} + 0,33 \text{ M CO(NH}_2)_2$.

Було встановлено [7], що покриття, осаджені з електроліту на основі DES при більш високих концентраціях Ni^{2+} (0,75–1,00 моль/дм³), характеризуються нанокристалічною структурою з високим ступенем чистоти та низьким вмістом домішок і однорідною морфологією поверхні. При цьому фазовий склад представлений металевим нікелем із fcc-граткою (середній розмір кристалітів 30–50 нм). Натомість, покриття, осаджені при найменшій концентрації солі нікелю (0,25 моль/дм³), містили велику кількість оксидно-гідроксидних фаз (зокрема $\text{Ni}(\text{OH})_2$) та мали пористу, дефектну морфологію поверхні.

Результати циклічної вольтамперометрії показали, що для покриттів з DES фіксуються характерні хвилі катодного осадження нікелю та анодного стріпінгового розчинення, що свідчать про протікання електрохімічно необоротного процесу осадження/розчинення металу. Зі збільшенням концентрації солі зростають густини катодного струму та площа під анодними піками, що відповідає зростанню маси осадженого металу.

Виявлено [7], що всі досліджені покриття, осаджені з DES, демонструють вищу електрокаталітичну активність щодо реакції виділення водню порівняно з покриттям, одержаними з водного сульфатно-хлоридного електроліту. Найвища густина струму обміну реакції виділення водню була досягнута для покриття, отриманого з електроліту з 0,25 моль/дм³ Ni^{2+} , що може бути пов'язано з наявністю активних каталітичних центрів, що містять $\text{Ni}(\text{OH})_2/\text{NiOOH}$ редокс-пари на поверхні. Тафельівський аналіз вказує на те, що у всіх випадках швидкість визначальною стадією є реакція Фольмера.

Що стосується реакції анодного електроокиснення сечовини, то покриття з DES забезпечують зниження потенціалу початку окиснення сечовини на ~300 мВ у порівнянні з реакцією виділення кисню, а також вищі значення анодних струмів. Це свідчить про їх ефективність як анодних електрокатализаторів у гібридному електролізі з використанням сечовини як “жертвовної” речовини в процесі анодного окиснення.

Таким чином, метод електроосадження із використанням електролітів на основі DES дозволяє отримати нікелеві покриття з керованими морфологічними

та фазовими характеристиками. Покриття, осаджені з DES, демонструють вищу електрокаталітичну активність щодо реакцій виділення водню, кисню та окиснення сечовини у порівнянні з традиційними покриттями. Застосування таких покриттів може сприяти зниженню енерговитрат на електроліз води при синтезі “зеленого” водню.

Література:

1. Squadrito G., Maggio G., Nicita A. (2023). The green hydrogen revolution. *Renewable Energy*, 216, 119041. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119041>
2. Paygozar S., Aghdam A.S.R., Hassanizadeh E., Andaveh R., Darband G.B. (2023). Recent progress in non-noble metal-based electrocatalysts for urea-assisted electrochemical hydrogen production. *Int. J. Hydrogen Energy*, 48, 7219-7259. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.11.087>
3. Protsenko V.S. (2023). Thermodynamic aspects of urea oxidation reaction in the context of hydrogen production by electrolysis. *Int. J. Hydrogen Energy*, 48, 24207-24211. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.03.295>
4. 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>
5. 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>
6. Smith E.L., Abbott A.P., Ryder K.S. (2014). Deep eutectic solvents (DESs) and their applications. *Chem. Rev.*, 114, 11060-11082. <https://doi.org/10.1021/cr300162p>
7. Protsenko V.S., Shaiderov D.A., Sukhatskyi O.D., Butyrina T.E., Korniy S.A. (2025). Nickel-containing electrocatalysts for green hydrogen production: electrodeposition from deep eutectic solvent-based solutions and electrocatalytic activity for hydrogen evolution, oxygen evolution and urea oxidation reactions. *J. Appl. Electrochem.*, in press. <https://doi.org/10.1007/s10800-025-02288-z>

**ІНГІБУВАННЯ КОРОЗІЇ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ
СИНЕРГІЧНОЮ КОМПОЗИЦІЄЮ ДЕКСТРИНУ З НАТРІЄМ
ІЗОАСКОРБАТОМ У 3%-ВОМУ СЕРЕДОВИЩІ НАТРІЙ ХЛОРИДУ**

Тимусь М.Б., Корній С.А., Федорів В.І.

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

вул. Наукова, 5, 79060, м. Львів

marjana.tymus@gmail.com.ua

Алюміній та його сплави досить широко використовують у різних галузях промисловості. Зокрема, присутність досить стійкої оксидної плівки на поверхні алюмінію сприяє його корозійній стійкості. Проте, сплави алюмінію, зокрема Д16Т схильні до локальної корозії, внаслідок присутності інтерметалідних включень. Окрім того, присутність корозійно активного середовища, зокрема хлоридів негативно впливає на корозійну стійкість алюмінієвого сплаву Д16Т. Особливо руйнівний та активний цей процес спостерігається у 3%-вому розчині натрій хлориду. Для запобігання та сповільнення корозії використовують інгібітори корозії, зокрема, застосування екологічно безпечних є пріоритетом.

Одним із таких представників є біодеградабельний органічний біополімер – декстрин кукурудзяний. Цей полісахарид є перспективним інгібітором корозії та екологічно безпечний. Проте, переважно дослідження цього полісахариду проводили у кислих середовищах [1], однак досить високий інгібуючий ефект спостерігали і в нейтральному 0,1%-вому хлоридовмісному середовищі за використання в композиції зі співсинергістом натрієм ізоаскорбатом [2]. Тому, цікавим та актуальним було встановити поведінку декстрину в композиції із співсинергістом в більш агресивному 3 %-вому середовищі натрій хлориду.

Корозію алюмінієвого сплаву досліджували у 3 %-вому розчині натрій хлориду. В корозійне середовище додавали природний полісахарид – декстрин кукурудзяний (ДК) та натрій ізоаскорбат (НІА) по 1,5 та 2 г/л, що сумарно становить 3 та 4 г/л композиції відповідно.

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 см². Зразки металу перед зануренням у середовище обробляли шліфувальним папером марки Р320 та знежирювали ацетоном.

Отримані імпедансні залежності сплаву Д16Т після 24 год експозиції у 3 %-вому розчині натрій хлориду та інгібованих композицією ДК+НІА середовищах моделювали за допомогою схеми $R_s(Q_f(R_f(Q_{dl}R_{ct})))$, де R_s та R_{ct} опори корозійного розчину та переносу заряду металу відповідно, Q_{dl} ємність електричного подвійного шару металу, що виражена через елемент сталої фази.

Інгібувальну ефективність композицій на основі декстрину визначали за формулою:

$$\eta = \frac{R_{ct} - R_{ct0}}{R_{ct}} \cdot 100 \%$$

де R_{ct} , R_{ct0} – опори переносу заряду металу у середовищі з композицією на основі біополімеру та у неінгібованому 0,1 %-вому розчині натрій хлориду, відповідно.

Досліджували концентрації композиції ДК+НІА (1:1) по 1,5 та 2 г/л, оскільки попередні дослідження у 0,1 %-вому розчині натрій хлориду підтвердили їх найкращі інгібувальні властивості [2], а використання поодинокі компонентів не сприяло інгібуванню корозії Д16Т. Відповідно, електрохімічні випробування сплаву Д16Т у 3%-вому розчині натрій хлориду за експозиції 24 та 72 год й додаванні композиції ДК+НІА (1:1) підтвердили інгібувальну ефективність запропонованої біокомпозиції на основі біополімеру (рис. 1).

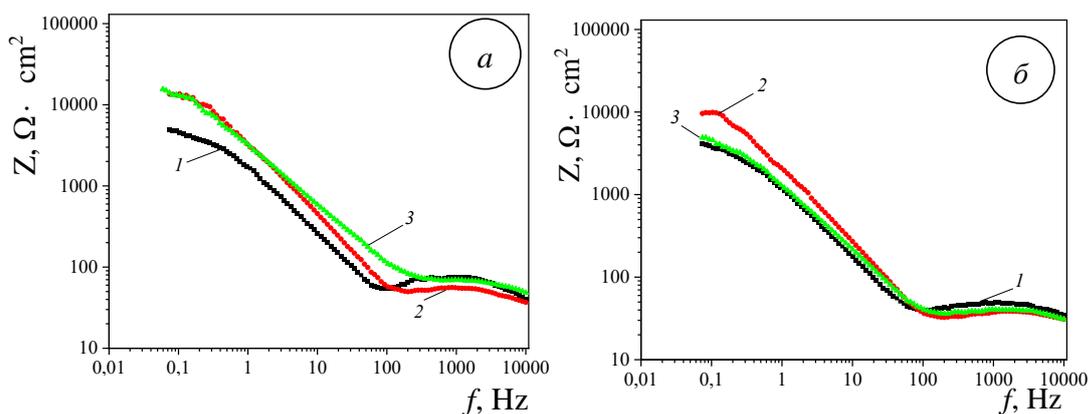


Рис. 1. Частотні імпедансні залежності Д16Т після експозиції 24 год (а) та 72 год (б) за додавання синергічної композиції ДК+НІА(1:1) у 3 %-вому розчині натрій хлориду: (а): 1 – 3 % NaCl; 2 – по 1,5 г/л; 3 – по 2 г/л. (б): 1 – 3 % NaCl; 2 – по 1,5 г/л; 3 – по 2 г/л

Зокрема, після доби витримки (рис. 1а) спостерігали значення параметру модуля імпедансу за частоти 0,1 Гц ($Z_{0.1}$) сплаву Д16Т в інгібованих розчинах $(1,31...1,35) \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ порівняно із значенням $4,77 \cdot 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ в неінгібованому 3%-вому розчині натрій хлориду. За більш тривалої експозиції 72 год (рис. 1б), інгібувальна протикорозійна ефективність композиції ДК+НІА (1:1) збереглась лише там, де сумарний вміст компонентів складав 3 г/л. Відповідно, тут значення параметру $Z_{0.1}$ найвище та становить $1,2 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ порівняно зі значеннями у неінгібованому 3%-вому розчині натрій хлориду, що відповідає $3,2 \cdot 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$. Така ж тенденція спостерігалась і в праці [2] у 0,1%-вому розчині натрій хлориду. Ймовірно, таку тенденцію можна пояснити утворенням більш стійкої органічної плівки за меншого вмісту декстрину 1,5 г/л, оскільки із збільшенням концентрації даний полісахарид змінює рН середовища.

Згідно проведених розрахунків за допомогою еквівалентного електричного кола (табл. 1) встановлено, що присутність у 3 %-вому розчині натрій хлориду синергічної композиції ДК+НІА загальним вмістом 3 та 4 г/л й експозиції 24 год опір переносу заряду (R_{ct}) алюмінієвого сплаву Д16Т значно зростає порівняно зі значенням у хлоридовмісному корозійно активному розчині. Відповідно R_{ct} в інгібованих розчинах становить $(1,6 \text{ та } 1,7) \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$, що на

порядок більше за значення у 3 %-вому розчині натрій хлориду та дорівнює $4,9 \cdot 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ (табл. 1).

Окрім того, спостерігаємо зменшення на порядок провідності Y_0 елемента сталої фази Q_{dl} відносно значення у 3 %-вому розчині натрій хлориду (табл. 1), що свідчить про сповільнення проходження корозійних процесів. Інгібувальна ефективність (η) синергічної композиції ДК+НІА (1:1) як по 1,5 так 2 г/л у 3 %-вому розчині натрій хлориду є більше 70 %, а опір переносу заряду R_{ct} сплаву Д16Т більший у $\approx 3,5$ рази (табл.1).

Таблиця 1. Характеристики еквівалентного електричного кола, розраховані на основі імпедансних спектрів Д16Т у 3 %-вому розчині натрій хлориду та інгібованих синергічною композицією ДК+НІА (1:1) розчинах за експозиції 24 год

Нумерація спектрів згідно рис. 1	R_{ct} , $\Omega \cdot \text{см}^2$	$Q_{dl}(Y_0)$, $s^n / \Omega \cdot \text{см}^2$	$Q_{dl}(n)$	R_f , $\Omega \cdot \text{см}^2$	$Q_f(Y_0)$, $s^n / \Omega \cdot \text{см}^2$	$Q_f(n)$	η , %
1	4900	$6,4 \cdot 10^{-4}$	0,8	66	$3,5 \cdot 10^{-4}$	0,43	–
2	16700	$4,6 \cdot 10^{-5}$	0,56	70	$2,9 \cdot 10^{-5}$	0,82	71
3	17261	$3,9 \cdot 10^{-5}$	0,66	313	$3,4 \cdot 10^{-5}$	0,88	72

Результати електрохімічної імпедансної спектроскопії свідчать про утворення на поверхні алюмінієвого сплаву Д16Т адсорбційної плівки, яка є досить стійкою у часі та блокує переміщення до поверхні металу корозійно активних йонів. У праці [3] пояснюють здатність інгібування полісахаридом наявністю в його молекулі довгого вуглеводневого ланцюга, що зокрема і характерно для декстрину.

Окрім того, присутність у складі ДК гідроксильних груп сприяє утворенню координаційних зв'язків з поверхнею Д16Т. Однак, сам ДК недостатньо захищає алюмінієвий сплав від корозії у 3%-вому розчині натрій хлориду, додавання додатково аскорбат-аніонів сприяє ущільненню полісахаридної плівки з утворенням малорозчинних комплексів з йонами Al^{3+} та Cu^{2+} [2].

Література:

1. S. A. Umoren, U. M. Eduok. Application of carbohydrate polymers as corrosion inhibitors for metal substrates in different media: A review, Carbohydrate Polymers. – 2015. – P. 1-74. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.carbpol.2015.12.038>

2. Тимусь М.Б., Зінь І.М., Корній С.А. Інгібування корозії алюмінієвого сплаву в хлоридовмісному середовищі композицією на основі декстрину та натрію ізоаскорбату / Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2024. – Т. 60, № 4. – С. 129-137. <http://pcmm.ipm.lviv.ua/pcmm-2024-4u.pdf>

3. J.G.N. Thomas. 17.3 The Mechanism of Corrosion Prevention by Inhibitors. Editor(s): L.L. Shreir, R.A. Jarman, G.T. Burstein // Corrosion (Third Edition). Butterworth-Heinemann. – 1994. – P. 17:40-17:65. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-052351-4.50126-6>.

УДК 544.6

ЕЛЕКТРОХІМІЧНА МОДИФІКАЦІЯ ПОВЕРХНІ ГРАФІТУ МПГ-7 ВІДНОВЛЕННЯМ АЦЕТАМІНОБЕНЗЕНДІАЗОНІЮ

Ловчицька В.С., Ковалишин Я.С., Горак Ю.І.

Львівський національний університет ім. Івана Франка

вул. Університетська, 1, 79000, м. Львів

viktoriii.lovchytska@lnu.edu.ua

Графіт належить до найбільш універсальних форм вуглецю та вирізняється низкою цінних властивостей, зокрема, високою електропровідністю, здатністю формування різноманітних структур. Завдяки цим якостям графіт широко застосовується в таких сферах, як електроніка, енергетика, каталіз та виробництво електропровідних гібридних композитів. [1, 2]

Модифікація поверхні вуглецевих матеріалів, зокрема шляхом відновлення солей бензендіазонію, дозволяє покращити властивості їх композитів з електропровідними полімерами [3].

Методом циклічної вольтамперометрії досліджено процес відновлення ацетамінобензендіазоній тетрафторборату на графітовому електроді з ацетонітрильного розчину (рис. 1). На першому циклі розгортки потенціалу спостерігаються піки відновлення за потенціалів близько 0,05 та -0,43 В. Пік за

потенціалу 0,05 В відповідає процесу відновлення діазосоли з утворенням фенільного радикалу [4]. На наступних циклах сканування потенціалу спостерігається різке зменшення струмів відновлення. Це вказує на покриття поверхні продуктами відновлення ацетамінобензендіазонію, які блокують її, і перешкоджають подальшому електрохімічному процесу.

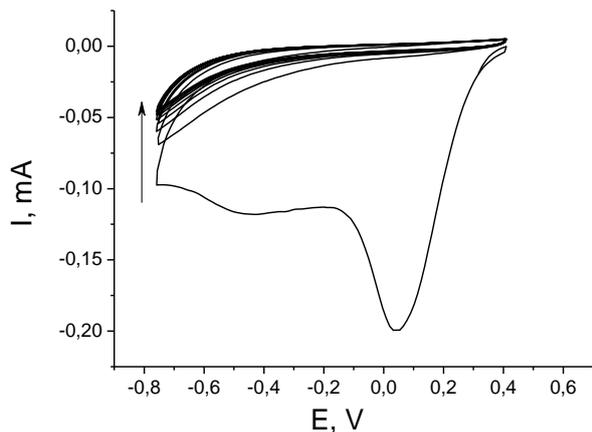


Рис. 1. Циклічна вольтамперограма графітового електрода у 0.1 М розчині п-ацетамінофенілдіазоній тетрафторборату в ацетонітрилі. Швидкість розгортки потенціалу 50 мВ/с

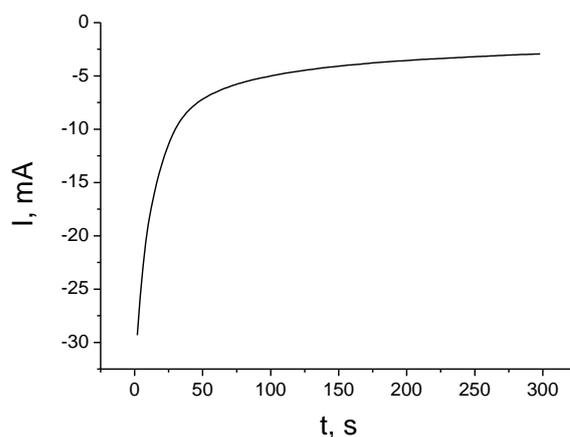


Рис. 2. Залежність струму відновлення діазонієвої солі від часу модифікації поверхні графіту МПГ-7. Потенціал графітового електрода – 0,20 В відносно насиченого хлорсрібного електрода

Отримані результати вказують на можливість модифікації поверхні графіту МПГ-7 шляхом електрохімічного відновлення діазосоли. Було вибрано значення потенціалу -0,2 В для потенціостатичного відновлення солі при модифікації графітової поверхні. Залежність струму відновлення ацетамінобензендіазонію тетрафторборату від часу процесу модифікації поверхні приведено на рис. 2. На отриманій залежності спостерігається поступове зменшення струму внаслідок модифікації поверхні продуктами відновлення. Модифікація призводить до формування покриття, яке характеризується значним електричним опором.

Модифікований ацетамінофенільними групами графіт кип'ятили 30 хв в 10%-вому розчині соляної кислоти з метою гідролізу ацетамінових замісників до амінових. Досліджено змочування модифікованої поверхні графіту водою та розчинами аніліну різної концентрації в 1н НСІ.

В дослідженнях використовували метод лежачої краплі. На поверхню графіту наносили краплину розчину об'ємом 10 мкл. Проводили п'ять паралельних вимірювань, поміщаючи краплини розчину на різні ділянки поверхні. Для розрахунку роботи когезії використали рівняння Дюпре, а для визначення рівноважної роботи адгезії рідини застосували рівняння Дюпре–Юнга. Усі дослідження проводились за температури 20 °С.

Модифікація поверхні графіту суттєво покращує її змочування водою порівняно з немодифікованою поверхнею. Фактично модифікація спричинила зміну гідрофобних властивостей початкової графітової поверхні на гідрофільні (табл. 1).

Таблиця 1. Результати досліджень змочування поверхні графіту (МПГ-7) водою

№	Поверхня графіту	$\cos \theta$	Крайовий кут змочування θ°	$W_{адгезії}$ Дж/м ²	$W_{когезії}$ Дж/м ²
1	немодифікована	0,32	71,27	0,096	0,146
2	модифікована	0,94	19,62	0,124	0,146

Результати досліджень змочуваності поверхні розчинами аніліну різної концентрації в 1 н НСІ представлено в табл. 2. Не зважаючи на те, що соляна кислота є слабким електролітом і виявляє поверхнево-інактивні властивості, змочуваність модифікованої поверхні 1н НСІ є навіть незначно краща, порівняно з водою. Цей факт можна пояснити наявністю амінофенільних груп, які у кислому середовищі протонуються і поверхня графіту набуває електричного заряду. Додавання аніліну до розчину призводить до утворення солянокислого аніліну, який виявляє поверхнево-активні властивості. Однак, за невеликих концентрацій аніліну змочуваність поверхні погіршується. Це вказує на те, що адсорбція $C_6H_5NH_3^+$ за малих вмістів відбувається завдяки взаємодії поверхневих груп з групами NH_3^+ і фенільні групи орієнтуються в бік розчину.

Таблиця 2. Результати досліджень змочування модифікованої поверхні графіту розчинами аніліну в 1 н НСІ

№	Концентрація аніліну, М	$\cos \theta$	Крайовий кут змочування θ°	$W_{адгезії}$ Дж/м ²	$W_{когезії}$ Дж/м ²
1	1,00	0,97	14,82	0,126	0,128
2	0,50	0,96	15,63	0,133	0,136
3	0,30	0,95	17,44	0,137	0,140
4	0,10	0,91	24,22	0,138	0,145
5	0,05	0,88	27,85	0,140	0,149
6	0,00	0,96	17,14	0,137	0,140

За високих концентрацій аніліну змочуваність поверхні знову покращується, що можна пояснити адсорбцією катіону феніламонію на гідрофобних ділянках поверхні. При цьому, очевидно, фенільна група буде орієнтована в бік поверхні, а амінна група – в бік розчину. Додатковим фактором при цьому також буде зменшення поверхневого натягу розчину НСІ при додаванні аніліну, що теж сприятиме покращенню змочуваності.

Дослідження підтверджують перспективність використання модифікованого графіту у створенні провідних матеріалів з покращеними адгезійними властивостями. Зокрема: результати можуть бути використані у розробці матеріалів для суперконденсаторів і сенсорів.

Подані у цій статті результати досліджень отримано за фінансової підтримки Міністерства освіти і науки України (№ державної реєстрації держбюджетної теми: 0123U101857 “Фізико-хімія функціональних наноматеріалів для електрохімічних систем”).

This work was partly supported by the Simons Foundation (Award Number: PD-Ukraine-00014574).

Література:

1. Chung D.D.L. Review Graphite. (2002). Journal of Materials Science. 1475–1489. DOI: 10.1023/A:1014915307738
2. Bourdo S., Viswanathan T. (2005). Graphite/Polyaniline (GP) composites: Synthesis and characterization. Carbon. 2983–2988. DOI: 10.1016/j.carbon.2005.06.016
3. Kovalyshyn Y., Konovska M., Milanese C., Saldan I., Serkiz R., Pereviznyk O., Reshetnyak O., Kuntz O. (2017). Electrochemical Properties of the Composites Synthesized from Polyaniline and Modified MWCNT. Chem. Chem. Technol. 261–269. <https://doi.org/10.23939/CHCNT11.03.261>
4. Ковальчук Є.П., Макаровська Р.Є., Ковалишин Я.С., Ковальчук О.О. Відновлювальна конденсація катіонів арендіазонію на мідному катоді. Укр. хім. журнал. 2010. 51-55 с.

УДК 620.197.6

ВПЛИВ КОМПОЗИЦІЙНОГО ПІГМЕНТУ НА ОСНОВІ ПРИРОДНОГО СИЛКАТУ КАЛЬЦІЮ ТА ОРТОФОСФАТУ ЦИНКУ НА ЗАХИСНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИДНОГО ПОКРИТТЯ НА АЛЮМІНІЄВОМУ СПЛАВІ

Хлопик О.П., Зінь І.М., Корній С.А., Дацко Б.М.

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

вул. Наукова, 5, 79060, м. Львів

oliakhlopuk@gmail.com

Лакофарбові покриття залишаються найбільш поширеним методом захисту металевих конструкцій від атмосферної корозії. Ключову захисну функцію в системі покриття на металі виконує ґрунтувальний шар, що містить інгібувальні пігменти [1]. Як протикорозійні добавки традиційно використовують солі хромової кислоти, зокрема хромати свинцю, цинку, кальцію, стронцію та барію. Однак, незважаючи на їхню високу захисну ефективність, сполуки, що містять шестивалентний хром, визнані екологічно небезпечними та канцерогенними речовинами. Цинку фосфат, як відомий нетоксичний пігмент, є

потенційною альтернативою хроматвмісним пігментам. Проте застосування цинку фосфату як протикорозійного пігменту обмежене через недостатню ефективність, зумовлену низькою розчинністю, особливо на ранніх стадіях розвитку підплівкової корозії металу.

У попередніх дослідженнях [2] шляхом механохімічної взаємодії природного силікату (воластоніту) з кислим дигідрофосфатом цинку $Zn(H_2PO_4)_2$ отримали композиційний протикорозійний пігмент. Екстракт цього пігменту проявив високу ефективність в інгібуванні корозії алюмінієвого сплаву в синтетичному кислому дощі. Однак, через високу розчинність монофосфату цинку, його захисна дія в алкідному покритті виявилась недостатньо пролонгованою [3].

Тому метою цієї роботи було синтезувати композиційний інгібувальний пігмент на основі природного силікату кальцію та ортофосфату цинку та дослідити його вплив на захисні властивості епоксидного покриття на алюмінієвому сплаві.

Композиційний пігмент отримували механохімічною модифікацією воластоніту ортофосфатом цинку у високоенергетичному планетарному млині Retsch PM100 протягом 1 год за швидкості обертання циліндра 200 об/хв. Масове співвідношення в помольній суміші між воластонітом та ортофосфатом цинку становило 2 до 3 та 1 до 1.

Морфологію поверхні композиційного пігмента вивчали на сканівному електронному мікроскопі Zeiss EVO-40XVP.

Композиційний пігмент вводили у лакофарбове покриття за концентрації 15 мас.%. Для його розподілення в епоксидному зв'язуючому, суміш диспергували на приладі УЗДН-А. Одержану інгібовану композицію наносили на пластини сплаву Д16Т (150x75x3 мм) як ґрунтовку за допомогою прямокутного аплікатора. Витримували до повного тверднення впродовж 7 діб за 20 °С. Поверхню металу перед нанесенням покриття готували відповідно до ДСТУ ISO 12944-6:2019. Товщина епоксидних покриттів становила 110 ± 5 мкм.

Корозійно-електрохімічні властивості сплаву Д16Т з епоксидними

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 ± 10 мВ. Випробовували в 0,1 % розчині хлориду натрію. Вивчали покриття зі штучно наведеними наскрізними дефектами, діаметром 1 мм.

Дослідження морфології отриманих пігментів показало, що при механохімічній обробці відбувається значне зменшення розміру кристалів вихідних сполук, що разом з відповідним збільшенням питомої поверхні, призводить до підвищення реакційної здатності та, ймовірно, утворення нових сполук (рис. 1).

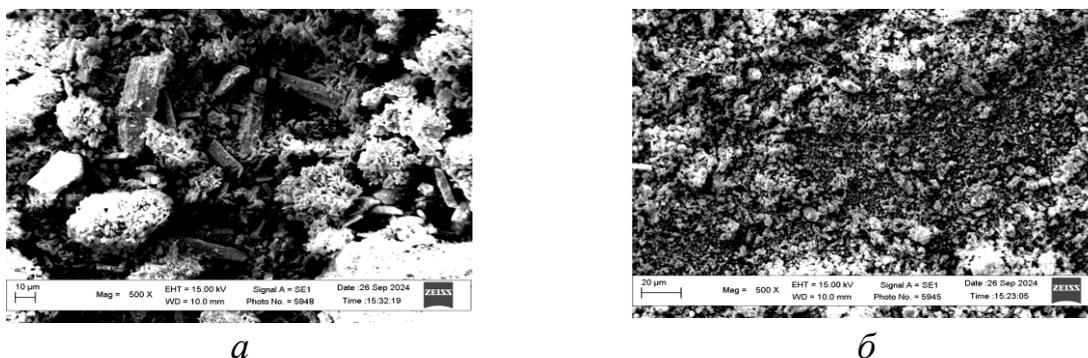


Рис. 1. Електронно-мікроскопічні зображення порошків та дані EDX-аналізу:

а) проста суміш компонентів воластоніт/фосфат цинку; б) композиційний пігмент, отриманий методом механохімічного модифікування

У разі простої суміші компонентів воластоніт/фосфат цинку морфологія порошку є досить неоднорідною, з чітко вираженими частинками сферичної та голкоподібної форми (рис. 1а). Натомість порошок, отриманий після МХО, характеризується вищою дисперсністю та однорідністю (рис. 1б).

Дослідження електрохімічної поведінки алюмінієвих зразків з дефектними епоксидними покриттями методом електрохімічної імпедансної спектроскопії виявили (рис. 2), що протикорозійні характеристики покриттів, наповнених композиційним пігментом, значно перевищують відповідні показники покриття без пігменту. При цьому, найвище значення модуля імпедансу $Z_{0,01}$ було зафіксовано для покриття, що містило композиційний пігмент воластоніт/фосфат цинку у співвідношенні 2:3 ($Z_{0,01} = 1,37 \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$).

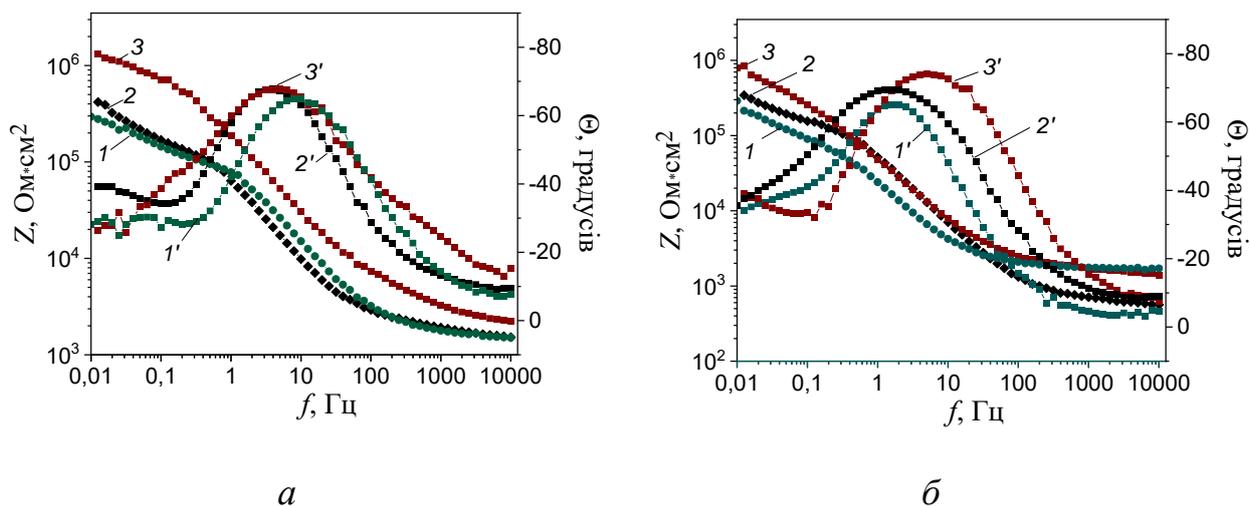


Рис. 2. Діаграми Боде зразків алюмінієвого сплаву з пошкодженими епоксидними покриттями (1) та за додавання (15 мас. %): 2 – композиційний пігмент воластоніт/фосфат 1:1; 3 – композиційний пігмент воластоніт/фосфат цинку 2:3 після 48 (а) та 168 годин (б) експозиції у 0,1% розчині хлориду натрію

Після 7 діб експозиції сплаву з цим покриттям у корозійному середовищі захисна дія композиційного пігменту залишалася на високому рівні, що підтверджується значенням $Z_{0,01} = 8,69 \cdot 10^5 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ (рис. 2б).

Таким чином синергічна взаємодія між ортофосфатом цинку та силікатом кальцію у складі композиційного пігменту сприяє формуванню стабільного захисного шару в зонах дефектів покриття, що забезпечує ефективне гальмування корозійного процесу.

Методом твердофазного модифікування у високоенергетичному планетарному кульовому млині отримано композиційний пігмент на основі силікату кальцію та ортофосфату цинку. Дослідження методом електрохімічної імпедансної спектроскопії засвідчили, що введення синтезованого композиційного пігменту до складу епоксидного покриття на алюмінієвому сплаві суттєво покращує його захисні властивості. Це проявляється у збільшенні модуля імпедансу на зразках із штучно пошкодженим покриттям. Найвищу антикорозійну ефективність продемонстрував пігмент із масовим співвідношенням воластоніт/ортофосфат цинку 2:3.

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. Khlopyk O.P., Zin I.M., Datsko B.M., Bilyi L.M., Duriagina Z.A., Korniy S.A. Anticorrosion properties of composite inhibiting pigment based on natural calcium silicate and zinc monophosphate. Materials science. 2023. V. 59, № 2. P. 234-241.

3. Хлопик О.П., Зінь І.М., Корній С.А., Дацко Б.М., Білий Л.М. Протикорозійні властивості композиційного інгібувального пігменту на основі природного силікату кальцію та монофосфату цинку в алкідному покритті на сталі. Фізико-хімічна механіка матеріалів. 2024. V.60, № 5. С. 45-53.

УДК 621.357.7

ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ПОКРИТТІВ СПЛАВОМ Ni-P

Королянчук Д.Г., Овчаренко В.І.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Українського державного університету науки і технологій

пр. Науки, 8, 49005, м. Дніпро

kafmat@i.ua

Доволі довгий час отримання електрохімічних покриттів металами та сплавами є однією з основних технологій формування захисних шарів на поверхні виробів, які працюють у контакті з агресивними середовищами в різних галузях індустрії: чорній та кольоровій металургії, хімічній та нафтохімічній промисловості, машинобудуванні та металообробці, лісовій, деревообробній та целюлозно-паперовій промисловості, електроенергетиці, паливній промисловості, оборонній та ракетно-космічній галузі.

Захисними покриттями, що найбільш широко застосовуються, є хромові осади, а також покриття на основі сплавів інших металів підгрупи заліза, а саме: нікель-кобальтові, нікель-фосфорні та кобальт-вуглецеві [1].

Утворення в осаджуваних металах/сплавах об'ємних дефектів, а саме – пір, а також виникнення мікрогальванічних пар на межах зерен, тобто на поверхневих дефектах кристалічної будови є основними факторами, що знижують захисні властивості електрокристалізованих покриттів.

Можливість створення покриттів з заданою структурою та властивостями, позбавлення формування в шарах металу/сплаву поверхневих дефектів кристалічної будови, а також можливість одержання нових видів покриттів з малотоксичних електролітів, є актуальними задачами.

Наприклад, у покриттях хрому, що наносяться на медичні інструменти, через наявність пір можливе існування бактерій та вірусів, які не гинуть при стерилізації [2].

Останнім часом, з метою заміни високотоксичних електролітів хромування, все частіше в техніці використовуються електрохімічні покриття сплавами нікелю. Наприклад сплавів Ni-P. Легування нікелю фосфором крім покращення механічних властивостей, магнітних характеристик і зносостійкості, призводить до підвищення корозійної стійкості [3, 4].

Зразки покриттів чистого нікелю та сплаву нікель-фосфор одержували одночасно у двох послідовно підключених комірках. Для осадження чистого нікелевого покриття використовували електроліт наступного складу, г/л: сульфамат нікелю 250-300, хлорид нікелю 25-30, борна кислота 20-30, ортофосфорна кислота 40-55, сахарин 0,5-1,5 [5].

При цьому додавання іонів фосфору в електроліт нікелювання призводить до утворення аморфної структури електроосаджених покриттів Ni-P [6].

Для вивчення морфології поверхні одержаних осадів використовували растровий електронний мікроскоп РЕМ-106И. Корозійну стійкість визначали потенціостатичними методами за величиною корозійного струму. У якості корозійноактивного середовища застосовували 3%-й розчин хлориду натрію.

За результатами проведеного електронно-мікроскопічного аналізу зразків електрокристалізованого чистого нікелю та шарів сплаву нікель-фосфор з аморфною структурою було виявлено, що аморфні покриття характеризуються більш згладженим рельєфом у порівнянні з поверхнею нікелю, який має кристалічну структуру (рис. 1). Крім того, у складі аморфних покриттів значно менше пір у порівнянні з кристалічними нікелевими покриттями.

Дослідження швидкості корозії отриманих покриттів у взаємозв'язку з їхньою структурою (рис. 2) дозволило виявити ефект підвищення корозійної стійкості покриттів за рахунок формування в них аморфної структури. При цьому корозійна стійкість покриття аморфним сплавом Ni-P зростає на 30% у порівнянні з аналогічним показником чистого нікелевого покриття.

Збільшення корозійної стійкості відбувається за рахунок формування аморфної структури, в якій немає дефектів кристалічної будови.

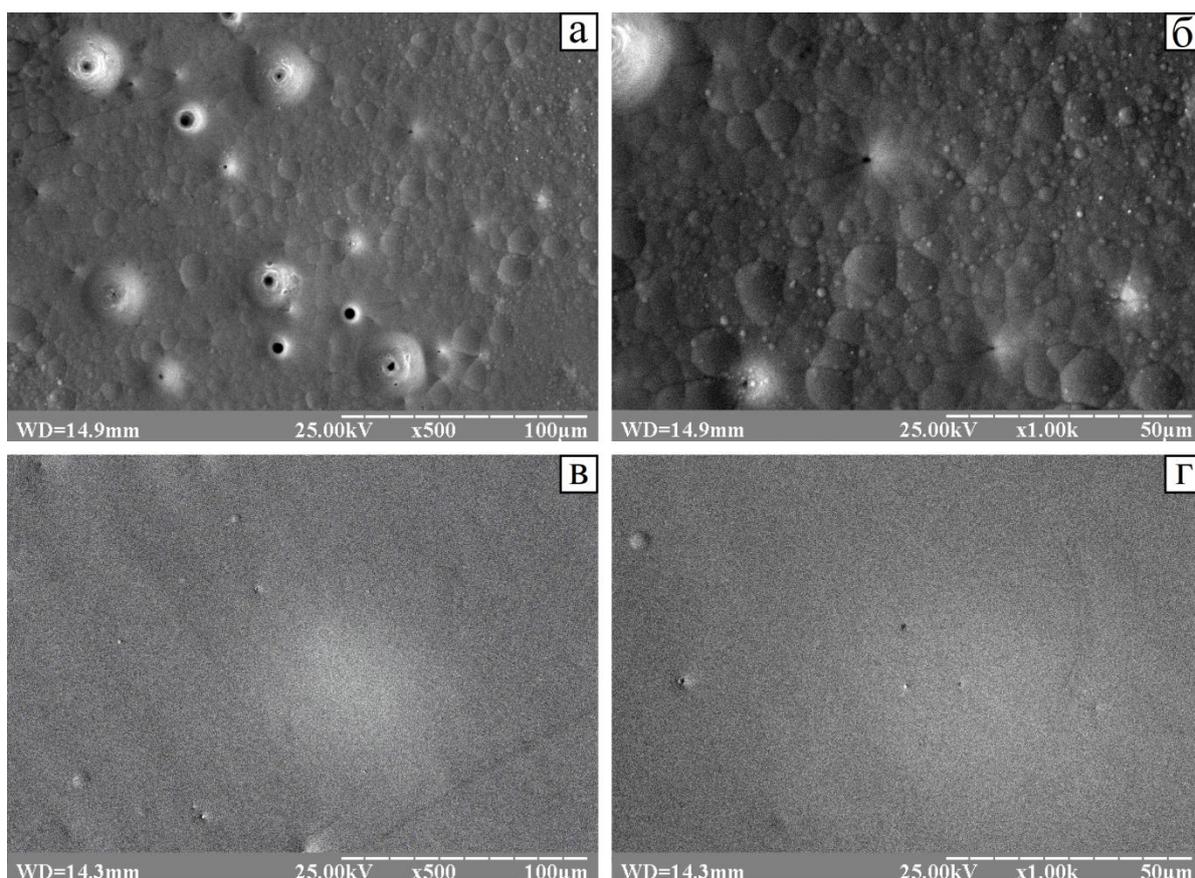


Рис. 1. Морфології поверхні нікелевих покриттів (а, б) та покриттів сплавом Ni-P (в, г), одержаних за температур електроліту 20°C (а, б), 60°C (в, г), і густині струму 15 А/дм², (а, в – × 500, б, г – × 1000)

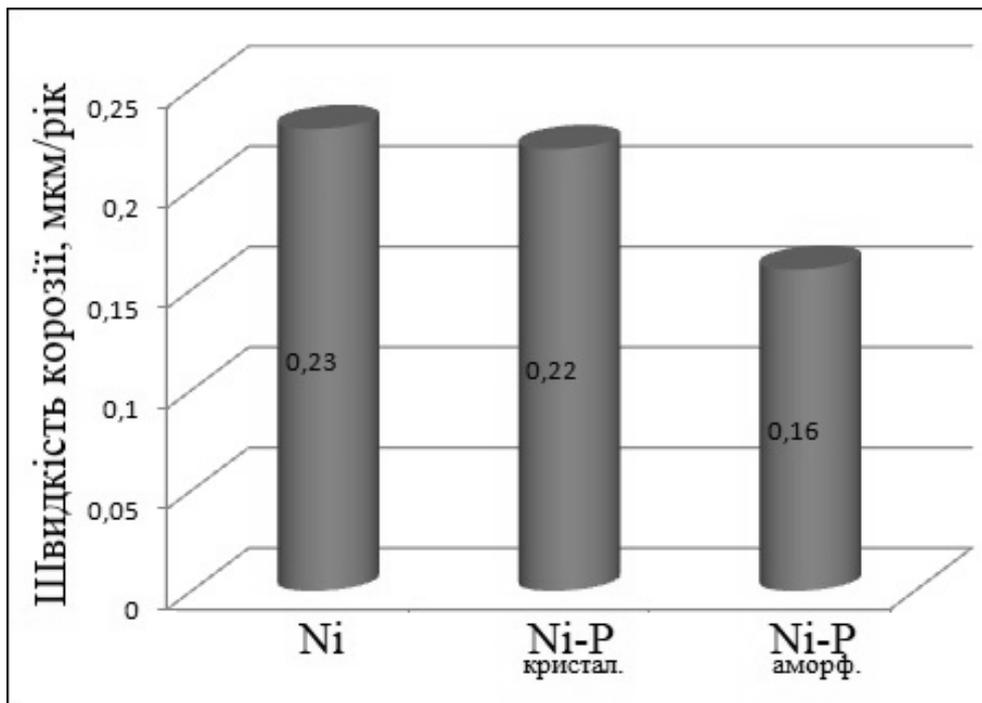


Рис. 2. Швидкість корозії нікелевих покриттів з різною структурою

Отже, цілеспрямоване керування процесом електрокристалізації для одержання аморфної структури в нікелевих електропокриттях шляхом легування їх фосфором для пригнічення зародкоутворення при електроосадженні є одним із перспективних напрямків одержання покриттів з підвищеною корозійною стійкістю.

Література:

1. Байрачний Б. І., Тульський Г. Г., Токарева І. А. Технічна електрохімія : підручник у 5-ти ч.: Сучасні хімічні джерела струму, електроліз розплавів, електросинтез хімічних речовин. Харків : НТУ «ХП», 2016. Ч.5, 272 с.
2. Agarwala R. C., Agarwala V. Electroless Alloy/Composite Coatings: A Review. *Sadhana*. 2003. Vol. 28, Parts 3&4. P. 475-493. <https://www.ias.ac.in/article/fulltext/sadh/028/03-04/0475-0493>
3. Lekmine F., Ben Temam H., Naoun M., Hadjadj M. Mechanical Characterization of Electrodeposition of Ni-P Alloy Coating. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2020. Vol. 12, № 1. P. 01001-01005. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/77117>

4. Королянчук Д. Г., Овчаренко В. І. Структура та фізико-механічні властивості електрокристалізованих покриттів сплавом Ni-P. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2022. № 4 (99). С. 40-46.
<https://doi.org/10.30838/J.PMNTM.2413.271222.40.909>

5. Електроліт для електроосадження Ni-P покриттів : пат. на корисну модель 141090 Україна. № u201908218 ; заявл. 15.07.2019 ; опубл. 25.03.2020, Бюл. № 6. - 2 с.

6. Королянчук Д. Г., Овчаренко В. І., Гірін О. Б. Структурування електропокриттів сплавом Ni-P з підвищеною корозійною стійкістю. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2024. №. 4 (022). С. 89-93.
<http://uajcea.pgasa.dp.ua/article/view/312360>

АВТОРСЬКИЙ ПОКАЖЧИК

А		Голіченко О.А.	163
Антоненко Г.О.	73	Головко С.І.	44
Б		Горак Ю.І.	177
Балуєв Р.	58	Гриценко Т.О.	95
Баран Н.М.	95	Д	
Башев В.Ф.	91	Дацко Б.М.	181
Баштаник П.І.	9, 54, 73	Дейнека І.О.	103
Бойко Ю.В.	36	Дейнека К.Ю.	103
Булко О.В.	16	Джужа О.В.	16
Бураков М.І.	160	Драган К.С.	50
Бутенко Е.О.	120	Дутка В.С.	98
Бутиріна Т.Є.	170	Дутка Ю.В.	98
В		З	
Василенко Т.О.	139	Заремба Г.В.	54, 73
Ващенко Ю.М.	78, 80	Зінь І.М.	181
Величко О.В.	163	І	
Віслогузова Т.В.	109	Іутинська Г.О.	88
Віхров Г.Д.	80	К	
Вортман М.Я.	88	Кабат О.С.	59, 59
Г		Калюжний О.Б.	24
Гладир І.І.	63, 67	Капшин С.О.	127

Кислов Т.І.	86	Кулеш Д.В.	109
Китова Д.Є.	163	Кушнірчук М.І.	95
Кищик А.Г.	123	Л	
Ковалишин Я.С.	166, 177	Левицький В.Є.	95
Козирко Д.В.	20	Лемешко В.М.	88
Козлова Г.А.	63, 67	Липарь О.А.	135
Колбаса Д.С.	139	Ловчицька В.С.	177
Кончиць А.А.	46	Льошина Л.Г.	16
Коптєва Г.Є.	88	Ляшенко К.	58
Коптєва Ж.П.	88	М	
Кораб М.Г.	13	Макаренко О.С.	107
Корнієнко І.С.	113	Мамуня Є.П.	13
Корній С.А.	173, 181	Мідяна Г.Г.	98
Коров'яков М.А.	166	Місюра А.І.	13
Королянчук Д.Г.	185	Молоков В.С.	86
Кошулько В.С.	132	Н	
Крамарьов О.С.	135	Науменко О.П.	82
Крамарьов С.М.	135	Науменко Ю.В.	103
Красновид С.В.	46	Несін С.Д.	50
Криволапов Д.С.	9	Нікітін М.О.	93
Кудрявцев Ю.О.	86		

О		Сіманенко А.О.	123
Овчаренко В.І.	185	Скоков О.І.	78
Оліфан О.І.	107	Слісенко О.В.	94
Ополонський І.В.	20	Сула М.П.	59
П		Сухацький О.Д.	170
Пилипенко А.М.	13	Сухий К.М.	9, 54, 73
Пінчук-Ругаль Т.М.	13	Т	
Платков В.Я.	24	Тарасюк О.П.	16
Попов А.Ф.	160	Тимусь М.Б.	173
Потапчук М.О.	156	Ткач Л.О.	78
Примушко С.О.	63, 67	Токар А.В.	123
Проценко В.С.	170	Томін С.В.	91
Р		Томіна А.-М.В.	44, 46
Рогальський С.П.	16	Третяк С.Ю.	163
Родін Д.О.	93	Ф	
Рожнова Р.А.	63, 67, 109	Федан М.В.	80
Рула І.В.	36, 139	Федоренко Д.О.	132
Русин В.М.	127	Федорів В.І.	173
С		Францев М.Г.	82
Самелюк А.В.	107	Фролов С.В.	135
Свердліковська О.С.	113, 156	Фролова Л.А.	93
Ситар В.І.	20, 86		

Х		Berezhnytska O.S.	117
Хлопик О.П.	181	Bergamasco R.	5
Хомутов А.В.	54	Bocharov K.O.	152
Хорошун К.О.	135	С	
Ч		Chyhvintseva O.	39
Чернявська Т.В.	16	D	
Чешенко Є.Д.	91	Dašić. P.	39
Чигвінцева О.П.	36	Derkach O.D.	27, 30
Ш		Dzyazko Yu.S.	5
Шайдеров Д.А.	170	G	
Шанталій Т.А.	50	Gonçalves I.P.	5
Шевченко В.В.	88	Goncharova I.	142
Шумейко О.Є.	160	Guichaoua D.	142
Ю		I	
Юшкевич С.В.	107	Ivakha N.B.	117
Я		К	
Яковенко Д.В.	44	Kashner O.Y.	152
А		Khoroshilov G.E.	152
Anishchenko A.A.	145, 149	Klots E.A.	145
Antokhin V.S.	117	Kravchenko S.V.	145, 149
В		Kudelko K.O.	60
Bazel Ya.R.	71		

M		S	
Maksymova N.M.	71	Sahraoui B.	142
Mazepa A.V.	145, 149	Shishkina S.V.	145, 149
Molina L.C.A.	5	Shtamburg V.G.	145, 149
Makarenko D.O.	27	Sukhachov V.V.	27
P		T	
Palchik A.V.	60	Trunova O.K.	117
Paraiso C.M.	5	V	
Petrushyna H.O.	71	Vieira A.M.S.	5
Pini Pereira P.	5	Vishnkin A.B.	71
Pişkin B.	27, 30	Vislohuzova T.V.	75
R		Viter V.A.	27
Rozhdestvenska L.M.	60		
Rozhnova R.A.	75		

З М І С Т

Секція 1. Полімерне матеріалознавство.

Хімія та технологія композиційних і наноматеріалів	4
<i>Pini Pereira P., Gonçalves I.P., Molina L.C.A., Dzyazko Yu.S., Paraiso C.M., Vieira A.M.S., Bergamasco R.</i>	
3D printed membranes made of polylactic acid and sucrose	5
<i>Криволапов Д.С., Баштаник П.І., Сухий К.М.</i>	
Вплив фосогіпсу на властивості деревинно-полімерних композитів	9
<i>Місюра А.І., Пінчук-Ругаль Т.М., Мамуня Є.П., Пилипенко А.М., Кораб М.Г.</i>	
Термофізичні властивості композиту поліетилен - нанотрубки	13
<i>Рогальський С.П., Джуужа О.В., Тарасюк О.П., Чернявська Т.В., Булко О.В., Льошина Л.Г.</i>	
Модифікація поліаміду 12 полімерним біоцидом полігексаметиленгуанідином гідрохлоридом	16
<i>Козирко Д.В., Ситар В.І., Ополонський І.В.</i>	
Переваги застосування полімерних композитів у вузлах тертя транспортного обладнання	20
<i>Калюжний О.Б., Платков В.Я.</i>	
Формування пористих фільтруючих елементів складної конфігурації з політетрафторетилену	24
<i>Derkach O.D., Makarenko D.O., Sukhachov V.V., Pişkin B., Viter V.A.</i>	
Development of modified carbon fiber-reinforced plastics based on polyamide 6	27
<i>Bulent Pişkin, Derkach O.D.</i>	
Design of a 2-DOF support leg for agricultural machinery	30
<i>Чигвінцева О.П., Рула І.В., Бойко Ю.В.</i>	
Дослідження властивостей ароматичного поліаміду фенілон С-2	36

Chyhvintseva O., Dašić. P.

Composites for structural purposes based on polyester binder 39

Томіна А.-М.В., Яковенко Д.В., Головка С.І.

Дослідження впливу швидкозагартованого сплаву на зносостійкість надвисокомолекулярного поліетилену 44

Томіна А.-М.В., Красновид С.В., Кончиць А.А.

Гібридні нанокompозити: електронні і трибологічні властивості 46

Шанталій Т.А., Несін С.Д., Драган К.С.

Синтез та діелектричні властивості поліімідних нанокompозитів на основі тетраетоксисилану та карбонанотрубок 50

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

Вплив технологічних параметрів отримання базальтопластиків на основі поліаміду-6 на їх механічні властивості 54

Кабат О., Балуєв Р., Ляшенко К.

Композиційні фторполімери трибологічного призначення 58

Сула М.П., Кабат О.С.

Полімерні композити на основі ароматичного поліаміду та срібла для вузлів тертя обладнання харчової промисловості 59

Kudelko K.O., Rozhdestvenska L.M, Palchik A.V.

Hydrophilisation of e-PTFE hydrophobic surface for pore membrane modification 60

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

Поліуретансечовини з пролонгованим вивільненням дакарбазину медичного призначення 63

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

Дослідження змін структури та властивостей мультиблокових поліуретансечовин in vitro 67

Petrushyna H.O., Maksymova N.M., Bazel Ya.R., Vishnkin A.B.

Polyurethane and 18-molybdodiphosphate polymeric composite material for natural and industrial water treatment 71

<i>Антоненко Г.О., Баштаник П.І., Заремба Г.В., Сухий К.М.</i>	
Вплив тальку на властивості композитів на основі поліпропілену	73
<i>Vislohuzova T.V., Rozhnova R.A.</i>	
Hydrogel materials with dacarbazine based on polyacrylamide gels modified with poly- <i>N</i> -vinylpyrrolidone	75
<i>Ващенко Ю.М., Ткач Л.О., Скоков О.І.</i>	
Біопластифікатори у складі еластомерних композиційних матеріалів	78
<i>Федан М.В., Віхров Г.Д., Ващенко Ю.М.</i>	
Композиційні активатори вулканізації для еластомерних матеріалів на основі карболанцюгових каучуків	80
<i>Францев М.Г., Науменко О.П.</i>	
Системи автоматичного проектування – інструмент інновацій у розробці технологічної оснастки для виготовлення еластомерних виробів	82
<i>Молоков В.С., Ситар В.І., Кудрявцев Ю.О., Кислов Т.І.</i>	
Дослідження гідролітичних процесів при модифікації фенілону органосилоксанами	86
<i>Вортман М.Я., Коптєва Ж.П., Іутинська Г.О., Коптєва Г.Є., Лемешко В.М., Шевченко В.В.</i>	
Метилольні похідні алкілзамісних гуанідинвмісних олігоестерів та їх антимікробна активність	88
<i>Томін С.В., Башев В.Ф., Чешенко Є.Д.</i>	
Дослідження впливу швидкозагартованого сплаву Al-Ni на термічну стійкість надвисокомолекулярного поліетилену	91
<i>Фролова Л.А., Родін Д.О., Нікітін М.О.</i>	
Дослідження структурних та магнітних властивостей полімерних композитів фериту кобальта	93
<i>Слісенко О.В.</i>	
УФ-отверднені акрилатні композиції	94

<i>Гриценко Т.О., Баран Н.М., Кушнірчук М.І., Левицький В.Є.</i>	
Нові сорбційноздатні модифіковані ПВП-вмісні гідрогелі з підвищеною міцністю	95
<i>Дутка В.С., Мідяна Г.Г., Дутка Ю.В.</i>	
Особливості формування полістирену у присутності дисперсного оксиду хрому	98
<i>Дейнека К.Ю., Дейнека І.О., Науменко Ю.В.</i>	
Оцінювання продуктивності процесу подрібнення стиранням у барабанному млині на основі візуалізації даних	103
<i>Юшкевич С.В., Оліфан О.І., Самелюк А.В., Макаренко О.С.</i>	
Фазові рівноваги в системі $\text{HfO}_2\text{-La}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3$ за температури 1500 °С	107
<i>Кулеш Д.В., Віслогузова Т.В., Рожнова Р.А.</i>	
Вивчення біосумісності композиційних матеріалів на основі поліуретансечовин з дакарбазином	109
<i>Корнієнко І.С., Свердліковська О.С.</i>	
Потенціал використання триацетату целюлози у розробці нових видів полімерних композитних матеріалів із покращеними властивостями	113
<i>Ivakha N.B., Berezhnytska O.S., Trunova O.K., Antokhin V.S.</i>	
Hybrid systems based on silver curcumin	117
<i>Секція 2. Аналітична хімія. Інноваційні технології харчової промисловості</i>	119
<i>Бутенко Е.О.</i>	
Перспектива використання синтетичних аніонних глин різного складу для сорбційного доочищення природних і стічних вод від цинку та кадмію	120
<i>Токар А.В., Сіманенко А.О., Кищик А.Г.</i>	
Аналіз синтетичних харчових барвників хроматографічними методами	123

Русин В.М., Капшин С.О.

Застосування штучного інтелекту в аналізі харчових продуктів 127

Кошулько В.С., Федоренко Д.О.

Обґрунтування технології виробництва борошняних кондитерських виробів з додаванням екструдованого пшеничного борошна 132

**Крамарьов С.М., Крамарьов О.С., Фролов С.В., Хорошун К.О.,
Липарь О.А.**

Порівняльна оцінка ефективності фосфорних добрив отриманих на основі орто- і пірофосфорної кислот в посівах сільськогосподарських культур 135

Рула І.В., Василенко Т.О., Колбаса Д.С.

Оцінювання енергетичної поживності кормів непрямим методом 139

Goncharova I., Guichaoua D., Sahraoui B.

Laser-induced breakdown spectroscopy application for heavy metals detection in natural water 142

Секція 3. Актуальні проблеми синтезу, структури та реакційної здатності органічних та елементоорганічних сполук 144

**Shtamburg V.G., Klots E.A., Kravchenko S.V., Anishchenko A.A.,
Shishkina S.V., Mazepa A.V.**

Interaction of *N*-alkoxy-*N*-chloro-*N'*-arylureas with trialkyl phosphites as route to dialkyl *N*-alkoxy-*N*-(*N'*-arylcabamoyl)phosphoramidates 145

**Shtamburg V.G., Anishchenko A.A., Kravchenko S.V., Shishkina S.V.,
Mazepa A.V.**

Synthesis of new kinds of *N*-alkoxyhydantoins 149

Kashner O.Y., Bocharov K.O., Khoroshilov G.E.

Features of interaction between *N*-substituted 2-chloropyridinium salts and malononitrile dimer 152

Потанчук М.О., Свердліковська О.С.

Експлуатаційні параметри димерних іонних рідин іоненового типу 156

Шумейко О.Є., Бураков М.І., Попов А.Ф.

Дослідження процесів перенесення фосфорильних і сульфонільних груп в умовах соміцелярних систем на основі функціоналізованих тетраалкіламонієвих поверхнево-активних речовин 160

Третьак С.Ю., Голіченко О.А., Китова Д.Є., Величко О.В.

Антирадикальні властивості ферулової кислоти 163

Коров'яков М.А., Ковалишин Я.С.

Синтез ванадату заліза з водних кислих розчинів 166

Секція 4. Електроосадження металічних і полімерних покриттів.

Захист від корозійного руйнування. Лакофарбові та захисні

покриття 169

Проценко В.С., Шайдеров Д.А., Сухацький О.Д., Бутиріна Т.Є.

Електрохімічне осадження покриттів на основі нікелю з евтектичних іонних рідин з метою виготовлення електрокаталізаторів для водневої енергетики 170

Тимусь М.Б., Корній С.А., Федорів В.І.

Інгібування корозії алюмінієвого сплаву синергічною композицією декстрину з натрієм ізоаскорбатом у 3%-вому середовищі натрій хлориду 173

Ловчицька В.С., Ковалишин Я.С., Горак Ю.І.

Електрохімічна модифікація поверхні графіту МПГ-7 відновленням ацетамінобензендіазонію 177

Хлопик О.П., Зінь І.М., Корній С.А., Дацко Б.М.

Вплив композиційного пігменту на основі природного силікату кальцію та ортофосфату цинку на захисні властивості епоксидного покриття на алюмінієвому сплаві 181

Королянчук Д.Г., Овчаренко В.І.

Особливості структуроутворення корозійностійких електрохімічних покриттів сплавом Ni-P 185

Авторський покажчик 190

У конференції прийняли участь 160 викладачів, науковців, аспірантів і студентів із 40 навчальних, наукових закладів та приватних підприємств 17 міст України та зарубіжжя

№ з/п	Назва закладу	Місто
1	University of Angers, Photonics Laboratory, LPHIA, SFR Matrix	Angers, France
2	Engineering Academy of Serbia (IAS)	Belgrade, Serbia
3	Tierärztliches Zentrum Belm	Belm, Germany
4	Biosystem Engineering Departmente Faculty of Agriculture Duzce University	Düzce, Türkiye
5	Pavol Josef Šafárik University in Košice	Košice, Slovak Republic
6	State University of Maringa	Maringa, Parana Brazil
7	ТОВ «Український науково-дослідний конструкторсько-технологічний інститут еластомерних матеріалів і виробів «ДІНТЕМ»	Дніпро
8	Дніпровський державний аграрно-економічний університет	
9	Дніпровський національний університет ім. О. Гончара	
10	ДУ Інститут зернових культур НААН України	
11	ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет» Українського державного університету науки і технологій	
12	ТОВ Технічний університет «Метінвест Політехніка»	Запоріжжя
13	Дніпровський державний технічний університет	Кам'янське
14	Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»	Київ
15	Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України	
16	Донецький фізико-технічний інститут ім. О.О. Галкіна НАН України	
17	Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В. П. Кухаря НАН України	
18	Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України	
19	Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України	

20	Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України	Київ
21	Інститут органічної хімії Національної академії наук України	
22	Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України	
23	Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАНУ	
24	Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України	
25	Інститут хімії високомолекулярних сполук Національної академії наук України	
26	Інститут хімії поверхні ім. О. О. Чуйка НАН України	
27	Київський національний університет ім. Тараса Шевченка	
28	Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля	
29	Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка Національної академії наук України	Львів
30	Львівський національний медичний університет ім. Данила Галицького	
31	Львівський національний університет ім. Івана Франка	
32	НУ «Львівська політехніка»	
33	Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України	
34	ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»	Маріуполь- Дніпро
35	Фізико-хімічний інститут імені А.В. Богатського НАН України	Одеса
36	Луганський національний університет ім. Т. Шевченка	Полтава
37	ВСП «Рівненський технічний фаховий коледж Національного університету водного господарства та природокористування»	Рівне
38	Національний університет водного господарства та природокористування	
39	ДВНЗ «УжНУ» Науково-навчальний інститут хімії та екології	Ужгород
40	Державний біотехнологічний університет	Харків

Наукове видання

**МАТЕРІАЛИ
IV МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

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

TACX 2025

Відповідальні за випуск – Чигвінцева О.П., Рула І.В.

Підписано до друку 20.05.2025 р.

Формат 60 × 80/16. Папір офс.

Ум. друк. арк. 8,4. Обл. вид. арк. 8,0 Тираж 100 прим. Зам. № 9551

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